



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

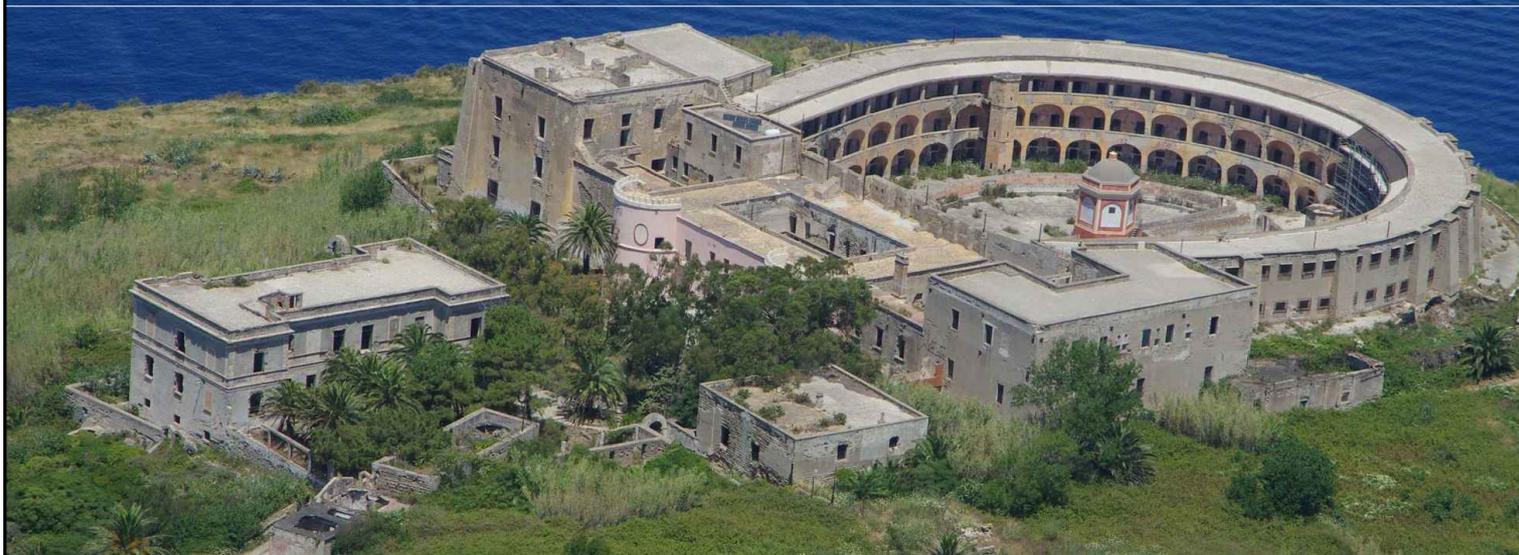


Comune di Ventotene
REGIONE LAZIO

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
Progetto Strutturale Mitigazione del rischio di instabilità del versante Relazione geotecnica e sulle fondazioni			REDATTO	05-03-2021	G.GUIDUCCI
			VERIFICATO	05-03-2021	L.SONNESSA
			APPROVATO	05-03-2021	Rosa di NUZZO
			DATA	05-03-2021	CODICE BREVE S0-RF0001
			SCALA	----	
			CODICE ELABORATO	2017E037INV-02-D-S0-RF0001	
			CODICE FILE	2017E037INV-02-D-S0-RF0001.dwg	
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI			
Rev. 1-....-....	----			
Rev. 2-....-....	----			
Rev. 3-....-....	----			

1 SOMMARIO

1	Sommario	0
2	Premessa	2
3	Documenti di riferimento.....	6
3.1	<i>Normativa tecnica</i>	6
3.2	<i>Documenti progettuali</i>	7
4	Descrizione delle opere	8
4.1	<i>Premessa</i>	8
4.2	<i>Intervento 1: Falesia prospiciente l'approdo Marinella</i>	9
4.3	<i>Intervento 2: Muro e roccia sottostanti il percorso Marinella, lato mare</i>	15
4.4	<i>Intervento 3: Falesia sovrastante il percorso Marinella dopo il primo tornante</i>	16
4.5	<i>Intervento 4: Pendio sovrastante il percorso Marinella dopo intervento 3</i>	18
5	MATERIALI	20
5.1	<i>Acciaio da carpenteria</i>	20
5.2	<i>Unioni bullonate</i>	20
5.3	<i>Calcestruzzo riempimento sottomurazione</i>	20
5.4	<i>Chiodature con barre tipo Dywidag</i>	21
5.5	<i>Rete metallica</i>	21
5.6	<i>Fune metallica</i>	22
6	Inquadramento geomeccanico delle aree di intervento	23
6.1	<i>Premessa</i>	23
6.2	<i>Inquadramento geomeccanico</i>	23

7	Analisi di stabilità dei cunei e delle chiodature di consolidamento	30
7.1	<i>Premessa</i>	30
7.2	<i>Metodologia di analisi tridimensionale dei cunei di roccia.....</i>	30
7.3	<i>Dati di input.....</i>	31
7.3.1	Volume e peso del cuneo di progetto	31
7.3.2	Spinta sismica del cuneo di roccia	32
7.3.3	Resistenza allo sfilamento del singolo elemento di chiodatura	33
7.4	<i>Risultati delle analisi.....</i>	34
8	MONITORAGGIO	40
8.1	<i>Premessa</i>	40
8.2	<i>Tipologie delle misure e degli strumenti</i>	40
8.2.1	BS Bersagli artificiali per interferometria satellitare	40
8.2.2	MT mire topografiche.....	41
8.2.3	CC Celle di carico sulla testata delle barre di chiodatura	42
8.2.4	MG Misuratori di giunti o fessurimetri.....	43
8.2.5	TM Termometri	44
8.3	<i>Figure con l'ubicazione dei punti di misura</i>	45
8.4	<i>Durata del monitoraggio e frequenze delle misure</i>	48
8.5	<i>Annotazioni</i>	48

2 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto di *“Realizzazione/adequamento degli approdi all’isola di Santo Stefano”*, rientrante tra gli 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 (Invitalia S.p.A.) per la realizzazione delle attività di soggetto attuatore del Contratto Istituzionale di Sviluppo (CIS) per il Recupero e la Rifunionalizzazione dell’*“Ex Carcere Borbonico Dell’isola di S. Stefano Ventotene”*.

L’intervento di *Realizzazione/adequamento degli approdi all’isola di Santo Stefano*, considerata la peculiare condizione di insularità, con vincoli ambientali e difficoltà di accesso terrestre per la morfologia scoscesa della costa che riguarda l’intera isola, prevede la realizzazione in generale di opere di minimo impatto, privilegiando due punti di sbarco, già storicamente utilizzati, in posizioni diversamente esposte al mare, per consentirne l’uso alternativo in occasione di mareggiate, in relazione alla direzione di provenienza; i due approdi sono denominati scalo della Marinella, in posizione nord-ovest, e scalo n. 4, in posizione nord-est.

L’intervento di progetto riguarderà i su citati punti di scalo dove si andranno a realizzare sinteticamente le seguenti opere:

- **Scalo della Marinella:**
 - Opere a mare al fine di creare, in continuità alla scogliera già utilizzata e conformata come approdo naturale, un piccolo molo per migliorare, anche in termini di sicurezza, l’accessibilità sull’isola;
 - Opere a terra al fine di creare un percorso in sicurezza, pavimentato e delimitato, dal nuovo molo fino alla scala che da inizio al percorso lastricato che arriva al carcere borbonico; realizzazione di nuovi parapetti al fine di garantire la percorribilità dei percorsi pedonali in sicurezza nei punti esposti;
 - Opere sulla falesia prospiciente l’approdo.
- **Scalo n. 4:**
 - Opere a mare con l’installazione di gavitelli per l’ormeggio;

- Opere a terra al fine di creare un percorso in sicurezza delimitato dal punto di sbarco fino alla scala che da inizio al percorso a gradoni che arriva all'ex carcere borbonico; realizzazione di una nuova balaustra al fine di garantire la percorribilità dei percorsi pedonali in sicurezza nei punti esposti;
- Opere di ripristino dei muretti a secco presenti lungo il percorso a gradoni, che arriva al carcere borbonico.

La realizzazione delle opere a mare nello scalo della Marinella è subordinata alla messa in sicurezza della falesia prospiciente l'approdo, vista la perimetrazione dell'area a pericolosità A e a rischio frana R4, riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.), predisposto dall'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico Centrale.



Figura 1. Falesia dell'approdo Marinella

Nella presente relazione si riportano le analisi geotecniche relative agli interventi previsti per la mitigazione del rischio di instabilità del versante della falesia nello scalo Marinella; si tratta, nello specifico, di quattro interventi, previsti in altrettante zone, individuati planimetricamente e in prospettiva con foto-inserimento delle singole chiodature, reti e funi metalliche, illustrate in dettaglio negli elaborati grafici di progetto, di cui si riportano alcuni stralci nel presente documento, con le relative raccomandazioni sulle modalità esecutive.

Tutte le informazioni utili alla redazione della presente relazione sono state ricavate dalle

 Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA	2017E037INV-02-D-S0-RF0001
	Rev. 0
	Pag. 4/50

ricognizioni effettuate e dalla consultazione dei documenti seguenti, allegati al progetto:

- *2017E037INV-01-D-GE-RGEO000: Relazione Geologica*, redatta dal Dott. Geol. Vincenzo Guido;
- *Relazione Tecnica sulle indagini di Rilevamento Geologico-Tecnico e Analisi di Stabilità GEODES - Rev. 1 del 07.12.2020*, di cui alle indagini eseguite dalla *Geodes Laboratori di Bevilacqua M. Gabriella* nel mese di ottobre 2020.

Con particolare attenzione all'Intervento 1, di seguito descritto, il presente studio recepisce quanto riportato nella Relazione Geologica di progetto, in merito ai rilievi geomeccanici effettuati nelle varie stazioni (rilievi eseguiti dalla *Geodes Laboratori di Bevilacqua M. Gabriella* nel mese di ottobre 2020) e alle relative indicazioni delle giaciture e delle possibili criticità. Queste ultime sono individuate dalle stazioni geomeccaniche SG1, SG2A e SG2B. In tali aree la falesia sarà stabilizzata con chiodature con barre in acciaio (tipo *Dywidag*) di lunghezza 4 e 6 m, rete metallica e funi, al fine di ricucire le eventuali fratture e contenere i possibili distacchi di blocchi superficiali. L'intervento proposto è stato analizzato e verificato con un'analisi rigido-plastica tridimensionale "a cunei", come esposto nel seguito; l'analisi è stata effettuata a partire da uno stato iniziale ipotizzato con fattori di sicurezza prossimi all'unità, assumendo opportuni parametri di resistenza dei giunti di roccia.

Si osserva che l'approccio numerico non può essere deterministico nella valutazione dei fattori di sicurezza; lo stato iniziale è posto, convenzionalmente e cautelativamente, con fattori di sicurezza prossimi all'unità (condizione al limite dell'equilibrio), ma che, di fatto, potrebbero essere superiori. I risultati di rilevanza progettuale sono gli incrementi dei fattori di sicurezza a seguito degli interventi, che daranno la misura dell'efficacia in termini relativi.

Nella seconda parte della relazione è stato descritto il sistema di monitoraggio previsto per valutare l'adeguatezza degli interventi proposti e per il controllo delle possibili evoluzioni del complesso della falesia nel tempo.



Figura 2. Vista Panoramica dello scalo della Marinella e della via d'accesso pedonale fino all'Ex Carcere Borbonico

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Normativa tecnica

Le normative di riferimento utilizzate sono le seguenti:

DM 17.01.2018	Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni (di seguito NTC-2018);
CIRCOLARE 21 GENNAIO 2019, N. 7	Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018 (DI SEGUITO Circolare di applicazione NTC-2018);
MINISTERO DELL'INTERNO CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO	Vademecum STOP – schede tecniche delle opere provvisoriale per la messa in sicurezza post-sisma da parte dei vigili del fuoco. Aprile 2010;
AUTORITA' DEI BACINI REGIONALI DEL LAZIO	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) – Norme di Attuazione. (B.U.R.L. n. 21 del 07/06/2012 – S.O. n. 35);
AUTORITA' DEI BACINI REGIONALI DEL LAZIO	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) – Relazione Tecnica (B.U.R.L. n. 21 del 07/06/2012 – S.O. n. 35);

Ad integrazione delle sopracitate norme e per quanto con esse non in contrasto, sono stati utilizzati ed elencati i documenti di seguito indicati:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI;
- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

3.2 Documenti progettuali

Per quanto riguarda gli interventi descritti, si riporta di seguito l'elenco degli elaborati progettuali di riferimento:

- 2017E037INV-02-D-GE-RGEO000: Relazione Geologica;
- Relazione Tecnica sulle indagini di Rilevamento Geologico-Tecnico e Analisi di Stabilità GEODES - Rev. 1 del 07.12.2020.
- 2017E037INV-02-D-S0-TAV001: *“Progetto Strutturale - Mitigazione del rischio di instabilità del versante. Interventi di progetto: Planimetria e Prospetti”*;
- 2017E037INV-02-D-S0-TAV002: *“Progetto Strutturale - Mitigazione del rischio di instabilità del versante. Interventi di sottomurazione: Planimetria e Sezioni”*;
- 2017E037INV-02-D-S0-TAV003: *“Progetto Strutturale - Mitigazione del rischio di instabilità del versante. Barre di chiodatura, reti e funi aderenti: Dettagli costruttivi”*;
- 2017E037INV-02-D-S0-TAV004: *“Progetto Strutturale - Mitigazione del rischio di instabilità del versante. Falesia Marinella e Cimitero: Schemi di installazione punti di misura per monitoraggio”*

4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

4.1 Premessa

Il progetto di mitigazione del rischio di instabilità del versante prevede quattro interventi, ubicati in altrettante aree, e identificati nello stralcio planimetrico di Figura 3:

- **Intervento 1:** Falesia prospiciente l'approdo Marinella;
- **Intervento 2:** Muro e roccia sottostanti il percorso Marinella, lato mare;
- **Intervento 3:** Falesia sovrastante il percorso Marinella dopo il primo tornante;
- **Intervento 4:** Pendio sovrastante il percorso Marinella dopo intervento 3, procedendo in salita.

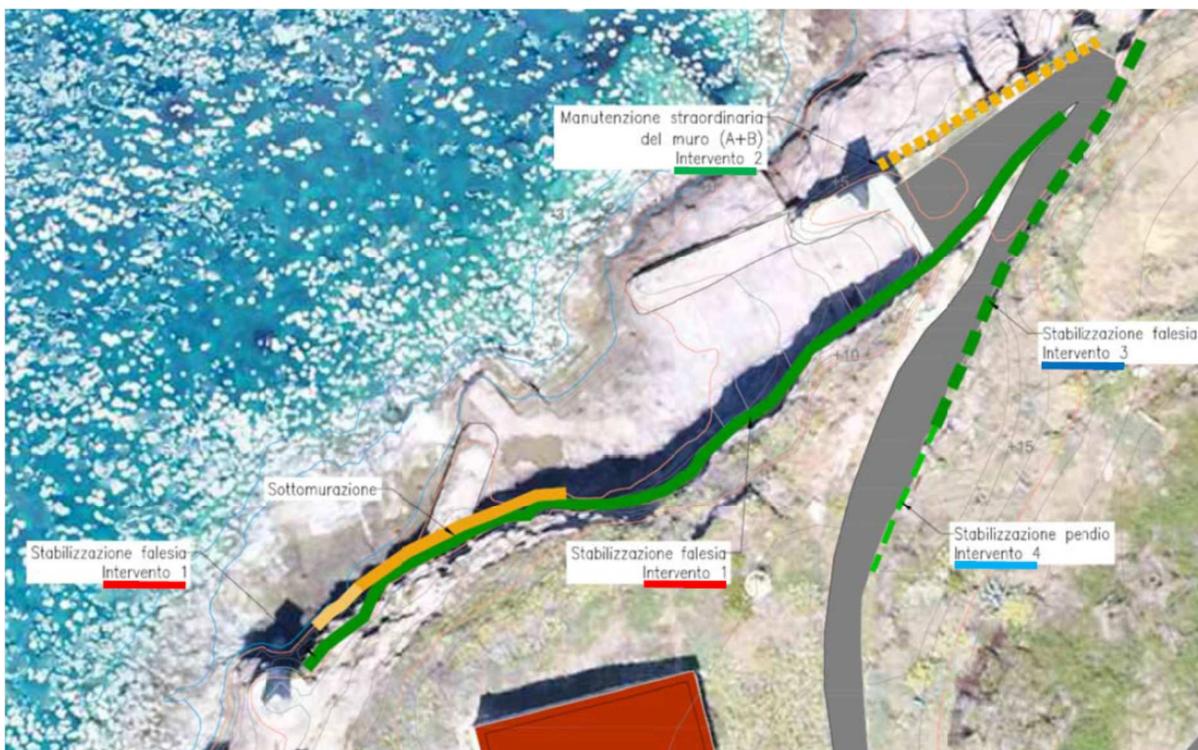


Figura 3. Foto-inserimento planimetrico degli interventi di progetto

4.2 Intervento 1: Falesia prospiciente l'approdo Marinella

L'area individuata dall'intervento 1 è senza dubbio quella più critica, situata dinnanzi allo scalo della Marinella ed oggetto principale del presente studio.

L'area è stata indagata con le stazioni geomeccaniche SG1, SG2A e SG2B, per le quali il test di Markland ha rilevato la compatibilità cinematica con il distacco di cunei di roccia, per le giaciture rilevate. Per tale motivo si è reso necessario un intervento di mitigazione del rischio della parete con una chiodatura, ad integrazione di un intervento analogo già realizzato.



Figura 4. Intervento 1, stato di fatto: Cavità antropica da chiudere per sottomurazione e falesia fessurata da stabilizzare tramite chiodature

Gli interventi di mitigazione dovranno essere preceduti da una fase di ispezione visiva e di pulizia, per verificare le condizioni locali e ottimizzare le posizioni per le perforazioni; a questa fase seguirà il disgiungimento delle porzioni instabili, metastabili o di forte irregolarità, con mezzi di demolizione meccanici.

Le chiodature con barre d'acciaio (intervento di tipo attivo) costituiscono l'elemento principale di stabilizzazione dei cunei rocciosi, tramite ricucitura delle fessure, con conseguente aumento

generale della resistenza al taglio media dell'ammasso e miglioramento delle condizioni di stabilità globali e locali. La scelta di barre di diametro adeguato e di elevata classe di acciaio è fondamentale per conferire alla cucitura un significativo aumento di resistenza al taglio oltre che di resistenza allo sfilamento, aumentando l'efficacia dell'intervento per i vari piani di giacitura delle fessure.

Le chiodature sono corredate da reti aderenti e funi metalliche (intervento di tipo passivo), che evitano la caduta dei massi di piccole dimensioni (decimetrici). Il tipo di rete scelta soddisfa i requisiti di resistenza, durabilità e ridotta visibilità.

L'area dell'intervento 1 è già stata interessata da *"Lavori di somma urgenza a tutela della pubblica incolumità per la messa in sicurezza accessi sull'isola di Santo Stefano – Approdi Marinella e Scalo n. 4 – CIG: Z7A2EF99AD"*, affidati dal Comune di Ventotene.

I lavori sono stati eseguiti dall'Impresa CONSOLIDAMENTI s.r.l. di Narni (TR), ultimati il 25/11/2020; sulla base delle informazioni acquisite, i lavori effettuati sono consistiti nell'esecuzione di 15 chiodature $\varnothing 24\text{mm}$ di lunghezza 6.0 m, non collegate con funi, rappresentate nella Figura 5 con un triangolo rosso.

Il nuovo intervento di progetto prevede l'inserimento di barre tipo *Dywidag* $\varnothing \geq 24\text{mm}$, di lunghezza 6.0 m, nella parte inferiore, e 4.0 m, nella parte superiore, con una densità di circa di 1 barra ogni 5 m². Si prevede inoltre una rete metallica in filo inossidabile $\varnothing = 2\text{mm}$; la testa filettata di ciascun chiodo sarà dotata di un golfare che consente il collegamento delle chiodature con funi di acciaio diagonali $\varnothing 12\text{mm}$. Funi di acciaio $\varnothing 16\text{mm}$ completeranno il sistema delle reti in sommità ed alla base. In ausilio e per la sicurezza della cantierizzazione dovrà essere predisposta una idonea "linea vita" sommitale.

In Figura 5 è riportato uno stralcio con l'indicazione delle chiodature di progetto; la disposizione mostrata è indicativa, la disposizione reale e l'inclinazione di ciascuna perforazione sarà dettagliatamente stabilita in sito, di concerto con la D.L., avendo cura di posizionare la testa del singolo elemento di consolidamento in una porzione di roccia integra e non nell'immediata prossimità di una frattura, valutando tra l'altro le angolazioni ottimali per ottenere una efficace ricucitura delle fessure.

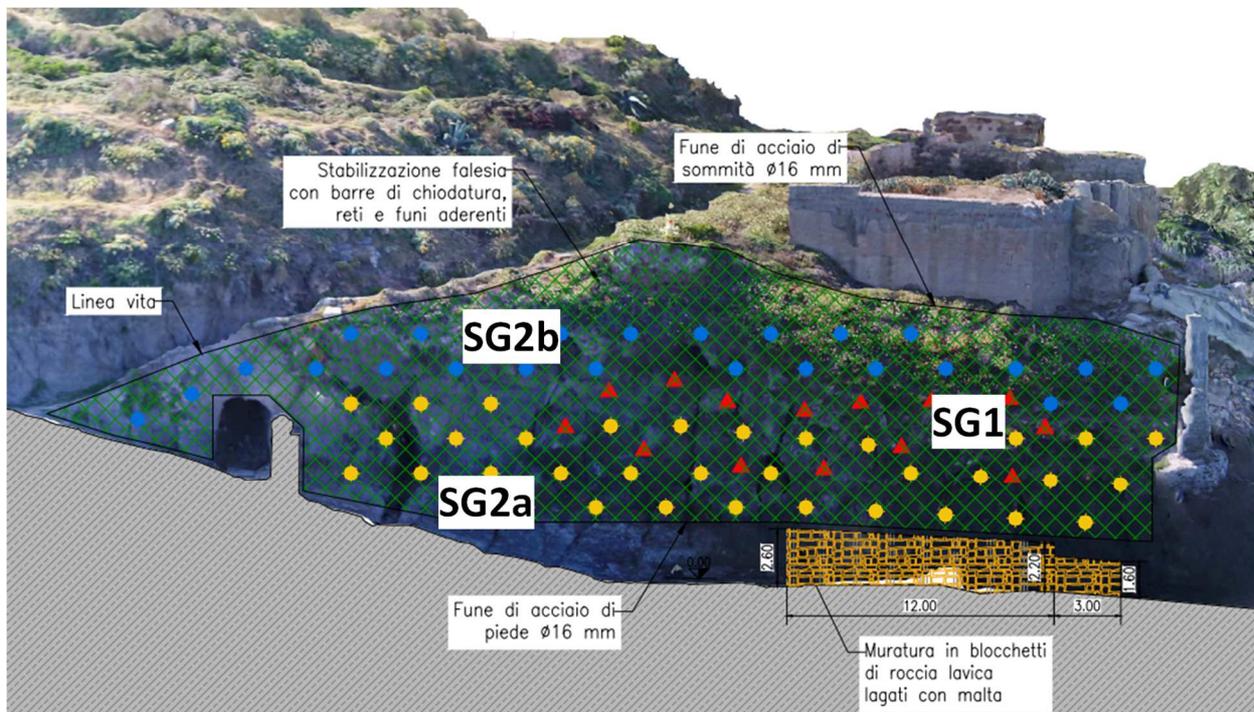


Figura 5. Intervento 1: Integrazione delle chiodature esistenti (triangoli rossi) con chiodature di lunghezza 6 m (cerchi gialli) e 4 m (cerchi blu), rete e funi metalliche

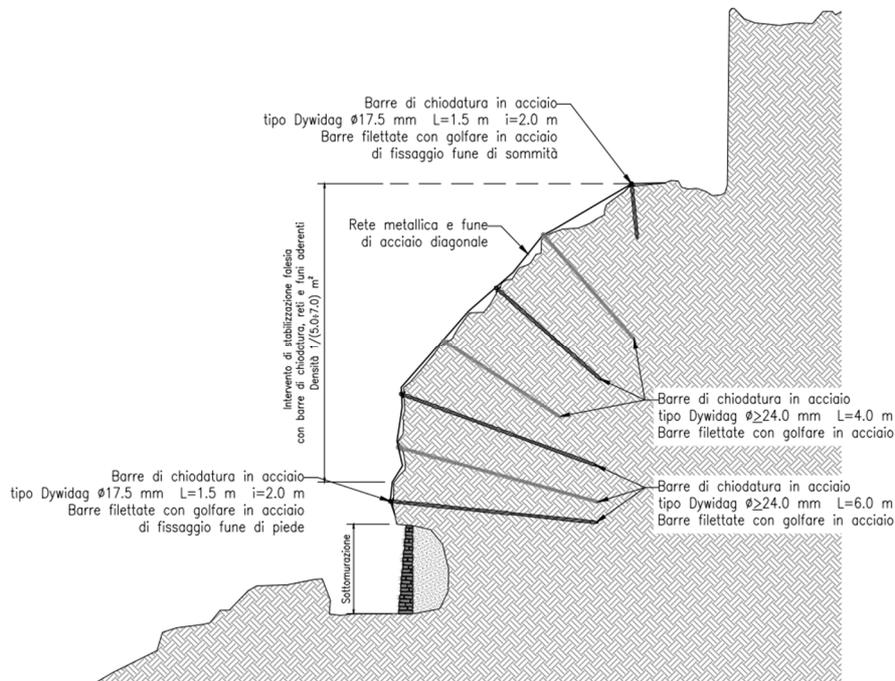


Figura 6. Intervento 1 - sottomurazione: sezione tipo

Al piede della falesia, nell'area prospiciente l'attuale scalo della Marinella, è presente un incavo antropico che sarà oggetto di un apposito intervento di riempimento per sottomurazione con i seguenti obiettivi:

- protezione dall'azione meccanica erosiva e demolitrice delle onde;
- protezione dall'azione degli agenti atmosferici: variazioni delle temperature, salsedine ecc.;
- sostegno della parte aggettante, intesa come risorsa di rigidità per contrastare l'allentamento; tale funzione statica viene comunque considerata subordinata a quella delle protezioni di cui ai punti precedenti.

Al fine di mantenere il pregio estetico di una pavimentazione esistente e ancora in uso, la posizione della sottomurazione è stata posizionata leggermente arretrata rispetto alla parete sub-verticale superiore. Questo arretramento consente anche di mantenere l'evidenza caratterizzante dell'oggetto.

L'intervento della sottomurazione sarà costituito dai seguenti elementi strutturali:

- Pilastri costituiti da putrelle metalliche HE300A con passo 1.5 m, da inserire verticalmente, su apposite piastre terminali, allettate con malta ad alta resistenza, con metodologia idonea a “forzatura” per ottenere immediata messa in carico nei confronti di piccoli eventuali assestamenti.
- Muretto di rivestimento in pietra lavica naturale montato con malta cementizia, con materiali e tessitura che saranno dello stesso tipo dei muretti esistenti nell’area dello scalo; il muretto ha solo una funzione estetica.
- Riempimento della zona a tergo del muretto, da eseguire con calcestruzzo magro pompabile, necessario in quanto il muretto non resisterebbe all’impatto delle onde. Il riempimento verrà eseguito a tratti di altezza circa 0.60 m, di pari passo con l’innalzamento del muretto, per limitare la spinta idrostatica che, per altezze elevate potrebbe compromettere la stabilità dello stesso. Per ottenere un collegamento fra il muretto ed il riempimento si impiegheranno teli rettangolari di rete in acciaio inox.
- Barre d’acciaio da cementare e perforazioni da eseguire nella roccia e con testate sporgenti da inglobate nel riempimento, per completare la solidarizzazione fra tutti gli elementi, roccia, riempimento e muretto di chiusura frontale.

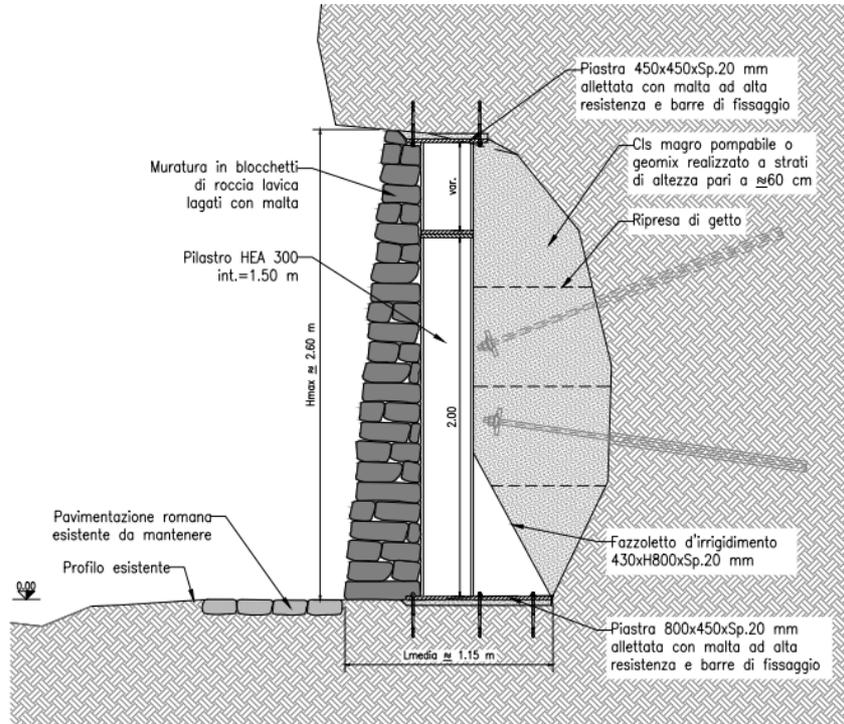
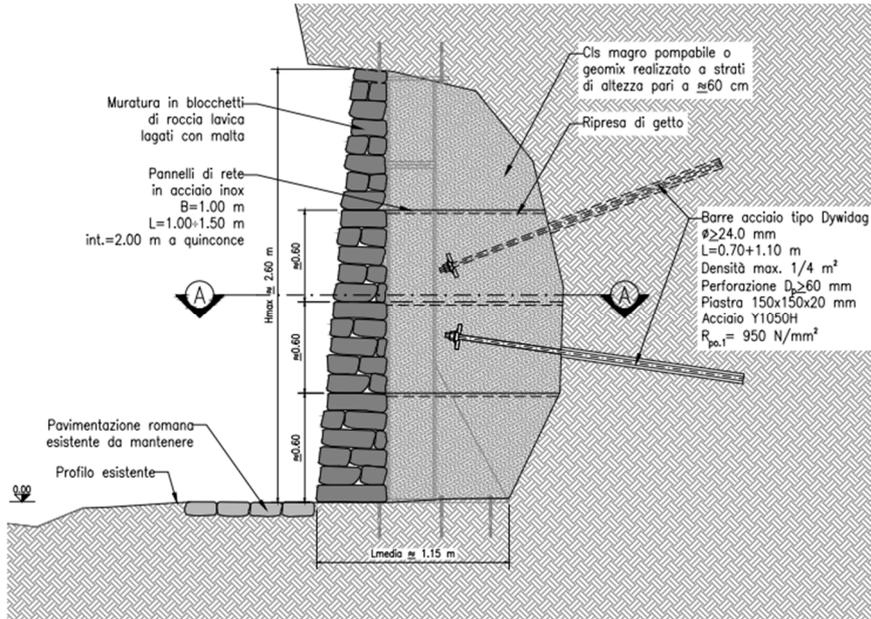


Figura 7. Intervento di sottomurazione: sezioni trasversali

4.3 Intervento 2: Muro e roccia sottostanti il percorso Marinella, lato mare

Il sostegno del percorso Marinella, lato mare, è in buona parte costituito da un muretto in pietra naturale, che presenta dissesti locali (si veda Figura 8).



Figura 8. Intervento 2: Muro e roccia sottostanti il percorso Marinella, con evidenza di dissesti locali

Si prevedono i seguenti interventi di manutenzione straordinaria:

- Ispezione, con rilievo delle attuali condizioni del muro;
- Pulizia e rimozione delle parti instabili;
- Riempimento degli spazi liberi del muro con pietrame di adeguate dimensioni e con l'impiego di malte cementizie. Il pietrame ed il legante dovranno essere dello stesso tipo di quelli esistenti;
- Sistemazione e ricostruzione della parte superiore del muro, maggiormente degradata;
- Ripristino di idonee capacità di drenaggio;
- Sfalciatura della vegetazione infestante, localmente dannosa per il manufatto e interferente con i lavori, previa verifica del rispetto delle indicazioni e delle mappature delle essenze da parte della Riserva naturale Statale erbe;
- Per le porzioni di muro degradate, deformate o crollate si prevede lo smontaggio e la ricostruzione locale, nel rispetto di sagoma esistente.

Gli interventi locali di pulizia e di ricostruzione dovranno essere effettuati sulle porzioni in roccia naturale.

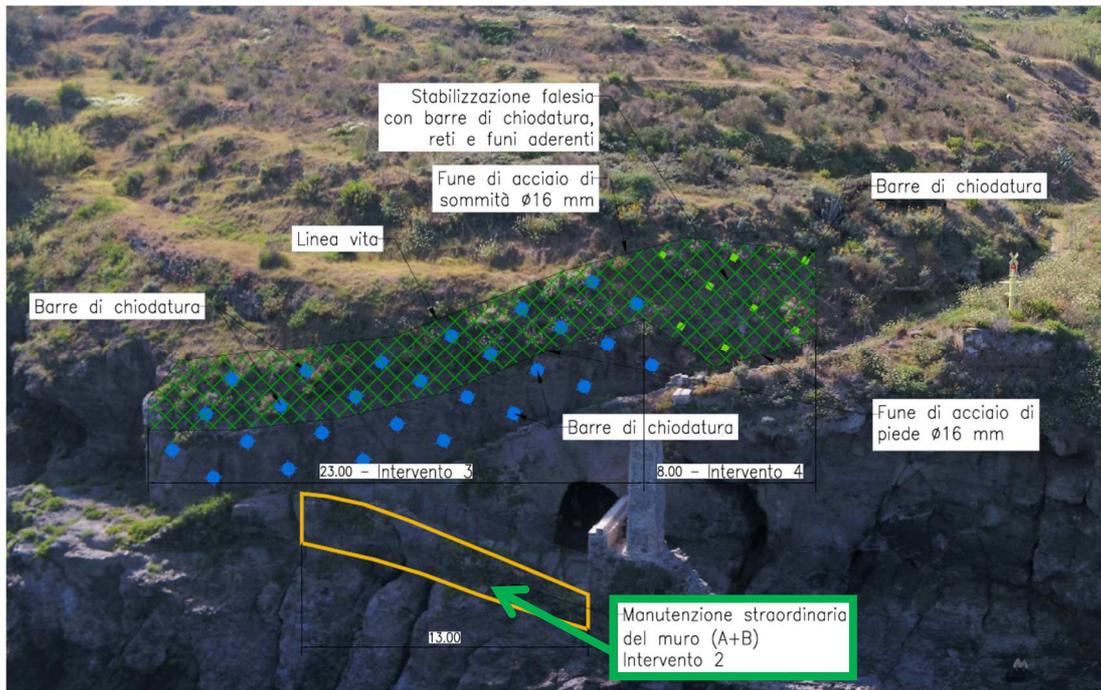


Figura 9. Intervento 2: Manutenzione straordinaria del muro e roccia sottostanti il percorso

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

L'ambito dell'intervento 3 riguarda una zona della falesia meno critica rispetto a quella di cui all'intervento 1; in questo tratto la falesia è stata prodotta dallo scavo per la realizzazione del percorso, la sua superficie si presenta piuttosto planare, quasi verticale, con altezza massima di circa 3.00 m che si riduce nel senso della salita del percorso.

L'ispezione visiva ha rilevato un quadro maggiormente stabile nell'ammasso costituente la falesia, che ha richiesto di ricucire le fessure naturali al fine di mitigare il rischio di degrado a lungo termine.



Figura 10. Intervento 3: Falesia sovrastante il percorso Marinella dopo il primo tornante.

La messa in opera di tali interventi deve essere preceduta da una ispezione visiva, da una pulizia e da un disgaggio.

Si predispongono chiodature con barre tipo Dywidag $\varnothing \geq 24\text{mm}$, di lunghezza 6.0 m, con densità circa di 1 barra ogni $6 \div 8 \text{ m}^2$; laddove la barra dovesse interessare la cavità presente, si dovrà prevedere la messa in opera del piatto di ancoraggio anche nella seconda estremità.

In particolare, la porzione di parete con roccia affiorante a monte del sentiero, generata da un "taglio" antropico, necessità di piccoli interventi di disgaggio, per lo più concentrati nella parte sommitale.

Per la porzione superiore della falesia e sul pendio sovrastante, ricoperto da terreno vegetale con forte acclività, si prevedono anche reti e funi metalliche (analoghe a quelle dell'intervento 1), al fine di preservare il sentiero da pericoli di caduta massi per eventuali distacchi superficiali.

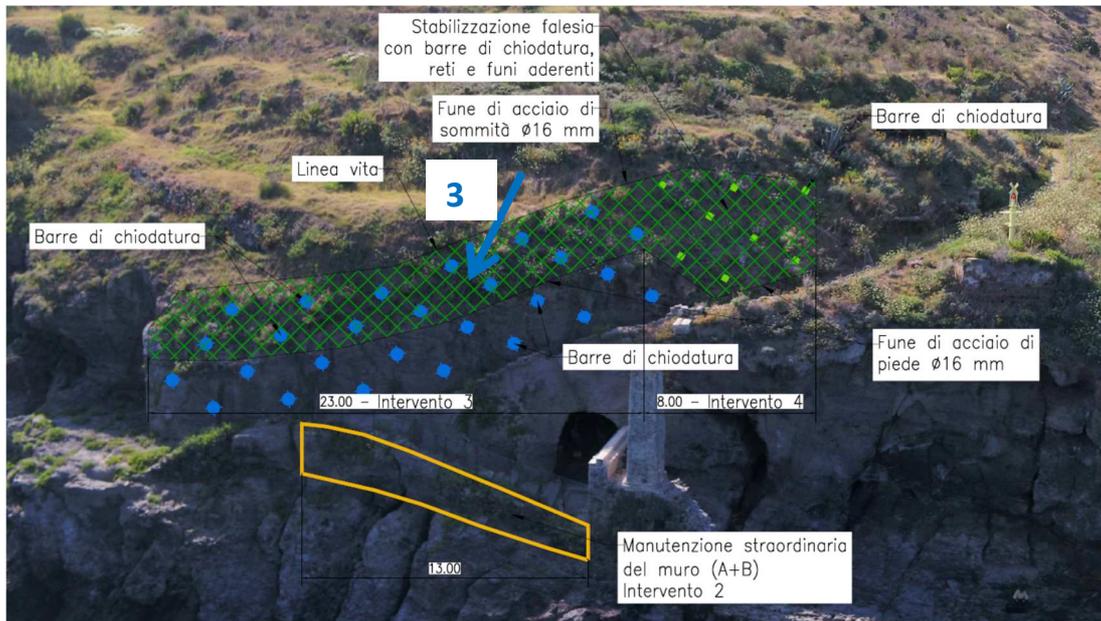


Figura 11. Intervento 3: Chiodature L=6m sulla falesia, chiodature L=6m con rete e funi sulla parte sommitale e sul pendio sovrastante.

4.5 Intervento 4: Pendio sovrastante il percorso Marinella dopo intervento 3

L'intervento 4 rappresenta la "coda" del consolidamento del pendio, accompagnandolo fino alle pendenze naturali, meno acclivi, della parte superiore del rilievo.



Figura 12. Intervento 4: Pendio sovrastante il percorso Marinella dopo intervento 3.

L'intervento 4 prevede barre tipo Dywidag $\varnothing \geq 17.5\text{mm}$, di lunghezza 1.5 m, rete e funi metalliche, poiché non si ravvisano problemi di instabilità globale ma pericoli di caduta massi per eventuali distacchi superficiali.



Figura 13. Intervento 4: chiodature L=1.5m con rete e funi sul pendio con chiodature L=1.5m per fissaggio

5 MATERIALI

5.1 Acciaio da carpenteria

Per i profili laminati a caldo si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10025-2, di classe non inferiore a S355, per la quale si ha:

- Tensione di snervamento caratteristica 355 MPa;
- Tensione di rottura caratteristica 510 MPa;
- Modulo elastico 210000 MPa;
- Fattori parziali di sicurezza secondo NTC-18.

Per i profili cavi, utilizzati nelle opere provvisoriale, sarà utilizzato acciaio UNI EN 10210 S235JRH; sono accettati acciai con resistenze meccaniche superiori.

Tutte le componenti dovranno essere protette mediante zincatura a caldo secondo EN ISO 1461:2009.

5.2 Unioni bullonate

Per le unioni bullonate saranno utilizzate viti UNI EN 898-1 classe 8.8 e dadi UNI EN 898-2 classe 8; sono accettate componenti con resistenze meccaniche superiori.

L'insieme deve rispondere alla UNI EN 15048 ed essere munito di rondella sotto dado.

- Tensione di snervamento caratteristica 640 MPa;
- Tensione di rottura caratteristica 800 MPa;
- Fattori parziali di sicurezza secondo NTC-18.

5.3 Calcestruzzo riempimento sottomurazione

Magrone:

- Classe di resistenza C12/15;
- Classe di consistenza S4;
- Diametro massimo dell'aggregato 32 mm;
- Classe d'esposizione X0;

Terreno artificiale pompabile (tipo geomix):

- Resistenza a compressione a 28gg 1-2 MPa;
- Massa volumica 18 kN/mc;
- Modulo elastico 400-600 MPa;
- Permeabilità all'acqua 0.0005-0.001 m/s.

5.4 Chiodature con barre tipo Dywidag

Tiranti di tipo passivo con Certificazione di Valutazione Tecnica rilasciato dal CSLPP o accompagnato da ETA.

Chiodi costituiti da barre filettate in acciaio armonico con le seguenti caratteristiche:

- Tensione caratteristica al carico massimo 1050 MPa;
- Tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua 900 MPa;
- Allungamento totale percentuale a carico massimo 3.5%;
- Diametro M24;
- Rivestimenti protettivi zincatura a caldo.

Boiaccia per cavi di precompressione EN 447:

- Cemento tipo II o tipo III;
- Rapporto a/c <0.40-0.50;
- Fluidità iniziale 10-30 secondi;
- Fluidità a 30' <80 secondi;
- Essudamento <2%;
- Variazione di volume tra -1% e 5%;
- Resistenza a compressione >30 MPa.

Golfari femmina DIN 582:2021 in acciaio:

- Portata 1800 daN;
- Coefficiente di sicurezza 4:1;
- Misura M24;
- Rivestimenti protettivi zincatura a caldo.

5.5 Rete metallica

Rete in acciaio armonico inossidabile EN 10218-1,2, EN 10264-1,2 romboidale:

- Resistenza caratteristica al carico massimo 1775 MPa;

- Tipo di acciaio AISI316 (EN 1.4401);
- Diametro filo 2mm.

5.6 Fune metallica

Fune in acciaio armonico inossidabile ad anima metallica EN 10218-1,2, EN 10264-1,2:

- Resistenza caratteristica al carico massimo dei fili 1775 MPa;
- Tipo di acciaio AISI316 (EN 1.4401);
- Diametro nominale (DIN3060) 12-16 mm;
- Carico di rottura minimo 75(12) 133(16) KN.

6 INQUADRAMENTO GEOMECCANICO DELLE AREE DI INTERVENTO

6.1 Premessa

Tutte le informazioni riguardanti la caratterizzazione del sito in esame sono state ricavate dalla Relazione geologica di progetto, alla quale si rimanda per i relativi approfondimenti; nel paragrafo successivo sono riportati i dati e le informazioni principali utili per le analisi di stabilità eseguite.

6.2 Inquadramento geomeccanico

Lo scalo della Marinella è costituito dalla Formazione di Santo Stefano, che consiste in un substrato lavico fratturato (riconducibile a trachi-basalti).

Nell'area oggetto di studio sono disponibili n.2 sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti a mare, fino alla profondità di 22 e 23 m. I due sondaggi, data la loro posizione, seppur nei pressi dell'approdo, non possono fornire informazioni utili sulla stabilità della falesia.

La parte affiorante dell'approdo, costituita da lave e scorie della Formazione di Santo Stefano, si presenta con aspetto litoide, con uno stato di fratturazione principalmente dovuto alla fase di messa in posto e di raffreddamento. Le fratture principali sono 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.

Per quanto riguarda il percorso che dall'approdo conduce verso il carcere, il rischio è identificato nella possibilità di crolli che interessano soprattutto la falesia, per la conformazione geometrica e per la giacitura subverticale.



Figura 14. Prima rampa del sentiero dallo scalo



Figura 15. Seconda rampa del sentiero

Sulla base del rilievo geologico e geomeccanico sono disponibili alcune sezioni geomorfologiche in cui si mettono in evidenza i principali elementi che danno luogo al potenziale dissesto idrogeologico.

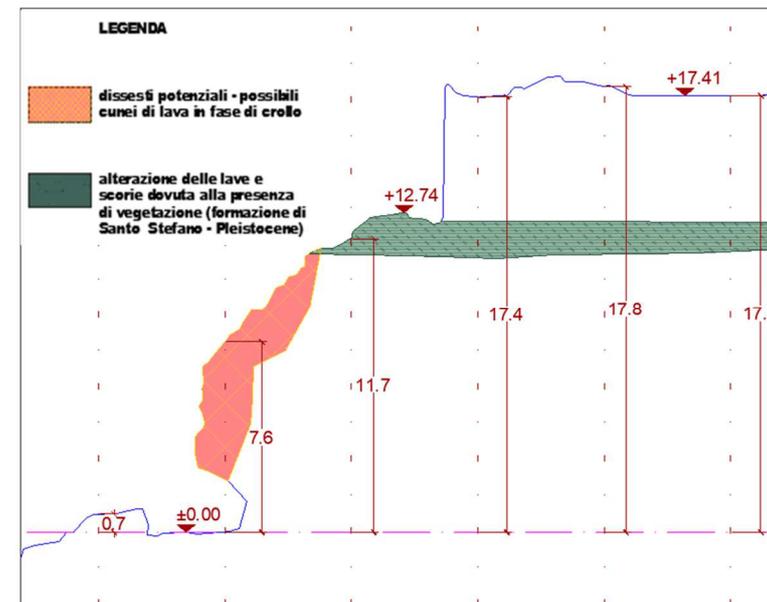


Figura 16. Sezione geomorfologica della falesia

Per la caratterizzazione delle falesie dell'isola di Santo Stefano e, nello specifico, della falesia prospiciente l'attuale scalo della Marinella, ha svolto un ruolo chiave la campagna di rilevamento geostrutturale, di cui alle indagini richiamate in premessa, eseguita su n.3 stazioni geomeccaniche secondo i criteri e le raccomandazioni della ISRM (International Society for Rock Mechanics).



Figura 17. Stazioni geomeccaniche SG1, SG2A e SG2B nella zona dello scalo della Marinella



Figura 18. Stazioni geomeccaniche SG3 nella zona dello scalo n. 4.

In località Marinella sono state eseguite due stazioni geomeccaniche, denominate SG1 ed SG2, con ubicazione indicata in Figura 5; la stazione SG2 è stata suddivisa verticalmente in SG2A e SG2B a causa di un cambio di inclinazione e ramificazione delle discontinuità presenti sull'affioramento.

Per ogni stazione sono state stimate le dimensioni dei blocchi di roccia formati, attraverso la formula di [Palmstrom, 2005]; tale stima, utile al dimensionamento dell'intervento di chiodatura, ha consentito di definire come **volume medio dei blocchi** (VB) che si possono formare in possibili distacchi un valore variabile **tra 1,86 e 4,48 m³**.



Figura 19. Stazioni geomeccaniche SG2A e SG2B.

Lo studio geomeccanico dell'ammasso ha portato ad escludere la necessità di sostegni nella zona indagata con la stazione geomeccanica SG3, i cui risultati non sono pertanto inclusi nelle elaborazioni riportate nel seguito, che si concentrano sulla zona di intervento.

Lo studio include le seguenti principali caratterizzazioni:

- **Rugosità**, con il pettine di **Barton**: JRC = 10÷16 (in una scala da 0 a 20), con conseguente resistenza a compressione dei giunti inclusa tra 25 e 55 MPa.
- **Geological Strength Index** di **Marinos e Hoek**, indice dello stato di fratturazione: GSI = 65÷70 (su una scala da 5 a 95).
- **Rock Mass Rating** di **Bieniawski**, basato su resistenza a compressione monoassiale, Rock Quality Designation, spaziatura, condizioni delle discontinuità e condizioni idrauliche dei

giunti: $RMRc$ (corretto) = $36 \div 38$ (su una scala da 0 a 50), con conseguente coesione media di $305 \div 315$ kPa e angolo di resistenza al taglio di $35.5 \div 36.5^\circ$.

- **Slope Mass Rating di Romana:** risulta $SMR=76.9 \div 78.9$, che identifica ammassi di qualità buona e mal predisposti sia a fenomeni di scivolamento che fenomeni di ribaltamento.

Infine, è stato eseguito il *test di Markland* per ogni stazione geomeccanica rilevata in campagna. Tale test, considerando i meccanismi di movimento di scivolamento planare, ribaltamento e distacco di cunei, misura la predisposizione al cinematismo e l'ammissibilità dinamica dello stesso, sulla base delle giaciture rilevate e dei parametri di attrito dati dal metodo di Bieniawsky, per ciascuna stazione.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

- La stazione SG1 registra compatibilità cinematica e ammissibilità dinamica per distacchi di cunei tra le famiglie 3 e 4 e tra le famiglie 4 e 5, e compatibilità cinematica, ma non ammissibilità dinamica, per lo scorrimento planare;
- La stazione SG2A registra compatibilità cinematica, ma non ammissibilità dinamica, per lo scorrimento planare;
- La stazione SG2B registra compatibilità cinematica e ammissibilità dinamica per distacchi di cunei, e compatibilità cinematica, ma non ammissibilità dinamica, per lo scorrimento planare.

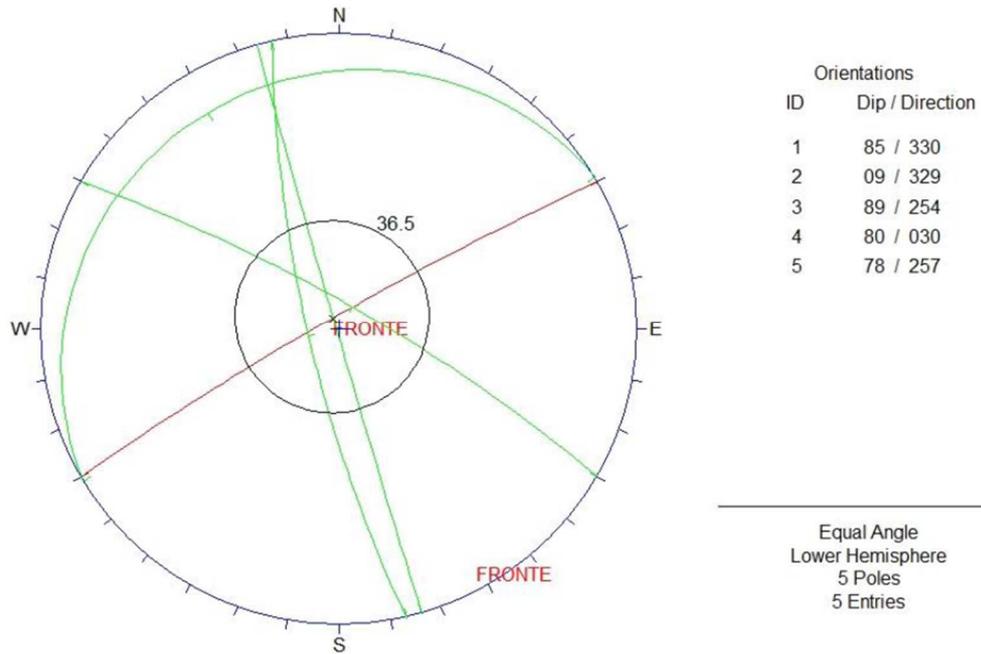


Figura 20. Test di Markland e giaciture per la stazione geomeccanica SG1 (da Relazione Geologica)

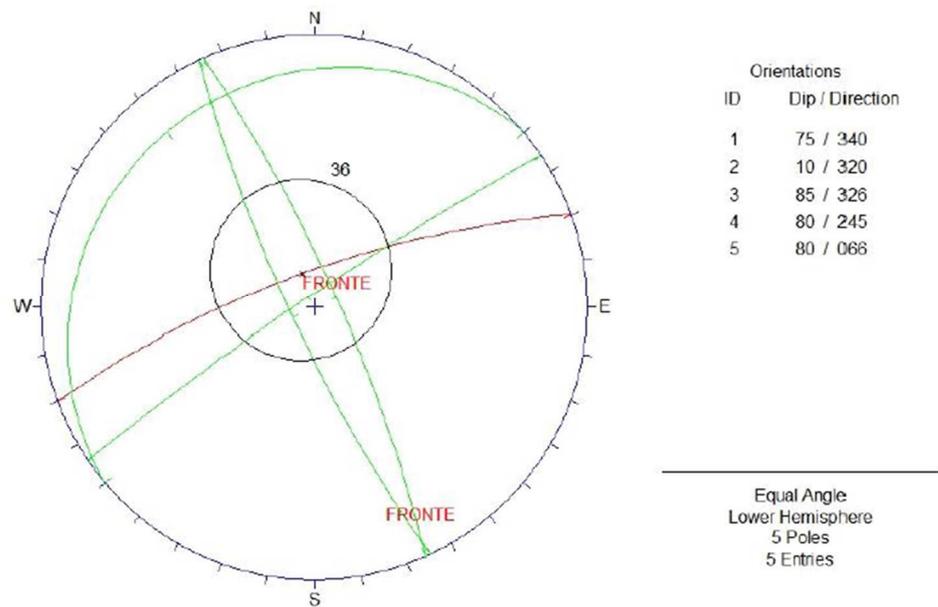


Figura 21. Test di Markland e giaciture per la stazione geomeccanica SG2A (da Relazione Geologica)

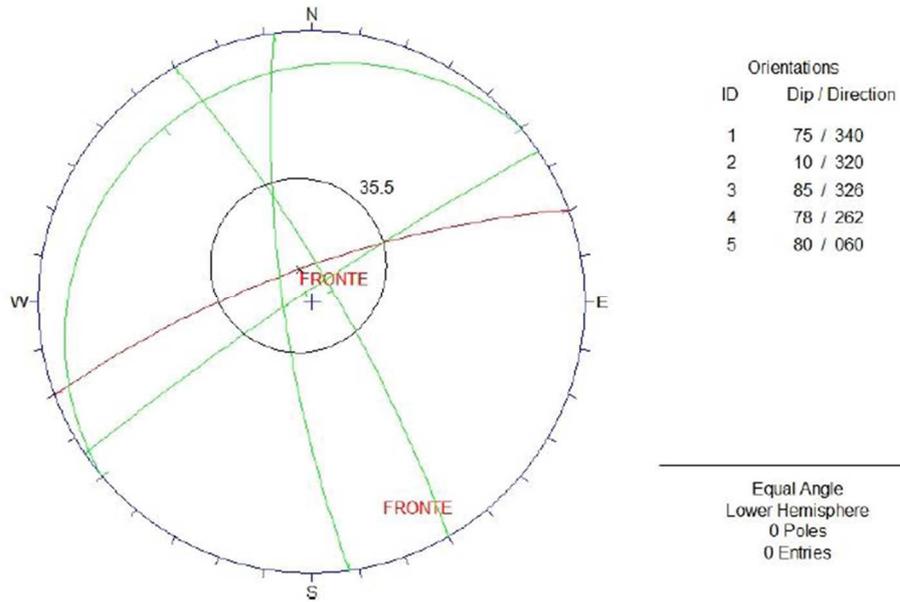


Figura 22. Test di Markland e giaciture per la stazione geomeccanica SG2B (da Relazione Geologica)

7 ANALISI DI STABILITÀ DEI CUNEI E DELLE CHIODATURE DI CONSOLIDAMENTO

7.1 Premessa

Dai test di Markland, esposti nel precedente paragrafo, è emersa la probabilità di distacco di cunei per l'area individuata dall'intervento 1, relativa allo scalo della Marinella; le informazioni derivanti dalle stazioni geomeccaniche, riguardanti il volume del cuneo, le giaciture, la resistenza dell'ammasso e dei giunti, sono implementate nelle analisi di stabilità dei cunei di roccia. Nel seguito si espone la metodologia utilizzata, le ipotesi adottate ed i risultati dell'analisi.

7.2 Metodologia di analisi tridimensionale dei cunei di roccia

L'analisi del cinematismo tridimensionale dato dal distacco di un cuneo di roccia è svolta tramite il codice di calcolo *GeoRocce Dolmen 20* che implementa la geometria del cuneo tramite la definizione delle giaciture e del fronte che lo delimitano, svolgendo un'analisi rigido-plastica e indagando quindi l'equilibrio delle forze lungo i giunti; questi rappresentano le superfici di rottura preferenziali del sistema geotecnico, su cui si determinano staticamente, la sommatoria della resistenza al taglio disponibile e di quella effettivamente mobilitata, individuandone il coefficiente di sicurezza:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}} \quad \text{coefficiente di sicurezza}$$

Nell'ipotesi semplificativa di escludere il contributo delle chiodature e di considerare solo 2 famiglie di giaciture, lo schema statico si riduce a quello di Figura 23. Definendo gli angoli ψ_i , ξ e β , e l'angolo di attrito ϕ su entrambi i piani, il fattore di sicurezza risulta il seguente:

$$FS = \frac{\sin \beta \tan \phi}{\sin 0.5\xi \tan \psi_i}$$

Allo schema semplificato sopra esposto, il metodo utilizzato aggiunge la definizione di un giunto di trazione, la resistenza al taglio dei giunti principali definita con angolo d'attrito e coesione

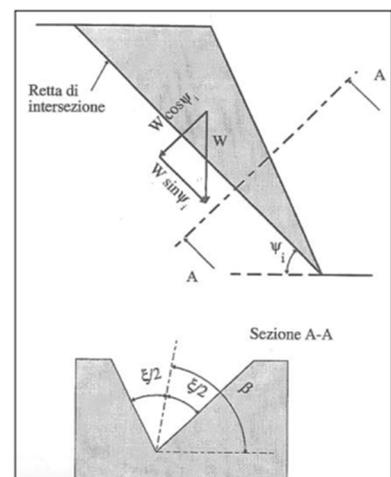


Figura 23. Schema semplificato

efficace, e la possibilità di inserire il contributo dei sostegni dati dagli interventi di consolidamento con le chiodature.

Lo schema completo di analisi del cuneo è esposto in Figura 24.

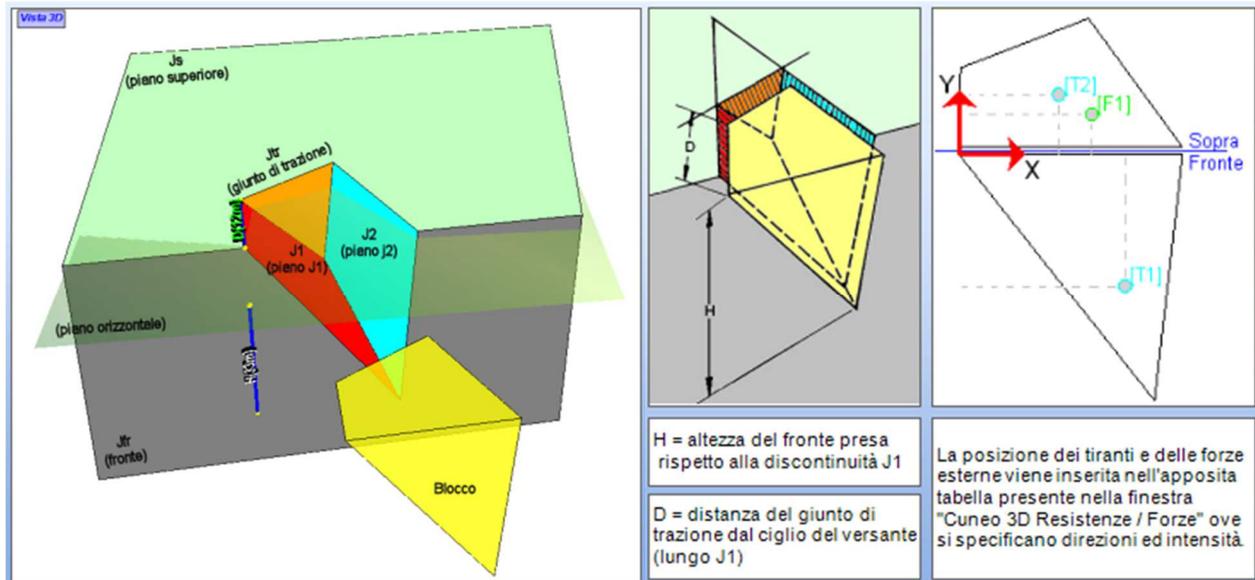


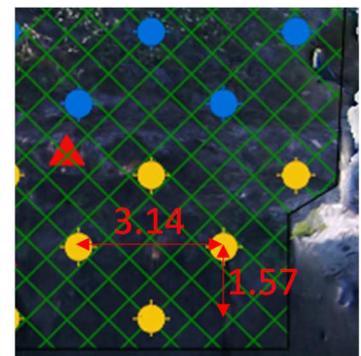
Figura 24. Schema completo di analisi tridimensionale dei cunei di roccia

In conformità alla normativa vigente (NTC-18), l'analisi deve svolgersi agli SLU, secondo l'Approccio 1, Combinazione 2. Pertanto, ai parametri geotecnici caratteristici di resistenza del terreno (c' e ϕ'), in condizioni statiche si applica il coefficiente parziale riduttivo $\gamma_m = 1.25$ e l'analisi deve inoltre soddisfare un coefficiente di sicurezza $\gamma_R = 1.1$, mentre in condizioni sismiche non si applicano coefficienti riduttivi ai parametri del terreno e il coefficiente di sicurezza minimo deve risultare $\gamma_R = 1.2$.

7.3 Dati di input

7.3.1 Volume e peso del cuneo di progetto

Dalla formulazione di Palmstrom [2005], come riportato al precedente paragrafo, risulta un volume massimo dei cunei di roccia con probabilità di distacco pari a circa 4.5 m^3 .



Da tale considerazione, è stata dimensionata la spaziatura media delle chiodature di progetto di 3.14 m x 1.57 m, senza considerare quelle già realizzate dai precedenti interventi di consolidamento richiamati. Tali interassi, ipotizzando uno spessore medio di 1.0 m, definiscono il seguente volume di influenza del singolo chiodo, assunto cautelativamente come volume rappresentativo per l'analisi di stabilità:

$$V \geq 3.14 \times 1.57 \times 1.0 = 4.93 \text{ m}^3$$

Ad esso, attribuendo il peso di volume $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ all'ammasso, corrisponde il peso $G = 89 \text{ kN}$.

7.3.2 Spinta sismica del cuneo di roccia

Per il sito di riferimento (Santo Stefano, LT) si ottiene la seguente caratterizzazione sismica:



Eliporto, 04020 Ventotene LT, Italia		CERCA
VITA NOMINALE:	50 (anni)	CLASSE DI UTILIZZO:
		Classe III
VITA DI RIFERIMENTO:	75	SPETTRO:
		SLV 10%
PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA VITA DI RIFERIMENTO:	10 %	PERIODO DI RITORNO:
		712 (anni)
LATITUDINE:	40.78970	LONGITUDINE:
		13.45551
RISULTATI:		
AG/G:	FO:	TC:
0.0658	3	0.5

Figura 26. Classificazione sismica del sito

Per vita nominale $V_N = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_U = 1.5$ (Classe d'uso III), categoria di sottosuolo B (si veda la relazione geologica), le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a:

$$a_g = 0.0658 \text{ g}, \quad S_s = 1.2, \quad S_T = 1.0,$$

da cui:

$$a_{\max} = 0.0658 \cdot 1.2 = 0.099 \text{ g}.$$

L'inerzia sismica del cuneo di roccia di progetto, di peso G , vale quindi:

$$F_h = G \cdot a_{\max}/g = 89 \cdot 0.099 = 8.8 \text{ kN}$$

7.3.3 Resistenza allo sfilamento del singolo elemento di chiodatura

In considerazione delle caratteristiche tecnologiche e della natura dei terreni si valutano le tensioni “caratteristiche” di adesione laterale limite fondazione-terreno $\alpha\tau_{lim}$, riferite al diametro nominale di perforazione. Tali valori sono in accordo a quanto suggerito dall’esperienza di Bustamante e Doix per il caso in esame. Per l’ammasso in cui sono fondate le chiodature di progetto si assume cautelativamente il valore $\alpha\tau_{lim} = 150 \text{ kPa}$.

In accordo alla normativa vigente (NTC-18), tale valore deve essere fattorizzato per il coefficiente parziale γ_M , che vale 1.25, per il caso statico, e 1.00, per il caso sismico.

L’adesione laterale limite di progetto risulta quindi:

$$\alpha\tau_{lim,d} = 120 \text{ kPa} \quad \text{adesione laterale limite di progetto in condizioni statiche,}$$

$$\alpha\tau_{lim,Ed} = 150 \text{ kPa} \quad \text{adesione laterale limite di progetto in condizioni sismiche.}$$

Si considera inoltre, in via cautelativa, una lunghezza della chiodatura reagente $L_a = 3.0 \text{ m}$. Dato il diametro di perforazione $D_p = 75 \text{ mm}$, si ricava la resistenza del singolo elemento di rinforzo, sottraendo, in condizioni sismiche, l’inerzia del cuneo:

$$R_d = 0.075 \cdot \pi \cdot 120 \cdot 3 = 85 \text{ kN} \quad \text{resistenza a sfilamento in condizioni statiche,}$$

$$R_{Ed} - F_h = 0.075 \cdot \pi \cdot 150 \cdot 3 - 8.8 = 97 \text{ kN} \quad \text{resistenza a sfilamento in condizioni sismiche.}$$

Come mostrato dal confronto tra le precedenti resistenze, il caso statico, date le fattorizzazioni, è più critico del caso sismico. Nelle seguenti analisi, quindi, l’analisi sismica sarà trascurata.

7.4 Risultati delle analisi

L'analisi tridimensionale dei cunei è condotta con le metodologie e le ipotesi progettuali sopra elencate, assumendo il volume di riferimento non inferiore a 4.93 m^3 , considerando il solo caso statico, che risulta il più critico, al netto delle fattorizzazioni di normativa, per la resistenza delle chiodature di progetto.

L'incognita rimanente nelle analisi è quella della resistenza al taglio dei giunti, in cui si assumono angoli di attrito di $35\div 37^\circ$, e la coesione, tale per cui risulti un coefficiente di sicurezza dello stato di fatto (senza rinforzi) circa unitario. Tale condizione corrisponde ad una back-analysis di uno stato di fatto in cui i cunei di riferimento siano al limite della stabilità (sebbene le coesioni efficaci che determinano tale condizione siano basse).

A partire da tale quadro cautelativo, si valuta l'influenza dei sostegni misurandone l'efficacia in termini di aumento di fattore di sicurezza.

L'analisi è ripetuta per i vari casi di studio dati dai rilievi delle stazioni geomeccaniche:

- La stazione SG1 è stata ripetuta per le famiglie 3-4 e 4-5, dato che il test di Markland ha rilevato per entrambe le coppie di giaciture compatibilità cinematica e ammissibilità dinamica;
- Le stazioni SG2A e SG2B sono state analizzate solo per le coppie di famiglie maggiormente critiche (famiglie 3-4), invertendo però la posizione della famiglia con $\text{dip}=85^\circ$, con il fronte (rilevato con $\text{dip}=75^\circ$); in tale modo il volume del cuneo e i piani di rottura sono i medesimi, ed il software utilizzato consente di inserire il sostegno di progetto con l'inclinazione ortogonale al fronte.

Per tutti i casi considerati, il coefficiente di sicurezza ottenuto dopo l'inserimento della chiodatura è non inferiore a 1.1 e, quindi, la verifica di stabilità risulta soddisfatta.

Si riassumono nel seguito i principali risultati:

- **SG1, famiglie 3-4:**
 - Back-Analysis cuneo: per giunti con $\varphi'=37^\circ$ e $c'=3.0 \text{ kPa}$ → FS = ~1.0
 - Stabilità cuneo in condizioni statiche con chiodatura → FS = 3.0

- **SG1, famiglie 4-5:**

- Back-Analysis cuneo: per giunti con $\varphi'=37^\circ$ e $c'=2.5$ kPa → FS = ~1.0
- Stabilità cuneo in condizioni statiche con chiodatura → FS = 3.6

- **SG2A:**

- Back-Analysis cuneo: per giunti con $\varphi'=35^\circ$ e $c'=4.8$ kPa → FS = ~1.0
- Stabilità cuneo in condizioni statiche con chiodatura → FS = 2.1

- **SG2B:**

- Back-Analysis cuneo: per giunti con $\varphi'=35^\circ$ e $c'=3.85$ kPa → FS = ~1.0
- Stabilità cuneo in condizioni statiche con chiodatura → FS = 2.2

L'intervento di chiodatura previsto risulta quindi adeguato, conferendo alla parete un sufficiente incremento di resistenza, con un buon margine rispetto ai minimi richiesti dalla normativa.

Si riportano di seguito le immagini degli output di dettaglio delle analisi svolte.

Come affermato in premessa, l'approccio numerico non può essere deterministico nella valutazione dei fattori di sicurezza; lo stato iniziale è stato posto, convenzionalmente e cautelativamente, con fattore di sicurezza prossimo all'unità (condizione al limite dell'equilibrio), ma che potrebbe essere anche superiore.

I risultati di rilevanza progettuale sono gli incrementi dei fattori di sicurezza a seguito degli interventi, che danno la misura dell'efficacia in termini relativi.

angolo di attrito ϕ (J1) = 37 ° ϕ (J2) = 37 °	Fattori di Sicurezza calcolati <input type="checkbox"/> CON ACQUA nel giunto di trazione, lungo piano di scivolamento e CON FORZE (tiranti, forze esterne) Fs = --- <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] Fs = 1.002 <input checked="" type="checkbox"/> SENZA ACQUA e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] Fs = 1.002 <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto di trazione e CON FORZE (tiranti, forze esterne) [C] Fs = 3.023 <input checked="" type="checkbox"/> Personalizzato <input checked="" type="checkbox"/> Acqua nel giunto 100 % <input checked="" type="checkbox"/> Forze e Tiranti <input type="checkbox"/> Acqua nei piani 100 % Fs = 3.023
coesione c' (J1) = 3 kN/m2 c' (J2) = 3 kN/m2	Linea di intersezione J1 J2 $dip = 74.8$ ° $dipdir = -19.7$ °
peso di volume roccia $gr = 18$ kN/m3	
Acqua $gw = 10$ kN/m3	Cuneo $volume = 4.98$ m ³ $peso = 8.96$ t
<input type="button" value="Applica"/> <input type="button" value="Ok"/>	

Figura 27. SG1, famiglie 3-4: Analisi tridimensionale del cuneo, senza sostegno e con sostegno (FS = 3.0)

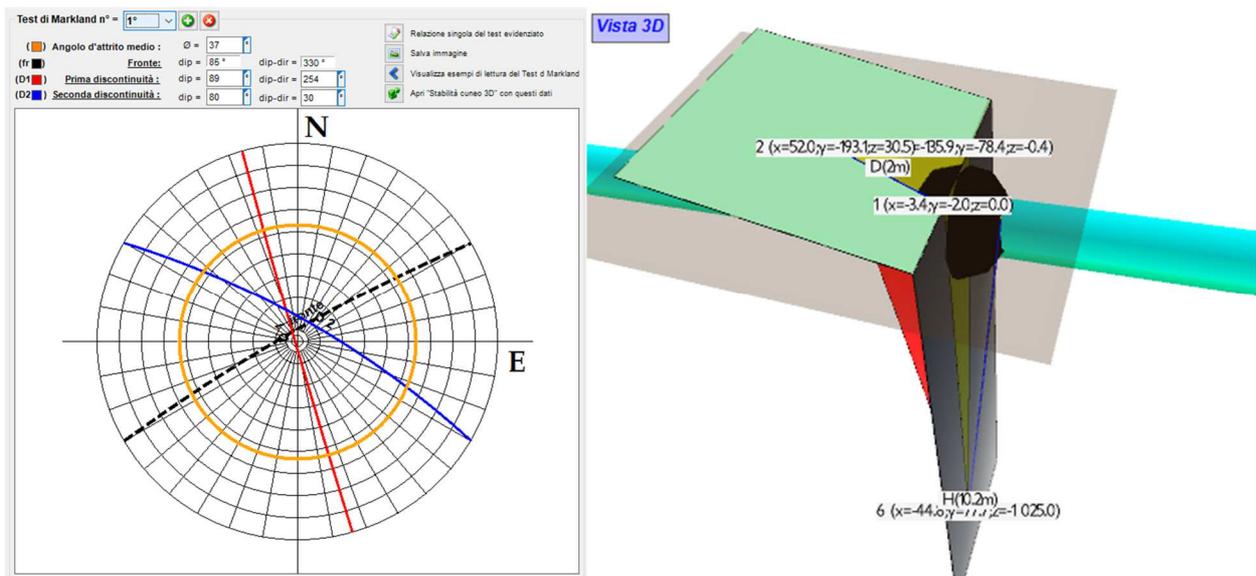


Figura 28. SG1, famiglie 3-4: Stereogramma delle giaciture e geometria del cuneo con il sostegno

angolo di attrito ϕ (J1) = 37 ° ϕ (J2) = 37 °	Fattori di Sicurezza calcolati <input type="checkbox"/> CON ACQUA nel giunto di trazione, lungo piano di scivolamento e CON FORZE (tiranti, forze esterne) $F_s = \text{---}$ <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 1.072$ <input checked="" type="checkbox"/> SENZA ACQUA e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 1.072$ <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto di trazione e CON FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 3.616$ <input checked="" type="checkbox"/> Personalizzato <input checked="" type="checkbox"/> Acqua nel giunto 100 % <input checked="" type="checkbox"/> Forze e Tiranti <input type="checkbox"/> Acqua nei piani 100 % $F_s = 3.616$
coesione c' (J1) = 2.5 kN/m2 c' (J2) = 2.5 kN/m2	
peso di volume roccia $gr = 18$ kN/m3	
Acqua $gw = 10$ kN/m3	
Linea di intersezione J1 J2 $dip = 64$ ° $dipdir = 321.2$ °	Cuneo $volume = 5.3$ m ³ $peso = 9.54$ t
<input type="button" value="Applica"/> <input type="button" value="Ok"/>	

Figura 29. SG1, famiglie 4-5: Analisi tridimensionale del cuneo, senza sostegno e con sostegno ($F_s = 3.6$)

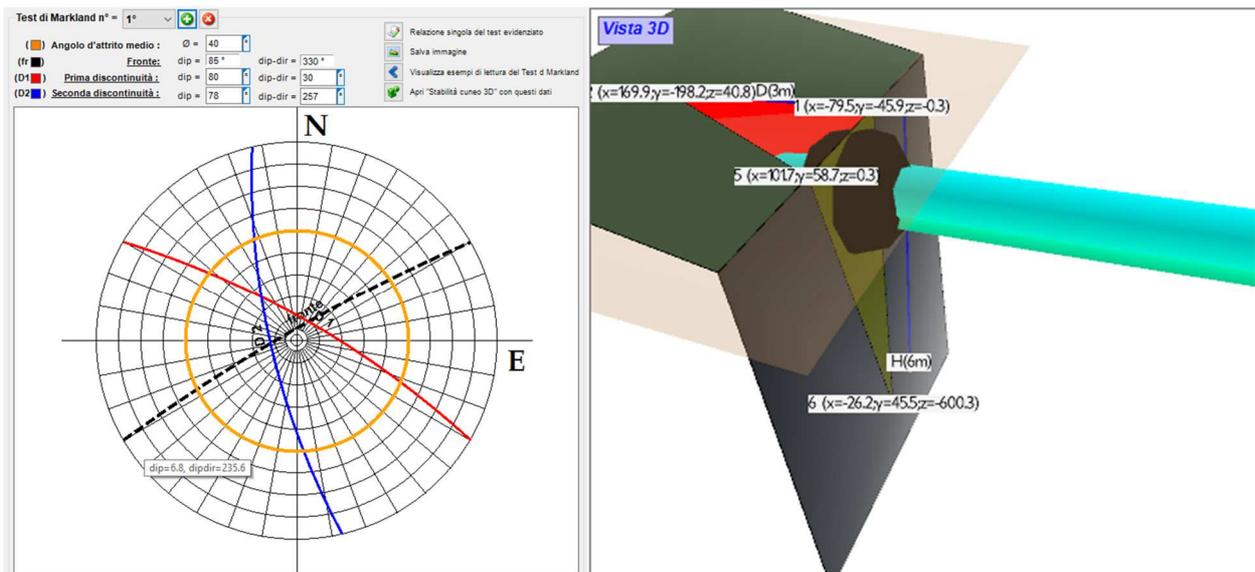


Figura 30. SG1, famiglie 4-5: Stereogramma delle giaciture e geometria del cuneo con il sostegno

angolo di attrito φ (J1) = 35 ° φ (J2) = 35 °	Fattori di Sicurezza calcolati <input type="checkbox"/> CON ACQUA nel giunto di trazione, lungo piano di scivolamento e CON FORZE (tiranti, forze esterne) $F_s = \text{---}$ <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 1.005$ <input checked="" type="checkbox"/> SENZA ACQUA e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 1.005$ <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto di trazione e CON FORZE (tiranti, forze esterne) [J1] $F_s = 2.11$ <input checked="" type="checkbox"/> Personalizzato <input checked="" type="checkbox"/> Acqua nel giunto 100 % <input checked="" type="checkbox"/> Forze e Tiranti [J1J2] <input type="checkbox"/> Acqua nei piani 100 % $F_s = 2.11$
coesione c' (J1) = 4.8 kN/m ² c' (J2) = 4.8 kN/m ²	Linea di intersezione J1 J2 $dip = 71.5$ ° $dipdir = -56.8$ °
peso di volume roccia $gr = 18$ kN/m ³	
Acqua $gw = 10$ kN/m ³	Cuneo $volume = 4.94$ m ³ $peso = 8.89$ t

Figura 31. SG2A: Analisi tridimensionale del cuneo, senza sostegno e con sostegno ($F_s = 2.1$)

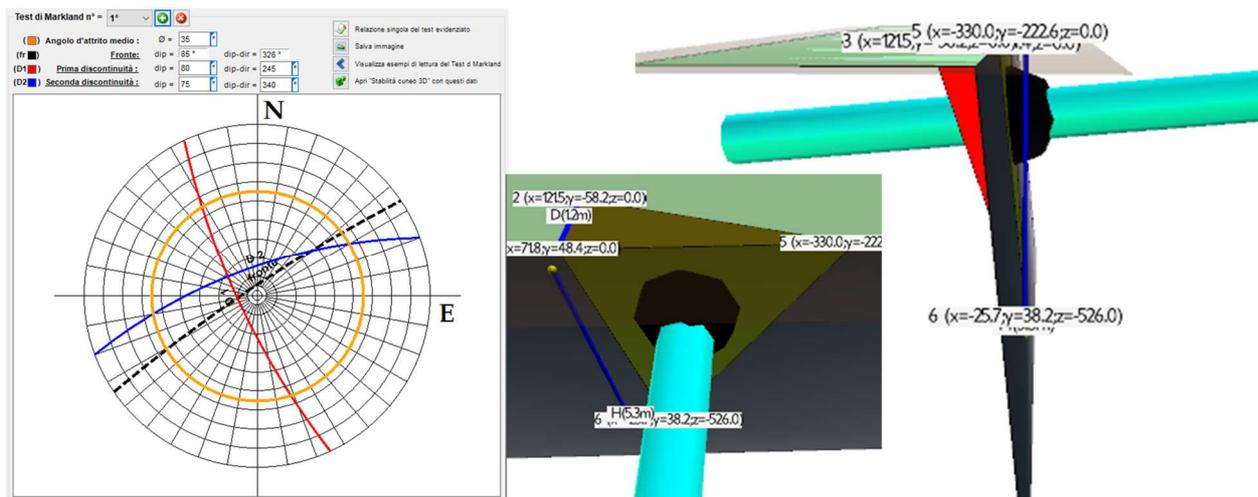


Figura 32. SG2A: Stereogramma delle giaciture e geometria del cuneo con il sostegno

angolo di attrito ϕ (J1) = 35 ° ϕ (J2) = 35 °	Fattori di Sicurezza calcolati <input type="checkbox"/> CON ACQUA nel giunto di trazione, lungo piano di scivolamento e CON FORZE (tiranti, forze esterne) $F_s = \text{---}$ <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 1.006$ <input checked="" type="checkbox"/> SENZA ACQUA e SENZA FORZE (tiranti, forze esterne) [J1J2] $F_s = 1.006$ <input checked="" type="checkbox"/> CON ACQUA nel SOLO giunto di trazione e CON FORZE (tiranti, forze esterne) [C] $F_s = 2.246$ <input checked="" type="checkbox"/> Personalizzato <input checked="" type="checkbox"/> Acqua nel giunto 100 % <input checked="" type="checkbox"/> Forze e Tiranti <input type="checkbox"/> Acqua nei piani 100 % $F_s = 2.246$
coesione c' (J1) = 3.85 kN/m2 c' (J2) = 3.85 kN/m2	Linea di intersezione J1 J2 $dip = 72.7$ ° $dipdir = -50.9$ °
peso di volume roccia $gr = 18$ kN/m3	
Acqua $gw = 10$ kN/m3	Cuneo $volume = 4.94$ m ³ $peso = 8.88$ t

Figura 33. SG2B: Analisi tridimensionale del cuneo, senza sostegno e con sostegno ($F_s = 2.2$)

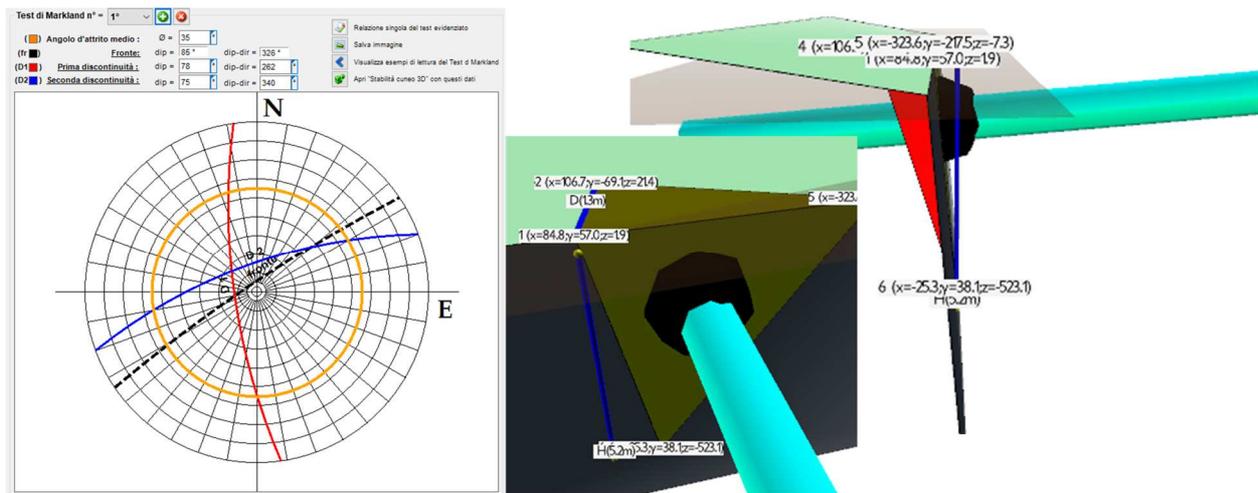


Figura 34. SG2B: Stereogramma delle giaciture e geometria del cuneo con il sostegno

8 MONITORAGGIO

8.1 Premessa

Nel presente capitolo viene illustrata una proposta per il monitoraggio di controllo negli ambiti dello scalo della Marinella e della zona del Cimitero.

Per le falesie dello scalo della Marinella si fa riferimento al presente progetto di mitigazione del rischio relativo ai distacchi di cunei rocciosi e di caduta dei massi.

Al momento non appare sussistano condizioni di criticità per la stabilità delle falesie, come blocchi di roccia in condizioni di precario equilibrio, con fessure in progressiva apertura, o evidenze di lenti movimenti sulle dislocazioni.

Gli interventi in progetto hanno carattere estensivo con scopi di presidio e contrasto per l'innescio di fenomeni deformativi. Gli interventi di tipo attivo (chiodature) conferiranno incrementi dei fattori di sicurezza alla stabilità globale e locale su scala metrica; gli interventi di tipo passivo (es. reti) conferiranno sicurezza alla stabilità locale su scala decimetrica.

Lo scopo principale del monitoraggio sarà, quindi, di controllo, con l'obiettivo di ottenere informazioni rapide su eventuali movimenti dei punti osservati e per seguirne l'evoluzione.

Di questo si dovrà tener conto nella gestione delle misure che si dovrà protrarre per un lungo periodo (diversi anni), con basse frequenze nella programmazione di base di quelle non automatizzabili (es. rilievi topografici).

Per quanto riguarda la zona del Cimitero, caratterizzata da muretti di sostegno e da un rudere in pietra in avanzato stato di degrado, si prospetta un monitoraggio delle deformazioni in due punti significativi. Il controllo ha lo scopo di valutare la progressione degli effetti instabilizzanti e l'eventuale ricorso a interventi di mitigazione.

8.2 Tipologie delle misure e degli strumenti

Si riportano nel seguito le tipologie di misure e di strumenti previsti per l'attività di monitoraggio (si veda l'elaborato 2017E037INV-02-D-S0-TAV004 per le nomenclature e le posizioni):

8.2.1 BS Bersagli artificiali per interferometria satellitare

Il monitoraggio prevede un numero totale di 5 bersagli artificiali per interferometria satellitare (BS):

- 1 sul manufatto in c.a. sovrastante la falesia sullo scalo della Marinella (intervento 1)
- 1 sulla sommità della falesia dello scalo della Marinella (intervento 1)
- 1 sulla sommità della falesia a monte del percorso (intervento 3)
- 2 nella zona del cimitero.

I punti individuati entreranno a far parte della rete di monitoraggio satellitare, ottenendo il rilievo delle coordinate dei bersagli a cadenza periodica e consentendo di ricavare le eventuali variazioni delle posizioni corrispondenti a deformazioni a terra, in termini assoluti. La reale precisione del sistema si potrà verificare dopo i primi cicli di misura, con utilità per il controllo generale delle aree, in subordine per i controlli locali.

8.2.2 **MT** mire topografiche

Il monitoraggio prevede un numero totale di 13 mire topografiche (MT):

- 2 sul manufatto in c.a. sovrastante la falesia sullo scalo della Marinella (intervento 1);
- 8 sulla falesia dello scalo della Marinella (intervento 1);
- 3 sulla sommità della falesia a monte del percorso (intervento 3).

Lo scopo del monitoraggio topografico è lo stesso di quello previsto con l'interferometria satellitare. L'utilità delle mire topografiche riguarda la complementazione delle misure per le verifiche di precisione e di affidabilità, l'estensione dei punti di misure per i controlli locali e sulla parte verticale della parete (non ben visibile dal satellite).

Le mire topografiche si integreranno in un sistema di rilievo topografico che comprenderà almeno 2 capisaldi di riferimento in una zona stabile, arretrata di almeno 25 m dai cigli delle falesie, un idoneo strumento di rilievo topografico, tipo stazione totale, punti e modalità di stazione, metodologia operativa per l'organizzazione, la gestione e l'interpretazione delle misure. Le misure topografiche consentono di rilevare le 3 coordinate dei punti di misura e seguirne le variazioni.

La reale precisione del sistema potrà essere verificata dopo i primi cicli di misura.

Il caso in esame presenta diverse complessità; la logistica dei luoghi, con poco spazio per effettuare stazioni frontali alle falesie, la necessità di dover ricorrere a poligonali, con riduzione della precisione, e le condizioni ambientali.

L'esecuzione del ciclo di misure che, per il caso in esame, non potrà essere automatizzato, sarà piuttosto onerosa. La frequenza delle misure, che di base dovrà essere plurimensile, potrà essere eventualmente aumentata laddove ci saranno importanti evidenze (importanti variazioni sulle misure delle celle di carico, osservazioni sulla falesia, etc.).

I punti di misura hanno costi molto bassi e per questo conviene prevedere una certa ridondanza, utile per verificare l'affidabilità delle misure e per avere una scorta nei confronti di possibili danneggiamenti.

Si dovrà inserire sempre una mira topografica accanto ad altri punti di misura (BS CC), per ragioni di controllo.



Figura 35: Mira topografica e miniprisma

8.2.3 CC Celle di carico sulla testata delle barre di chiodatura

Il monitoraggio prevede un numero totale di 10 celle di carico sulla testata delle barre di chiodatura (CC):

- 7 sulle testate delle barre di chiodatura della falesia sullo scalo della Marinella (intervento 1);
- 3 sulla sommità della falesia a monte del percorso (intervento 3).

Le celle di carico toroidali vengono installate fra il bullone di serraggio e la piastra di ripartizione della testata della barra di chiodatura, consentendo la misura dello sforzo assiale.

Per i casi in esame si osserva che le condizioni di instabilità dei cunei rocciosi si possono verificare per deformazioni relativamente piccole, per le quali il monitoraggio delle deformazioni potrebbe presentare una insufficiente precisione.

Per contro anche piccole deformazioni del cuneo roccioso possono mobilitare elevati incrementi di carico nelle celle (superiori alla precisione delle misure), per cui le misure di incrementi degli

sforzi sulle celle di carico possono rappresentare importanti segnali di attivazione di fasi critiche, che potranno poi essere esaminati con l'intero quadro delle misure.

Un altro vantaggio del sistema delle celle è l'automatizzazione e la possibilità di remotizzare le misure; questo consente un'alta frequenza delle misure, la tempestività delle analisi dei dati, la definizione del *trend* e la riduzione dei costi relativi ai sopralluoghi.

La precisione e l'affidabilità del sistema sono verificabili dopo alcuni mesi; in particolare, occorrerà valutare l'influenza degli effetti ambientali, piuttosto severi nel sito di intervento.



Figura 36: Celle di carico toroidali elettriche

8.2.4 MG Misuratori di giunti o fessurimetri

Il monitoraggio prevede un numero totale di 5 fessurimetri (MG) da posizionare sulla falesia dello scalo della Marinella (intervento 1); le posizioni potranno essere definite in sito, a seguito di una attenta ispezione da parte del Direttore dei Lavori.

I misuratori di giunti o fessurimetri consentono di monitorare l'apertura di fessure nella direzione dei due supporti dello strumento.

Le variazioni di apertura delle fessure possono rappresentare importanti segnali di attivazione di fasi critiche, che potranno poi essere esaminati con l'intero quadro delle misure.

L'entità critica della variazione di apertura di una fessura è certamente superiore alla precisione dello strumento. Lo strumento può quindi fornire tempestivi ed importanti segnali di attivazione di fasi critiche, che potranno poi essere esaminate con l'intero quadro delle misure.

Un vantaggio del sistema delle celle è l'automatizzazione e la possibilità di remotizzare le misure; questo consente un'alta frequenza delle misure, la tempestività delle analisi dei dati, la definizione del *trend* e la riduzione dei costi relativi ai sopralluoghi.

La precisione e l'affidabilità del sistema sono verificabili dopo alcuni mesi; in particolare, occorrerà valutare l'influenza degli effetti ambientali, piuttosto severi nel sito di intervento.

L'installazione deve essere effettuata su fessure suscettibili di apertura per un possibile cinematismo di instabilità di un cuneo roccioso, nella direzione dell'apertura o della dislocazione fra i lembi. Le posizioni potranno quindi essere definite sul luogo, a seguito di una ispezione mirata.



Figura 37: Misuratori di giunti, o fessurimetri, di tipo elettrico

8.2.5 **TM** Termometri

Il monitoraggio prevede un numero totale di 2 termometri (TM):

- 1 in zona esposta sul manufatto in c.a. sovrastante la falesia dello scalo della Marinella;
- 1 sulla parete verticale della falesia.

Le misure delle temperature consentono di monitorare il fattore ambientale che maggiormente influenza il monitoraggio. I cicli giornalieri e stagionali delle variazioni delle temperature possono essere confrontati con analoghi cicli sui valori delle misure strumentali, in maniera da comprendere le correlazioni e poterne depurare gli effetti.

Anche le misure termometriche sono automatizzate e remotizzate.

8.3 Figure con l'ubicazione dei punti di misura

Nelle figure seguenti si riportano le posizioni dei punti di misura e gli strumenti proposti.

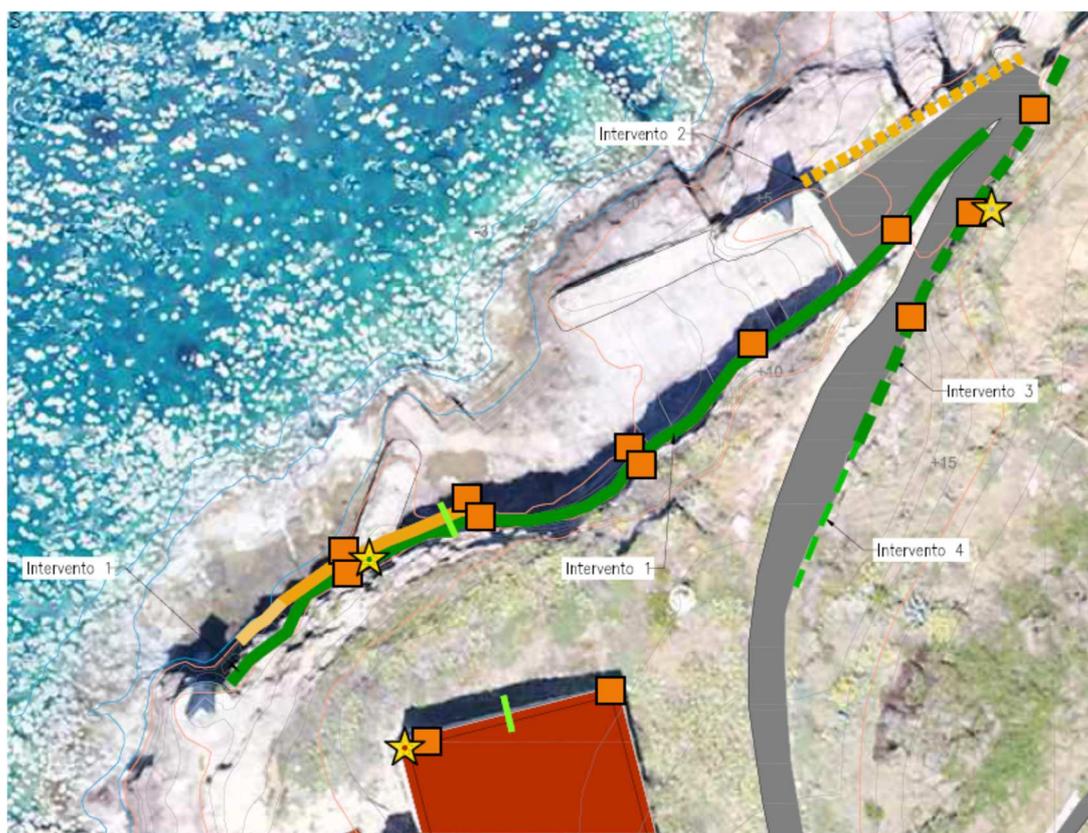


Figura 38. Planimetria punti e strumenti di monitoraggio scalo Marinella

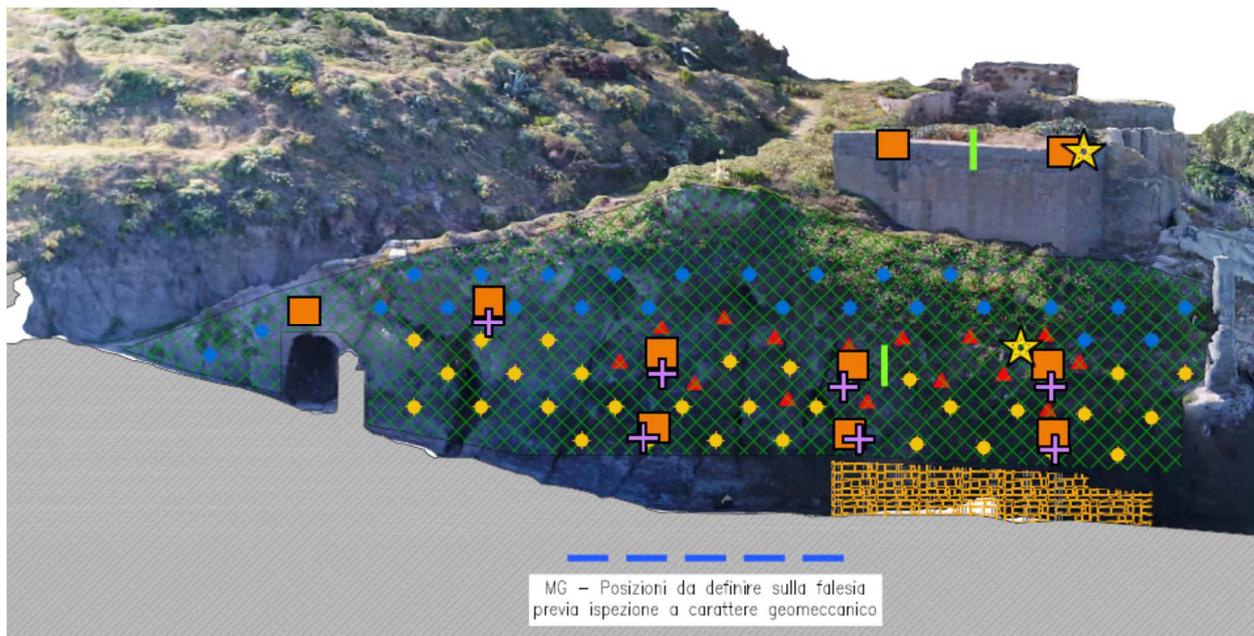


Figura 39. Prospetto falesia scalo Marinella



Figura 40. Prospetto falesia percorso Marinella

LEGENDA MONITORAGGIO	
	BS Bersagli artificiali per interferometria Satellitare Totale n. 3 Zona approdo Marinella Totale n. 2 Zona cimitero
	MT Mire Topografiche Totale n. 13 Zona approdo Marinella
	CC Celle di Carico sulla testata delle barre di chiodatura Totale n. 10 Zona approdo Marinella
	MG Misuratori di Giunti o fessurimetri Totale n. 5 Zona approdo Marinella
	TM Termometri Totale n. 2 Zona approdo Marinella

Figura 41. Legenda dei punti di misura e delle strumentazioni di monitoraggio

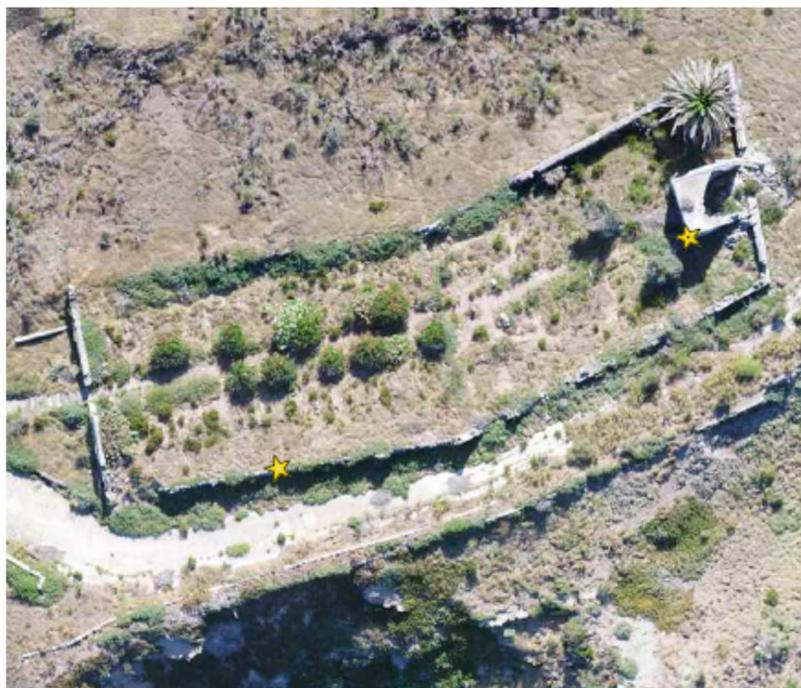


Figura 42. Planimetria punti di monitoraggio zona cimitero

8.4 Durata del monitoraggio e frequenze delle misure

Il monitoraggio proposto è un'attività di controllo e non è definibile a priori una durata, se non convenzionale; una durata minima dovrebbe comprendere almeno tre (3) cicli stagionali completi.

Le frequenze delle misure possono essere:

- 4 volte al giorno per quelle automatiche;
- 1 volta ogni 3 mesi per i rilievi topografici a regime, con una frequenza di 1 volta ogni 1.5÷2 mesi, nel primo anno. L'aumento della frequenza delle misure topografiche nel primo anno ha lo scopo principale di ottimizzare e perfezionare le modalità di esecuzione delle misure e la precisione del sistema.

8.5 Annotazioni

L'installazione precisa dei punti di misura proposti dovrà essere stabilita in loco, in accordo con il Direttore dei Lavori ed il Progettista, in relazione alla conformazione dei luoghi e tenendo conto dell'efficacia e degli aspetti di logistica.

Si dovrà individuare un soggetto, adeguatamente referenziato, per lo svolgimento dei servizi seguenti:

- a) installazione degli strumenti, architettura del sistema, cablaggio, energizzazione, manutenzione degli strumenti, acquisizioni locali e trasmissioni dei dati;

Si dovranno, quindi, definire i ruoli, almeno per il primo anno di gestione delle misure, per lo svolgimento dei seguenti servizi:

- b) data management, progetto e gestione del sito Web, validazione dei dati di misura, report e liste di pubblicazioni; è consigliabile che sia lo stesso soggetto a cui è stato affidato il servizio di cui al punto precedente (a);
- c) Interpretazione delle misure e pubblicazione dei relativi report periodici in relazione agli obiettivi del monitoraggio ed eventuali segnalazioni di criticità; è consigliabile che sia un

soggetto diverso da quello a cui è stato affidato il servizio a); non va esclusa la possibilità che possa essere il progettista degli interventi.

L'esperienza del primo anno potrà fornire quelle informazioni utili per ottimizzare il sistema di ricezione e per garantire una efficiente gestione delle misure.