



Il Commissario Straordinario del Governo
per il recupero e la valorizzazione dell'ex carcere borbonico
dell'isola di Santo Stefano - Ventotene

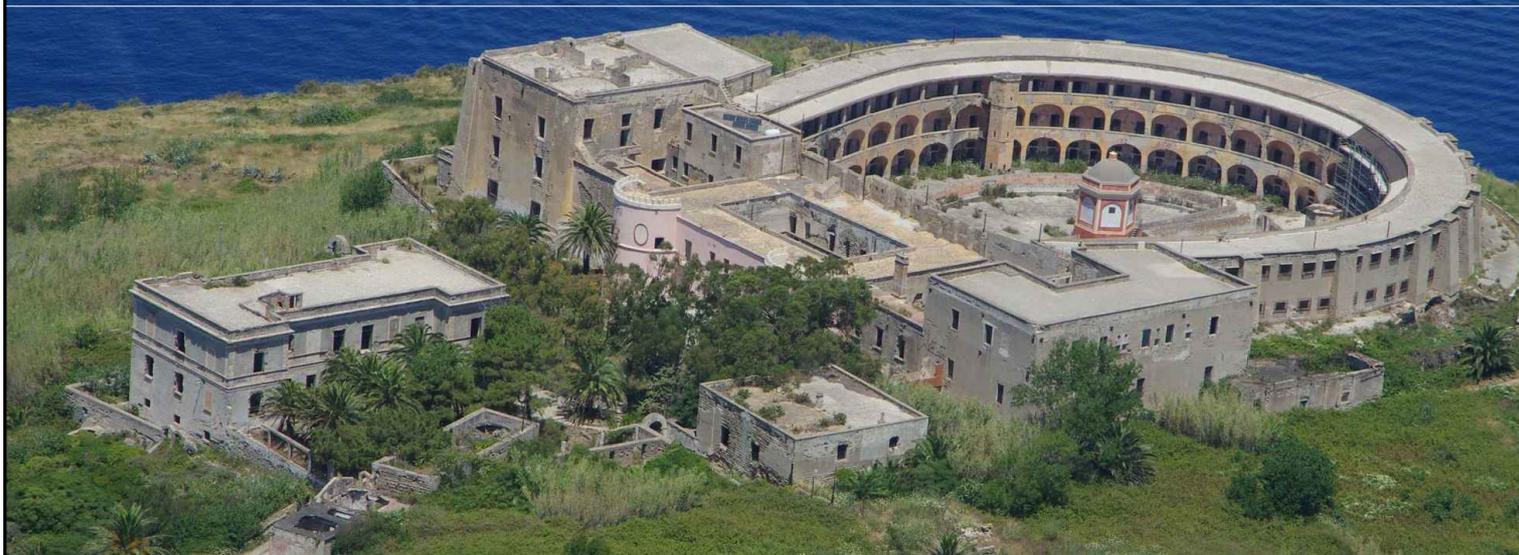


Comune di Ventotene
REGIONE LAZIO

CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO

RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE EX CARCERE BORBONICO DELL'ISOLA DI SANTO STEFANO VENTOTENE

Intervento n. 3 'Realizzazione/adequamento degli approdi all'isola di Santo Stefano'



STAZIONE APPALTANTE



Agenzia nazionale per l'attrazione
degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA

Funzione Servizi di Ingegneria

ATTIVITA' TECNICHE
Beni Culturali e Architettura
Arch. Rosa di NUZZO

INVITALIA S.p.a.: Soggetto Attuatore in ottemperanza agli artt. 3 e 8 del Contratto Istituzionale di Sviluppo
"Recupero e rifunionalizzazione ex carcere borbonico dell'isola di Santo Stefano Ventotene"

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. ENRICO FUSCO

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE: Dott. Arch. Rosa di NUZZO

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
Dott. Arch. Massimo BARAGLI

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
Dott. Ing. Letterio SONNESSA

PROGETTAZIONE OPERE MARITTIME
Dott. Ing. Daniele BENOTTI

RELAZIONE GEOLOGICA
Dott. Geol. Vincenzo GUIDO

PROGETTAZIONE IMPIANTI
Dott. Ing. Pierluigi ROSATI
Dott. Ing. Osvaldo PITORRI

PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA
Dott. Ing. Nunzio LAURO

PROGETTAZIONE AMBIENTALE e PROCEDURE VIA-Vinca
Dott. Luca DI NARDO

COMPUTI E STIME
Geom. Luigino D'ANGELANTONIO

GRUPPO DI LAVORO INTERNO

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA:
Dott. Ing. Francesco DE SIMONE
Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR
Dott. Arch. Lucia PACITTO

PROGETTAZIONE STRUTTURALE:
Dott. Ing. Mario D'AMATO
Dott. Ing. Francesco DI LAURO

PROGETTAZIONE OPERE MARITTIME:
Dott. Ing. Leonardo GUALCO

PROGETTAZIONE IMPIANTI:
Sig. Ennio REGNICOLI

RILIEVI E RESTITUZIONE GRAFICA:
Geom. Gennaro DI MARTINO
Dott. Ing. Francesco DE SIMONE
Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR

PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA
Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR

SUPPORTO TECNICO OPERATIVO

PROGETTAZIONE OPERE MARITTIME:
3TI Progetti Italia - Ingegneria Integrata SpA
Dott. Ing. Stefano Luca POSSATI

**PROGETTAZIONE AMBIENTALE e
PROCEDURE VIA-Vinca:**
SETIN Servizi tecnici Infrastrutture s.r.l.
Dott. Alessandro PIAZZI

PROGETTAZIONE GEOTECNICA:
STUDIO TECNICO ASSOCIATO - SINTESI
Dott. Ing. Germano GUIDUCCI

RELAZIONE ARCHEOLOGICA: ASPSP Servizi Archeologici snc, Dott.ssa Laura SANNA e Francesco TIBONI

INDAGINI GEOGNOSTICHE :
Geodes Laboratori
Dott.ssa M. Gabriella BEVILACQUA

**INDAGINI E RILEVAZIONI AMBIENTALI,
ARCHEOLOGICHE E STRUMENTALI A MARE :**
Enviroconsult srl - Dott. Ing. Roberto SAGGIOMO

INDAGINI SULLE STRUTTURE :
ICS Centro Sperimentale di Ingegneria Srl
Dott. Ing. Giuseppe MONTELLA

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO			DATA	NOME	FIRMA
Documenti generali Relazione geologica			REDATTO	05-03-2021	GUIDO
			VERIFICATO	05-03-2021	GUIDO
			APPROVATO	05-03-2021	Rosa di NUZZO
----			DATA	05-03-2021	CODICE BREVE
			SCALA	----	
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	CODICE ELABORATO		
Rev. 1-....-....	----	2017E037INV-02-D-GE-GE0000		
Rev. 2-....-....	----	CODICE FILE		
Rev. 3-....-....	----	2017E037INV-02-D-GE-GE0000.dwg		

GE-GE0000

Sommario

1	<i>Premesse</i>	2
2	<i>Inquadramento geologico generale</i>	5
2.1	<i>Fondali e morfostrutture collegate a fuoriuscite di fluidi (pokmark)</i>	6
3	<i>Unità stratigrafiche Isola di Santo Stefano</i>	6
4	<i>Geologia del sito approdo Marinella</i>	10
5	<i>Osservazione sullo scalo n.4</i>	15
6	<i>Indicazione del Livello di Rischio Sismico dell'Opera ai sensi del R.R.n.26/2020 – Allegato C – Regione Lazio.</i>	19
7	<i>Campagna di indagini geognostiche</i>	21
8	<i>Classificazione sismica</i>	22
9	<i>Indagini geofisiche per la definizione della classe di suolo di fondazione ai fini del calcolo dell'amplificazione sismica ed indagini geofisiche a mare</i>	24
10	<i>Analisi numerica di risposta sismica locale</i>	29
11	<i>Caratterizzazione geotecnica</i>	37
12	<i>Carta geologica e sezioni geologiche</i>	38
13	<i>Inquadramento geomorfologico, rischio idrogeologico, interventi di mitigazione.</i>	39
14	<i>Sovrapposizione aree a pericolo e rischio con opere in progetto</i>	44
15	<i>Rilievo geostrutturale e stato del dissesto – verifica ante-operam</i>	45
15.1	<i>Risultati del rilievo geostrutturale</i>	48
15.2	<i>Classificazione RMR di Bieniawski</i>	50
15.3	<i>Classificazione SMR di Romana</i>	51
15.4	<i>Analisi di stabilità ante operam</i>	52
15.5	<i>Sintesi della tipologia di dissesto</i>	57
16	<i>Ulteriori Vincoli idrogeologici</i>	59
17	<i>Prescrizioni delle Norme di Attuazione del P.A.I. (ex autorità dei Bacini Regionali del Lazio) Autorità di Bacino Distretto Idrografico Centrale – iter per la richiesta di ripermetrazione del rischio</i>	60
17.1	<i>Piano di monitoraggio aree a pericolo e rischio di frana</i>	61

18	<i>Inquadramento ed osservazioni idrogeologiche</i>	65
19	<i>Conclusioni</i>	66
	<i>Bibliografia</i>	69

Allegato 1 Indagini geognostiche – codice elaborato 2017E037INV-01-D-GE-IND001

Allegato 2 Carta geologica – codice elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV014

Allegato 3 Sezioni geologiche – codice elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV015

Allegato 4 Carta geomorfologica – codice elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV016

Allegato 5 Sezioni geomorfologiche – codice elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV017

Allegato 6 Sovrapposizione aree a pericolo/rischio frana P.A.I con opera in progetto - codice elaborato 017E037INV-02-D-R0-TAV018

Allegato 7 Rilievo geomeccanico – codice elaborato 2017E037INV-01-D-GE-IND002

1 Premesse

La presente relazione è parte integrante del progetto di “Realizzazione/adequamento degli approdi all’isola di Santo Stefano”. Il progetto fa parte di una serie di interventi contemplati nell’Accordo Operativo tra il Ministero per i beni e le Attività Culturali e per il Turismo e l’Agenzia Nazionale per l’attrazione degli investimenti e lo sviluppo d’impresa SpA per la realizzazione delle attività di soggetto attuatore del CIS per il RECUPERO E LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DELL’”EX CARCERE BORBONICO DELL’ISOLA DI S. STEFANO VENTOTENE” (fig.1).

L’intervento prevede la realizzazione di un molo di attracco in località Marinella dell’Isola di Santo Stefano di larghezza pari a 8,60 m e lunghezza 25,20 m con cassoni cellulari di varie dimensioni su scanno d’imbasamento in pietrame, solidarizzati alla radice in cls a terra fondata su micropali. La realizzazione dell’approdo è subordinata alla messa in sicurezza della falesia vista la perimetrazione dell’area a pericolosità A e rischio R4 di frana secondo l’Autorità di Bacino del Distretto Idrografico Centrale. Il presente studio è stato sviluppato quindi con duplice obiettivo:

- fornire il modello geologico per il progetto dell’approdo attraverso il rilievo geologico, gli studi pregressi ed una campagna di indagini geognostiche eseguite a mare;
- eseguire uno studio di compatibilità geomorfologica delle opere di messa in sicurezza della falesia in funzione del fenomeno di dissesto presente e segnalato dall’AdB Appennino Centrale grazie anche ad un rilievo geomeccanico in corrispondenza della falesia.

In ottemperanza all’Allegato 7 del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità dei

Bacini Regionali del Lazio "LINEE GUIDA PER GLI STUDI FINALIZZATI ALLE VALUTAZIONI DI STABILITÀ DEI VERSANTI", il presente studio è corredato da:

- carta geologica in scala 1:200;
- sezioni geologiche in scala 1:200;
- carta geomorfologica e dei dissesti in scala 1:200;
- sezioni geomorfologiche in scala 1:200;
- rilievo geomeccanico con analisi di stabilità ante operam;
- sovrapposizione aree a pericolo-rischio frana P.A.I. con opere in progetto 1:200;

L'isola è interessata da diversi vincoli sia di natura ambientale-paesaggistica sia di natura idrogeologica. Di seguito si evidenziano le diverse disposizioni normative:

- Decreto del Ministero dell'Ambiente del 11 maggio 1999, *Istituzione della riserva naturale statale denominata Isole di Ventotene e Santo Stefano*;
- Decreto del Ministero dell'Ambiente del 12 dicembre 1997, *istituzione dell'Area Naturale Marina Protetta denominata "Isole di Ventotene e S. Stefano"*;
- *L.R.24/98, Pianificazione paesistica e la tutela dei beni e delle aree sottoposte a vincolo paesistico*;
- DCR n.5 del 02/08/2019, *Piano Territoriale Paesistico Regione Lazio*;
- DGR n. 49 del 13 febbraio 2020, *variante di integrazione del Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR), ai sensi dell'articolo 23 della L.R. n. 24 del 6 luglio 1998 ed in ottemperanza degli artt. 135, 143 e 156 del D.Lgs. n. 42/2004, inerente alla rettifica e all'ampliamento dei beni paesaggistici di cui all'articolo 134, comma 1, lettere a), b) e c), del medesimo D.Lgs. n. 42/2004, contenuti negli elaborati del PTPR approvato con DCR n. 5 del 2 agosto 2019*;
- *Piano di Emergenza comunale di Protezione Civile del comune di Ventotene, approvato con DCS n°5 del 01/12/2016*;
- *Piano di Zonizzazione Acustica adottato con DCC n°15 del 29/08/2014*.
- Deliberazione del Consiglio Regionale n. 17 del 04/04/2012, *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) aree sottoposte a tutela per dissesto idrogeologico ex Autorità dei Bacini Regionali del Lazio, oggi Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale*;
- *DPR n° 1746 del 18/03/2008, l'ex carcere di Santo Stefano diventa Monumento Nazionale*;
- *Decreto di apposizione del vincolo di tutela per particolare interesse storico artistico ai sensi della legge 1089/39, del 14 maggio 1987, Ministero Beni Culturali e Ambientali*;

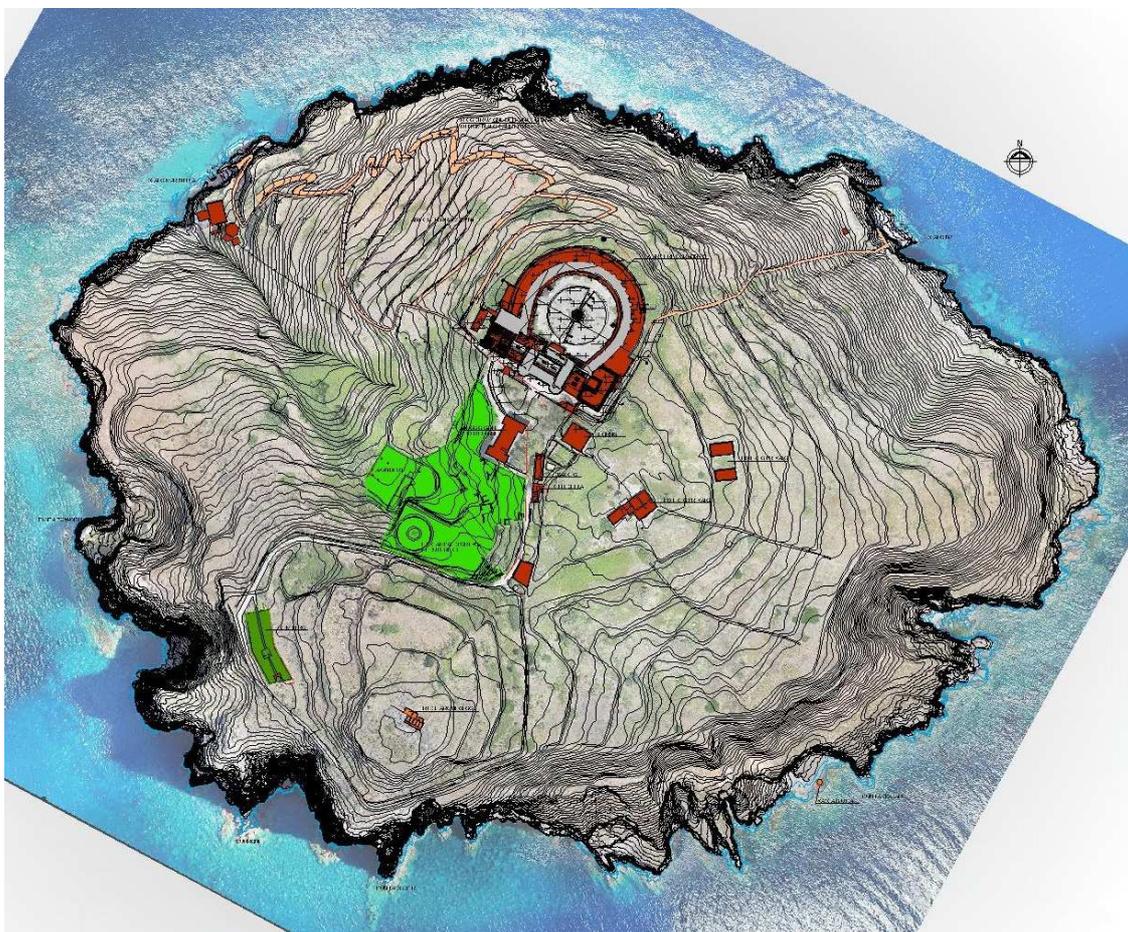


Fig.1 stralcio planimetrico con ubicazioni delle strutture presenti sull'isola

Altre norme di riferimento

- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 CSLL.PP.;*
- *NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA REGIONE LAZIO - DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE n. 387 del 22.05.2009 (BUR Lazio n. 24 del 27.06.2009 - Supplemento Ordinario 106) e s.m.i.;*
- *Regolamento Regionale 26 ottobre 2020 n. 26;*
- *Delibera n.493 del 23 luglio 2019 “Modifica deliberazione di Giunta regionale 22 maggio 2009 n. 387 concernente “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03;*
- *Norme di Attuazione del P.A.I. (ex autorità dei Bacini Regionali del Lazio) Autorità di Bacino Distretto Idrografico Centrale;*
- *Relazione Tecnica del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali Lazio*

2 Inquadramento geologico generale

Ventotene è quel che resta di un grande vulcano, in parte collassato in mare. Non si conosce l'età esatta del vulcano ma è probabilmente stato attivo insieme al domo di Monte La Guardia di Ponza e la sua attività è proseguita fino a circa 400-300.000 anni fa. L'attività di Ventotene è stata essenzialmente esplosiva anche se non mancano le colate di lava. L'ultima eruzione potrebbe aver causato il collasso della parte terminale dell'edificio. Un ultimo dato interessante che merita attenzione è la bella superficie di terrazzamento marino ben visibile in cima alla falesia di Chiaia di Luna. Questa superficie testimonia il livello del mare circa 90.000 anni fa. La superficie è stata innalzata poi alla quota attuale per problemi di variazione del livello del mare, isostasia e forse anche tettonica.

Ventotene e Santo Stefano rappresentano la parte sommitale di un antico vulcano, che si stima raggiungesse un'altezza di circa 1000 metri e un diametro di una ventina di chilometri (fig.2). Dal punto di vista vulcanologico le due isole appartengono alla cosiddetta provincia campana, assieme al vulcano di Roccamonfina, ai Campi Flegrei, a Ischia e al Vesuvio. Ventotene rappresenta probabilmente il residuo di uno strato-vulcano; nella porzione conservata si distinguono una zona inferiore con livelli piroclastici e lave trachi-basaltiche datate 1,7 milioni di anni, una zona intermedia formata tutta da tufo e una zona superiore con depositi tufitici (Bergomi et alii, 1969). Nell'isola di Santo Stefano, invece, le vulcaniti più antiche sono lave risalenti a 1,2 milioni di anni fa.

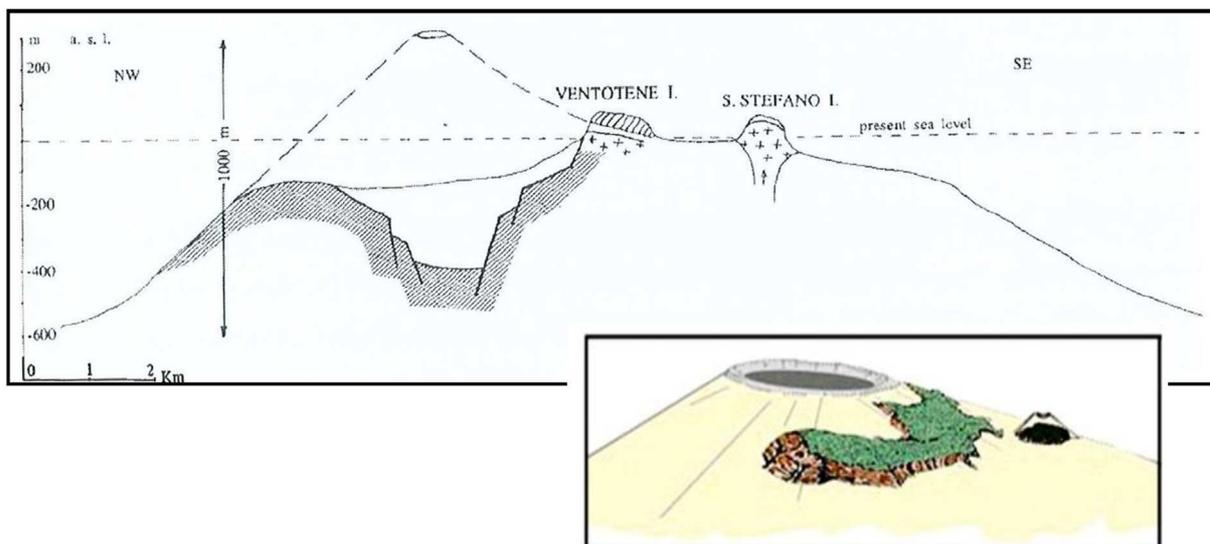


Fig.2 schema geologico esemplificativo delle isole di Ventotene e S. Stefano – da Bergomi et alii, 1969

2.1 Fondali e morfostrutture collegate a fuoriuscite di fluidi (pockmark)

Delle Isole pontine orientali quella principale è l'Isola di Ventotene che corrisponde ad uno strato-vulcano in parte collassato, con diametro basale di circa 15-20 km, che in passato doveva raggiungere un'altezza di circa 800 m (De Rita et al., 1984). L'isola di Ventotene si è formata in diverse fasi effusive, con formazione di colate e duomi lavici, alternatesi a fasi esplosive, con depositi da caduta, flussi piroclastici e surge. I prodotti più antichi sono trachibasalti formati in ambiente sottomarino e datati ad 1.7 milioni di anni (Bergomi et al., 1969), l'attività vulcanica è cessata intorno a 0.15 – 0.30 Ma di anni fa (Perrotta et al., 1996). L'intero apparato vulcanico è localizzato al centro di un'area fortemente subsidente, il bacino di Ventotene, la cui formazione è imputabile ai movimenti tettonici distensivi avvenuti nel Pliocene inferiore correlati all'apertura del Tirreno (Zitellini et al., 1984).

I fianchi sommersi dell'edificio vulcanico di Ventotene sono caratterizzati da numerose forme vulcaniche (coni, colate) e morfologie legate a fenomeni riconducibili ad instabilità gravitativa, quali nicchie di frana e canali erosivi. Nei fondali del Bacino di Ventotene, a profondità comprese tra i -700 e i -750 m, sono presenti numerose depressioni riconducibili a fuoriuscite di fluidi (pockmark), diffusamente distribuiti nel bacino ad eccezione del settore orientale. Risultano anche presenti ridge isolati al di sopra dei quali sono presenti numerose piccole depressioni riconducibili a pockmark.

3 Unità stratigrafiche Isola di Santo Stefano

L'isola di Santo Stefano appartiene all'arcipelago delle isole pontine, è situata 30 Km a sud del Golfo di Gaeta sul bordo della piattaforma continentale (fig.3). Con Ventotene appartiene alle Isole Pontine Orientali. Anche se le due isole oggi sono nettamente separate rappresentano i resti di un grande edificio vulcanico chiamato "Vulcano Ventotene", che è stato attivo tra 0,92 Ma e 0,33 Ma in accordo con la datazione isotopica K/Ar (Metrich et al. 1988; Bellucci et al. 1999a, 1999b). In una recente



Fig. 3 stralcio foto satellitare dell'arcipelago delle isole pontine

cartografia geologica (Bellucci et al., 1999) dell'Isola di Santo Stefano (fig. 4), sono state riconosciute tre differenti unità litostratigrafiche nominate:

- Formazione di Santo Stefano
- Unità di Villa Giulia
- Depositi eolici

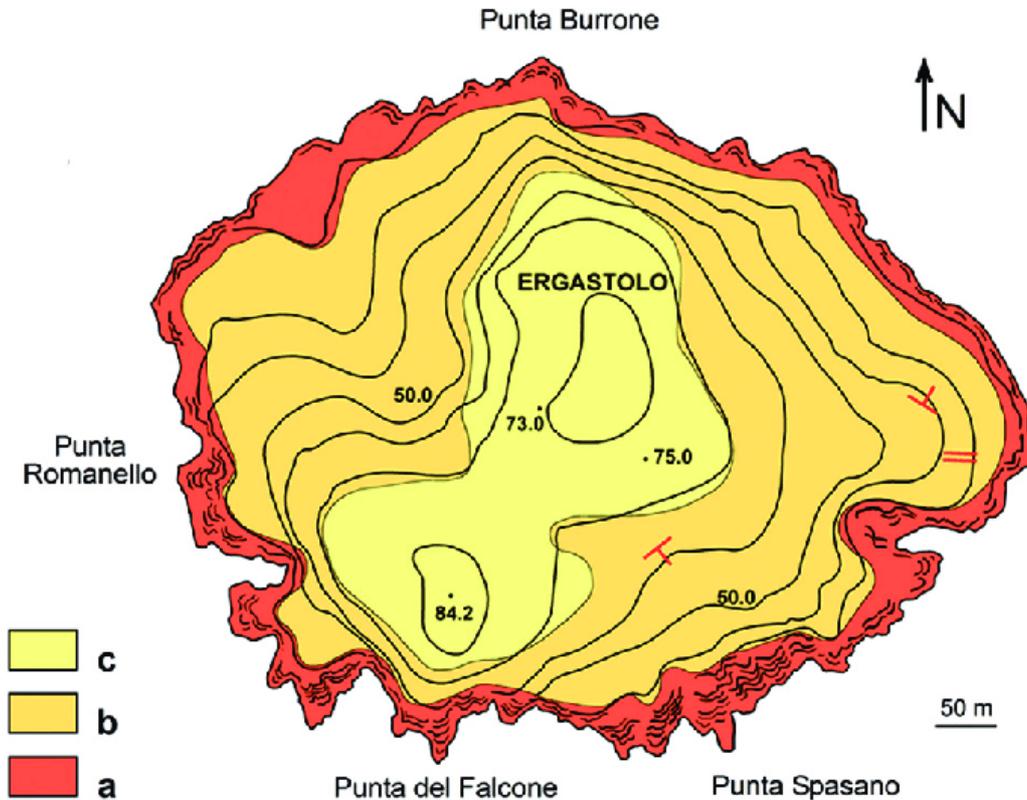


Fig. 4 Carta geologica dell'Isola di Santo Stefano da Bellucci et. al. 1999. a)lave e scorie; b)piroclastiti e pomici; c) piroclastiti e depositi eolici

L'unità basale (Formazione di Santo Stefano) è suddivisa in due membri. Il primo costituito da lave con fratture colonnari e strutture a rampa che passano verso l'alto a livelli scoriacei. Questi depositi sono sovrastati dal secondo membro composto da depositi piroclastici massivi composti principalmente da frammenti di pomice sovrastate da livelli di scorie nere.

La Formazione di Santo Stefano è rimpiazzata verso l'alto da depositi piroclastici (Unità di Villa Giulia) attraverso una superficie irregolare. Questi depositi immergono radialmente e sono costituiti da un'alternanza di letti di pomici bianche da caduta e paleosuoli di origine piroclastica. Nella parte più alta dell'isola sono stati segnalati depositi eolici (Bellucci et al. 1999b) anche se oggi non sono riconoscibili a causa della copertura vegetale e della presenza degli edifici dell'Ergastolo e relative pertinenze.

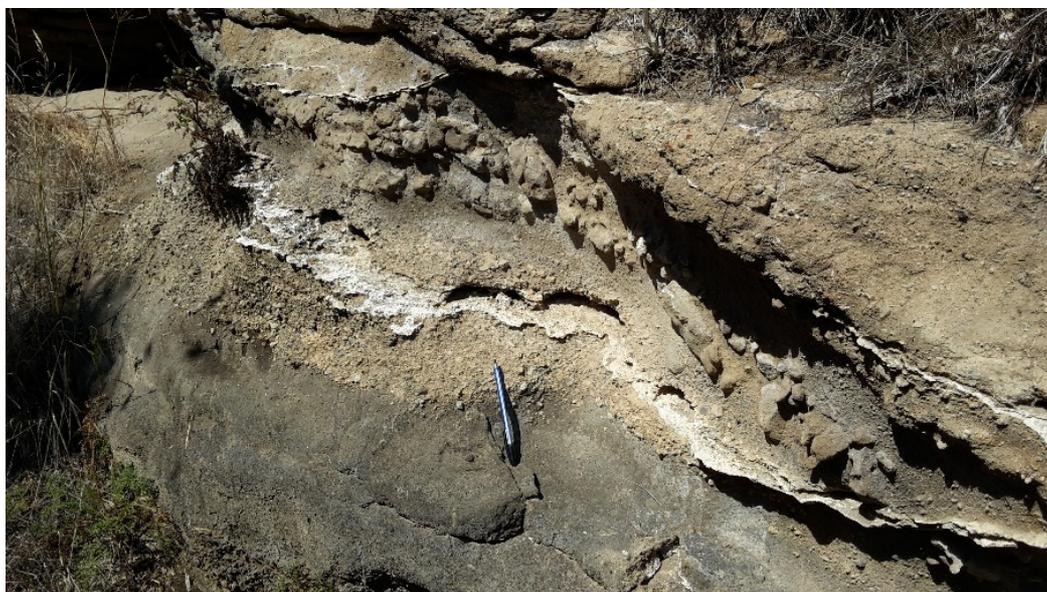


Fig. 5 piroclastiti e pomici – Unità di Villa Giulia – affioramento lungo il percorso dello scalo n.4

Nella foto (fig. 5) precedente si può osservare l'alternanza di paleosuoli piroclastici e sottili livelli biancastri di pomice – unità di Villa Giulia. Tali depositi si presentano con giacitura a franapoggio inferiore al pendio nell'area compresa tra l'ergastolo e lo scalo 4. Dalla parte opposta dell'isola, grossomodo in corrispondenza dell'area a valle del cimitero si possono osservare i contatti tra la formazione di Santo Stefano e l'unità di villa Giulia (fig. 6).



Fig. 6 Contatto stratigrafico tra la formazione di Santo Stefano e la sovrastante unità di Villa Giulia

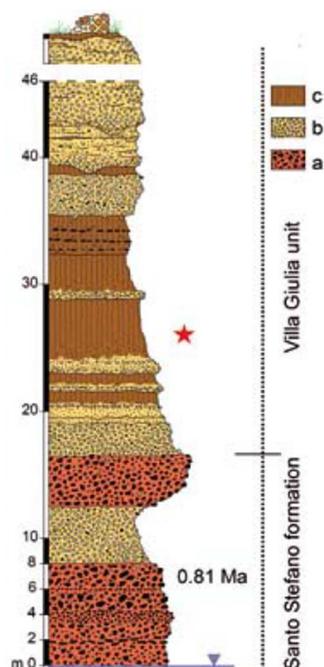


Fig. 7 Successione stratigrafica dell'Isola di Santo Stefano – a)lave e scorie; b) piroclastiti cementate sovrastanti le lave; c) piroclastici e livelli di pomici, paleosuoli (da Sacchi & Petti, 2008)

4 Geologia del sito approdo Marinella

Per quanto riguarda il sito dell'approdo Marinella la litologia affiorante nelle aree a terra è il substrato lavico fratturato della Formazione di Santo Stefano riconducibile a trachi-basalti, mentre a mare sono state rinvenute sabbie, ghiaie, blocchi e ciottoli di natura lavica e piroclastica verosimilmente proveniente dallo smantellamento fisico delle unità affioranti sull'isola a causa dei crolli. I sedimenti poggiano sul substrato roccioso con un contatto probabilmente di tipo onlap.

Il substrato si presenta fratturato con fratture principali subverticali e ortogonali alla falesia, ha aspetto litoide ed a tratti vacuolare. L'attuale approdo, costituito da gradini scavati nella roccia, si presenta come superficie pianeggiante scavata sia dall'azione del moto ondoso sia dall'azione antropica al fine di ottenere una banchina adatta allo sbarco. Nella parte sommitale la falesia è interessata dall'azione delle radici della vegetazione e nonché dall'azione della pioggia e forma a tratti una coltre detritica che genera piccoli blocchi e/o clasti. L'area in esame è stata oggetto di un rilievo geomeccanico che sarà trattato nei successivi paragrafi.

La geologia della parte marina dell'approdo è stata ricavata principalmente dalle n.2 stratigrafie relative ai sondaggi eseguiti da motopontone nello specchio d'acqua prospiciente lo scalo ed

Sondaggio ST1

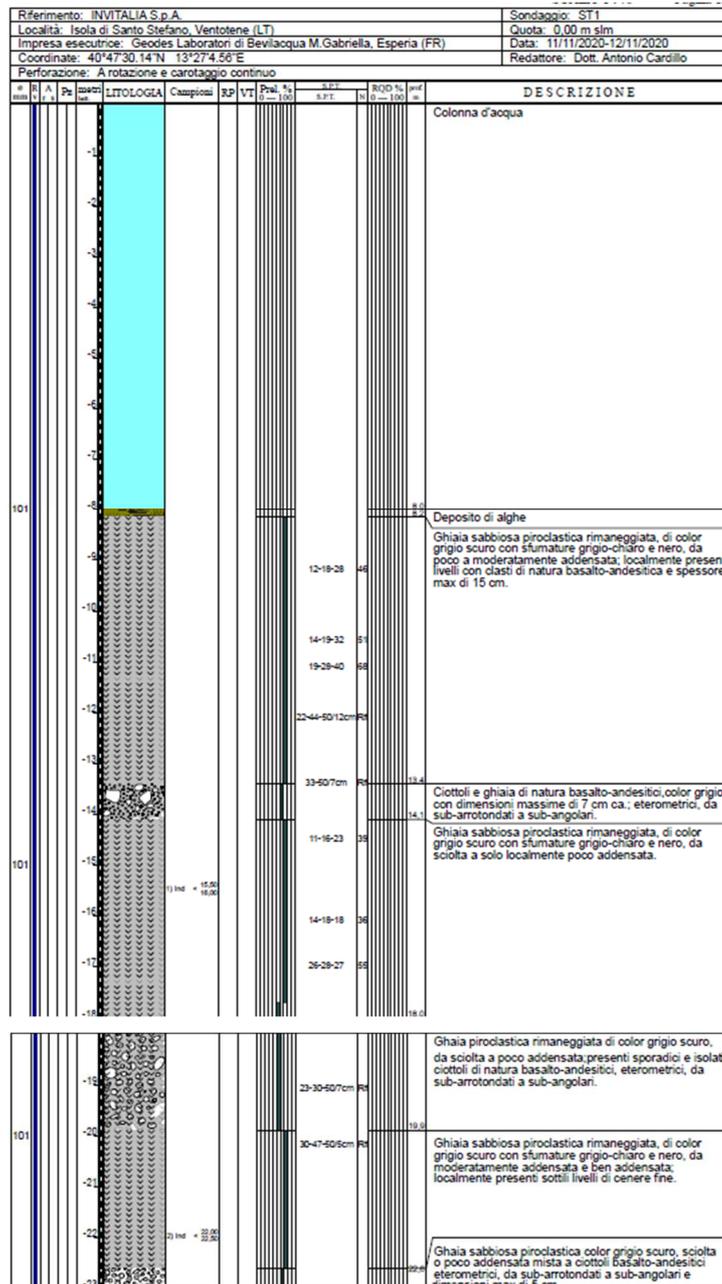


Fig. 9 Stratigrafia del sondaggio ST1 eseguito in mare (più lontano dall'isola)

Come si può notare la stratigrafia mostra un melange di sedimenti a varia granulometria e di diversa natura rimaneggiati tra loro dall'azione del mare. Per questo motivo la rappresentazione in sezione ed in carta geologica è stata uniformata, vista la difficoltà di riconoscere orizzonti stratigrafici ad una scala ancora più di dettaglio.

La parte affiorante dell'approdo (fig. 10), che sarà trattata al paragrafo "Inquadramento

geomorfologico, rischio idrogeologico” per gli aspetti relativi al rischio frana, è costituita dalle lave e scorie della Formazione di Santo Stefano. Le lave e le scorie si presentano litoidi, a tratti vacuolari e presentano uno stato di fratturazione principalmente dovuto alla fase di messa in posto e di raffreddamento. Le fratture principali si presentano subverticali e circa perpendicolari alla falesia, mentre con frequenza minore si notano fratture con giacitura a franapoggio che concorrono con le prime alla formazione di cunei potenzialmente instabili.



Fig. 10 falesia dell'approdo Marinella

Sull'area è presente una cavità di natura antropica che si incontra sulla prima rampa di scalini che risale lungo la falesia (fig.11). È presente un'ulteriore cavità antropica con orientamento ortogonale alla prima; l'ubicazione dell'ingresso è mostrata nella medesima foto.



Fig. 11 cavità antropica

L'indagine R.O.V. ha confermato la composizione del fondale che nella prima parte è caratterizzato dalla presenza della scarpata rocciosa fino alla batimetrica di circa -6,00 m (fig. 12); in fig.13 l'immagine R.O.V. conferma la presenza di sedimenti di varia natura e granulometria.



Fig. 12 immagine R.O.V. della scarpata rocciosa sommersa



Fig. 13 immagine R.O.V. del fondale marino in corrispondenza dell'approdo Marinella

Per quanto riguarda il percorso che dall'approdo conduce verso in carcere il rischio è identificato nella probabilità di crolli come precedentemente descritti che però interessano soprattutto la falesia anche per la sua conformazione geometrica e per la giacitura che si presenta subverticale.



Fig. 14 prima rampa del percorso dall'approdo Marinella al carcere



Fig. 15 seconda rampa del percorso dall'approdo Marinella al carcere

	2017E037INV-02-D-GE-GEO000
	Rev. 0
	Pag. 15 di 70

Nelle figg. 14 e 15 si nota come la prima parte del percorso sia stato scavato nelle rocce laviche.

5 Osservazione sullo scalo n.4

Nell'ambito del presente progetto il sito individuato come scalo n.4 non è stato considerato idoneo per la realizzazione di un nuovo approdo. Tuttavia, lo stesso risulta utilizzato per sbarchi di emergenza da e per Santo Stefano quando le condizioni meteomarine sono particolarmente severe e non consentono sbarchi a Marinella.

Come viene spiegato più dettagliatamente nel paragrafo 15 della presente relazione "*Rilievo geomeccanico e stato del dissesto – verifica ante-operam*", il sito è stato oggetto di un rilievo geomeccanico con la finalità di definire lo stato della fratturazione dell'ammasso roccioso in funzione dell'orientazione della falesia per l'analisi di stabilità globale. Il sito è infatti interessato da una perimetrazione a pericolo A e rischio R4 di frana da parte dell'ex Autorità dei bacini regionali del Lazio.

Sintetizzando i risultati del test di Markland (fig. 33 – paragrafo 15.4) sono emerse compatibilità cinematiche allo scorrimento planare ma non al distacco di cunei di roccia, infatti i cunei che si formano non rientrano nel range di dip direction in cui vi è compatibilità cinematica. Ciò è vero per le aree a terra dell'approdo dove è stato effettuato il rilievo, tuttavia va notato che un lieve cambio di direzione del versante verso EST, che avviene in corrispondenza dell'insenatura, renderebbe cinematicamente compatibile al distacco di cunei. Si ricorda che oltre alla compatibilità cinematica, affinché la verifica indichi instabilità, va dimostrata anche la compatibilità dinamica del potenziale meccanismo di dissesto, infatti non vi è ammissibilità dinamica per scorrimenti di tipo planare, tuttavia vi è ammissibilità dinamica per il cuneo di roccia qualora il versante, restando circa della stessa pendenza, cambi orientazione circa verso EST.

Nella seguente foto (fig.16) vengono indicate le due aree identificate come "insenatura" (in rosso) con potenziale rischio per distacco di cunei e "area a terra" (in arancione) dove il test di Markland ha dato esito negativo per la verifica di stabilità globale.

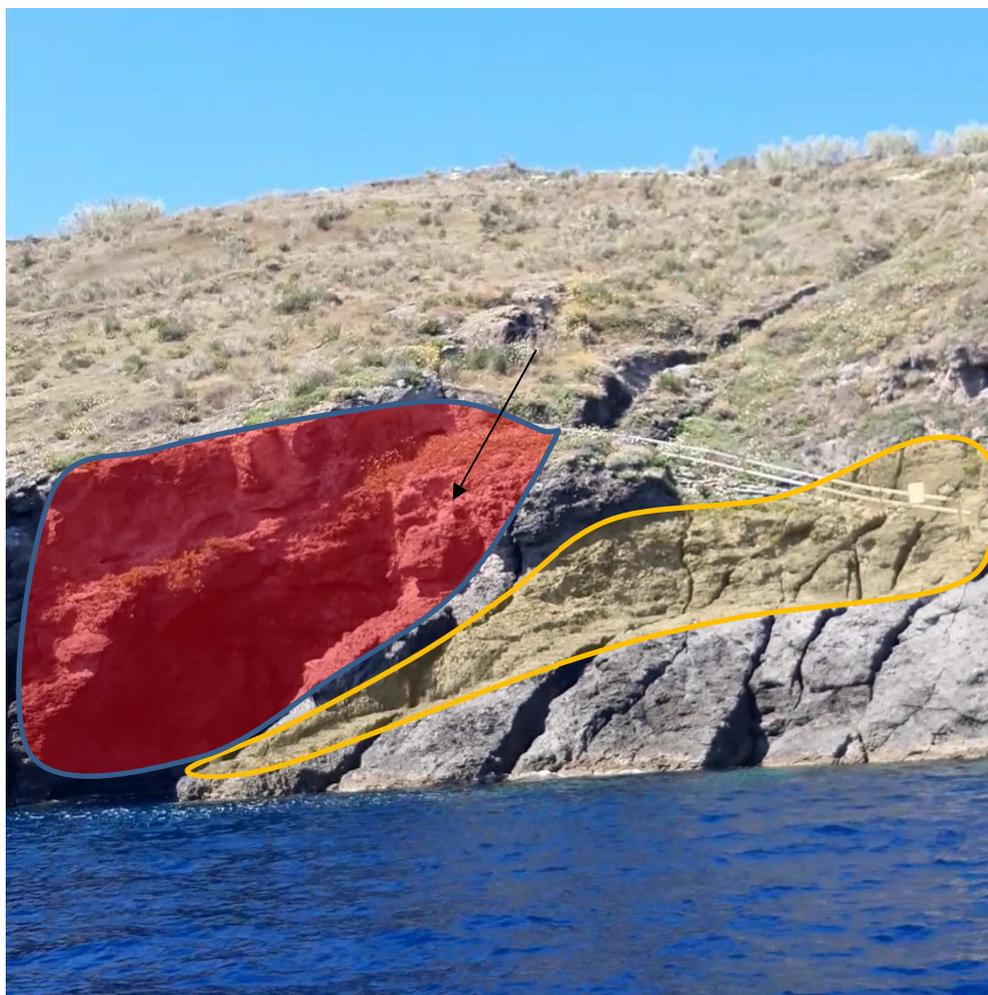


Fig. 16 In arancione le aree a terra che hanno dato esito negativo al test di Markland – In rosso le aree potenzialmente a rischio crolli di cunei – la freccia nera indica un cuneo disgiunto dal Comune di Ventotene

Nella stessa foto si può osservare un cuneo di roccia aggettante sull'insenatura disgiunto dall'Amministrazione Comunale di Ventotene nel novembre 2020.

Proseguendo sulle scale che portano dallo scalo 4 al reclusorio si può osservare, tra la prima e la seconda rampa, un muro in avanzato stato di degrado (fig.17). Pur non interessando direttamente il percorso, ai fini dell'incolumità delle persone si rende necessario un intervento di ripristino.



Fig. 17 muro in avanzato stato di degrado

In quest'area la falesia è sormontata da una parte alterata della roccia lavica a causa della presenza di vegetazione e degli agenti atmosferici. Sarà opportuno intervenire con l'installazione di reti ad alta resistenza e fune d'acciaio diagonale per contenere la caduta di potenziali blocchi di piccole dimensioni (decimetri) fig.18. La rete sarà integrata con barre di chiodatura di 1,5 m di lunghezza.

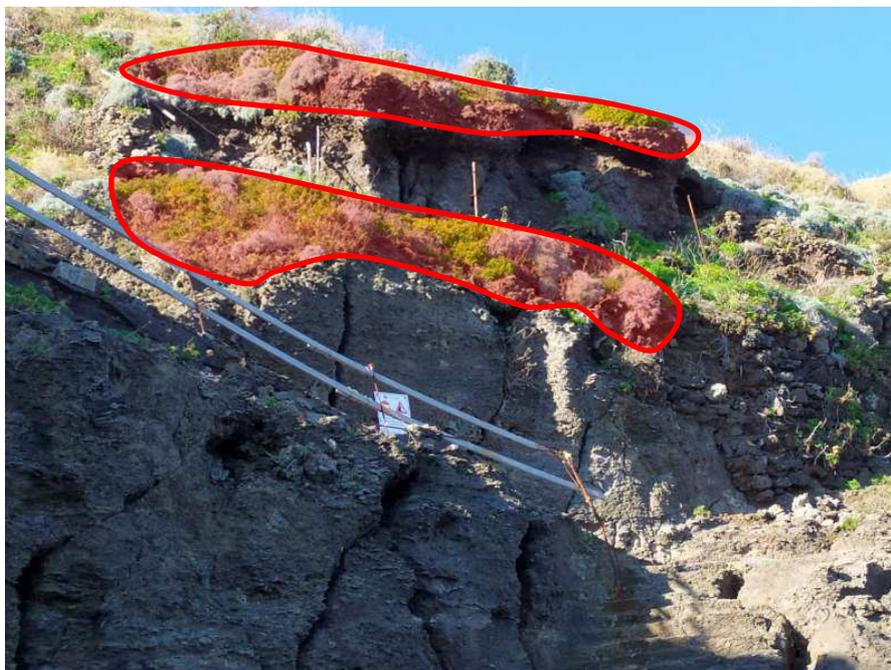


Fig. 18 aree sommitali della falesia costituite da fasce di alterazione

Il resto del percorso per il reclusorio è costituito in parte da muri a secco ed in parte in scavo in roccia. Per rendere più sicuro il passaggio in caso di emergenza si interverrà diffusamente con

interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria sui muri a secco e con pulizia e risagomatura degli scavi in roccia dove gli agenti atmosferici sono intervenuti a creare aggetti pericolosi, soprattutto in corrispondenza delle piroclastiti affioranti (fig.19).



Fig. 19 percorso scavato nella piroclastite – evidenza di vegetazione ed aggetti

Eventuali futuri interventi di altra natura, non contemplati dal presente progetto, sulle aree dello scalo 4 necessiteranno di opere di mitigazione del rischio frana. Gli interventi progettati in quest'area hanno il solo scopo di mitigare i rischi per l'incolumità delle persone che, solo nei casi di emergenza, abbiano l'esigenza di utilizzare l'approdo ed il percorso già esistente in luogo del realizzando approdo in località Marinella.

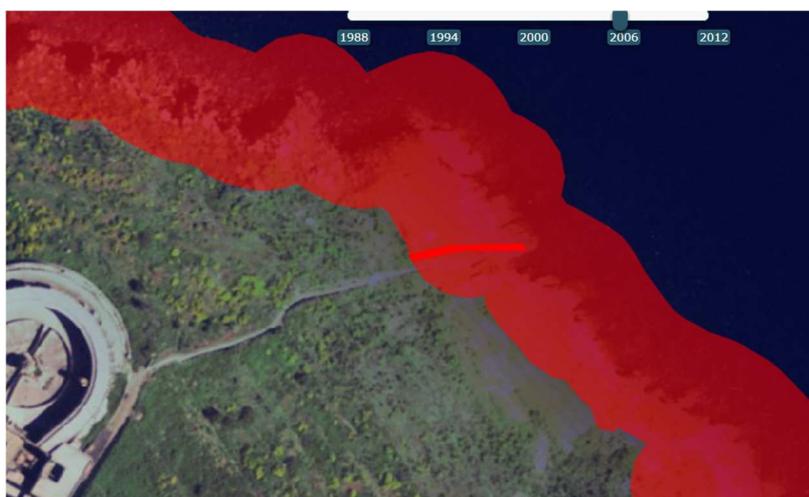


Fig. 20 stralcio delle aree a pericolo A (campitura trasparente) e rischio R4 (rosso intenso riferito alle scale scavate in roccia) – da geoportale nazionale MATTM <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>

6 Indicazione del Livello di Rischio Sismico dell'Opera ai sensi del R.R.n.26/2020 – Allegato C – Regione Lazio.

All'approdo in progetto è stata attribuita la classe d'uso III con riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17 gennaio 2018. Il Livello di Rischio Sismico dell'Opera, vista la classificazione sismica del Comune di Ventotene "in zona sismica 3b" NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA REGIONE LAZIO - DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE n. 387 del 22.05.2009 (BUR Lazio n. 24 del 27.06.2009 - Supplemento Ordinario 106) e s.m.i., in accordo con il Regolamento 26 ottobre 2020 n. 26, secondo la matrice dell'Allegato C risulterebbe, vista la classe d'uso III, di livello "Medio"

		PERICOLOSITA'				
		Zona Sismica				
PROGETTI		1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II		MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
→ classe d'uso III		ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV		ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Per il livello di Vulnerabilità dell'Opera Medio il R.R. fornisce un elenco di indagini e prove minime; nel caso in questione, come si chiarirà più avanti, si ricade nella casista "Su terreni":

- Almeno 1 sondaggio geognostico con prove SPT in foro più 1 prova penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU), dinamica (DPSH) o dilatometrica DMT, oppure almeno 2 prove penetrometriche di tipo statico (CPT, CPTE, CPTU) o dinamico (DPH, DPSH), che

consentano di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari consistenti il volume significativo;

- Nel caso di esecuzione del Sondaggio Geognostico: prelievo di campioni quando la litologia consente un campionamento indisturbato o almeno significativo, del terreno fondazionale da sottoporre a Prove Geotecniche di laboratorio, certificate ai sensi dell'articolo 59 del DPR 380/2001, per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche (Prova di Taglio Diretta, Prova Edometrica, Prova Triassiale, Prova di Taglio Ciclico, Colonna Risonante, ecc.);
- Almeno 2 prove geofisiche in sito attive (MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passive (REMI, SPAC, ESAC, f-k), MAAM, ecc.) possibilmente perpendicolari tra di loro per la definizione del profilo di velocità dell'onda S;
- Almeno 1 acquisizione di microtremore sismico a stazione singola (HVSR), per la definizione della frequenza di risonanza del terreno;
- Almeno una prova sismica diretta in foto (DH, CH, SDMT) eseguita fino alla profondità pari al raggiungimento del bedrock sismico o comunque fino alla profondità di almeno 30 metri, in tutti i casi in cui dovrà essere eseguito uno studio di risposta sismica locale per le classi d'uso III e IV.
- Analisi delle Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III o IV come previsto dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. inversione di velocità, bruschi passaggi di rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.II delle NTC'18, eseguita tramite: codice di calcolo 1D unicamente per sottosuoli costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica piana; codice di calcolo 2D da eseguire per sottosuoli non costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica non pianeggiante;

Per ottemperare a quanto richiesto dalle normative ed in ragione delle necessità progettuali è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche come meglio esposta nel paragrafo successivo. In merito alle richieste del R.R. è necessario chiarire quanto segue:

le indagini sono state effettuate a mare tramite motopontone ed i sondaggi sono stati realizzati sul fondale marino con notevoli difficoltà legate alla stabilità del pontone; è stata eseguita una campagna geofisica marina mediante indagini di tipo subbottom profiler, multibeam e side scan sonar, per ottenere dati sulla stratigrafia, morfologia e batimetria dei fondali; l'indagine geofisica M.A.S.W. per limiti tecnici e di spazio è stata effettuata sul piccolo approdo presente in località Marinella; le prove di laboratorio geotecnico, vista la natura dei terreni riscontrati in sito (sabbia,

ghiaia, ciottoli e blocchi), sono state limitate in assenza di campioni indisturbati ad una prova di taglio su campione di sabbia ricostruito ed alle analisi granulometriche. I terreni sono stati caratterizzati attraverso le prove SPT. Sul sito è stato eseguito un rilievo geomeccanico per la verifica di stabilità della falesia suddiviso su tre stazioni. Buona parte delle prove SPT hanno fatto registrare il rifiuto strumentale a sottolineare la difficoltà ad eseguire prove penetrometriche sia statiche che dinamiche. Inoltre, la delibera n.493 del 23 luglio 2019 *“Modifica deliberazione di Giunta regionale 22 maggio 2009 n. 387 concernente “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03”, come modificata dalla deliberazione di Giunta regionale 17 ottobre 2012, n. 489”* al punto 3. stabilisce “di prevedere la possibilità di ovviare allo studio di RSL per le opere di Classe d’uso III, eccetto le Strutture per l’Istruzione, laddove dalle indagini di cui all’Allegato C del regolamento regionale n. 14/2016 scaturiscano indicazioni tecniche evidenti e inconfutabili dell’appartenenza del sottosuolo a una delle Categorie di sottosuolo di fondazione indicate nella Tabella 3.2.II del DM. 17.01.2018, utilizzando in questi casi l’approccio semplificato previsto dallo stesso DM”. Nel caso in esame, sebbene sia stato possibile associare una classe di suolo ai fini sismici semplificata, è stata effettuata un’analisi numerica che ha comunque ricondotto ad una classe di sottosuolo semplificata prevista dal DM.

7 Campagna di indagini geognostiche.

Nel Novembre del 2020, la ditta Geodes Laboratori di Bevilacqua M. Gabriella, aggiudicataria del Servizi di indagine geognostica a mare a supporto della progettazione nell’ambito del “Contratto Istituzionale di Sviluppo - Recupero e rifunzionalizzazione ex Carcere Borbonico dell’isola di Santo Stefano Ventotene” - Intervento n. 3 Realizzazione/adequamento degli approdi all’isola di Santo Stefano, ha eseguito, il piano di indagini geognostiche e geofisiche per il progetto dell’approdo (Allegato 1 2017E037INV-01-D-GE-IND001).

Il piano delle indagini ha riguardato le seguenti attività:

1. N.2 sondaggi a carotaggio continuo spinti ad una profondità massima di circa 15 m dal fondale e circa 23 m dal l.m.m. per il riconoscimento dei terreni sui quali poggiano le fondazioni della struttura;
2. N.21 prove Standard Penetration Test di cui 10 nel foro di sondaggio denominato ST1 ed 11 nel foro di sondaggio denominato ST2;
3. analisi granulometriche e N.1 prova di taglio su campione di sabbia ricostituito

4. N.1 indagini sismiche di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves per la definizione del profilo di velocità delle onde S e l'attribuzione della classe di suolo di fondazione;
5. Rilievo geomeccanico eseguito su tre stazioni di misura.

Le indagini geofisiche marine sono state eseguite da Enviroconsult s.r.l.:

6. N.1 survey geofisica di tipo Subottom Profiler;
7. N.1 survey geosifica Multibeam;
8. N.1 survey geofisica Side Scan Sonar.

8 Classificazione sismica

Secondo la classificazione sismica della Regione Lazio DGR_387_22_05_2009 il Comune di Ventotene è classificato in zona 3b.

Per le NTC18 il reticolo per il calcolo dei parametri che definiscono l'azione sismica di progetto, quindi l'accelerazione massima a_g nel periodo di ritorno considerato, hanno parametri univoci che non variano per coordinate (Allegato B NTC). Di seguito si mostra la tabella valida per le isole italiane:

TABELLA 2: Valori di a_g , F_o , T_c per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c	a_g	F_o	T_c
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,425	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	2,000	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Seppur classificata con rischio sismico basso, è importante segnalare che in uno studio sul "MATERIALI PER UN CATALOGO DEI TERREMOTI ITALIANI: REVISIONE DELLA SISMICITÀ MINORE DEL TERRITORIO NAZIONALE" D. Molin¹, F. Bernardini², R. Camassi², C. H. Caracciolo², V. Castelli², E. Ercolani², L. Postpischl del 1 Dipartimento della Protezione Civile - Roma - 2 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Bologna, in merito alla sismicità storica di Ventotene Mercalli (1893) riporta integralmente, stralciandola dal "manoscritto Ranieri continuato da Ferdinando Patalano", una breve nota datata "Ventotene, 12 luglio 1848", nella quale vengono descritti gli effetti del terremoto nell'isola; sulla base delle informazioni

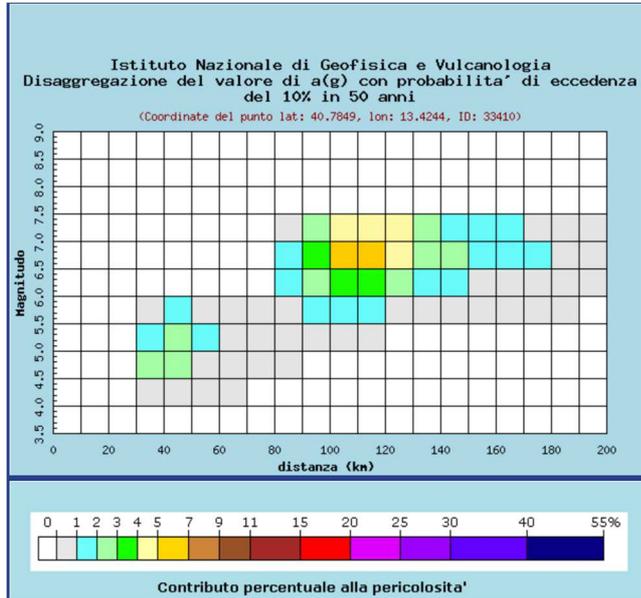
contenute in questo documento sono state compilate tab. 1 ed app. A. Trasformando l'ora in cui si è avvertita la scossa in Ventotene dal sistema all'italiana a quello attuale si ottengono le ore ore 23 (GMT) circa.

La nota è la seguente:

“1848 – Luglio 5, verso le 5 ital. – Scossa fortissima in Ventotene, che svegliò tutti e lesionò le case. ... Il ms. Ranieri, continuato da Ferdinando Patalano racconta questo terremoto di Ventotene nei seguenti termini: ... mentre eravamo tutti nel più profondo sonno, fece una tremenda scossa di terremoto, che fece risvegliare tutti gli abitanti di quest'isola ... Tutte le fabbriche furono lesionate non escluso il castello della piazza; ma sia gloria a Dio e a S. Candida nostra che nessuno pericolò della vita. ...”.

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano						
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia						
Data	1848 luglio 05 23					
Area epicentrale	Isola di Ventotene					
EqID	18480705_2300_000					
Studio di provenienza MDP	Molin et al., 2008					
Numero di MDP	2					
Massima intensità	7 MCS					
CPTI15	4.63 ± 0.46 [40.797, 13.431] lo 6					
Macro	4.63 ± 0.46 [40.797, 13.431] lo 6					
PlaceID	Place name	Sc	Lat	Lon	Int	Country
IT_54748	Ventotene	MS	40,797	13,431	7	IT
IT_54623	Ponza		40,892	12,965	4-5	IT

È stato inoltre eseguito, tramite il sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia <http://esse1gis.mi.ingv.it/>, uno studio di disaggregazione sismica. Lo studio ha confermato la bassa sismicità dell'area, tenendo conto del parametro di scuotimento in termini di ag, probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Di seguito si mostrano i grafici e le tabelle del risultato.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 40.7849, lon: 13.4244, ID: 33410)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.769	2.110	1.880	0.979	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.600	2.120	2.310	1.380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.115	0.834	1.200	0.823	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.001	0.238	0.565	0.453	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.046	0.281	0.251	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.005	0.442	0.861	1.040	1.120	0.698	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.468	1.790	2.950	3.740	2.690	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.205	1.720	3.580	5.290	4.290	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.038	1.240	3.240	5.320	4.640	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.779	2.730	4.910	4.520	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.337	1.580	2.930	2.610	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	1.080	2.150	1.890	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062	0.762	1.660	1.410	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.536	1.330	1.090	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.348	1.020	0.843	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.209	0.764	0.651	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.608	0.557	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
6.420	109.000	1.710

Si può notare come la ricerca di coppie Magnitudo-Distanza Epicentrale in grado di generare un'eccedenza del 10% di ag in 50 anni mostri una distanza media pari a 109 km dall'ipotetica sorgente sismogenetica ed una magnitudo media di 6,4. Inoltre, si nota anche la forte dispersione del contributo percentuale che ogni coppia di dati mostra.

9 Indagini geofisiche per la definizione della classe di suolo di fondazione ai fini del calcolo dell'amplificazione sismica ed indagini geofisiche a mare

Ai sensi del paragrafo 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE delle NTC18, per definire la categoria di sottosuolo ai fini del calcolo dell'amplificazione sismica

così come definita in tabella Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, è stata eseguita n.1 prospezione sismica di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves). La stessa sismica, come indicato nella planimetria ubicazione indagini dell'Allegato 1 2017E037INV-01-D-GE-IND001, è stata eseguita, in funzione dello spazio disponibile, sull'approdo Marinella parallelamente alla linea di costa.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

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

Dalla prova M.A.S.W.1, si evince che la V_s (V_{seq}) è pari a 594,00 m/s corrispondente ad una **classe di suolo B**. Il calcolo è stato ottenuto fissando a -5,00 m dal piano campagna il bedrock sismico ovvero dove la V_s supera 800 m/s, nel caso specifico 811 m/s. È evidente che seppur ubicata direttamente sul substrato lapideo la prova nei primi 5 m evidenzia lo strato di fratturazione ed alterazione dell'ammasso roccioso.

Bisogna chiarire, come evidenziato in precedenza, che vista l'impossibilità di eseguire prove MASW in mare, l'attribuzione della classe di suolo ai fini dell'amplificazione sismica della struttura in progetto deve essere fatta sulla base dell'incrocio di tutti i dati a disposizione (sismici, geologici, stratigrafici e geotecnici). In merito a ciò come si può osservare nelle stratigrafie di sondaggio e nella sezione geologica derivata dalle stratigrafie e dal rilievo geologico, il fondale prospiciente all'approdo è costituito da sabbie, ghiaie, ciottoli e blocchi di natura vulcanica (lave, scorie e piroclastiti) verosimilmente franate dalle falesie dell'isola e rimaneggiate dal moto ondoso. Il substrato geologico e sismico, rappresentato dalle lave affioranti sull'approdo immerge con angolo di 60°-70° e quindi subverticale in accordo con quanto si può osservare, non si rinviene nei primi 30 m dal fondale marino. È stata effettuata inoltre una serie di indagini geofisiche a mare per il riconoscimento delle stratigrafie dei fondali, la morfologia e la batimetria. Il rilievo batimetrico di dettaglio è stato svolto, nelle due aree oggetto di intervento, con strumentazione di ultima generazione in modalità RTK. La strumentazione utilizzata consente di aprire e chiudere il fascio

in fase di acquisizione; in condizioni di acqua bassa e/o fondali rocciosi, è stato possibile ruotare il fascio per acquisire gran parte delle superfici verticali ai due approdi oggetto di indagine. Di seguito si riporta l'acquisizione 3D del rilievo Multibeam:

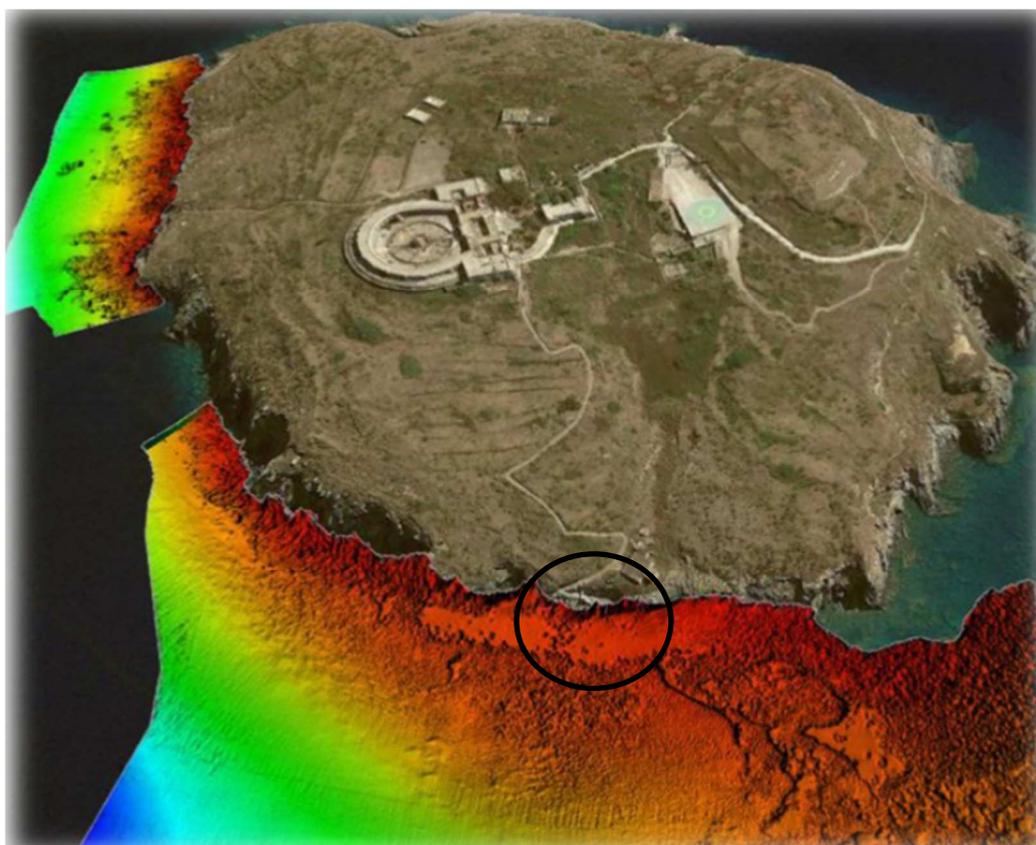


Fig. 21 risultato 3D del rilievo Multibeam

Si nota nell'area dell'approdo Marinella un'area pianeggiante che favorisce l'accumulo di materiali detritici.

Il sistema side-scan-sonar per il rilievo morfologico utilizzato è un sistema digitale in grado di operare in doppia frequenza selezionabile tra i 450 ed i 900 kHz con una copertura laterale (per canale) pari a 50 mt. (l'interlinea dei profili Side Scan Sonar utilizzata ha permesso una sovrapposizione del 100%). Le strisciate di acquisizione side-scan-sonar sono state corrette in tempo reale per la posizione del sensore rispetto al fondo (bottom track).

Di seguito un'interpretazione morfologica dei fondali dedotta dall'indagine S.S.S.:

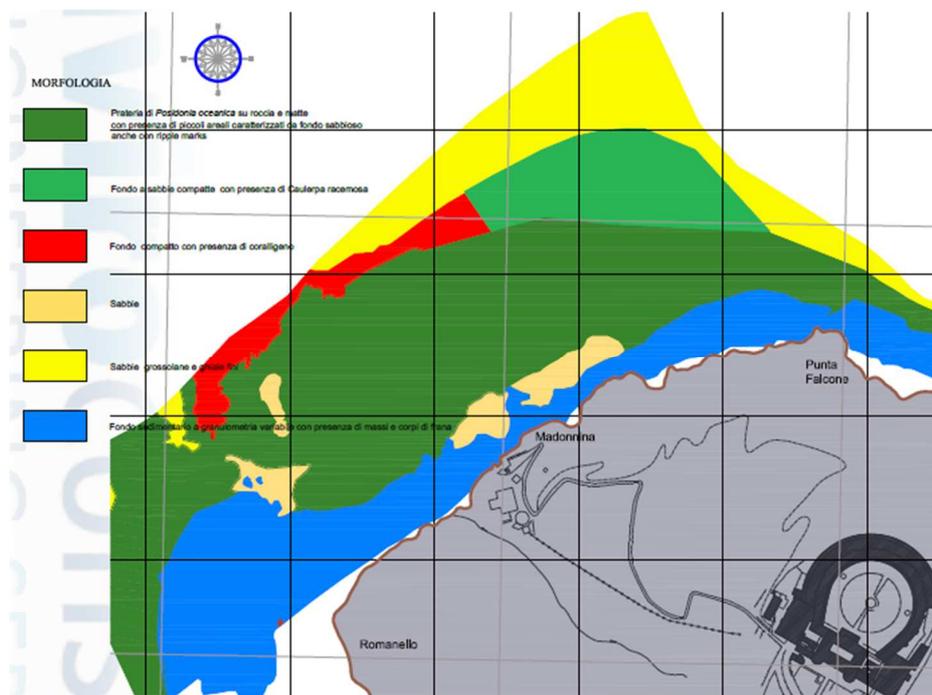


Fig. 22 interpretazione morfologica del rilievo side scan sonar

Si nota in azzurro, nell'area dell'approdo la presenza di sedimenti di varia granulometria (sabbia, ghiaie, ciottoli e blocchi) probabilmente ascrivibili ai fenomeni di crollo e di erosione della parte emersa dell'isola.

Per quanto riguarda il rilievo stratigrafico è stato eseguito con il Sub Bottom INNOMAR SES-2000 compact con impulso a frequenza di 5÷15 kHz, controllato dal software di acquisizione SESWIN. Il sistema, interfacciato con il software di navigazione QinSy™, ha fornito ad intervalli di tempo pari ad 1 secondo il Fix e le coordinate riferite al trasduttore. Durante le operazioni di acquisizione dati il trasduttore è stato montato a murata e tenuto mediante un apposito supporto ad una profondità costante di 0.9 mt. Le acquisizioni Sub Bottom Profiler hanno previsto profili con interlinea di 25 mt (vedi fig.23).

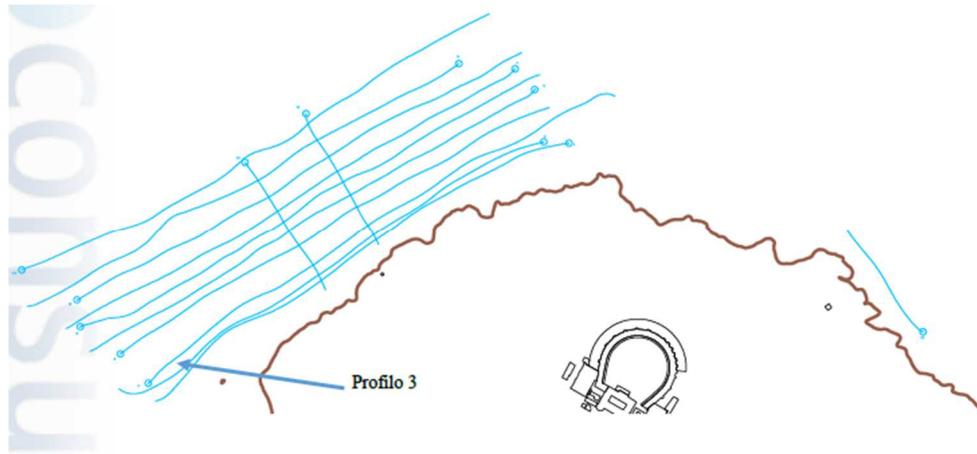


Fig. 23 tracce delle sezioni dell'indagine sub bottom profiler

L'analisi dei profili Sub Bottom Profiler, per la tipologia di fondale riscontrato, non ha restituito risultati particolarmente significativi. All'Approdo della Marinella, gran parte dell'area è ricoperta da Posidonia oceanica particolarmente folta che impedisce la penetrazione.

L'immagine seguente, che riporta la sezione segnata in planimetria come profilo 3, mostra la riflessione del fondale e le riflessioni multiple degli strati più profondi.

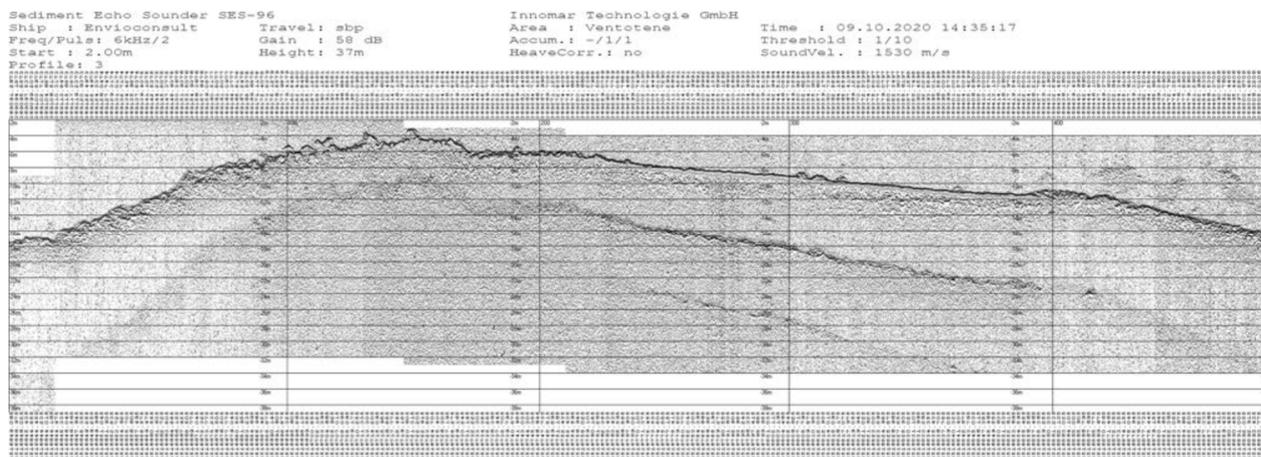


Fig. 24 sezione sismica dal sub bottom profiler – profilo n.3

La difficoltà di penetrazione è dovuta a due aspetti: la copertura di prateria di posidonia oceanica e la pendenza del fondale.

Tutto ciò premesso, cautelativamente si consiglia l'attribuzione della **classe di suolo di tipo C**. In conclusione, si consiglia l'utilizzo della classe di suolo C per l'amplificazione stratigrafica e la categoria T1. Si ricorda inoltre che la CIRCOLARE 21 gennaio 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, in casi residuali consente il ricorso a correlazioni empiriche «di

comprovata affidabilità” solo per il metodo semplificato. A tal proposito, l'utilizzo del metodo proposto da M. Pietrantonì, A. Tagliaferri, M. Petrangeli “Valutazione dell'affidabilità delle prove SPT per la caratterizzazione sismica dei terreni” – Rivista Geotecnica Italiana, che mette in correlazione i dati N_{spt} con V_s attraverso una regressione lineare multipla in considerazione della profondità della prova, per la tipologia di terreno considerato “ghiaie e sabbie con abbondanti ghiaie”, ha fornito valori compresi tra 268 m/s e 433 m/s di V_s riconducibili alla classe C e B per il metodo semplificato, confermando **la classe C** come più appropriata all'assetto stratigrafico.

10 Analisi numerica di risposta sismica locale

Ad ulteriore conferma della scelta cautelativa della classe di suolo di fondazione C, è stata eseguita un'analisi di risposta sismica locale utilizzando come accelerogrammi di input quelli forniti dalla Regione Lazio ed ottenuti dallo studio ENEA nell'ambito della nuova zonazione sismica della Regione Lazio con finalità di utilizzo per gli studi di microzonazione sismica di III livello o studi di risposta sismica locale. La Regione Lazio, infatti, ha commissionato ad ENEA1 l'analisi della pericolosità sismica regionale con l'obiettivo di raggruppare le Unità Amministrative Sismiche in Gruppi con caratteristiche sismologiche omogenee. A partire dagli spettri di risposta ad hazard uniforme calcolati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV3-probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni) per l'intero territorio nazionale, sono stati individuati in base alle relative forme spettrali 6 Clusters di UAS e quindi 6 forme spettrali rappresentative. Per ogni UAS è stato calcolato il valore di A_{grif} corrispondente alla massima accelerazione attesa del suolo, vale a dire per $T=0$, calcolato come 90esimo percentile dei valori elaborati da INGV (probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni) compresi all'interno dei relativi confini amministrativi. Le NTC18 e la relativa circolare consentono l'utilizzo, nelle analisi dinamiche, di registrazioni di eventi naturali a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata. Gli accelerogrammi naturali devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame. Conformemente alle disposizioni contenute nelle NTC18, la selezione delle registrazioni naturali di riferimento è stata eseguita interrogando la banca dati accelerometrica European Strong Motion database5 sulla base dei parametri sismologici (magnitudo e distanza epicentrale) risultanti dall'analisi della pericolosità sismica regionale. La ricerca è stata focalizzata su eventi con meccanismo focale distensivo e registrazioni ottenute su roccia o suolo molto compatto ed in condizioni di free-field. Sono state così individuate, per ciascun Gruppo di UAS, le 5 registrazioni accelerometriche naturali aventi le forme spettrali più simili allo spettro ad hazard uniforme rappresentativo del Gruppo. Tali registrazioni sono state

ulteriormente adattate allo spettro di riferimento seguendo una metodologia che consente di mantenere le caratteristiche naturali degli accelerogrammi. Tutti gli accelerogrammi regionali (quelli naturali e quelli spettro-compatibili) sono stati infine normalizzati al relativo picco di accelerazione, in modo da poter essere scalati al valore di A_{g0rif} calcolato per la UAS di interesse.

Il set di dati utilizzato è il seguente

Comune	Accelerogrammi	Zona sismica	UAS Enea	Valore ag A_{g0rif}
Ventotene	<u>1259033_000</u>	3B	1	0.0581

Gli accelerogrammi utilizzati sono già scalati alla PGA 0,058g per il sito di interesse. Nel caso specifico sono stati riscalati alla a_{max} del $T_r=712$ considerato quindi PGA 0,066g.

L'analisi numerica è stata condotta con il software Strata secondo il metodo lineare equivalente. I più comuni codici di calcolo (Shake, EERA, Strata, etc.), agiscono in un contesto semplificato di tipo elastico-equivalente ovvero lineare-equivalente. Nel caso specifico è stato utilizzato il codice di calcolo Strata che rappresenta i rapporti sforzi deformazioni del terreno basato sul modello (modificato) Kelvin-Voigt secondo la seguente formula:

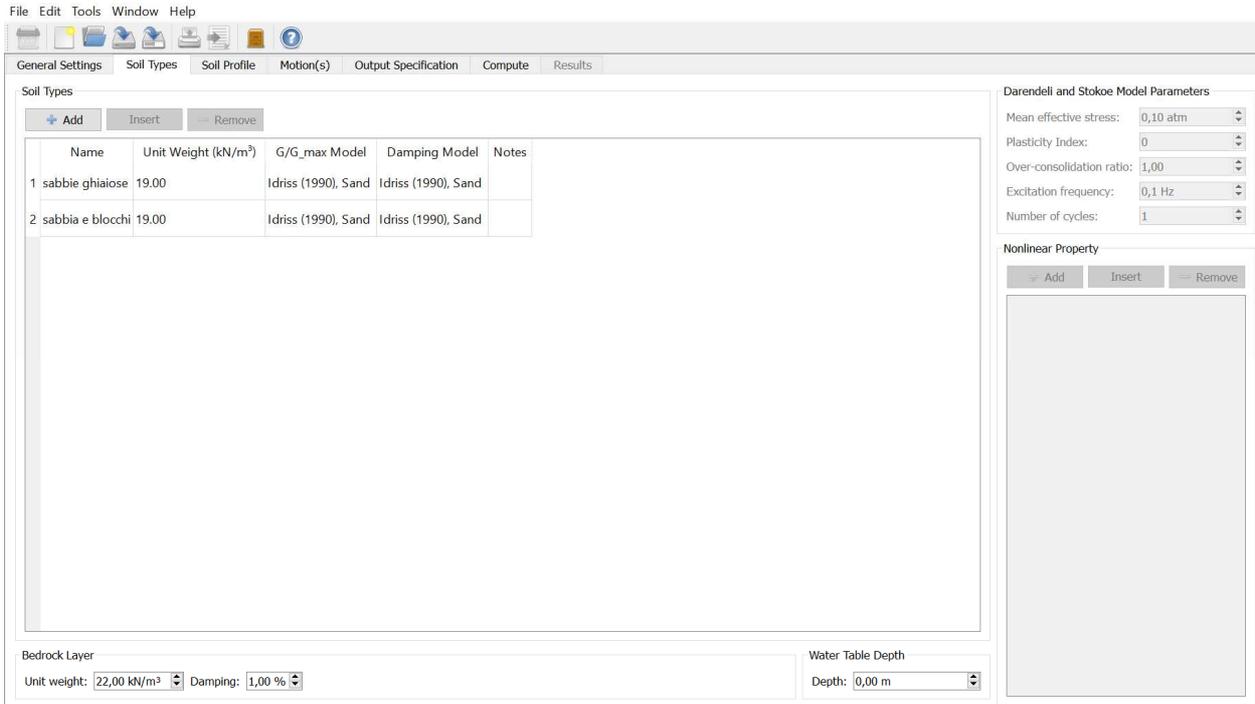
$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}^*$; dove τ è lo sforzo di taglio, G il modulo di taglio, γ la deformazione, η la viscosità e $\dot{\gamma}^*$ il tasso di incremento della deformazione. Il modello fisico consiste di N strati piani e paralleli, di estensione orizzontale infinita, su un semispazio (bedrock). Ogni strato, considerato omogeneo ed isotropo, è caratterizzato dallo spessore h , dalla densità ρ , dal modulo di taglio G , e dal fattore di smorzamento ζ . Il software contiene ed utilizza, al fine di caratterizzare l'analisi dal punto di vista dinamico (da qui il termine lineare-equivalente) e quindi tenere in considerazione la non-linearità dei suoli, alcune curve $G/G_{max} - \gamma$ e dello smorzamento $D - \dot{\gamma}$, per ogni tipo di terreno (coesivo, incoerente e rocce), tra quelle più note in letterature e riconosciute dalla comunità scientifica (es. per le argille Seed and Sun, 1989 - Idris, 1990; per le sabbie Seed and Idris, 1970 - Idris, 1990). La caratterizzazione geologico-tecnica dei litotipi è scaturita dal rilevamento geologico e dalle risultanze delle indagini geognostiche e geofisiche.

La sismostratigrafia è quella ricavata dalle indagini sopradescritte e nello specifico:

sismostrato	Profondità (m)	Peso dell'unità di volume (KN/m³)	Vs (m/s)
Sabbie ghiaiose	0-10	19	268
Sabbie e blocchi	10-30	19	433
Substrato lavico	>30 m	22	811

Di seguito si mostrano i passaggi seguiti con il software Strata:

il primo passaggio la definizione dei terreni al di sopra del bedrock sismico con la scelta delle curve di smorzamento e G/G_{max}



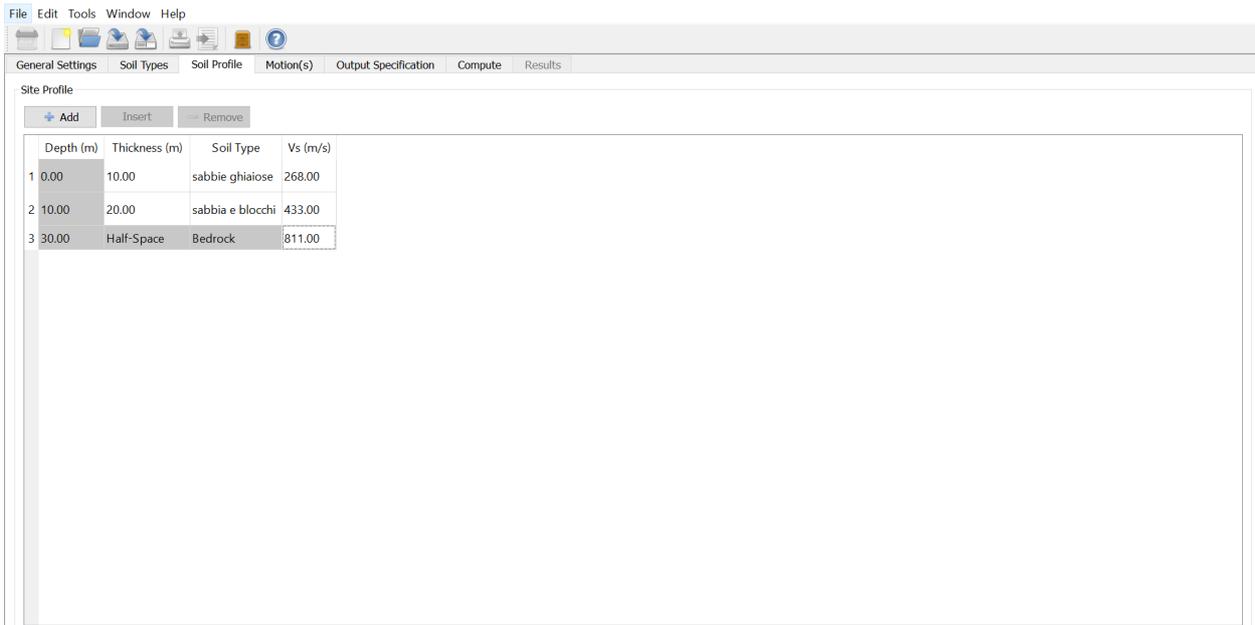
The screenshot shows the 'Soil Types' configuration window. It includes a table for defining soil types and several parameter settings on the right.

Name	Unit Weight (kN/m³)	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1 sabbie ghiaiose	19.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	
2 sabbia e blocchi	19.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	

Parameters on the right:

- Darendeli and Stokoe Model Parameters:
 - Mean effective stress: 0,10 atm
 - Plasticity Index: 0
 - Over-consolidation ratio: 1,00
 - Excitation frequency: 0,1 Hz
 - Number of cycles: 1
- Nonlinear Property: (Empty)
- Bedrock Layer:
 - Unit weight: 22,00 kN/m³
 - Damping: 1,00 %
- Water Table Depth:
 - Depth: 0,00 m

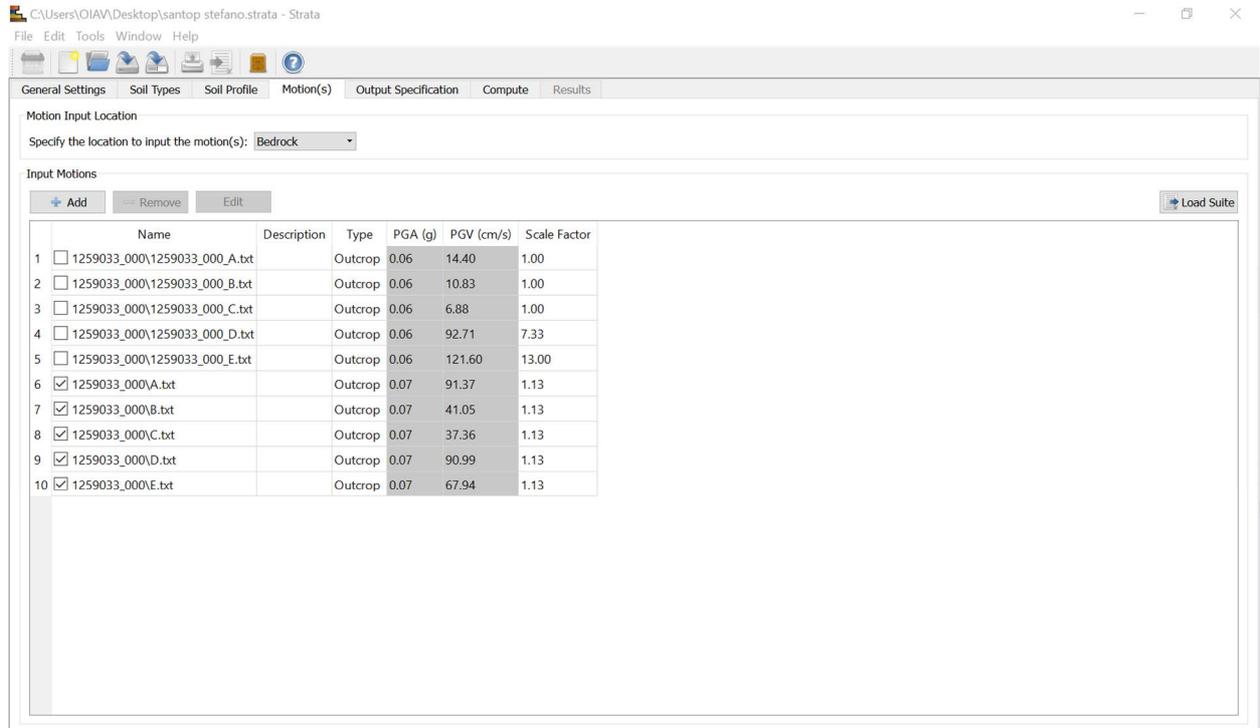
Segue la definizione del profilo sismostratigrafico già mostrato



The screenshot shows the 'Site Profile' configuration window. It includes a table for defining the site profile layers.

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1 0.00	10.00	sabbie ghiaiose	268.00
2 10.00	20.00	sabbia e blocchi	433.00
3 30.00	Half-Space	Bedrock	811.00

La scelta degli input sismici ricavati dal set accelerometrico della Regione Lazio per il comune di Ventotene

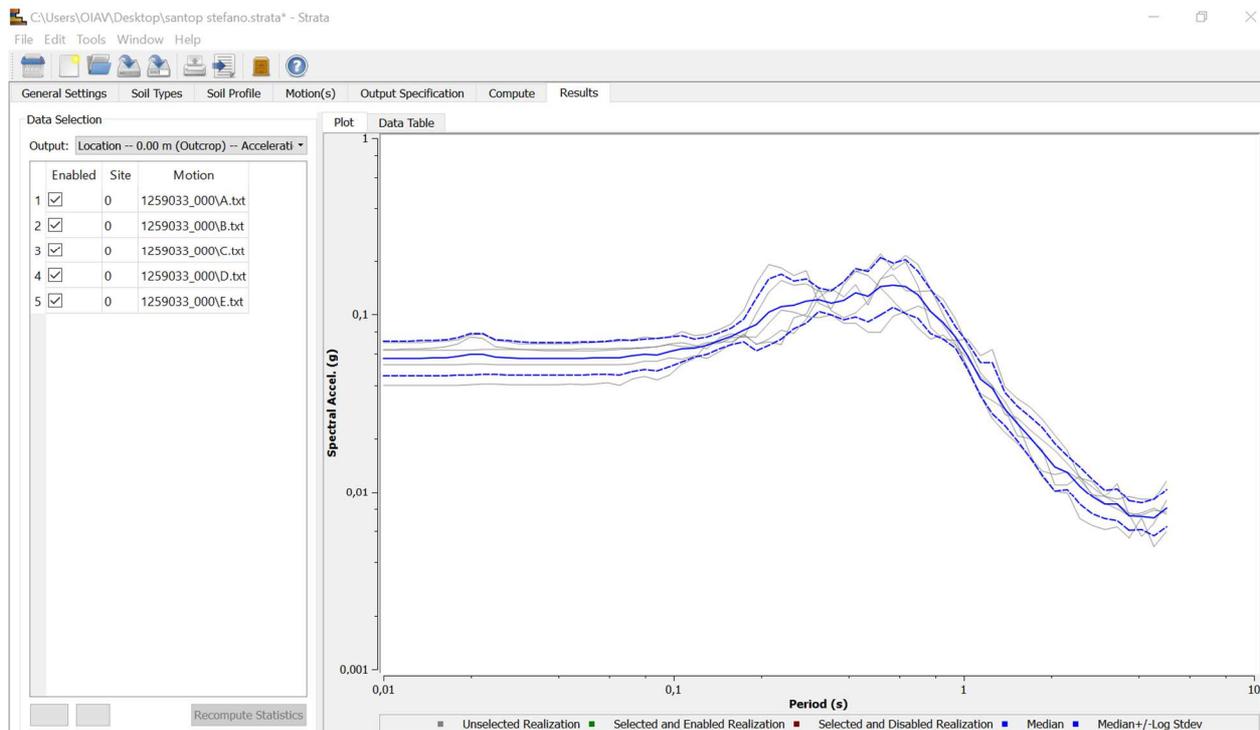


Motion Input Location
Specify the location to input the motion(s): **Bedrock**

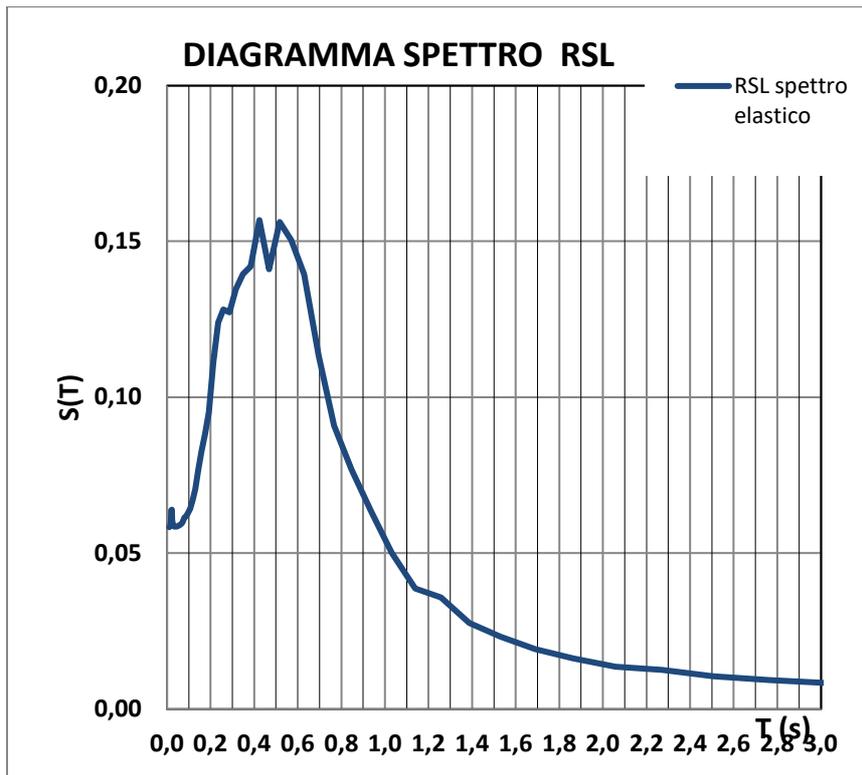
Input Motions

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input type="checkbox"/> 1259033_000\1259033_000_A.txt		Outcrop	0.06	14.40	1.00
2	<input type="checkbox"/> 1259033_000\1259033_000_B.txt		Outcrop	0.06	10.83	1.00
3	<input type="checkbox"/> 1259033_000\1259033_000_C.txt		Outcrop	0.06	6.88	1.00
4	<input type="checkbox"/> 1259033_000\1259033_000_D.txt		Outcrop	0.06	92.71	7.33
5	<input type="checkbox"/> 1259033_000\1259033_000_E.txt		Outcrop	0.06	121.60	13.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> 1259033_000\A.txt		Outcrop	0.07	91.37	1.13
7	<input checked="" type="checkbox"/> 1259033_000\B.txt		Outcrop	0.07	41.05	1.13
8	<input checked="" type="checkbox"/> 1259033_000\C.txt		Outcrop	0.07	37.36	1.13
9	<input checked="" type="checkbox"/> 1259033_000\D.txt		Outcrop	0.07	90.99	1.13
10	<input checked="" type="checkbox"/> 1259033_000\E.txt		Outcrop	0.07	67.94	1.13

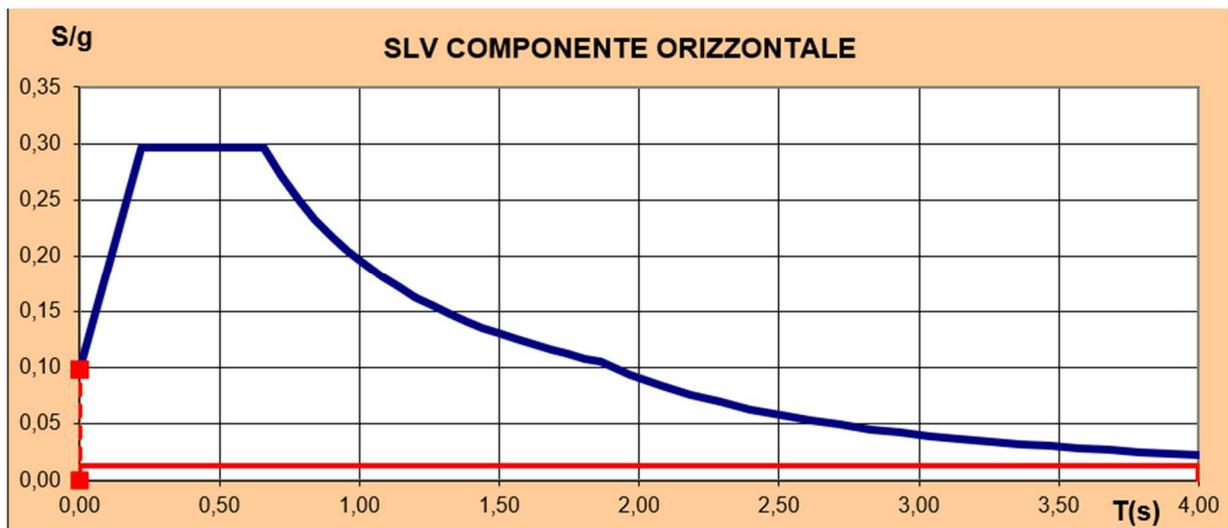
Infine, lo spettro di risposta elastica calcolato per SLV



Lo spettro di risposta elastica ottenuto ha fornito risultati della a_{max} inferiori a quelli considerati dallo spettro di normativa in classe C. Nel dettaglio a_{max} da RLS risulta 0,07 g mentre lo spettro amplificato in classe C per la $V_n=50$, classe d'uso III e $V_r=75$ restituisce $a_{max}=0,099$. **Si conferma la classe di suolo C** in via cautelativa.



Spettro RSL – SLV



Spettro NTC– SLV – casse di suolo C

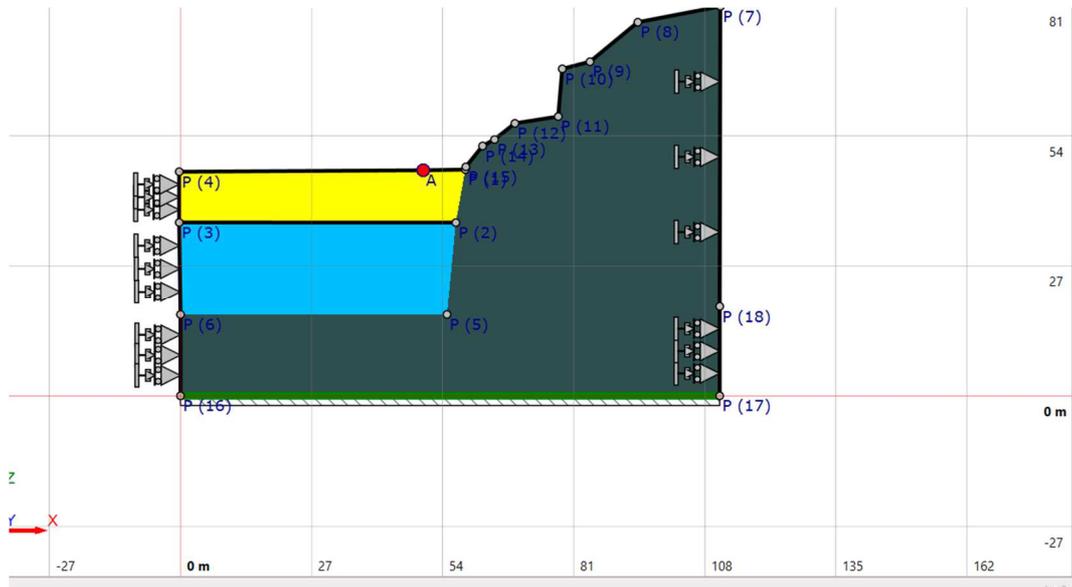
Nella tabella seguente vengono riportati i parametri sismici di SLV previsti dal D.M: 17/01/2018 per il progetto in esame.

Vita Nominale	V_N	anni	50
Coefficiente Classe d'Uso	C_U	-	1,5
Periodo di Riferimento Sisma	V_R	anni	75
Tempo di Ritorno	T_R	anni	712
Accelerazione sismica al bed rock	a_g	[g]	0,066
Parametro Spettro	F_0	-	3,004
Categoria Sottosuolo		-	C
Coeff. di Amplificazione Stratigrafica	S_S	[-]	1,50
Coeff. di Amplificazione Topografica	S_T	[-]	1,00
Accelerazione orizzontale max	a_{max}	[g]	0,099
Riduzione accelerazione max	β_m	[-]	0,38
Coefficiente sismico orizzontale	k_h	[-]	0,038
Coefficiente sismico verticale	k_v	[-]	0,019

Anche le analisi numeriche di risposta sismica locale 2D eseguite con software LSR2D della Stacec hanno fornito uno spettro di risposta elastica medio di output che è interamente contenuto nello spettro elastico di normativa in classe C senza mostrare superamenti.

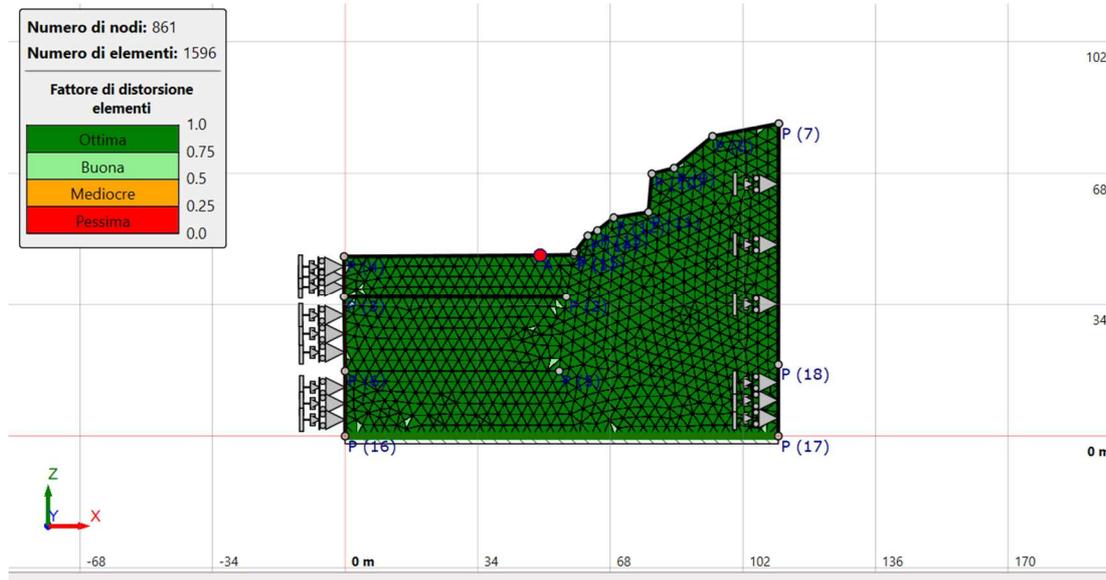
L'analisi 2D ha consentito di considerare anche eventuali contributi dovuta alla stratigrafia non piano-parallela soprattutto per quanto riguarda i sedimenti marini poggianti verso terra al substrato roccioso con contatto di tipo onlap. Anche in questo caso il set degli accelerogrammi usato è quello fornito dalla Regione Lazio per l'Unità Amministrativa Sismica nella quale ricade il Comune di Ventotene. Si ricorda che tali accelerogrammi sono forniti già in versione spettro compatibile con quelli di normativa, nel caso specifico riscaldati alla a_g relativa alla classe d'uso III con $T_r=712$ anni per SLV.

Nell'immagine seguente la ricostruzione del modello 2D; nel modello sono state considerate le condizioni al contorno rappresentate smorzatori viscoelastici nella direzione orizzontale per evitare fenomeni di riflessioni delle onde sismiche.



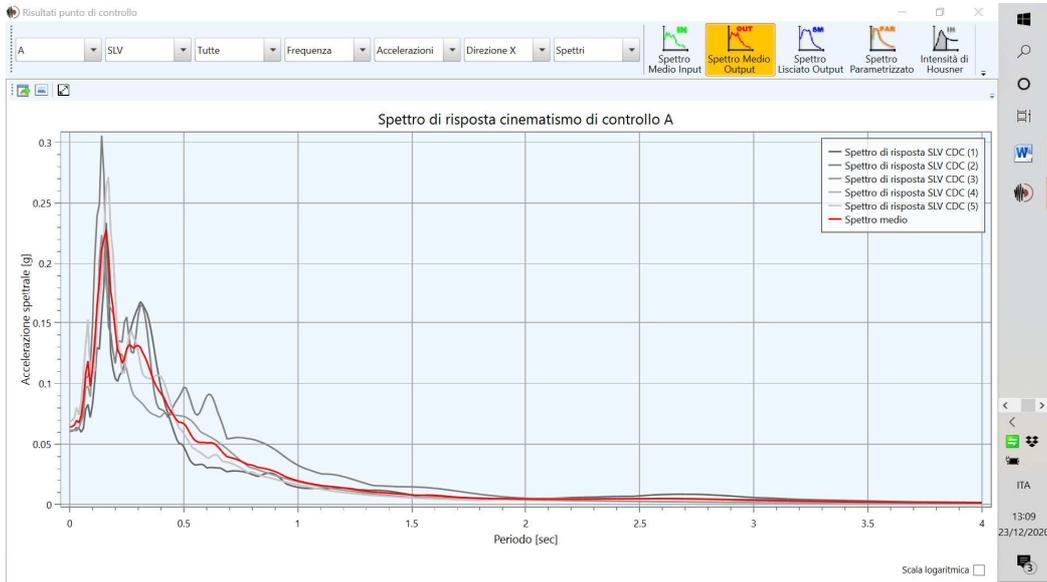
Modello 2d per la risposta sismica locale

La generazione dei mesh per il calcolo ha mostrato un'ottima definizione geometrica degli elementi come si nota nella figura seguente.



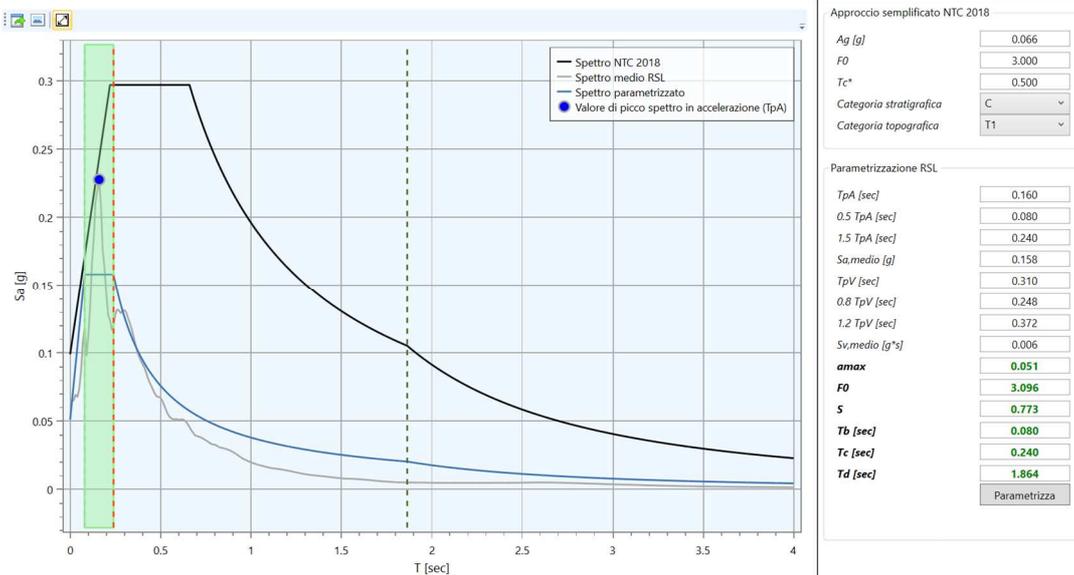
Generazione mesh del modello

Per le condizioni di carico considerate sono stati calcolati gli spettri di risposta elastica e lo spettro medio:



Spettri elastici di output per SLV e spettro elastico medio

Il risultato tra il confronto dello spettro elastico per SLV ottenuto dall'analisi numerica di risposta sismica locale 2D e quello da normativa scelto per la progettazione in classe C mostra che il primo non supera mai il secondo come mostrato in figura. Lo spettro ottenuto con RSL, grazie al software LSR2D, è stato anche regolarizzato secondo l'O.P.C.M. n.55 del 24 aprile 2018.



11 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dei sedimenti del fondale marino ai fini delle verifiche geotecniche della struttura dell'approdo (cassone autoaffondante e relativo strato di tout venant, radice a terra) è stata ottenuta dalle prove in situ effettuate nel corso delle perforazioni dei sondaggi ST1 ed ST2 e dalle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati (semidisturbati) prelevati.

Sono state effettuate n.21 prove in foro del tipo Standard Penetration Test di cui n.10 nel sondaggio ST1 e n.11 nel sondaggio ST2. I risultati sono riassunti nella seguente tabella:

sondaggio	SPT	prof. da l.m.m.	Nspt	prof. dal fondale
ST1	1	9,00	46	1,00
ST1	2	10,50	51	2,50
ST1	3	11,00	68	3,00
ST1	4	12,00	rif 12cm	4,00
ST1	5	13,50	rif 7cm	5,50
ST1	6	14,50	39	6,50
ST1	7	16,00	36	8,00
ST1	8	17,00	55	9,00
ST1	9	19,00	rif 7cm	11,00
ST1	10	20,00	rif 5cm	12,00
sondaggio	SPT	prof. da l.m.m.	Nspt	prof. dal fondale
ST2	1	8,00	22	2,00
ST2	2	10,50	rif 10cm	4,50
ST2	3	11,00	rif 7cm	5,00
ST2	4	13,00	rif 7cm	7,00
ST2	5	14,50	55	8,50
ST2	6	15,00	63	9,00
ST2	7	17,00	rif 10cm	11,00
ST2	8	18,20	43	12,20
ST2	9	19,00	43	13,00
ST2	10	20,00	rif 12cm	14,00
ST2	11	21,50	rif 2cm	15,50

Da un primo confronto dei risultati con le *“raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”* A.G.I. 1977 (Associazione Geotecnica Italiana), i sedimenti sono classificabili, in relazione allo stato di compattezza orientativa, da addensati a molto addensati, solo in un caso risulta moderatamente addensato. Di seguito la tabella 4.5 delle raccomandazioni sopra menzionate.

SABBI E

N	valutazione dello stato di addensamento
0 – 4	sciolto
4 – 10	poco addensato
10 – 30	moderatamente addensato
30 – 50	addensato
> 50	molto addensato

Vista la natura granulometrica rappresentata da sabbie, ghiaie, ciottoli e blocchi, è stato possibile eseguire solo una prova di taglio diretto su campione ricostruito. Si ricorda che il campione ricostituito non tiene conto della presenza della componente granulometrica più grossolana e che il risultato in termini di parametri geotecnici potrebbe risultare cautelativo. Di seguito si riassumono i risultati della prova:

Sondaggio	campione	Profondità I.m.m.(m)	Profondità da fondale (m)	Φ (°)	C' (Kpa)
ST1	S1C1	-15,50	-7,50	33,6	2,94

La caratterizzazione della parte emersa dell'isola e comunque dell'ammasso roccioso costituente la falesia è stata ricavata dalle prove sclerometriche con martello di Schmidt eseguite propedeuticamente al rilievo geomeccanico. Sono state eseguite n.2 serie x 20 misure con martello di Schimdt in corrispondenza dell'approdo Marinella (stazioni di misura SG1-SG2A/B) e scalo n.4. Il risultato delle prove ed i parametri ricavati dal valore RMRb (Rock Mass Rating che verrà discusso nei prossimi paragrafi) sono di seguito mostrati:

stazione	RMRb	RMRs	RMRc	Φ (°)	Coesione (Kpa)	Deformabilità (Mpa)
SG1	63	56	38	36,5	315	26
SG2A	62	52	37	36	310	24
SG2B	61	51	36	35,5	305	22
SG3	67	60	42	38,5	335	34

12 Carta geologica e sezioni geologiche

Dal rilievo di campagna sugli affioramenti presenti sull'isola, dai sondaggi geognostici effettuati e dall'interpretazione delle indagini geofisiche marine effettuate da Enviroconsult s.r.l., nonché dalla

consultazione della cartografia geologica preesistente (Bellucci et al., 1999) è stato possibile ricostruire la carta geologica dell'area interessata alla realizzazione dell'approdo in località Marinella (elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV014).

La carta geologica, che rappresenta sia le aree a terra sia le aree a mare, mette in evidenza la presenza di un substrato geologico costituito da lave e scorie litoidi fratturate immergenti verso mare con angolo compreso tra 60° e 80° di inclinazione ascrivibile alla Formazione di Santo Stefano nelle aree emerse mentre a mare, così come si evince dalle stratigrafie di sondaggio, si rinvencono sedimenti sciolti da addensati a molto addensati costituiti da sabbie, ghiaie, ciottoli e blocchi di natura basaltica e piroclastica.

Per evidenziare i rapporti stratigrafici delle litologie presenti nel sito sono state realizzate tre sezioni geologiche alla scala 1:200 (elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV015).

13 Inquadramento geomorfologico, rischio idrogeologico, interventi di mitigazione.

La geomorfologia dell'isola è legata ai processi vulcanici che hanno portato alla formazione dell'isola stessa. Abbiamo già detto che Santo Stefano rappresenta un cono laterale relitto dell'antico edificio del vulcano Ventotene. La forma dell'isola è circolare con la zona centrale che si presenta più o meno pianeggiante e che degrada con pendenza sempre più accentuate man mano che si procede verso mare. Le falesie sono condizionate dalla litologia di tipo lavico e si presentano subverticali. Tutto il perimetro dell'isola in corrispondenza delle falesie è cartografato A dal piano stralcio per l'assetto idrogeologico pericolo frana "Aree a Pericolo A (c. 2 art. 6 e art. 16)" EX AUTORITA' DEI BACINI REGIONALI DEL LAZIO-PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) - AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER DISSESTO IDROGEOLOGICO. Sono classificati a rischio R4 alcuni tratti del sentiero che conduce dall'approdo Marinella oggetto della presente progettazione (fig. 20). Per una migliore comprensione si rimanda all'elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV018 che riporta la sovrapposizione del rischio e/o pericolo con le opere in progetto.

La fenomenologia del dissesto presente sulle falesie dell'isola e che grava sulle opere sopra citate è da identificare principalmente in crolli. I crolli interessano diffusamente le falesie che bordano l'isola e sono localizzati soprattutto lì dove le famiglie di fratture principali, dovute alla fase di raffreddamento delle lave vulcaniche, incrociano fratture occasionali circa subverticali e a franapoggio rispetto alle scarpate e formano cunei potenzialmente instabili con conseguente possibile arretramento della falesia.

AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER DISSESTO IDROGEOLOGICO



Fig. 25 stralcio carta P.A.I del rischio e pericolo frane

Sulla base del rilievo geologico e geomeccanico è stato possibile elaborare n. 4 sezioni geomorfologiche in cui si mettono in evidenza i principali elementi che danno luogo al potenziale dissesto idrogeologico. Le sezioni mostrano come gli elementi potenzialmente instabili sono il risultato di tre condizioni essenziali: la prima è l'intersezione di più fratture diversamente orientate, la seconda l'inclinazione della falesia e la terza il grado di alterazione. L'alterazione è dovuta a diversi fattori, tra i quali l'infiltrazione di acque piovane, la presenza di vegetazione nella parte sommitale e l'azione del mare e degli agenti atmosferici nella parte basale.

Bisogna sottolineare che, come mostrato nell'elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV018 l'intervento di mitigazione e l'analisi del dissesto è limitato all'area interessata dal progetto dell'approdo ed a quelle aree che potenzialmente ed indirettamente potrebbero essere coinvolte dal dissesto analizzato. Infatti, allontanandosi dalle falesie, le inclinazioni del versante diminuiscono repentinamente facendo venire meno uno dei fattori di innesco dei potenziali crolli. Di seguito, a titolo di esempio, si mostra una sezione con evidenza delle aree potenzialmente instabili (in crollo – campitura rossa) con relative alterazioni (campitura verde), dove è possibile osservare il cambio di pendenze della falesia in località Marinella.

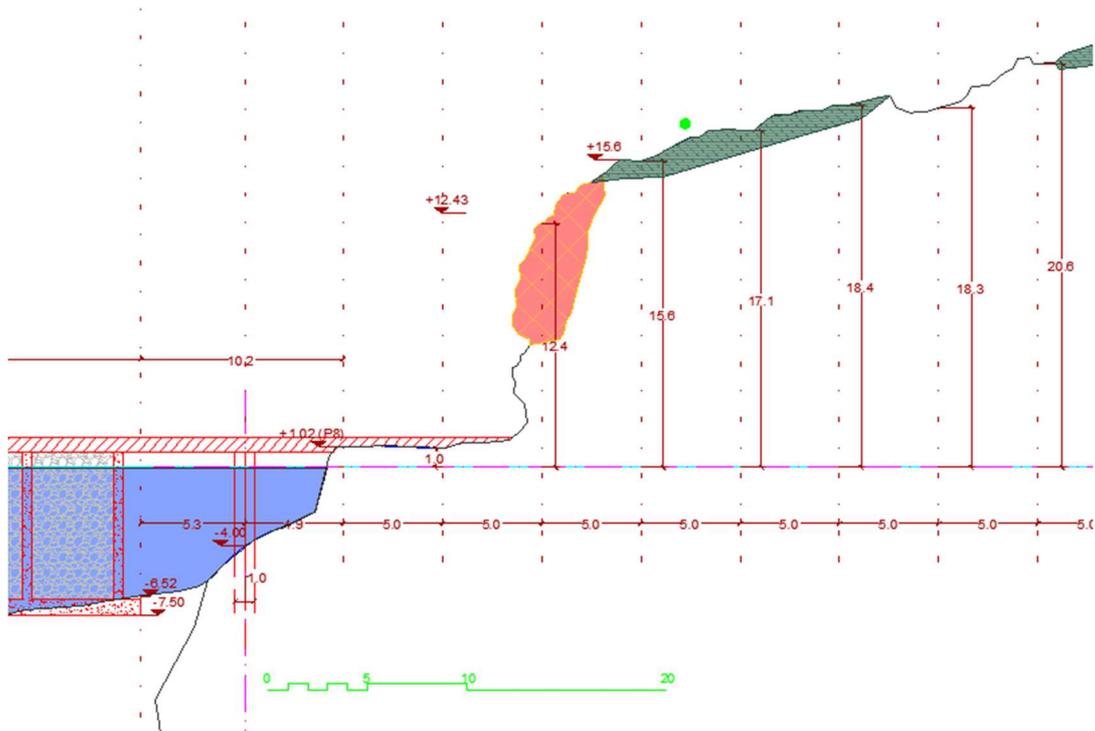


Fig. 26 sezione geomorfologica A-A'

L'altezza media della falesia è circa 15 m s.l.m. mentre dal piano di calpestio dell'attuale approdo l'altezza media è di circa 14 m. L'estensione di questo tratto della falesia è di circa 60 m. Ci sono altre due zone interessate in misura minore da potenziali crolli che sono identificabili come la zona immediatamente a valle della prima rampa di scalini che dall'approdo conduco al carcere borbonico e a monte della seconda rampa. Di seguito un'immagine per comprendere meglio l'ubicazione delle aree in dissesto dell'approdo.



Fig. 27 foto prospettica della falesia dell'approdo Marinella con aree in potenziale crollo

Come verrà illustrato più avanti, si intende intervenire per la mitigazione del rischio frana con due modalità tra loro complementari riassumibili in:

- Chiodatura con barre di chiodatura in acciaio tipo Dywidag con diametri da Φ 17,5 mm a Φ 26,5 mm e lunghezza compresa tra 1,5 e 6 m e piastra di bloccaggio per i cunei di roccia potenzialmente instabili;
- Rete metallica e fune diagonale per la parte rocciosa alterata con dimensioni inferiori.

Come si evince dalla sezione geomorfologica mostrata nell'elaborato 2017E037INV-02-D-R0-TAV017, (fig. 28) al piede della falesia si è formato, verosimilmente per una combinazione di azioni antropiche (scavo per allargare l'antico approdo) e naturali (azione del moto ondoso), un incavo che contribuisce all'instabilità dei blocchi in fase di crollo potenziale. Per tale motivo si è pensato di intervenire inoltre, a protezione della scarpata dal moto ondoso, con un sistema composto da un muro rivestito in pietra lavica, travi d'acciaio e riempimento posteriore (fig. 29). Il sistema ha la funzione principale di prevenire l'effetto erosivo e di alterazione causato da mareggiate importanti nonché agenti atmosferici (temperatura e salsedine).

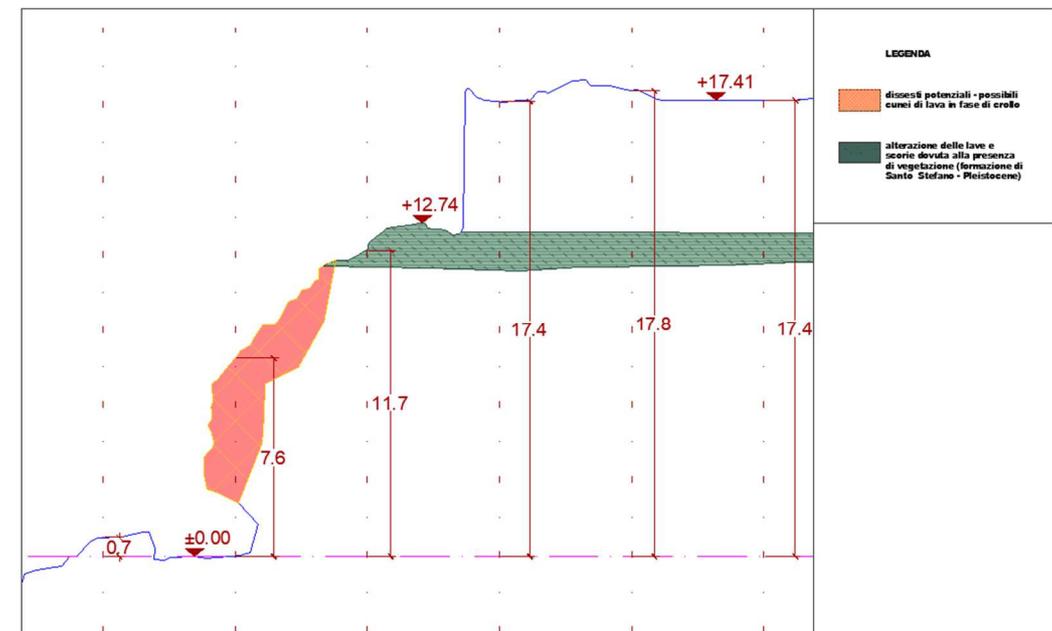


Fig. 28 sezione geomorfologica della falesia con evidenza dell'incavo al piede

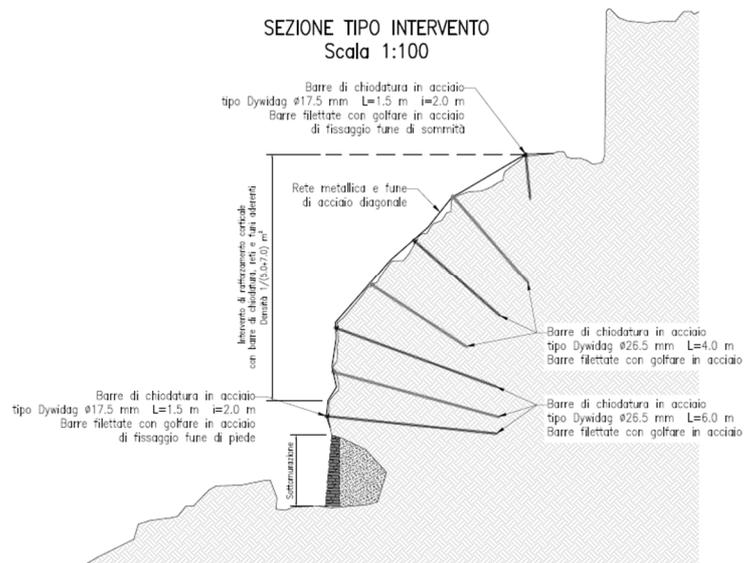


Fig. 29 sezione tipo intervento

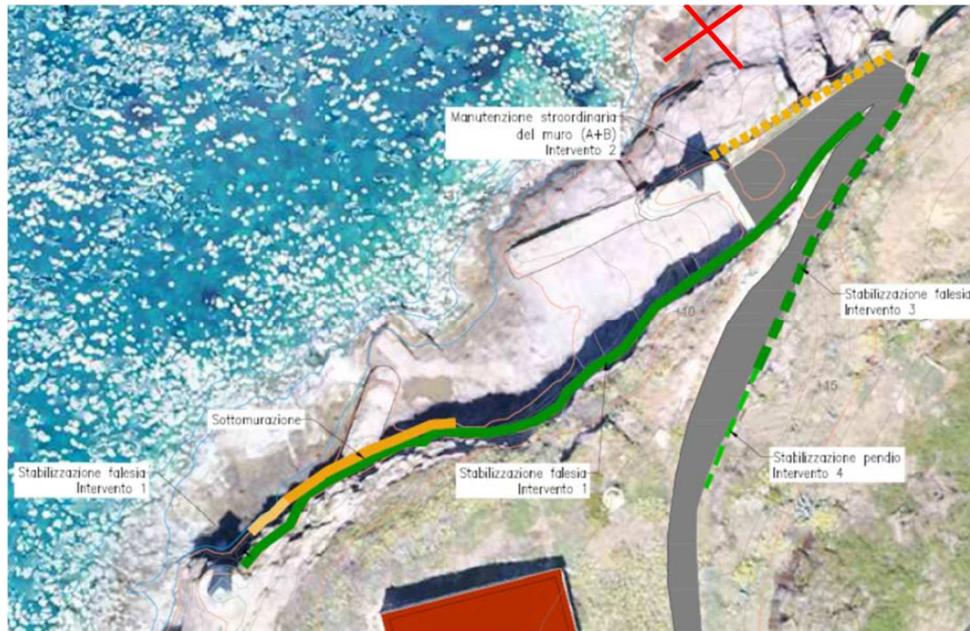


Fig. 30 Localizzazione planimetrica degli interventi

Riassumendo le opere di mitigazione del rischio frana previste dal presente progetto, in riferimento alla figura si possono identificare i seguenti interventi:

Intervento 1: Falesia prospiciente l'approdo Marinella;

Intervento 2: Muro sottostante il percorso Marinella, lato mare;

	2017E037INV-02-D-GE-GEO000
	Rev. 0
	Pag. 44 di 70

Intervento 3: Falesia sovrastante il percorso Marinella dopo il primo tornante;

Intervento 4: Pendio sovrastante il percorso Marinella dopo intervento 3, procedendo in salita.

L'intervento 1 è riferito all'area più critica e dovrà essere preceduto da una fase di ispezione visiva e pulizia per verificare le condizioni locali e ottimizzare le posizioni delle perforazioni. In quest'area sono previste chiodature (intervento di tipo attivo) per la stabilizzazione dei cunei di roccia, tramite cucitura delle fessure, con conseguente aumento generale della resistenza al taglio media dell'ammasso e miglioramento delle condizioni di stabilità globali e locali. Le chiodature saranno corredate da reti aderenti e funi metalliche (intervento passivo) che evitano la caduta di massi di piccole dimensioni (decimetriche). L'area dell'intervento 1 integrerà la realizzazione di 15 chiodature realizzate dal Comune di Ventotene a novembre-dicembre 2020. Al piede della falesia è prevista un apposito riempimento per sottomurazione con la finalità di protezione dall'azione meccanica delle onde, dagli agenti atmosferici – temperatura, salsedine – e sostegno per la parte aggettante. Al fine di mantenere il pregio estetico della pavimentazione romana esistente e ancora in uso, la posizione della sottomurazione sarà un poco arretrata rispetto alla parete sub-verticale superiore.

L'intervento 2 prevede il rifacimento del muro esistente al di sotto della prima rampa di scale.

Gli interventi 3 e 4 riguardano zone meno critiche rispetto all'intervento 1 vista la presenza di un "taglio" antropico in genere con poca necessità di disaggi. Anche questi interventi prevedono la realizzazione di chiodature e reti aderenti con fune metallica al fine di preservare il sentiero da eventuali distacchi anche superficiali (tavole 2017E037INV-02-D-S0-TAV001 - 2017E037INV-02-D-S0-TAV002 e 2017E037INV-02-D-S0-TAV003).

Per una migliore comprensione delle opere di mitigazione del rischio si rimanda all'elaborato descrittivo 2017E037INV-02-D-S0-RF0001 *"Progetto Strutturale - Mitigazione del rischio di instabilità del versante - Relazione geotecnica e sulle fondazioni"*.

14 Sovrapposizione aree a pericolo e rischio con opere in progetto

Dalla sovrapposizione della cartografia del pericolo e del rischio di frana dell'AdB dell'Appennino Centrale con le opere in progetto si nota che, il molo in progetto ricadrebbe per la quasi totalità della propria impronta nella campitura segnalata come area a pericolo frana A con pericolosità P4, configurando così un rischio derivato R3.

Gli elaborati 2017E037INV-02-D-R0-TAV018 e 2017E037INV-02-D-R0-TAV019 mostrano rispettivamente la sovrapposizione dell'approdo con la carta del rischio PAI stato attuale e la sovrapposizione dell'approdo con la proposta di ripermetrazione alla luce della messa in

sicurezza della falesia.

Come verrà descritto più avanti e negli elaborati 2017E037INV-02-D-S0-TAV001, 2017E037INV-02-D-S0-TAV002, 2017E037INV-02-D-S0-TAV003 e 2017E037INV-02-D-S0-TAV005, il progetto di messa in sicurezza consentirà di mitigare il rischio frana dovuto al potenziale crollo di blocchi così come definitivo dalla verifica di stabilità ante-operam eseguito con il metodo Markland. Infatti, tale metodo ha consentito di stabilire l'ammissibilità sia cinematica che dinamica per crollo di potenziali cunei di roccia.

15 Rilievo geostrutturale e stato del dissesto – verifica ante-operam

Le falesie dell'isola di Santo Stefano e nello specifico la falesia prospiciente l'attuale approdo nonché l'intervento in progetto sono interessate da crolli correlati principalmente allo stato di fratturazione ed alla giacitura delle scarpate.

La campagna di rilevamento geostrutturale è stata eseguita su n.3 stazioni geomeccaniche secondo i criteri e le raccomandazioni ISRM (International Society for Rock Mechanims).

All'interno di ogni finestra di scansione sono state individuate le famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso e si è proceduto a misurare i parametri per ogni famiglia come richiesto dalle raccomandazioni ISRM:

- *Giacitura (del giunto o della famiglia di discontinuità)*: per giacitura si intende l'orientazione del giunto nello spazio mediante la direzione di immersione del giunto rispetto al nord (dip direction) e dalla sua inclinazione rispetto all'orizzontale (dip), tale parametro è stato misurato durante l'attività mediante una bussola, munita di inclinometro, Wilkie;
- *Spaziatura*: per spaziatura si intende la distanza, espressa in centimetri, tra un giunto e il successivo giunto, misurata ortogonalmente alla giacitura, appartenente alla stessa famiglia di discontinuità, per l'approccio utilizzato in questo lavoro, all'interno della finestra di scansione scelta per la stazione, misurato mediante una fettuccia metrica;
- *Persistenza*: per persistenza si intende l'estensione areale della discontinuità, ovvero la profondità di penetrazione della discontinuità, questa può estendersi oltre la roccia stessa (X), può esaurirsi entro la roccia (R) o può esaurirsi contro un'altra discontinuità (D);
- *Rugosità (Scabrezza)*: tale parametro è dato dall'irregolarità e dalle ondulazioni presenti lungo la superficie del giunto, la sua importanza diminuisce all'aumentare dell'apertura e eventuale riempimento del giunto, è stato quantificato attraverso il parametro JRC, stimato in campagna con il pettine di Barton;

- *Resistenza delle pareti:* tale parametro rappresenta la resistenza a compressione equivalente dei lembi affacciati di una discontinuità, è spesso minore alla resistenza a compressione della roccia massiva e viene misurata, attraverso il martello di Schimdt, sia sulla superficie alterata sia sulla superficie fresca, ottenuta mediante apposita pietra abrasiva;
- *Apertura:* distanza tra le due superfici della discontinuità, in cui tale distanza è riempita da aria o acqua, tale valore è misurato mediante fettuccia metrica, e dà un'indicazione sulla permeabilità dell'ammasso roccioso;
- *Riempimento della discontinuità:* tale parametro fornisce la natura del materiale presente (se presente) all'interno delle discontinuità aperte, tale materiale è tipicamente di natura argillosa, sabbiosa o limosa, ma in alcuni casi anche ghiaiosa o milonite;
- *Condizioni idriche delle discontinuità:* tale parametro indica la presenza di acqua o abbondante umidità all'interno delle discontinuità, talvolta la presenza di mineralizzazione è indice della presenza di acqua frequente, anche se le condizioni sono asciutte, tale parametro dà indicazioni sulla permeabilità della roccia;
- *Numero di discontinuità:* numero di discontinuità o di famiglie di discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso.
- *Dimensione dei blocchi:* dimensione dei blocchi risultanti dalla reciproca orientazione dei sistemi di discontinuità che si intersecano e della spaziatura tra le discontinuità stesse, è stato espresso in questa relazione tramite il parametro JV ottenuto attraverso la relazione proposta da Palmstrom.

In località Marinella sono state eseguite due stazioni geomeccaniche denominate SG1 ed SG2 con ubicazione indicata nella seguente figura. La stazione SG2 è stata suddivisa verticalmente in SG2A ed SG2B a causa di un cambio di inclinazione e ramificazione delle discontinuità presenti sull'affioramento.



Fig. 31 ubicazione stazioni geomeccaniche SG1 -SG2A e B

Lo scalo n.4 è stato interessato dalla stazione di rilievo SG3 come indicato nella figura 32.



Fig. 32 ubicazione stazione geomeccanica SG3

15.1 Risultati del rilievo geostrutturale

In linea generale, su tutte le stazioni, sono state riscontrate tre famiglie di fratture ma è stato necessario suddividere la terza famiglia in due sottofamiglie subverticali (famiglia n.3 e n.4) e con orientazione opposta tra loro visto che, proprio all'intersezione di queste due famiglie, è dovuta la potenziale formazione di cunei di roccia.

Dalla proiezione stereografica generale di tutte le stazioni, ottenuta mediando per ogni famiglia le misure effettuate su tutti i giunti, è stata ottenuta una ciclografica "media" di ogni famiglia. Sono evidenziate 4 famiglie di giunti di cui una sub-orizzontale, un sistema sub-verticale orientato NNW ed ulteriori due famiglie anch'esse sub-verticali orientati ENE ed WNW.

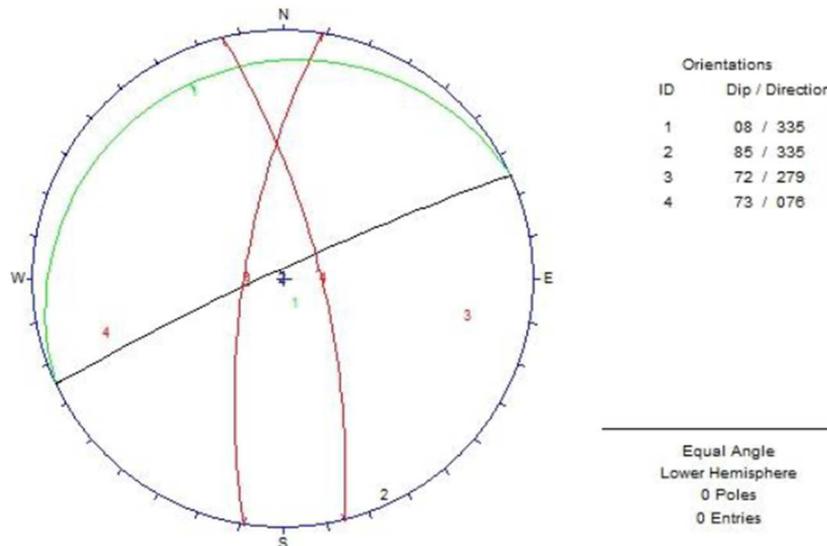


Fig. 33: proiezione ciclografica delle giaciture medie misurate all'interno delle stazioni; in verde la ciclografica della stratificazione, in nero la famiglia numero due e in rosso le famiglie 3 e 4 che, come si evince dalla proiezione, formano un cuneo di roccia.

Per ogni stazione sono state inoltre stimate le dimensioni dei blocchi di roccia formati attraverso il parametro J_v calcolato attraverso la formula di Palmstrom, data dalla formula $J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + \dots + 1/S_n + nJ_r / (5 \cdot A^{1/2})$ in cui $nJ_r / (5 \cdot A^{1/2})$ è un fattore correttivo utilizzato quando si rileva su finestre di scansione; i valori di J_v stimati per ogni famiglia sono riportati in tabella.

A partire da tale valore può essere attribuito anche un valore RQD dell'ammasso roccioso, per valori maggiori di $J_v > 4.6$, per valori inferiori a 4.6 di J_v , RQD, come nel caso dell'isola di Santo Stefano, RQD deve essere assunto uguale al 100% per l'ammasso roccioso.

Stazione	N.Famiglie	JV (m ³)	Descrizione
SG1	4	4,412	Blocchi di media grandezza

SG2/A	4	3,318	Blocchi grandi
SG2/B	4	3,963	Blocchi grandi
SG3	4	2,394	Blocchi grandi

Dal valore di J_v , secondo Palmstrom, è possibile ricavare il volume potenziale medio dei blocchi di roccia attraverso la seguente correlazione:

$$VB = S_1 * S_2 * S_3 / \sin \alpha_1 * \sin \alpha_2 * \sin \alpha_3$$

Applicando la relazione per famiglie con due angoli di intersezione di 90° e uno di circa 60° $VB = 1.16 * S_1 * S_2 * S_3$ (Palmstrom, 2005), sono stati stimati i volumi medi di blocchi che si possono formare.

Si evince, dal calcolo, che per il VB varia da $1,86 \text{ m}^3$ a circa $4,48 \text{ m}^3$. Si consiglia di dimensionare le opere di contenimento per il valore maggiore.

Per ogni famiglia sono stati misurati anche i parametri di rugosità e resistenza a compressione equivalente. La rugosità è stata misurata con il pettine di Barton ed espressa attraverso il valore JRC, che varia da 0 per superfici lisce a 20 per superfici rugose; la resistenza a compressione equivalente può essere stimata attraverso il parametro JCS ovvero il numero di colpi misurati attraverso il martello di Schmidt. A partire da questi parametri è possibile, inoltre, stimare la resistenza a taglio del giunto attraverso la formula di Barton. In tabella i dati di rugosità e resistenza a compressione espressa in Mpa.

N. stazione	N. famiglie	JRC (adim)	resistenza superficie alterata (MPa)	resistenza superficie fresca (MPa)
SG1	1	12-14	80	150
SG1	2	14-16	40	70
SG1	3	12-14	55	120
SG1	4	14-16	55	120
SG2A	1	10-12	25	40
SG2A	2	14-16	35	55
SG2A	3	10-12	35	55
SG2A	4	12-14	35	55
SG2B	1	10-12	25	40
SG2B	2	14-16	35	55
SG2B	3	10-12	35	55
SG2B	4	10-12	35	55
SG3	1	10-12	70	150
SG3	2	8-10	55	90
SG3	3	8-10	40	70
SG3	4	10-12	40	70

Su ogni stazione è stato anche attribuito il valore di Geological Strength Index proposto da Marinos e Hoek, qualitativo dello stato di fratturazione dell'ammasso ed i quali estremi sono compresi tra 5 (per ammassi molto fratturati o fagliati) e 95 (per ammassi rocciosi massivi e poco fratturati).

STAZIONE	GSI	STAZIONE	GSI
SG1	65	SG2B	70
SG2A	70	SG3	75

15.2 Classificazione RMR di Bieniawski

E' stato stimato, a partire dai dati raccolti in campagna, il valore RMR (Rock Mass Rating), attraverso 5 parametri; in questo metodo empirico, proposto da Bieniawski, viene attribuito all'ammasso roccioso un valore numerico, compreso tra un minimo di 8 a un massimo di 100, all'aumentare del quale aumenta anche il livello qualitativo dell'ammasso roccioso.

I valori che contribuiscono alla valutazione del valore RMRb possono essere facilmente ricavati tramite appositi abachi, e sono nell'ordine:

- *Resistenza a compressione monoassiale*: stimata attraverso il numero di colpi al martello di Schmidt, dal quale si ricava la resistenza a compressione monoassiale in MPa (JCS), contribuisce al calcolo di RMRb con un valore minimo di 1 per $JCS < 10$ MPa e un valore massimo di 20 per $JCS > 250$ MPa;
- *RQD*: il valore di RQD, per gli ammassi rocciosi, viene calcolato a partire dal valore JV attraverso la formula $RQD = 115 - 3.3Jv$, per valori di $Jv > 4.6$, contribuisce a RMRb con un valore di 15 per $RQD = 100$ e un valore di 3 per $RQD < 25$;
- *Spaziatura*: il valore di spaziatura misurato tra i giunti contribuisce alla stima di RMRb, con massimo di 20 punti, per spaziature superiori di 200 cm a un minimo di 3 per spaziature minori di 6 cm;
- *Condizioni delle discontinuità*: tale parametro contribuisce con un minimo di 0 punti a un massimo di 30 punti in funzione di 5 sottocategorie nelle quali sono valutati persistenza dei giunti; apertura dei giunti, scabrezza dei giunti, riempimento dei giunti e alterazione dei giunti, tali parametri contribuiscono tutti con un minimo di 0 punti e un massimo di 6 punti;
- *Condizioni idrauliche dei giunti*: tale parametro varia da un massimo di 15 punti per giunti in cui non c'è presenza di acqua a un minimo di 0 in cui scorre acqua in maniera fluente.

Dalla somma di questi 5 parametri si ottiene un valore di RMRb, o, scegliendo di ignorare il quinto parametro un RMR in condizioni secche, in tale caso RMR ha un valore compreso tra 8 e 85. Al

valore RMRb può essere sommato infine un ultimo valore correttivo, compreso tra 0 e -50, variabile in funzione dell'orientazione dei giunti a seconda che si stia progettando per tunnel, fondazioni o se si tratta di versanti, ottenendo così un valore di RMRc (RMRcorretto).

In funzione del valore di RMR l'ammasso roccioso può essere diviso in cinque classi in cui l'ammasso può essere definito per valori di RMR compresi fra 80 e 100 molto buono fino a molto scadente per RMR compreso tra 8 e 20.

A partire dal valore RMRb è possibile stimare, tramite formule empiriche, parametri utili in fase progettuale come l'angolo di attrito, la coesione e la deformabilità dell'ammasso roccioso attraverso la formula

$$\Phi = \text{RMRb}/2 + 5^\circ$$

$$C = \text{RMRb} * 5 \text{ (KPa)}$$

$$E_m = 2\text{RMRb} - 100 \text{ (GPa)}$$

Di seguito i risultati relativi alle stazioni studiate:

stazione	A	B	C	D	E	RMRb	RMRs	RMRc	Φ (°)	Coesione (Kpa)	Deformabilità (Mpa)
SG1	8	20	16	12	7	63	56	38	36,5	315	26
SG2A	5	20	15	12	10	62	52	37	36	310	24
SG2B	5	20	14	12	10	61	51	36	35,5	305	22
SG3	7	20	20	13	7	67	60	42	38,5	335	34

15.3 Classificazione SMR di Romana

A partire dal RMR è stato stimato il valore SMR (Slope Mass Rating), proposto da Romana, il quale sostituisce il parametro correttivo di Beniaowski con un altro parametro, dato dal prodotto di tre fattori, funzione del confronto dei valori di dip/dip direction del fronte e dip/dip direction del giunto a seconda se si stia valutando la sicurezza del versante al ribaltamento o allo scivolamento.

Il secondo fattore correttivo, variabile da +15 a -8, è funzione delle condizioni del versante a seconda se è naturale o artificiale, e, nel caso di versante artificiale funzione della tecnica di scavo del versante; il valore SMR può essere quindi ottenuto attraverso la seguente formula:

$$\text{SMR} = \text{RMRb} - (F1 * F2 * F3) + F4$$

Il valore di SRM deve essere calcolato per ogni famiglia di giunto presente nell'ammasso per

scorrimento e ribaltamento e, una volta eseguita l'operazione scegliere come valore di SRM più basso per l'ammasso roccioso.

Nel dettaglio nei fattori correttivi che sono moltiplicati per ottenere il valore da sottrarre a RMRb vengono valutati i seguenti aspetti:

F1: fattore che tiene conto del parallelismo tra dip direction del versante e dip direction del giunto, varia da 1 a 0.15;

F2: fattore che tiene conto dell'inclinazione del singolo giunto, valutata in funzione dello scivolamento e del ribaltamento, varia tra 1 e 0.15;

F3: fattore che mette in rapporto l'inclinazione del singolo giunto con quella del versante, varia tra 0 e -60;

F4: fattore che tiene conto se il versante è in condizioni naturali o ha subito lavorazioni, e eventualmente il tipo di lavorazione, varia da 15 a -8;

Dai parametri ottenuti con RMRb, opportunamente corretti secondo i criteri precedentemente descritti, sono emersi i valori di SMR proposti nella seguente tabella, da questi risulta come gli ammassi rocciosi sui quali è stato svolto il rilievo geomeccanico siano mal predisposti sia a fenomeni di scivolamento che fenomeni di ribaltamento.

Fattori correttivi

F1	0,15
F2	1
F3	-6
F4	15

STAZIONE	SMR	QUALITA'	STABILITA'	SOSTEGNO
SG1	78.9	Buono	Stabile	Occasionale
SG2A	77.9	Buono	Stabile	Occasionale
SG2B	76.9	Buono	Stabile	Occasionale
SG3	82.9	Molto buono	Stabile	Nessuna

15.4 Analisi di stabilità ante operam

La verifica di stabilità è stata fatta mediante test di Markland per ogni stazione effettuata, in tale metodo, tramite proiezioni stereografiche delle famiglie di discontinuità presenti all'interno dell'ammasso roccioso e del fronte della stazione è possibile verificare compatibilità cinematica e compatibilità dinamica a scivolamento, ribaltamento e al distacco di cunei di roccia.

A seconda del meccanismo verso il quale si intende andare a verificare la stabilità, per la predisposizione cinematica al movimento, variano i parametri di cui bisogna tenere conto

nell'analisi, nel dettaglio bisogna verificare a seconda del caso:

Scivolamento planare: per la verifica cinematica allo scivolamento planare lungo un piano bisogna verificare che due condizioni siano soddisfatte, l'inclinazione della famiglia di discontinuità deve essere minore dell'inclinazione del versante e la dip direction della famiglia deve essere $\pm 20^\circ$ della dip direction del versante;

Ribaltamento: perché su un fronte siano possibili fenomeni di ribaltamento devono essere soddisfatte due condizioni lo strike del giunto deve essere $\pm 10^\circ$ dello strike della famiglia di discontinuità e l'inclinazione del giunto deve essere minore dell'inclinazione del versante;

Cunei di roccia : perché possa verificarsi il distacco di un cuneo di roccia è necessario che vi sia l'intersezione tra due famiglie di giunti, tale intersezione deve essere compresa tra le dip direction delle due famiglie di discontinuità, una volta che si presenta tale situazione perché vi siano le condizioni cinematiche al distacco di un cuneo di roccia l'inclinazione della linea d'intersezione dei piani deve essere minore o uguale all'inclinazione del versante, inoltre tale intersezione deve essere compreso fra $\pm 20^\circ$ la dip direction del versante.

Tuttavia verificare le condizioni cinematiche rispetto a un determinato meccanismo non sempre è sufficiente, infatti perché possa innescarsi un'instabilità bisogna che il giunto sia predisposto oltre che cinematicamente bisogna verificare che ci sia ammissibilità dinamica fra il piano che si sta analizzando e le forze che agiscono su di esse, tale verifica viene effettuata proiettando sul reticolo il cono d'attrito, corrispondente a una circonferenza concentrica al reticolo, con centro differente, ottenuta facendo girare attorno alla normale dell'immersione del versante la direzione di infinite forze avendo come massimo angolo l'angolo di attrito dell'ammasso. Nel caso in cui le condizioni cinematiche precedentemente elencate ricadano all'interno del cono d'attrito precedentemente descritto è verificata anche l'ammissibilità dinamica ed è quindi possibile l'innescarsi di uno o dell'altro meccanismo.

Si procede ora ad una rapida descrizione dei test di Markland effettuati per ogni stazione geomeccanica rilevata in campagna.

Stazione SG1

Dall'analisi di stabilità effettuata per la stazione SG1 è emerso come per tale ammasso ci sia una compatibilità cinematica per scorrimenti planari e distacchi di cunei di roccia ma non per ribaltamenti, tuttavia l'ammissibilità dinamica, verificato per angoli di attrito di 36.5° calcolato mediante metodo di Beniaowski, è rispettata solo per il distacco di cunei di roccia che può formarsi tra le famiglie 3 e 4 e tra le famiglie 4 e 5

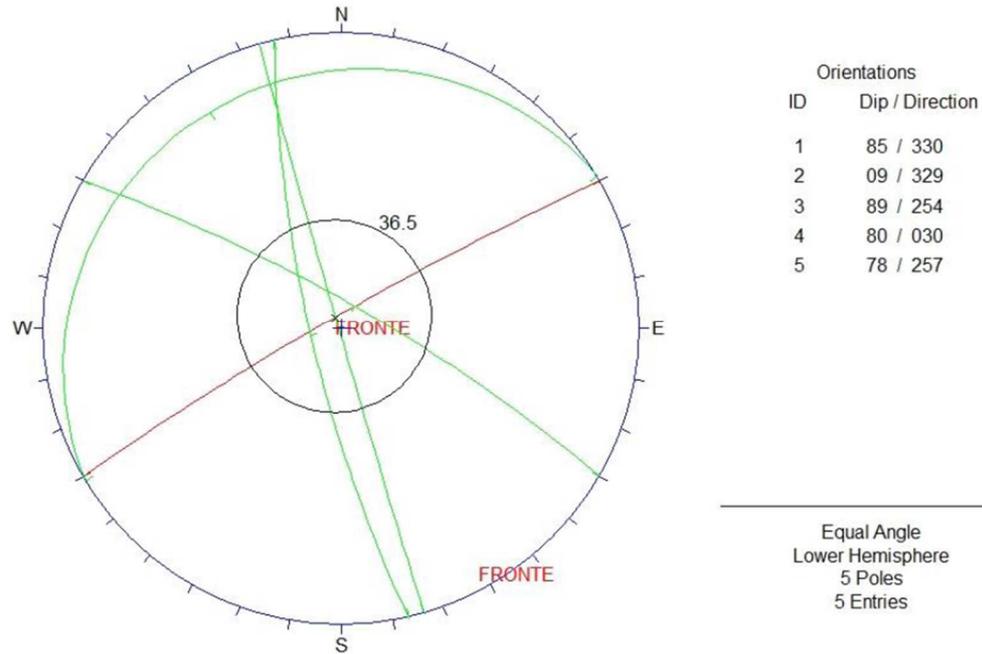


Fig. 34: Test di Markland stazione SG1

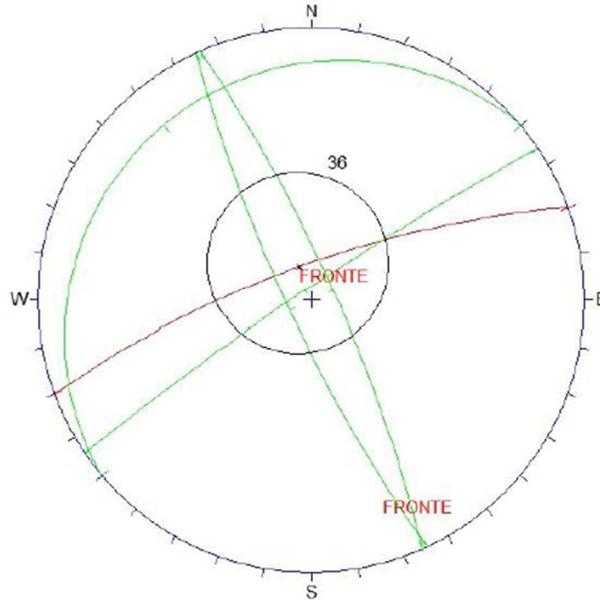
Stazione SG2A-SG2B

La stazione SG2 è stata suddivisa, già in fase di acquisizione dei dati, in due sottostazioni, in quanto è stato notato come due famiglie di discontinuità variassero lungo la verticale la propria inclinazione, cosa tipica verificata anche nelle altre stazioni ma con variazioni minori, creando condizioni differenti in maniera evidente già in campagna, una suddivisione tra le due stazioni è mostrata in figura 35.



Fig. 35: suddivisione della falesia in due sottostazioni SG2A-SG2B

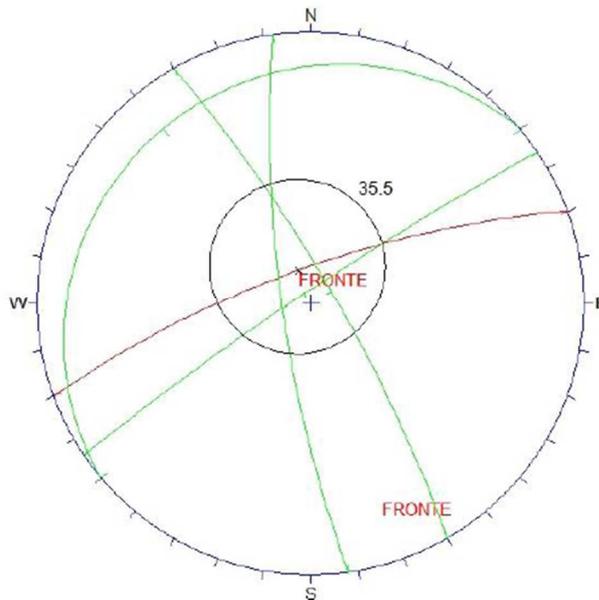
Dal test di Markland effettuato su queste due stazioni è emerso per entrambe una compatibilità cinematica allo scivolamento planare, tuttavia la predisposizione al distacco di cunei di roccia è verificata solo per la stazione SG2B, non vi è ammissibilità dinamica per movimenti di scorrimento planare, invece per distacco di cunei di roccia vi è ammissibilità dinamica per angoli di attrito di base e un'ammissibilità incerta per angoli di attrito residui. Il test di Markland per le stazioni è mostrato in figura 36 e 37.



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	75 / 340
2	10 / 320
3	85 / 326
4	80 / 245
5	80 / 068

Equal Angle
Lower Hemisphere
5 Poles
5 Entries

Fig. 36: Test di Markland stazione SG2A



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	75 / 340
2	10 / 320
3	85 / 326
4	78 / 262
5	80 / 060

Equal Angle
Lower Hemisphere
0 Poles
0 Entries

Fig. 37: Test di Markland stazione SG2B

Stazione SG3

Infine, per quanto concerne la stazione SG3, effettuata in prossimità dell'approdo "scalo 4", dal test di Markland sono emerse compatibilità cinematiche allo scorrimento planare ma non al distacco di cunei di roccia, infatti i cunei che si formano non rientrano nel range di dip direction in cui vi è compatibilità cinematica, tuttavia va notato che un lieve cambio di direzione del versante verso EST renderebbe cinematicamente compatibile al movimento di cunei.

Inoltre, non vi è ammissibilità dinamica per scorrimenti di tipo planare, tuttavia vi è ammissibilità dinamica per il cuneo di roccia qualora il versante, restando circa della stessa pendenza, cambi orientazione circa verso EST; il test di Markland per questa stazione geomeccanica è mostrato nella seguente figura 38.

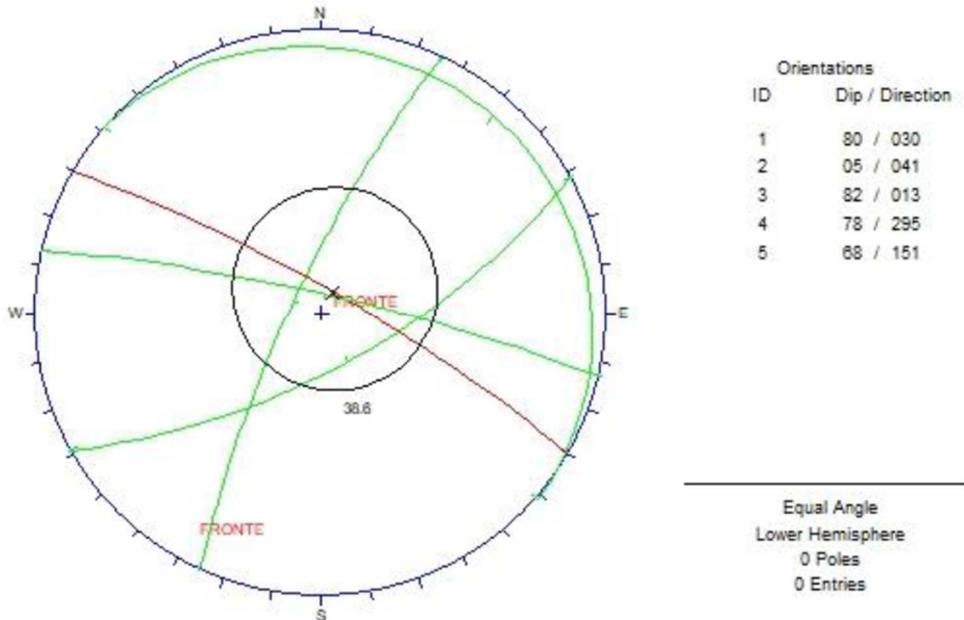


Fig. 38: Test di Markland stazione SG3

15.5 Sintesi della tipologia di dissesto

Risulta chiaro come lo scalo Marinella sia interessato da potenziali frane da crollo per rottura a cuneo. A titolo di esempio, considerando la stazione di misura del rilievo geomeccanico SG2B, si può notare chiaramente che l'instabilità per rottura da cuneo è data principalmente da due famiglie che si intersecano con la scarpata/falesia che in questo tratto ha un orientamento dip 75/ dip direction 340 dove "dip" è l'inclinazione in gradi della scarpata e "dip direction" è la direzione dell'immersione.

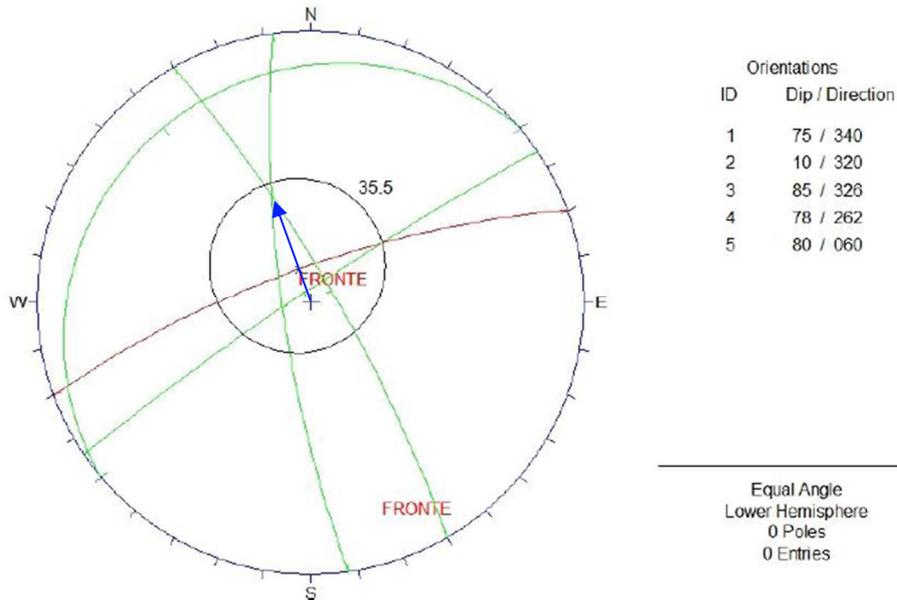


Fig. 39: In blu la direzione di scivolamento del potenziale cuneo

Nella figura 39, in blu, viene indicata la direzione dello scivolamento del cuneo. Si nota inoltre come l'angolo di inclinazione della scarpata (fronte) sia maggiore dell'angolo creato dalla linea d'intersezioni delle fratture considerate e la scarpata stessa. Per spiegare meglio il meccanismo descritto, si mostra, di seguito, uno schema semplificato.

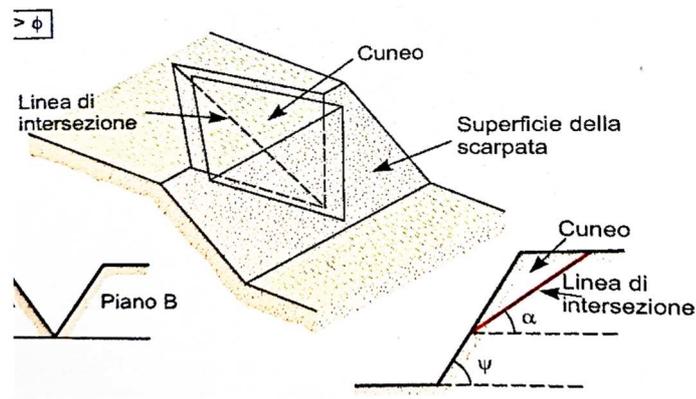


Fig. 40: schema semplificato – l'angolo della scarpata ψ è maggiore dell'angolo formato dall'intersezione del cuneo rispetto alla scarpata stessa α

Dal punto di vista dinamico l'instabilità dovuta alla rottura da cuneo è confermata dalla presenza del punto di intersezione delle famiglie 4 e 5 (fig.39) all'interno del cono d'attrito.

16 Ulteriori Vincoli idrogeologici

Sul sito, oltre alle aree a vincolo frana identificata dal P.A.I. si ritrovano ulteriori vincoli di natura idrogeologica del R.D.L. n. 3267/23 e del R.D. n. 1126/26; di seguito lo stralcio cartografico che mostra in rosso le aree dell'isola interessate dal vincolo idrogeologico:

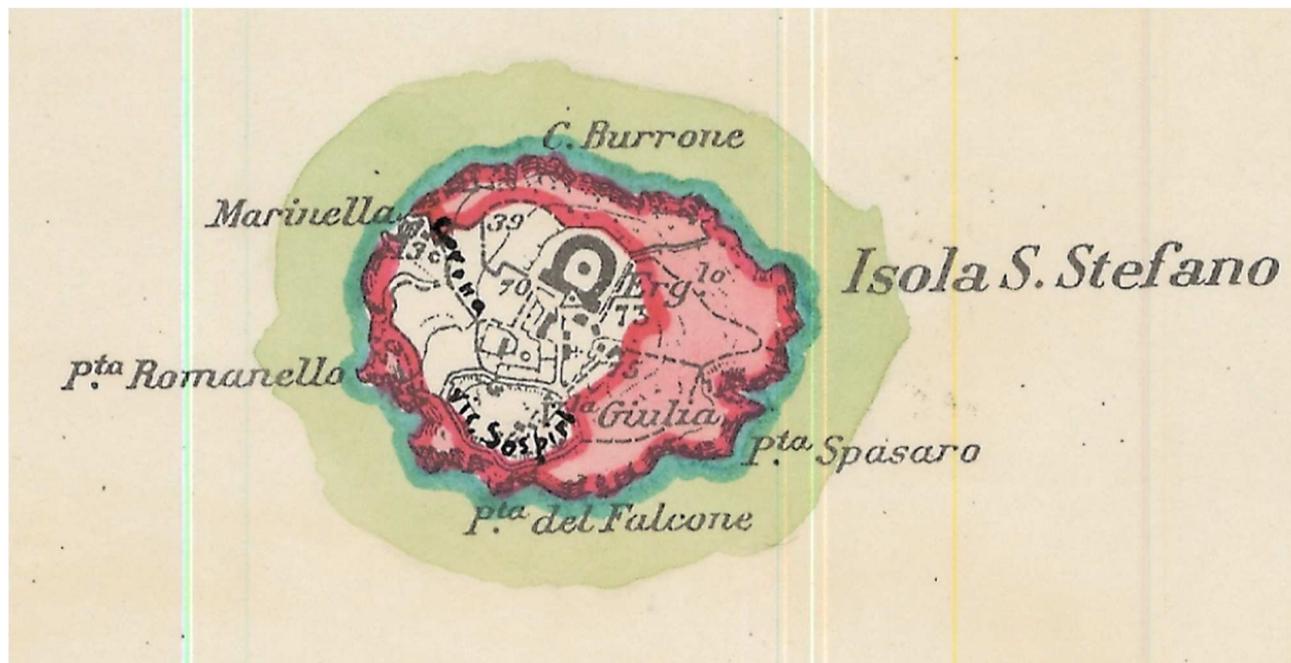


Fig. 41: carta dei vincoli idrogeologici R.D.L. n. 3267/23 e del R.D. n. 1126/26

Per tali aree valgono le stesse considerazioni già espresse per il P.A.I.

È inoltre necessario sottolineare nell'ambito geologico-geomorfologico dell'opera in progetto che per il PTPR (Piano Territoriale Paesaggistico Regionale) Santo Stefano rientra, tra gli altri vincoli, nel sistema del paesaggio naturale definito come "Territori caratterizzati dal maggiore valore di naturalità e seminaturalità in relazione alla presenza di beni di interesse vegetazione e geomorfologico e rappresentativi di particolari nicchie ecologiche". Obiettivo di qualità paesistica da perseguire in queste aree: mantenimento, conservazione e valorizzazione del patrimonio naturale anche mediante l'inibizione di iniziative di trasformazione territoriale pregiudizievole alla salvaguardia.

17 Prescrizioni delle Norme di Attuazione del P.A.I. (ex autorità dei Bacini Regionali del Lazio) Autorità di Bacino Distretto Idrografico Centrale – iter per la richiesta di ripermimetrazione del rischio

Si ricorda che, per le Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, nelle aree identificate come "pericolo A" e "rischio R4" vale la disciplina dell'art. 16.

In funzione della tab. 5.1 "Classi di uso del territorio" – Livello di rischio in funzione della pericolosità e del valore esposto – della Relazione Tecnica del P.A.I. dell'Autorità dei Bacini del Lazio, la realizzazione del nuovo approdo (assimilata a porto) in fascia di pericolo A identificherebbe un'area a rischio R3. Di seguito uno stralcio della già menzionata tabella:



Autorità dei Bacini Regionali del Lazio – Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
RELAZIONE

Tabella 5.1 - Classi di uso del territorio

LIVELLI DI RISCHIO IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL VALORE ESPOSTO							
Codice primario	Classe d'impiego del territorio (Valore Esposto)	Descrizione	Classe	CLASSI DI PERICOLOSITA'			
				FASCE FRANE			
				A	B	C	
FASCE IDRAULICHE			A	BI - B2	C		
			T 30	PSAI	T 200	T 500	
50	Aree Infrastrutturate	Aree di stretta pertinenza di impianti di depurazione, stoccaggio RSU o similari, campi pozzi, grandi tralicci reti aeree, parchi attrezzati, camping, aree archeologiche attrezzate, verde pubblico attrezzato ecc.	aree archeologiche	510	R3	R2	R2
			canalizzazioni	520			
			impianti a fune	530			
			oleodotti	540			
			linee telefoniche	550			
			piloni elettrodotti	560			
			fognature	570			
			gasdotti	580			
			acquedotti	590			
			inceneritore	511			
			discarica	512			
			depuratore	513			
			porto	514			
			condotta forzata	515			

Ne consegue che in assenza di una messa in sicurezza che abbassi il rischio/pericolosità da R3/A a rischio/pericolosità R2/C non sarebbe possibile nessun nuovo intervento di edificazione e quindi la realizzazione dell'approdo. Per tale motivo, alla luce delle indagini geomeccaniche e del presente studio è stato possibile progettare un intervento di mitigazione del rischio come meglio descritto negli elaborati 2017E037INV-02-D-S0-TAV001, 2017E037INV-02-D-S0-TAV002 e 2017E037INV-02-D-S0-TAV003.

La finalità di tale intervento, in ottemperanza all'art. 12 comma 3 delle Norme di Attuazione del P.A.I., è quella di attenuare le condizioni di rischio nelle aree interessate dall'intervento. Inoltre, alla luce della futura realizzazione dell'approdo, l'intervento dovrà ridurre le condizioni di rischio anche mediante un monitoraggio utile alle finalità di protezione civile di preannuncio ed eventuale allontanamento dei soggetti a rischio. Prima di procedere alla realizzazione dell'approdo, previa riclassificazione delle aree a pericolo/rischio frana, sarà necessario ottenere la regolare esecuzione e/o collaudo dell'opera di consolidamento.

17.1 Piano di monitoraggio aree a pericolo e rischio di frana

Il piano di monitoraggio geotecnico-geodetico previsto per l'area dell'approdo Marinella ha una duplice funzione:

- monitorare l'efficacia e l'efficienza del sistema di chiodature da realizzare sulla falesia;
- evidenziare in tempo utile al preannuncio ed allontanamento dei soggetti a rischio eventuali movimenti della falesia.

Per ottemperare a tali esigenze si è pensato all'installazione, in corrispondenza della testa della chiodatura ed a questa solidale, di celle di carico. Un principio di rottura di eventuali cunei rocciosi farà segnalare infatti un aumento del carico sulla cella. Piccole deformazioni del cuneo roccioso possono mobilitare elevati incrementi di carico nelle celle e quindi segnalare l'attivazione di fasi critiche. Il progetto prevede l'installazione di n. 10 celle di carico collegate mediante cavo ad una centralina per la trasmissione dei dati in modalità remota. Le misure saranno acquisite dal sistema automaticamente. La gestione del monitoraggio sarà affidata in una prima fase all'Affidataria dei lavori, che dovrà avvalersi di un soggetto adeguatamente referenziato, ed in seguito al Comune di Ventotene vista la competenza in ambito di protezione civile in qualità di C.O.C. (Centro Operativo Comunale). L'obiettivo da raggiungere sarà perseguito anche, come da richiesta dei tecnici dell'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico dell'Italia Centrale, mediante l'installazione di n. 3 target (bersagli artificiali) in corrispondenza della parte alta della falesia da monitorare mediante interferogrammi ottenuti da satellite con il metodo PSInSARsqueeSAR (Permanent Scatterers Interferometric Aperture Radar) o analogo. Tale metodo consente di verificare eventuali spostamenti anche sub-centimetrici grazie al calcolo delle differenze di segnale registrate ad ogni passaggio del satellite circa nel medesimo punto (a titolo di esempio il sistema Sentinel-1 effettua un passaggio ogni 6 giorni) e per sovrapposizione di immagini. I tre target saranno ubicati in corrispondenza dell'edificio a monte della falesia e nella parte alta della falesia. Si sottolinea che la roccia costituisce un buon target naturale per il monitoraggio SAR Synthetic Aperture Radar. Due ulteriori punti di misura (bersagli artificiali) saranno sistemati, come meglio specificato nella tavola di ubicazione del monitoraggio – elaborato 2017E037INV-02-D-S0-TAV004, in corrispondenza del muro di perimetrazione e sul rudere della cappella presente nell'area del cimitero (fig.44). Va specificato che, senza l'integrazione del sistema di monitoraggio di tipo geotecnico (celle di carico, fessurimetri), il monitoraggio satellitare con interpretazione interferometrica non ha molto valore per fenomenologie rapide come le frane da crollo che, notoriamente, sono caratterizzate da eventi molto rapidi. Verranno installati, in corrispondenza della falesia dell'approdo, n.13 mire topografiche per un monitoraggio topografico da realizzare

da punti fissi scelti in funzione della logistica - almeno due capisaldi di riferimento in zona stabile arretrata di almeno 25 m dai cigli delle falesie - e della possibilità di traguardo, da eseguirsi con idonea strumentazione, ad esempio stazione totale con precisione sub-centimetrica.

Ai sistemi di monitoraggio menzionati si aggiungono n. 5 misuratori di giunti o fessurimetri per misurare le variazioni di apertura delle fessure. L'installazione deve essere effettuata su fessure suscettibili di aperture per possibile cinematismo d'instabilità di un cuneo roccioso nella direzione dell'apertura. Completano il sistema integrato di monitoraggio n. 2 termometri da installare in corrispondenza della struttura in c.a. presente sulla sommità della falesia e sulla parete verticale della falesia. Infatti, la temperatura è uno dei fattori ambientali che maggiormente influisce sulle misure (figg.43a e b). I cicli giornalieri e stagionali delle variazioni di temperatura possono essere confrontati con analoghi cicli sui valori delle misure strumentali in maniere da comprendere le correlazioni e poterne depurare gli effetti. Anche le misure termometriche, così come le misure fessurimetriche e quelle effettuate sulle celle di carico, saranno automatizzate e remotizzate.

Anche l'area dello scalo n.4 sarà interessata da un monitoraggio geotecnico con lo scopo di registrare eventuali movimenti della falesia. In quest'area verranno installati n. 2 bersagli artificiali per il monitoraggio satellitare e n. 11 target per il monitoraggio topografico nonché un termometro (fig.42).

Premesso che la frequenza delle misure va tarata in funzione della risposta dei primi cicli dei dati per comprendere meglio l'evoluzione del potenziale dissesto, si propone:

- 4 volte al giorno per le misure automatiche (celle di carico, fessurimetri, termometri);
- ogni 3 mesi per i rilievi topografici a regime; con frequenza 1,5-2 mesi nel primo anno per verificare la precisione del sistema ed apportare eventuali ottimizzazioni.

Si precisa che le celle di carico, i fessurimetri ed i termometri verranno installati e messi in funzione dall'Affidataria dei lavori, che dovrà avvalersi di un soggetto adeguatamente referenziato, di cui al presente progetto e successivamente messe a disposizione del Comune di Ventotene che provvederà a gestire in remoto il monitoraggio dopo un periodo di taratura costituito da 12 mesi di misure con la frequenza sopra riportata. Anche i bersagli artificiali e le mire topografiche dovranno essere funzionali al monitoraggio satellitare e topografico di cui il Comune si farà carico in un secondo momento e che integreranno il monitoraggio geotecnico che ha la funzione di early warning per le finalità di gestione del rischio frana nell'ambito del piano di emergenza comunale di protezione civile approvato con delibera del C.C. n.05 del 01/12/2019 con aggiornamento delibera C.C. n.04 del 21/04/2017.

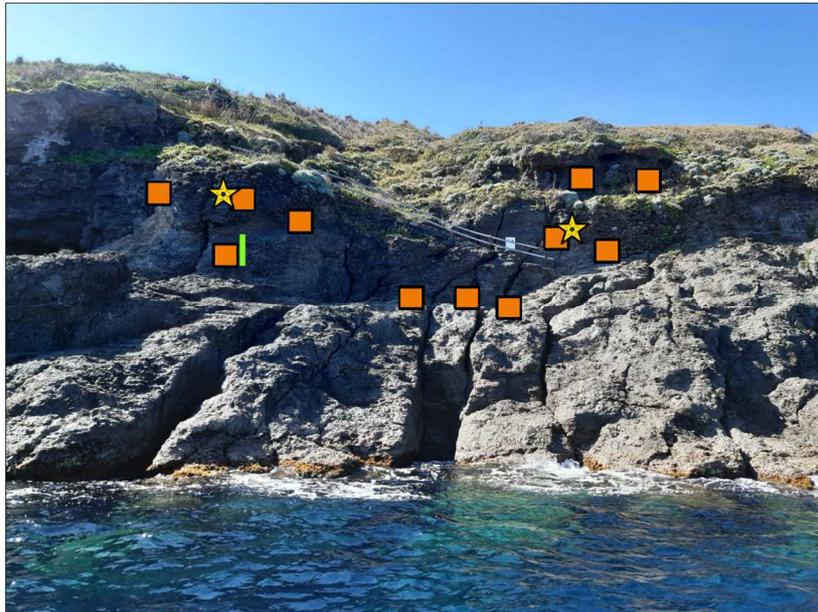


Fig. 42: ubicazione di massima di mire topografiche (quadrati arancioni) – bersagli satellitari (stelle gialle) – termometro (linea gialla) presso scalo n. 4

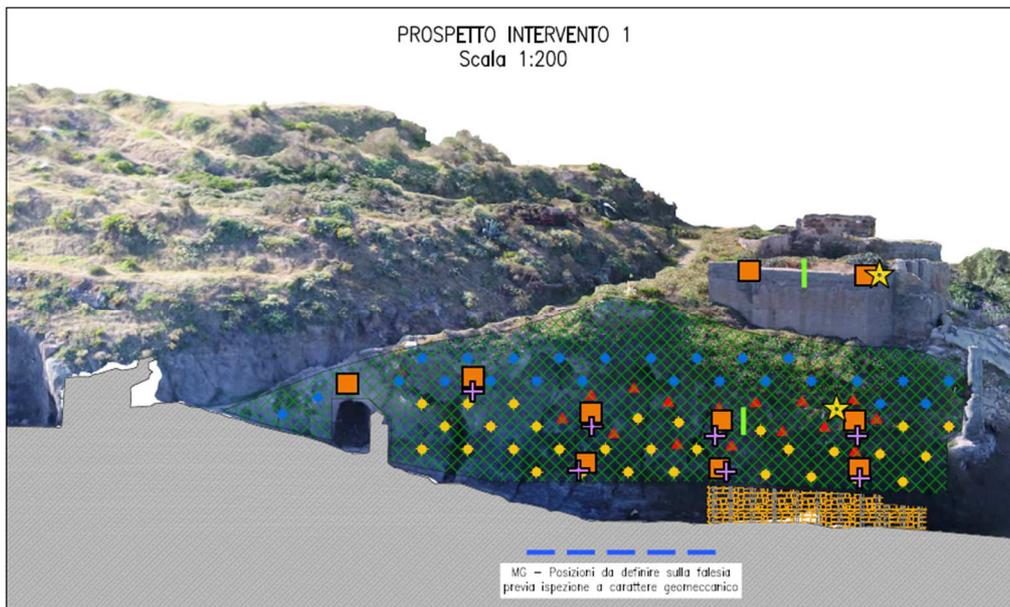


Fig. 43a: ubicazione di massima di mire topografiche (quadrati arancioni) – bersagli satellitari (stelle gialle) – termometro (linea gialla) – celle di carico (croci azzurre) presso scalo Marinella

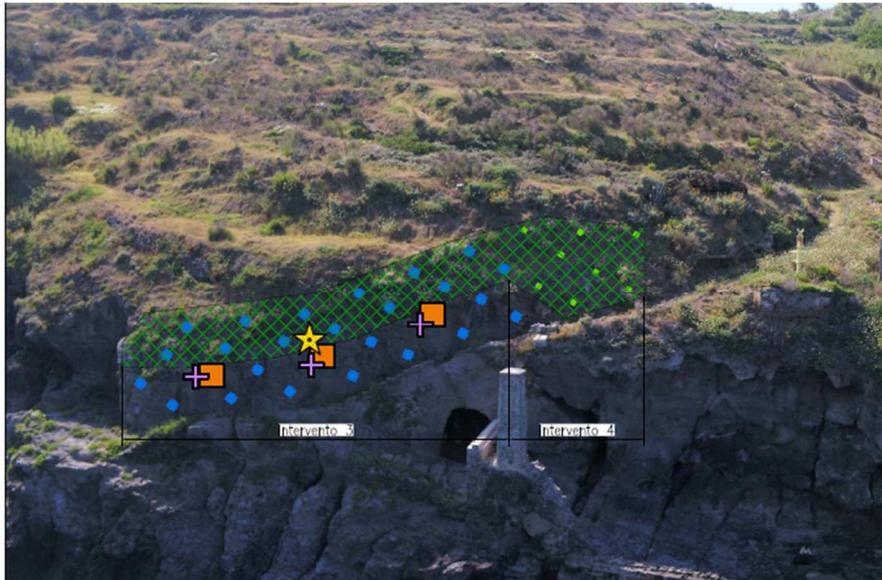


Fig. 43b: ubicazione di massima di mire topografiche (quadrati arancioni) – bersagli satellitari (stelle gialle) – termometro (linea gialla) – celle di carico (croci azzurre) presso scalo Marinella



Fig. 44: ubicazione di massima di bersagli artificiali per monitoraggio satellitari (stelle gialle) presso area del cimitero

18 Inquadramento ed osservazioni idrogeologiche.

Le terebrazioni sull'isola per altri interventi non hanno consentito di riconoscere la presenza di eventuale falda acquifera. Si può osservare che la presenza di tale falda è condizionata sia dalle litologie sia alla morfologia del sito. Dal punto di vista delle permeabilità i litotipi riconosciuti hanno caratteristiche differenti dall'alto verso il basso. Nell'area del carcere sono presenti depositi piroclastici e pomici che presentano generalmente una permeabilità primaria per porosità e secondaria per fratturazione. In questi depositi è possibile la formazione di falde stagionali non continue in funzione del grado di porosità e fratturazione. Alla base delle piroclastiti si rinvencono le scorie e le lave che hanno permeabilità primaria per fessurazione che potenzialmente potrebbero diventare il recapito delle acque provenienti dalla parte sommitale dell'isola. Dal punto di vista geomorfologico, infatti, le acque meteoriche potrebbero infiltrarsi nella parte sommitale dell'isola alla quota di circa 80 m sul livello del mare e formare una falda stagionale a seconda dello stato di fessurazione e porosità delle piroclastiche. Viste le dimensioni dell'isola l'area di ricarica delle piogge è limitata alla parte più pianeggiante che coincide con l'edificio dell'ergastolo. Nell'area immediatamente ad ovest dell'approdo è presente un impluvio che costituisce l'elemento essenziale del reticolo idrico di quest'area dell'isola. Il recapito dell'impluvio, che verosimilmente accoglie le acque piovane nei periodi d'intense precipitazioni, sfocia direttamente in mare come evidenziato nella figura seguente.

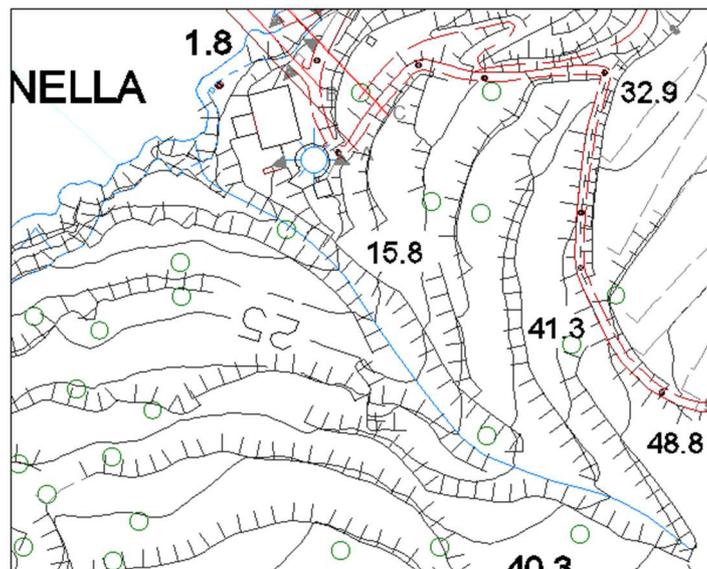


Fig. 45: reticolo idrografico

Il rilievo geomeccanico non ha evidenziato la presenza di acqua che scorre in maniera fluente all'interno delle diverse famiglie di frattura ma un certo grado di umidità.

19 Conclusioni

L'Isola di Santo Stefano presenta dal punto di vista geologico e geomorfologico alcune fragilità. La forma dell'isola è quella di un cono laterale del Vulcano Ventotene che emergeva per 900 m sul livello del mare. Dal punto di vista stratigrafico le principali unità riconosciute da altri autori e comunque osservate nel corso del rilievo geologico sono essenzialmente due, dal basso verso l'alto:

- Lave e scorie basali ascrivibili alla Formazione di Santo Stefano;
- Piroclastiti e pomici dell'unità di Villa Giulia.

L'isola presenta una serie di vincoli tra i quali quelli di natura idrogeologica ovvero il piano stralcio per l'assetto idrogeologico dell'ex autorità di bacino del Lazio ed il Vincolo Idrogeologico R.D.L. n. 3267/23 e del R.D. n. 1126/26. Il P.A.I. indica nell'intero perimetro dell'isola, in corrispondenza delle falesie, aree a pericolo A e/o rischio R4.

La fragilità geomorfologica è legata principalmente al rischio di frana di crollo delle falesie. Infatti queste ultime si presentano pseudoverticali e con una serie di fratture sistematiche da raffreddamento che, nei casi di intersezione tra loro, possono dare luogo a crolli di cunei di dimensioni da medie a grandi. Le falesie sono impostate sulle rocce laviche e sono esposte al weathering fisico del moto ondoso.

Il rilievo geomeccanico condotto su n. 3 stazioni ha fornito un quadro della potenziale predisposizione al crollo della falesia; in particolare, considerando tutte le misure rilevate, sono state riconosciute n. 4 famiglie di giunti principali di cui una rappresenta la stratificazione sub-orizzontale, la seconda subverticale orientata NNW e le ultime due famiglie, anch'esse sub-verticali, orientate ENE e WSW.

Secondo la classificazione RMR di Bieniawsky e SMR di Romana è stato possibile dare un giudizio qualitativo dell'ammasso roccioso che in linea generale, per tutte le stazioni, risulta essere buono.

Dalla rappresentazione stereografica della media delle fratture suddivise in famiglie è stato inoltre possibile secondo il metodo Markland effettuare delle analisi di stabilità ante operam. Le verifiche hanno riguardato tre casistiche relative ai crolli:

- Scivolamento planare;
- Ribaltamento;
- Cunei di roccia;

Per ogni stazione è stata analizzata la predisposizione al dissesto secondo i tre meccanismi non

solo dal punto cinematico ma anche dal punto dinamico. Infatti affinché si possa innescarsi un'instabilità bisogna che il giunto sia predisposto oltre che cinematicamente bisogna verificare che ci sia ammissibilità dinamica fra il piano che si sta analizzando e le forze che agiscono su di esse, tale verifica viene effettuata proiettando sul reticolo il cono d'attrito, corrispondente a una circonferenza concentrica al reticolo stesso, con centro differente, ottenuta facendo girare attorno alla normale dell'immersione del versante la direzione di infinite forze avendo come massimo angolo l'angolo di attrito dell'ammasso. Nel caso in cui le condizioni cinematiche precedentemente elencate ricadano all'interno del cono d'attrito precedentemente descritto è verificata anche l'ammissibilità dinamica ed è quindi possibile l'innescarsi di uno o dell'altro meccanismo.

In conclusione, dal rilievo geomeccanico, allegato alla presente relazione, si evince che per quasi tutte le stazioni il test di Markland ha dato come risultato instabilità per cunei di roccia:

Stazione	Scivolamento	Cunei di roccia	Ribaltamento
SG1	Stabile	Instabile	Stabile
SG2A	Stabile	Stabile	Stabile
SG2B	Stabile	Instabile	Stabile
SG3	Stabile	Instabile	Stabile

Si può aggiungere che per l'approdo "Marinella" sarà necessario intervenire sulla falesia per mitigare il rischio di crolli per cunei di roccia, i quali angoli d'attrito e coesione sono illustrati nei paragrafi precedenti e nell'elaborato 2017E037INV-01-D-GE-IND002 "Relazione tecnica sul rilevamento geologico-tecnico e analisi di stabilità" alla quale si rimanda per approfondimenti.

Anche nell'area dello scalo n.4 gli esiti del rilievo geomeccanico ed il test di Markland hanno confermato il potenziale rischio di instabilità di cunei di roccia. La falesia in quest'area è interessata da una perimetrazione a pericolosità A e rischio R4 relativo ad un tratto del percorso. Allo scalo n.4 è prevista l'installazione di un campo boe per la sosta di imbarcazioni, al di fuori delle aree a pericolo frana, e l'installazione di un maniglione per gli sbarchi di emergenza in situazioni meteomarine critiche che non permettono lo sbarco da e per l'approdo Marinella.

Le opere di mitigazione compatibili con i cinematismi sopra descritti e progettati per la messa in sicurezza dell'area sono trattati negli elaborati 2017E037INV-02-D-S0-TAV001, 2017E037INV-02-D-S0-TAV002, 2017E037INV-02-D-S0-TAV003 e 2017E037INV-02-D-S0-TAV005 e riguardano principalmente:

- Chiodatura con barre di chiodatura in acciaio tipo Dywidag con diametri da Φ 17,5 mm a Φ 26,5 mm e lunghezza compresa tra 1,5 e 6 m e piastra di bloccaggio per i cunei di roccia potenzialmente instabili;
- Rete in filo d'acciaio ad alta resistenza con maglia romboidale, filo Φ 2,0 mm e fune d'acciaio diagonale Φ 12,0 mm per la parte rocciosa alterata con dimensioni inferiori.

Al piede della falesia si è formata, verosimilmente per una combinazione di azioni antropiche (scavo per allargare l'antico approdo) e naturali (azione del moto ondoso), un incavo che contribuisce all'instabilità dei blocchi in fase di crollo potenziale. Per tale motivo il progetto di messa in sicurezza comprende anche un intervento teso alla protezione della scarpata dall'azione erosiva del moto ondoso con un sistema composta da un muro rivestito in pietra lavica, travi d'acciaio e riempimento posteriore. Per le verifiche di stabilità post operam si rimanda all'elaborato 2017E037INV-02-D-S0-RF0001 *"Progetto Strutturale - Mitigazione del rischio di instabilità del versante - Relazione geotecnica e sulle fondazioni"*. È previsto, inoltre, il ripristino del muro a secco sottostante la prima rampe di scale presente nell'area tramite interventi ordinari e straordinari.

Si ricorda che l'intervento di consolidamento è stato progettato per mitigare il rischio di frana dell'area dell'approdo "Marinella" e richiedere una ripermimetrazione della pericolosità/rischio frana da A/R3 a C/R2 finalizzato alla realizzazione del nuovo molo. La richiesta della riclassificazione è limitata alle aree indicate nell'elaborato "2017E037INV-02-D-R0-TAV019". Per tale finalità, oltre all'intervento di mitigazione del rischio mediante consolidamento, è necessario metter in atto il piano di monitoraggio così come descritto nello specifico paragrafo e nella tavola di ubicazione 2017E037INV-02-D-S0-TAV004. Il monitoraggio sarà essenziale anche per l'area dello scalo n.4 con funzione di prevenzione e previsione di eventuali crolli.

Dal punto di vista sismico Ventotene è classificato in zona 3b per la Regione Lazio.

Per il progetto del molo è stato fornito un modello geologico sintetizzato nella carta geologica e nelle sezioni geologiche. In particolare, la campagna di indagini geognostiche ha consentito di definire l'assetto stratigrafico, sismico e geotecnico del fondale marino sede dell'intervento.

Le stratigrafie hanno messo in evidenza la presenza di sedimenti rappresentati da sabbia, ciottoli, ghiaia e blocchi poggianti con contatto di tipo onlap sul substrato lavico verso terra.

L'indagine geofisica di tipo M.A.S.W. eseguita sull'approdo ha fornito una categoria di suolo di tipo B mentre, non riscontrando la presenza del substrato al di sotto dell'impronta del molo in progetto si è cautelativamente assegnato la categoria di suolo C ai fini dell'amplificazione stratigrafica. Si sottolinea che l'Isola di Santo Stefano ricade in area sismica 3b per la Regione

Lazio con a_{max} , relativa alla pericolosità sismica di base pari a 0,06 g ($T_r=475$ anni) quindi bassa. Lo spettro di risposta elastica ottenuto dall'analisi numerica di risposta sismica locale ha fornito risultati della a_{max} inferiori a quelli considerati dallo spettro di normativa in classe C. Nel dettaglio a_{max} da RLS risulta circa 0,07 g mentre lo spettro amplificato in classe C per la $V_n=50$, classe d'uso III e $V_r=75$ restituisce $a_{max}=0,099$. Si consiglia l'utilizzo della classe di suolo C in via cautelativa.

Bibliografia

- M. Ingrassia - Studio di strutture geologiche prodotte da fuoriuscita di fluidi e possibili georischi associati. Applicazioni ai fondali circostanti l'Arcipelago Pontino (Tirreno Centrale). Progetto Dottorato di Ricerca – Università La Sapienza Roma;
- Bergomi C., Catenacci V., Cestari G., Manfredini M., Manganelli V. (1969) - Note illustrative del Foglio 171 Gaeta e vulcano di Roccamonfina. Servizio Geologico d'Italia;
- E. SACCHI1 & F.M.PETTI Insect pupation chambers from the Pleistocene paleosols of Santo Stefano Island (Pontine Archipelago, Central Italy) Studi Trent. Sci. Nat. Acta Geol., 83 (2008): 205-210;
- Bellucci F., Lirer L. & Munno R., 1999a - Geology of Ponza, Ventotene and Santo Stefano island (with a 1:15.000 scale geological map). Acta Vulcanologica, 11 (2): 197-222.
- Bellucci F., Lirer L. & Rolandi G., 1999b - Geological Map of Ponza, Ventotene and Santo Stefano Islands. Scale 1:15.000.;
- D. Molin¹, F. Bernardini², R. Camassi², C. H. Caracciolo², V. Castelli², E. Ercolani², L. Postpischl "MATERIALI PER UN CATALOGO DEI TERREMOTI ITALIANI: REVISIONE DELLA SISMICITÀ MINORE DEL TERRITORIO NAZIONALE". Dipartimento della Protezione Civile - Roma - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Bologna.;
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - A.G.I. 1977.;
- M. Pietrantoni, A. Tagliaferri, M. Petrangeli "Valutazione dell'affidabilità delle prove SPT per la caratterizzazione sismica dei terreni" – Rivista Geotecnica Italiana 2013

- Palmstrom “Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)” – Tunnels and Underground Space Technology 20 362-377 – 2005

- Luis I. Gonzalez De Vallejo – Geingegneria – Pearson Prentie Hall -2005

- <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

- https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/query_eq/

- <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/visualizzatori/>