



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 3.a "Realizzazione/adequamento degli approdi all'Isola di Santo Stefano, Opere di mitigazione del rischio crolli sulla Falesia "



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

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

INDAGINI GEOMECCANICO :
Geoapp Srl
Dott. Paolo FARINA

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

PROGETTAZIONE IDRAULICA E MARITTIMA
DHI Srl
Dott. Ing. Luis Alberto CUSATI

INGEGNERIA NAVALE
Dott. Ing. Francesco PRINZIVALLI

CONSULENZA TECNICO-SCIENTIFICA
Prof. Ing. Paolo SAMMARCO

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO			DATA	NOME	FIRMA
Progetto Strutturale			REDATTO	05-03-2021	GUIDUCCI/SONNESSA
Muri a secco percorso scalo 4			VERIFICATO	05-03-2021	L.SONNESSA
Relazione geotecnica e sulle fondazioni			APPROVATO	05-03-2021	Rosa di NUZZO
			DATA	05-03-2021	CODICE BREVE
			SCALA	----	
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	CODICE ELABORATO		
Rev. 1	13-09-2021	Revisione in sede di procedura di VIA	2017E037INV-02-D-S0-RF0002		
Rev. 2	20-11-2023	Integrazione condizione ambientale n.6	CODICE FILE		
Rev. 3			2017E037INV-02-D-S0-RF0002.dwg		

S0-RF0002

1 SOMMARIO

1	SOMMARIO.....	0
2	PREMESSA.....	2
3	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	4
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
4.1	<i>Premessa</i>	6
4.2	<i>Geologia</i>	6
4.3	<i>Unità stratigrafiche Isola di Santo Stefano</i>	7
4.4	<i>Vincoli idrogeologici</i>	11
5	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	13
5.1	<i>Descrizione generale del percorso</i>	13
5.2	<i>Descrizione della zona dell'approdo</i>	13
5.3	<i>Intervento 1: tratto iniziale del percorso</i>	15
5.4	<i>Intervento 2: tratto iniziale del percorso</i>	17
5.5	<i>Intervento 3: prima metà del percorso (trincea in roccia)</i>	18
5.6	<i>Intervento 4: seconda metà del percorso</i>	19
5.6.1	Muri a secco	19
5.6.2	Descrizione degli interventi sui muri a secco	22
5.6.3	Indicazioni generali per gli interventi sui muri a secco.....	26
5.6.4	Regole per la (ri)costruzione dei muri a secco	28
6	VERIFICHE DEI MURI A SECCO	40
6.1	<i>Premessa</i>	40
6.2	<i>Metodologie di calcolo</i>	41

6.3	Azione sismica	42
6.4	Verifiche di stabilità.....	42
6.5	Muro H=2.5 m.....	44
6.6	Muro H=1.5 m.....	47

2 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto relativo all'intervento n. 3.a di *“Realizzazione/adequamento degli approdi all'isola di Santo Stefano – Opere di mitigazione del rischio crolli sulla falesia”*, 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 generale 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.

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.

Il presente progetto si riferisce, nello specifico, alle opere di mitigazione del rischio crolli sulle falesie prospicienti i due approdi; nel caso dello scalo 4 il progetto riguarderà anche la messa in sicurezza dei muretti a secco presenti lungo il percorso a gradoni, che conduce al carcere borbonico.

Nella presente relazione si riportano le analisi geotecniche relative agli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria sui manufatti e, in particolare, sui muretti a secco che delimitano il percorso che dallo scalo n.4 conduce all'ex carcere borbonico.

Dopo aver fatto un'analisi relativa alle principali criticità rilevate, vengono definiti gli interventi di progetto e le specifiche esecutive.

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

La presente relazione si articola nei seguenti punti:

- Descrizione degli interventi di progetto;
- Descrizione sintetica delle formazioni individuate, delle loro caratteristiche geologiche e dei vincoli idrogeologici;
- Verifiche geotecniche dei muri a secco con relativa individuazione del modello geotecnico di riferimento;

3 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

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 provvisorie 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 consultati 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
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Per quanto riguarda i muri a secco si sono considerati i seguenti riferimenti bibliografici:

- APAT Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici *“Atlante delle opere di sistemazione dei versanti”* - Manuali e linee guida 10/2002;
- Ministero dell’Ambiente e della tutela del territorio *“Criteri e tecniche per la manutenzione del territorio ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico”* 2002;
- Parco nazionale delle Cinque Terre *“Manuale per la costruzione dei muri a secco - Linee guida per la manutenzione dei terrazzamenti delle Cinque Terre”* 2015;
- Parco dell’Adamello *“Muri a secco e terrazzamenti nel Parco dell’Adamello - Linee guida per il recupero”* 2006;
- Cooperativa Olivicola di Arnasco *“Metodologia e tecniche di costruzione dei muretti a secco”* quaderno n.3 2007.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

4.1 Premessa

Si riportano di seguito alcuni estratti dalla relazione geologica, a firma del dott. Geol. Vincenzo Guido, alla quale si rimanda per i relativi approfondimenti.

4.2 Geologia

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. 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 al., 1969). Nell'isola di Santo Stefano, invece, le vulcaniti più antiche sono lave risalenti a 1,2 milioni di anni fa.

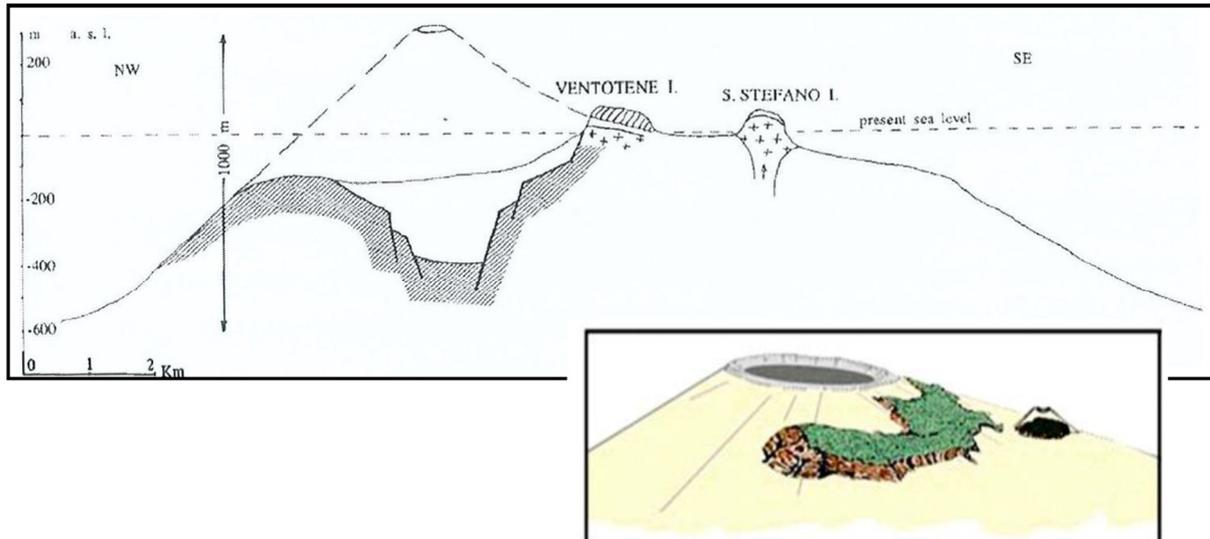


Figura 1: schema geologico esemplificativo delle isole di Ventotene e S. Stefano – da Bergomi et al., 1969

4.3 Unità stratigrafiche Isola di Santo Stefano

L'isola di Santo Stefano appartiene all'arcipelago delle isole pontine, ed è situata a 30 Km a sud del Golfo di Gaeta, sul bordo della piattaforma continentale; 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).



Figura 2: stralcio foto satellitare dell'arcipelago delle isole pontine

In una recente cartografia geologica (Bellucci et al., 1999) dell'Isola di Santo Stefano (Figura 3), sono state riconosciute tre differenti unità litostratigrafiche nominate:

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

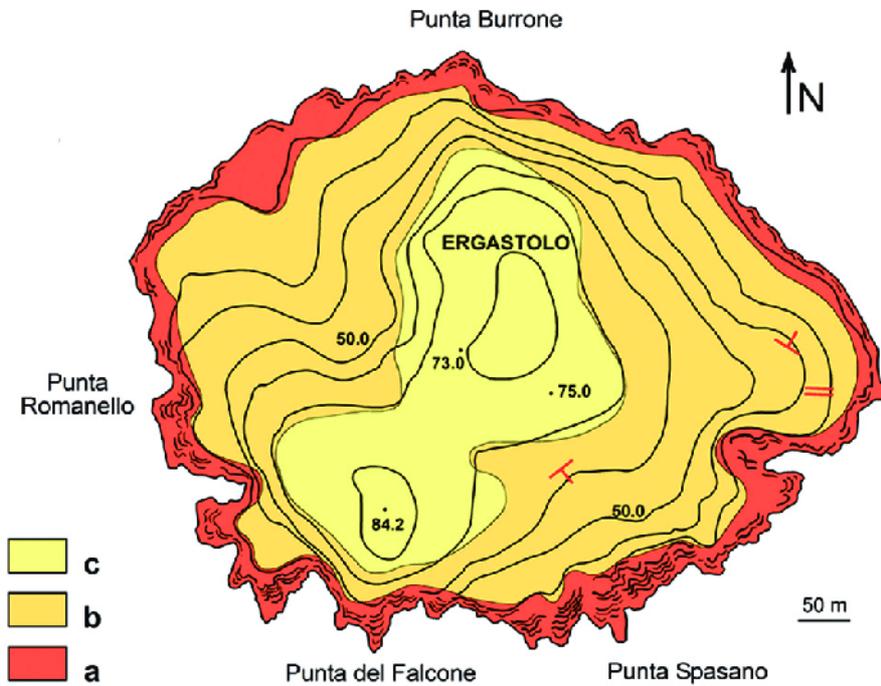
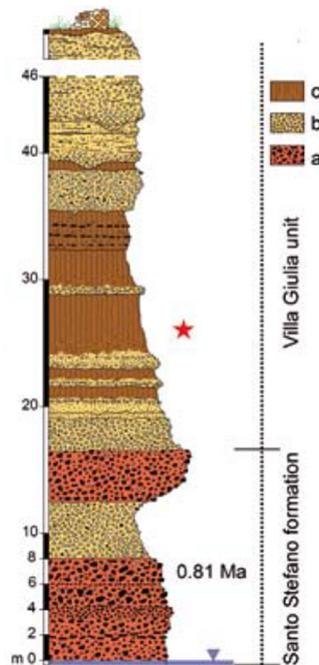


Figura 3: *Carta geologica dell'isola di Santo Stefano da Bellucci et. al. 1999. a) lave e scorie; b) piroclastiti e pomici; c) piroclastiti e depositi eolici*

L'unità basale (Formazione di Santo Stefano) è suddivisa in due membri; il primo è 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'ex carcere e relative pertinenze.



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)

Il rilievo di campagna ed una serie di sondaggi realizzati in corrispondenza del carcere, non confermano la presenza dei depositi eolici che con buona probabilità sono stati obliterati proprio dalla costruzione del carcere. Infatti, come evidenziato dalle stratigrafie di sondaggio, nella parte anteriore del carcere, al di sotto del piano fondale, che si trova a circa 2.5 m dal piano campagna, si rinviene spesso un riporto costituito da terreno misto a piroclastiti e clasti sia piroclastici che lavici. Ciò testimonia il lavoro di spianamento e compensazione dei punti più depressi del sito dei lavori di costruzioni del carcere risalenti alla fine del diciottesimo secolo.

È difficile distinguere il passaggio dal terreno di riporto al substrato geologico naturale in quanto il primo è costituito dal risultato degli scavi del secondo. Presumibilmente, al di sotto del piano fondale, il riporto ha uno spessore medio di 3.5 m, nella parte anteriore lato nord-est e si annulla nella parte anteriore lato nord/nord-ovest.

4.4 Vincoli idrogeologici

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 all'ex carcere ed un tratto del sentiero che dall'ex carcere porta allo scalo n.4. L'intero perimetro del Cimitero ricade in area rischio R4.

La fenomenologia del dissesto presente sulle falesie dell'isola e che coinvolge direttamente o indirettamente le 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 alle scarpate e formano cunei potenzialmente instabili. È stato effettuato un rilievo geomeccanico in prossimità dell'approdo Marinella e dello Scalo n. 4 per definire l'orientamento, la persistenza e tutte le altre caratteristiche delle fratture presenti per effettuare la verifica di stabilità.



Figura 4 Aree sottoposte a tutela per dissesto idrogeologico

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:

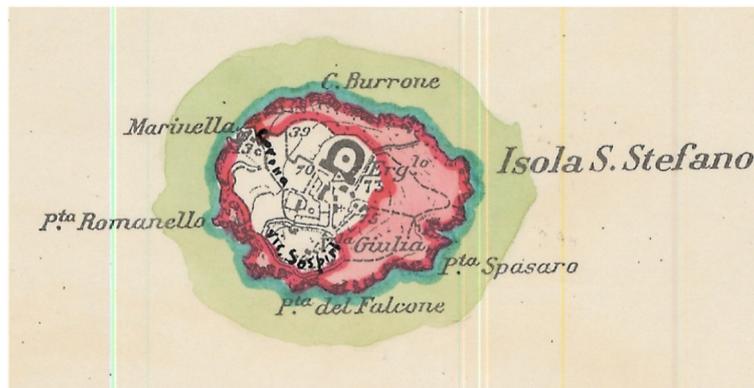


Figura 5: Stralcio cartografico vincolo idrogeologico

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

È necessario sottolineare che, nell'ambito geologico-geomorfologico dell'opera in progetto, 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"*. Gli obiettivi di qualità paesaggistica da perseguire in queste aree sono: mantenimento, conservazione e valorizzazione del patrimonio naturale anche mediante l'inibizione di iniziative di trasformazione territoriale pregiudizievole della salvaguardia.

5 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1 Descrizione generale del percorso

In questo paragrafo si riporta una descrizione dei manufatti che si incontrano lungo il sentiero che dallo scalo n.4 conduce all'ex carcere borbonico, analizzando le principali criticità rilevate, definendo gli interventi di manutenzione straordinaria e ordinaria e le relative specifiche esecutive che si dovranno realizzare per consentire il transito in sicurezza.

Si rappresenta che l'intervento di manutenzione ordinaria previsto su gran parte dei manufatti dovrà essere realizzato con cadenza annuale.

Nella figura seguente si riporta una vista dall'alto (foto nadirale) del percorso con l'indicazione schematica (colori) dei tratti individuati per le descrizioni e l'individuazione degli interventi.

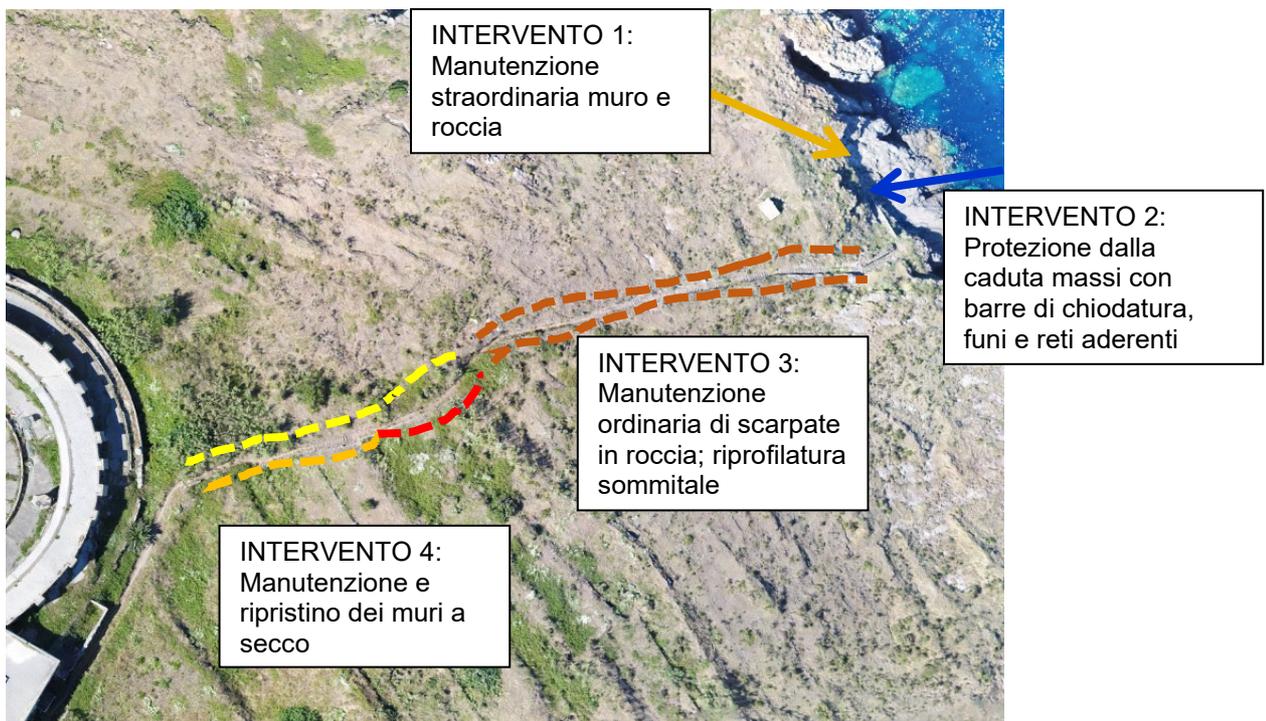


Figura 6: vista dall'alto del sentiero scalo n.4

5.2 Descrizione della zona dell'approdo

La prima parte del percorso a terra, subito dopo lo sbarco, è caratterizzata dalla presenza della

falesia sulla quale, nel corso della campagna di indagini richiamata in premessa, si è eseguito un rilevamento geologico-tecnico ed un'analisi di stabilità con la finalità di definire lo stato della fratturazione dell'ammasso roccioso in funzione dell'orientazione per l'analisi di stabilità globale. Si rimandano alla relazione geologica i relativi approfondimenti.

L'area è già stata interessata dai *“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) e ultimati il 25/11/2020; sulla base delle informazioni acquisite, in questa zona sono stati realizzati alcuni interventi di disgiungimento di blocchi rocciosi fratturati, in fase di incipiente crollo.

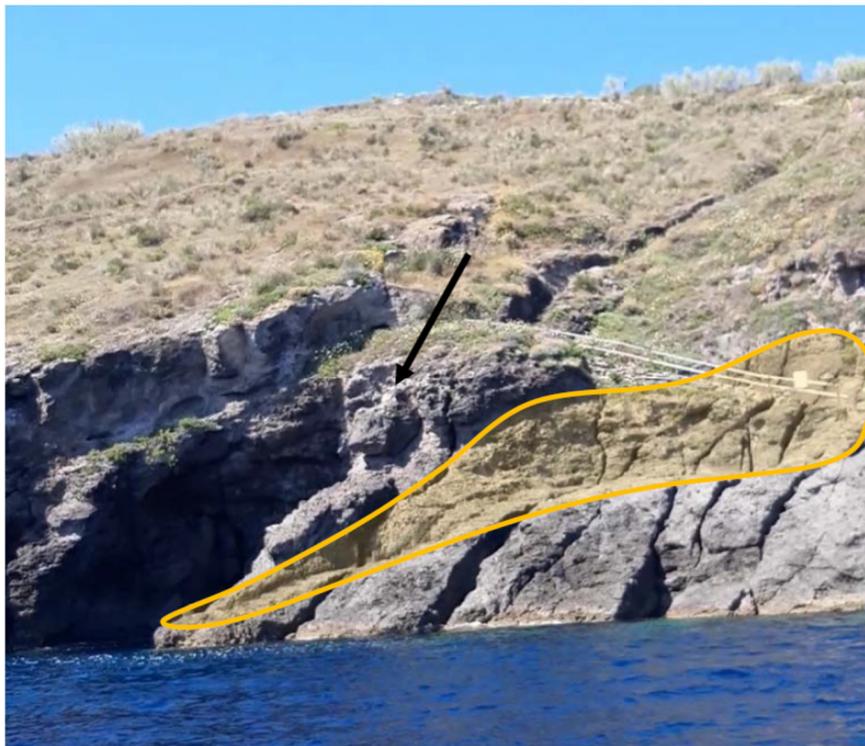


Foto 1: Area a terra con esito negativo al test di Markland –indicazione del cuneo disgiungato dal Comune di Ventotene (freccia nera)



Foto 2: Indicazione della zona a terra dopo l'intervento di disaggio del cuneo (freccia nera) e prima dell'intervento (freccia nera tratteggiata)

Dai rilievi e dagli studi di carattere geologico e geomeccanico effettuati è emersa una compatibilità cinematica allo scorrimento planare ma non al distacco di cunei di roccia; i cunei che si formano non rientrano, infatti, nel range di *dip direction* per il quale si avrebbe una compatibilità cinematica. Ciò è vero per le aree dell'approdo a terra, in corrispondenza della prima rampa del percorso, che sarebbero pertanto utilizzate dall'utenza che sbarca allo scalo n.4. Per le condizioni attuali non si prevedono, pertanto, interventi attivi di stabilizzazione (es. chiodature profonde); si prevede, comunque, un servizio di monitoraggio per il controllo delle deformazioni (si veda il capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Va notato che un cambio di direzione del versante verso *EST*, che avviene in corrispondenza dell'insenatura, renderebbe cinematicamente compatibile il distacco di cunei (questo rappresenta una vulnerabilità, non una instabilità); ma il settore della insenatura non prevede l'utilizzo da parte dell'utenza.

Si descrivono nei successivi paragrafi gli interventi previsti per garantire il transito in sicurezza lungo il percorso in oggetto.

5.3 Intervento 1: tratto iniziale del percorso

Alla fine della prima rampa del percorso è presente una porzione della falesia sulla quale è stato messo in opera un paramento realizzato con blocchi di pietra lapidea cementati, sul quale è stato

rilevato un avanzato stato di degrado, con presenza piccoli crolli e zone prive di malta.
Trattasi di un manufatto caratterizzato da una *condizione di stabilità precaria*, sul quale si dovrà eseguire un intervento di riparazione locale (INTERVENTO n.1) consistente in una parziale decostruzione e successiva ricostruzione, con l'utilizzo di materiale locale.

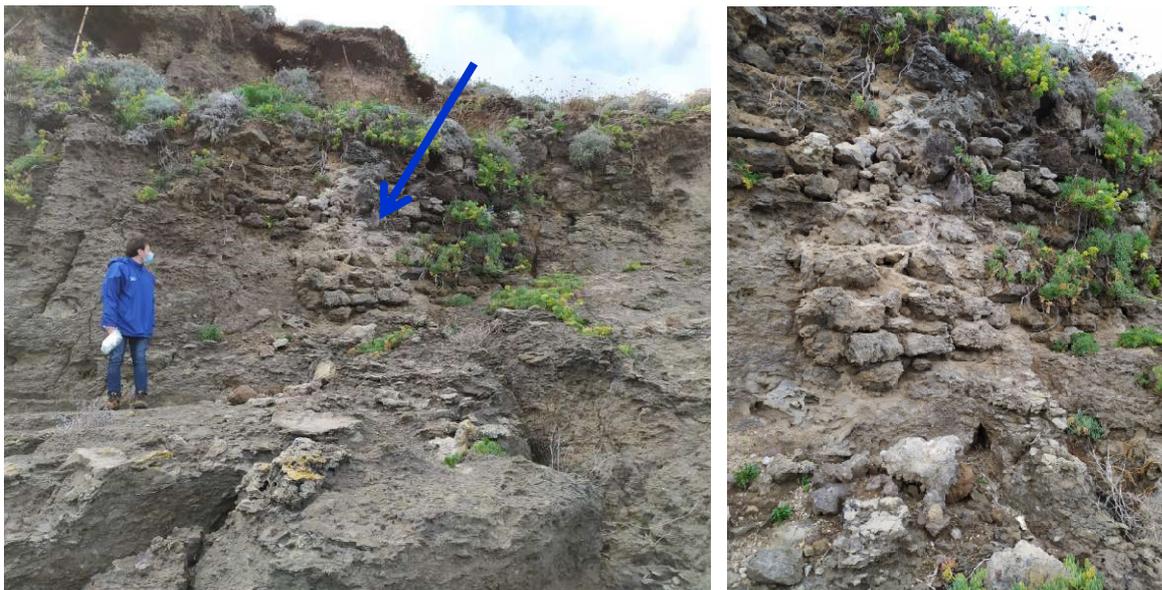


Foto 3: Muretto in pietra degradato



Foto 4: Estensione indicativa dell'INTERVENTO 1 sul muro degradato

5.4 Intervento 2: tratto iniziale del percorso

Subito dopo il primo tornante, sulla parte alta, sono presenti alcune creste di erosione di roccia lavica sulle quali dovrà operarsi un disgreggio delle porzioni degradate e distaccate e prevedere un'opera di protezione passiva, mediante l'impiego di reti, opportunamente ancorate, per contenere la caduta di blocchi di piccole dimensioni (decimetriche) (INTERVENTO n.2).

L'intervento comprende l'esecuzione di chiodature di diametro $\phi \geq 17.5$ mm, lunghezza $1.5 \div 2.0$ m, con distanza massima di 2.5 m; le barre sono munite di un golfare per il passaggio di funi

metalliche $\phi=12$ mm, utili per il fissaggio delle reti metalliche aderenti con maglia romboidale a fili da 2 mm.



Foto 5: Parte alterata della falesia da proteggere – INTERVENTO 2

5.5 Intervento 3: prima metà del percorso (trincea in roccia)

Proseguendo lungo il sentiero, in forte pendenza per circa metà del suo sviluppo, questo risulta delimitato su entrambi i lati da fronti di scavo naturali in piroclastite che presentano, in generale, una buona condizione di stabilità globale ma con porzioni sommitali degradate.

Su questo tratto si applica l'INTERVENTO 3, consistente in:

- manutenzione ordinaria, di seguito indicato con la condizione A: ispezione, pulizia della vegetazione infestante presente, disgreggio delle porzioni instabili, etc.)

- riprofilatura delle parti sommitali, dove l'azione degli agenti atmosferici ha creato aggetti pericolosi, soprattutto in corrispondenza delle piroclastiti affioranti, con la rimozione delle porzioni più degradate e la limitazione degli aggetti troppo pronunciati.



Foto 6: Tratto di sentiero scavato nella pietra naturale sul quale sono previste manutenzione ordinaria + riprofilatura delle porzioni sommitali – INTERVENTO 3.

5.6 Intervento 4: seconda metà del percorso

5.6.1 Muri a secco

Nel proseguo verso monte il percorso si snoda in forte pendenza, con tratti a bassa curvatura o quasi rettilinei, con sezioni prevalentemente in scavo nella formazione piroclastica.

Le scarpate di scavo sono per larga parte protette e sostenute con muretti a secco di diverse altezze, con valore massimo di circa 2.2 m, nella parte iniziale, e inferiore al metro, nella parte terminale del percorso.

Nella prima parte, lungo il lato sud (a sinistra), sono presenti dei muri a secco, caratterizzati da una altezza variabile tra 1.50 e 2.20 m, che presentano forti irregolarità e spancamenti, con carenze nella tecnica costruttiva per lo spessore insufficiente, per la scelta inadeguata dei

materiali, con blocchi di forma non parallelepipeda, e per l'esecuzione, con errori nel posizionamento.

Il coronamento sommitale appare quasi sempre in avanzato stato di degrado o crollato, per carenze costruttive dovute alle dimensioni e alla disposizione dei blocchi.

Il drenaggio di monte, parzialmente visibile nelle zone dei crolli, presenta carenza nelle dimensioni e nelle caratteristiche dei materiali non adatti per dimensione (presenza di sabbia fine e limo).

Si tratta di manufatti in cui sussistono *condizione di collasso totale o parziale avvenuto*, sui quali è necessario eseguire un intervento di demolizione e ricostruzione.



Foto 7: Muri a secco crollati o in fase di crollo

La parte finale del percorso, lungo il lato sinistro, presenta i muri a secco caratterizzati da una altezza variabile tra 0.60 e 1.20 m, che si trovano in una *condizione di stabilità precaria* per la quale si dovrà eseguire un intervento di riparazione locale consistente in una parziale decostruzione e successiva ricostruzione, con l'utilizzo di materiale locale.



Foto 8: Muri a secco lato sud

La parte finale del percorso, lungo il lato destro, presenta i muri a secco di altezza ridotta e, pertanto, caratterizzati da una buona *condizione di stabilità globale* per la quale sarà necessario eseguire interventi di manutenzione ordinaria.

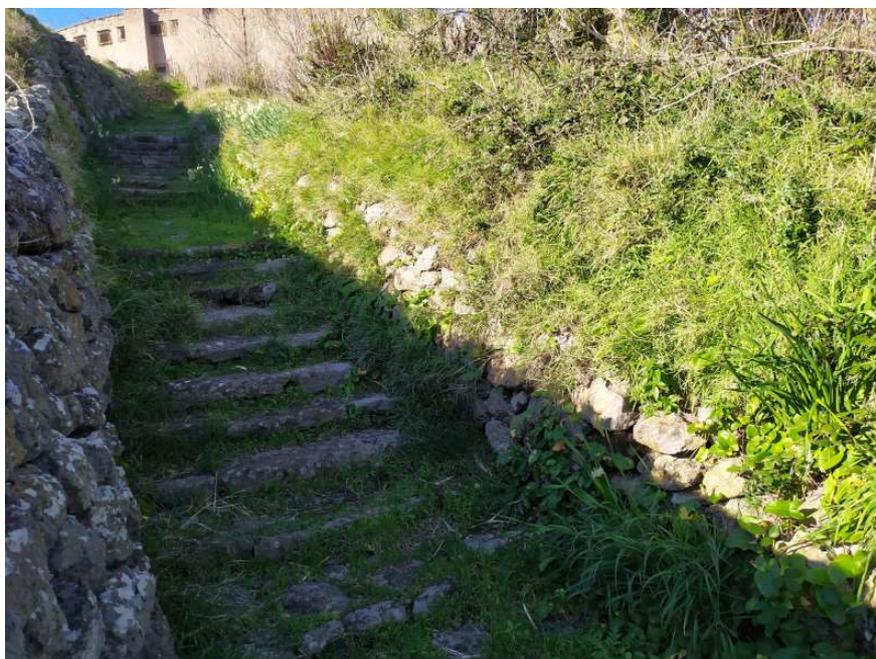


Foto 9: Muri a secco lato destro

Raramente si sono riuscite a visualizzare le condizioni delle fondazioni, ma non si ha ragione di ritenere che possano esserci carenze sul terreno di posa, dal momento che lo scavo effettuato ha certamente messo a vivo una condizione litoide.

Come su riportato, lungo tutto il percorso si sono osservati stati di degrado, a diversa scala di intensità, fino a crolli parziali e totali; nelle condizioni attuali sussistono rischi per la fruizione in sicurezza del percorso, anche se per la sola emergenza e, pertanto, si sono resi necessari alcuni interventi a varia intensità per la messa in sicurezza dei manufatti e per evitare il progredire del degrado che porterebbe ad ulteriori dissesti e crolli.

5.6.2 Descrizione degli interventi sui muri a secco

Sulla base delle osservazioni effettuate durante i sopralluoghi, per i muri rilevati lungo il sentiero si sono evidenziate le seguenti configurazioni, in funzione delle condizioni di stabilità, dello stato di degrado e, di conseguenza, delle tipologie di interventi richiesti:

A. Condizione globalmente stabile

Ispezione ed interventi di manutenzione ordinaria.

A+B. Condizione di stabilità precaria locale

Ispezione ed interventi di manutenzione ordinaria + interventi di manutenzione straordinaria locale che possono consistere in parziali demolizioni e ricostruzioni.

C. Condizione di collasso totale o parziale avvenuto o di stabilità globale precaria

Interventi di demolizione e ricostruzione.

Nello stralcio planimetrico riportato di seguito si indicano i settori di intervento, con le particolari specificazioni per A, A+B e C. (la simbologia sopra definita costituisce una legenda).

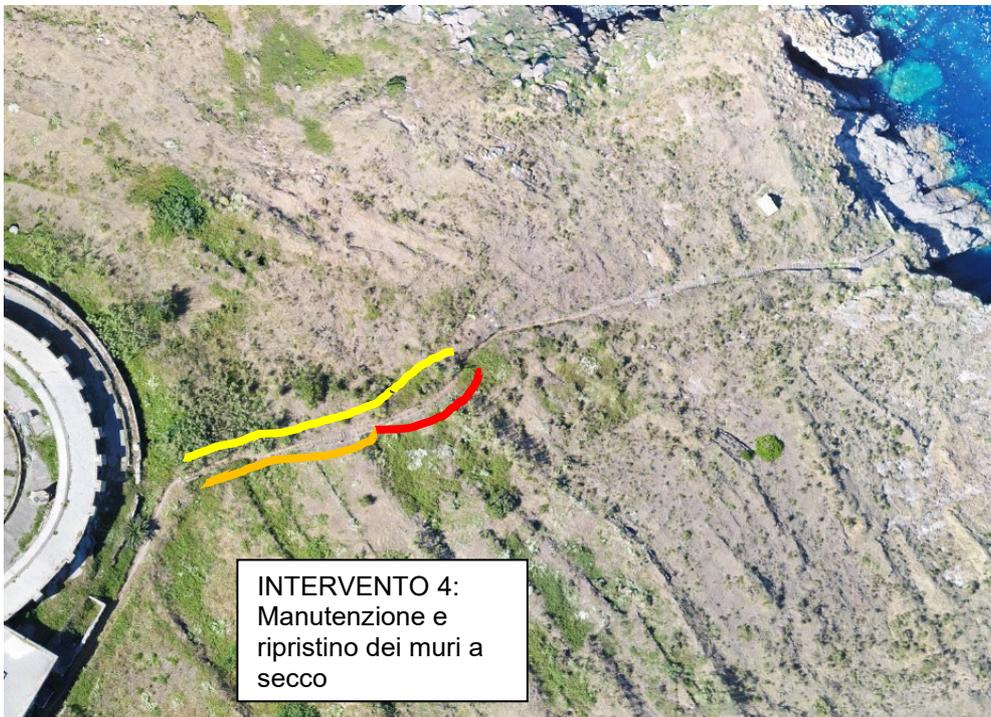


Figura 7: Planimetria con indicazione degli interventi

A. Condizione globalmente stabile (tratto giallo)

La condizione *globalmente stabile* si riferisce ai casi in cui il muro o il manufatto esaminato non presenta condizioni di pericolo fino al periodo della manutenzione programmata (almeno annuale).

È richiesta una accurata ispezione generale e di dettaglio ed interventi di manutenzione ordinaria che possono consistere in:

- Riempimento di vuoti del muro che dovrà essere costituito da pietrame di adeguate dimensioni. Se i vuoti sono dovuti a distacchi di singoli blocchi, il ripristino dovrà avvenire con lo stesso elemento caduto o con un altro di analoghe dimensioni e tipologia, avendo cura di garantire numerosi punti di contatto con i blocchi adiacenti.

Le stesse operazioni vanno condotte per quei blocchi che non presentano contatti con quelli adiacenti e potrebbero essere in pericolo di caduta.

Tali evenienze sono segnali di deterioramenti in atto e le operazioni di ripristino hanno lo scopo di conferire solidità al muro e di evitare il progredire dei deterioramenti che porterebbero a fenomeni di instabilità più estesi.

- Rientrano nell'ordinaria manutenzione anche gli interventi di sistemazione e ricostruzione della parte superiore del muro, caratterizzata, in alcune zone, da una riduzione della stabilità, continua ed estesa in lunghezza, che potrebbe originare una progressione del degrado e crolli di porzioni locali. In questi casi è necessario smontare la parte superiore del muro, per tutta la porzione di pietre smosse, e ricostruirla rispettando la sagoma originale, riempiendo la zona a monte con materiale drenante. Lo smontaggio del muro dovrà interessare la parte superiore instabile o crollata e non dovrà coinvolgere l'intera sezione verticale del muro.

Si osserva che la parte superiore del muro costituisce una protezione per tutta la struttura e contribuendo ad aumentare la durabilità del manufatto.

La nuova porzione dovrà essere realizzata con blocchi scelti, di dimensioni più grandi, con assemblaggio regolare e solido.

- Ripristino di idonee capacità di drenaggio. Rientrano in questo caso tutte le operazioni di pulizia di occlusioni presenti nei muri, di riprofilatura immediatamente a tergo per consentire un rapido smaltimento delle acque meteoriche, evitando l'insorgere di indesiderate spinte idrostatiche. Se il drenaggio a tergo risultasse insufficiente allo scopo, si ricadrebbe nelle condizioni di tipo B, con la necessità di interventi di manutenzione straordinaria, o tipo C, relativo a casi in cui si dovranno eseguire estese demolizioni e ricostruzioni.

La vegetazione presente sul paramento esterno del muro in generale non dovrà essere eliminata; eventuali rimozioni che dovessero risultare necessarie, dovranno essere preventivamente autorizzate dalle autorità competenti.

Il materiale per il ripristino dei muri a secco dovrà provenire da quello locale, recuperato dai crolli o da luoghi limitrofi al sito d'intervento. Se la disponibilità non fosse sufficiente se ne potrà reperire, di identica litologia, da cave sull'isola (se disponibili e autorizzate) o importare per

costituire una riserva di pietre. Nei casi di reperimento di materiale fuori dal sito di intervento tutte le caratteristiche e procedure dovranno essere adeguatamente dettagliate e sottoposte a preventiva autorizzazione della direzione dei lavori e degli enti competenti.

Questi interventi riguarderanno i muretti che si trovano nella parte finale del percorso, lungo il lato destro, ove per l'esigua altezza degli stessi non si ravvedono pericoli di instabilità; gli interventi di manutenzione ordinaria sono generalmente sufficienti a garantire la stabilità e la durabilità dell'opera.

A. + B. Condizione di stabilità precaria locale (tratto arancione)

Questa condizione riguarda i tratti con evidenti deformazioni del muro, irregolarità geometriche e dissesti locali che fanno presagire a condizioni locali di stabilità precaria.

Un segnale evidente è il rigonfiamento del paramento murario che può interessare solo una porzione del muro oppure compromettere tutta la sezione verticale. In presenza di questo dissesto è necessario smontare tutta la porzione di muro, caratterizzata dallo spanciamento, e ricostruirla secondo la tecnica tradizionale.

Lo smontaggio deve intervenire su tutta la porzione deformata, e può arrivare fino alla base del muro se la fondazione fosse interessata.

Gli interventi da effettuare sono di smontaggio e ricostruzione del manufatto, nel rispetto della sagoma e del tracciato, migliorando, se possibile, le condizioni di drenaggio retrostanti.

Questo intervento riguarderà i muri della parte finale del percorso, sul lato sinistro, per i quali oltre agli interventi di manutenzione ordinaria di cui al punto A di dovrà eseguire, su alcune porzioni, un intervento di riparazione locale consistente in una parziale decostruzione e successiva ricostruzione, con l'utilizzo di materiale locale.

Lo stesso intervento dovrà riguardare il paramento in muratura, parzialmente crollato, che si trova sulla falesia, dopo la prima rampa.

C. Condizione di collasso totale o parziale avvenuto o di stabilità globale precaria (tratto rosso)

Appartengono alla condizione di collasso totale o parziale avvenuto i tratti di muro crollati o in condizione di incipiente collasso, per i quali si rende necessaria la ricostruzione secondo le tecniche esecutive di seguito riportate.

Si è fatto rientrare in questa condizione critica, il primo tratto del percorso che presenta muri a secco sui quali si è riscontrato un diffuso stato di degrado, con presenza di porzioni crollate e di dissesti tali da ritenere molto alto il rischio di un crollo.

5.6.3 Indicazioni generali per gli interventi sui muri a secco

L'attività propedeutica ad ogni tipo di intervento è l'ispezione; questa dovrà essere condotta dai tecnici dell'Impresa esecutrice in contraddittorio con la D.L. e sulla scorta delle indicazioni progettuali, delle prescrizioni e delle linee guida fornite dagli enti competenti territorialmente. Per quanto accurato, si tratta di un rilievo visivo, con l'impiego di attrezzature e metodologie non impattanti.

Verranno redatte apposite schede di ispezione, ciascuna afferente ad un tratto omogeneo, compilate con le seguenti annotazioni (elenco indicativo):

- Progressive di riferimento, data e responsabili della compilazione;
- Documentazione fotografica d'insieme e di dettaglio, con eventuali schizzi esplicativi;
- Descrizione delle condizioni esistenti: litologia e dimensione dei blocchi, assemblaggio, regolarità geometrica, criticità e crolli avvenuti, condizioni del drenaggio, condizioni della sommità, condizioni del terreno retrostante;
- Condizioni della vegetazione sul muro e in adiacenza; ove rilevante, indicare la specie e se protetta;
- Eventuali indicazioni di approfondimenti delle ispezioni, ove non possibili con semplice visualizzazione, che richiedono indagini di tipo distruttivo (piccoli saggi). Queste attività dovranno essere espressamente autorizzate e, dopo la relativa esecuzione, documentate in apposite schede.
- Intervento previsto dal progetto;

- Definizione dei dettagli esecutivi degli interventi necessari e segnalazioni di eventuali difformità rispetto al progetto. Nei casi di crolli avvenuti, l'ispezione sarà utile per la comprensione delle cause del dissesto e per verificare l'idoneità degli interventi previsti;
- Indicazioni delle metodologie e dei mezzi necessari per l'esecuzione degli interventi;
- Inventario dei materiali necessari per i ripristini e le ricostruzioni e stima delle quantità: blocchi di grandi, medie e piccole dimensioni, materiale per drenaggi, indicazioni sulle provenienze;
- Annotazioni sulla cantierizzazione.

Per ciascun tratto omogeneo si dovranno redigere le schede di documentazione dei lavori, per indicare tutte le fasi esecutive svolte fino alla configurazione finale del manufatto.

In caso di ripristino parziale o totale di muri crollati, gli stessi dovranno avere la tipologia e la litologia di quegli originali. Le dimensioni esterne dovranno essere mantenute, salvo diversa specifica disposizione progettuale se motivata da improrogabili esigenze di sicurezza.

Ogni tipologia di intervento deve garantire un adeguato drenaggio. Se il drenaggio a tergo del muro risultasse insufficiente allo scopo, si ricadrebbe nelle condizioni di tipo B, con interventi di manutenzione straordinaria, o tipo C, nei casi di evidente inefficacia o inesistenza del sistema, con demolizioni e ricostruzioni.

Gli interventi sui muri a secco dovranno essere condotti senza l'ausilio di mezzi meccanici, esclusivamente con strumenti manuali.

La vegetazione ormai consolidata sul paramento esterno del muro o di fianco ad esso non deve essere eliminata. Le specie arboree potranno esclusivamente essere spalcate per consentire agli operai di lavorare al ripristino del muro. Quelle arbustive e sarmentose, presenti sui lati, potranno essere contenute mediante taglio raso dei polloni con diametro inferiore ai tre centimetri, lasciando almeno tre-cinque polloni per pianta. Gli alberelli di specie protette vanno salvaguardati e, eventualmente, potati, previa autorizzazione, se dovessero interferire con i lavori.

Il materiale per il ripristino o la ricostruzione dei muri a secco dovrà provenire dai crolli o recuperato in luoghi limitrofi al sito d'intervento. Se non sufficiente, si potrà reperire il materiale da cumuli limitrofi, purché sugli stessi non si è affermata vegetazione arborea ed arbustiva spontanea. Solo per ragioni di comprovata carenza della disponibilità di materiale se ne potrà reperire da cave sull'isola (se disponibili e autorizzate) o importare per costituire una riserva di pietre. Nei casi di reperimento di materiale fuori dal sito di intervento tutte le caratteristiche e procedure dovranno essere adeguatamente dettagliate e sottoposte a preventiva autorizzazione della DL e degli enti competenti.

5.6.4 Regole per la (ri)costruzione dei muri a secco

La definizione di "muro a secco" indica che gli elementi lapidei di diversa pezzatura che costituiscono l'opera di sostegno sono sistemati l'uno vicino all'altro, in giusta posizione di equilibrio e di stabilità, sotto l'azione del solo peso proprio, senza l'uso di malte che facciano da legante. I muri in pietrame a secco sono opere che hanno origini antichissime; l'uomo ha da sempre utilizzato la pietra naturale, dove questa era facilmente reperibile in loco.

Questa tecnica di costruzione, tramandata con poche variazioni fino ai giorni nostri, è stata impiegata soprattutto per le costruzioni a secco, la costruzione di edifici civili e militari, la sistemazione dei versanti (terrazzamenti), il sostegno di scarpate e la costruzione di muri di confine.

Le dimensioni delle pietre impiegate sono strettamente legate alle caratteristiche geologico-strutturali delle rocce affioranti. Maggiori prestazioni vengono rese impiegando pietre di dimensioni maggiori e forma più regolare (parallelepida o lastra), mentre l'impiego di blocchi più piccoli ed irregolari o arrotondati può essere accettato per opere di minore importanza o minore impegno statico (es. muri di altezze fino a 1.5÷2-0 m).

I muri in pietrame a secco hanno un impatto estetico sull'ambiente estremamente contenuto e possono costituire elementi di valorizzazione e riqualificazione ambientale.

Le tecniche costruttive, l'utilizzo della pietra locale come materiale da costruzione, la facilità di rinverdimento spontaneo (ottenuto, in certi casi, con tecniche di ingegneria naturalistica) permettono un buon inserimento delle opere nel contesto naturale in cui sono realizzate.

I muri a secco rappresentano “*capolavori di ingegneria ambientale*” e vanno quindi preservati e valorizzati. L'abbandono e la mancata manutenzione dei muri a secco rappresentano un serio pericolo per la loro stabilità.

La buona costruzione dei muri a secco deve necessariamente rispettare alcuni principi fondamentali:

- a) Costruire su un buon terreno di fondazione (con imposta leggermente inclinata a monte) e con buone pietre di fondazione.
- b) Mantenere durante la costruzione del muro una pendenza verso monte tale da ripartire meglio le pressioni del terreno e dei corsi sovrastanti.
- c) Sistemare le pietre cercando di massimizzare i contatti e minimizzare i vuoti; evitare di creare sovrapposizioni di pietre tutte uguali creando giunti verticali, linee verticali chiamate in gergo “*sorelle*”.
- d) Terminare l'opera muraria (pietra di testa) con pietre di buone dimensioni per garantire la solidità e durabilità nel tempo.
- e) Creare un buon drenaggio dietro la struttura muraria.

La realizzazione di un muro a secco richiede di rispettare correttamente i suddetti criteri di costruzione e di avere delle attenzioni particolari; è prassi operativa che le pietre siano della tipologia e della litologia presenti nel territorio di ubicazione. La sagoma deve soddisfare le condizioni di stabilità. L'azione di recupero di un muro a secco non è solamente una tecnica di risistemazione di un manufatto, che ha perso la sua funzionalità e può causare danni; si tratta di un'azione progettuale in cui risulta importante la qualità dell'operazione di conservazione (l'esecuzione a secco secondo le tecniche tradizionali, l'uso di materiali presenti in loco, etc.) che si fa portatrice della conoscenza delle tecniche alle generazioni successive.

Il progetto di recupero di un muro a secco deve partire dall'analisi dello stato di degrado per scegliere il tipo di intervento da attuare nelle diverse situazioni; a volte sono necessari solo interventi di piccola manutenzione; a volte il degrado è tale da comportare la rimozione della parte caduta e la sua ricostruzione; in quest'ultimo caso il rispetto del manufatto e del suo carattere sarà riposto nell'uso del materiale proveniente dal muro crollato nel rispetto delle tecniche tradizionali locali.

Nella figura seguente si riporta uno schema illustrativo della nomenclatura utilizzata per i muri a secco.

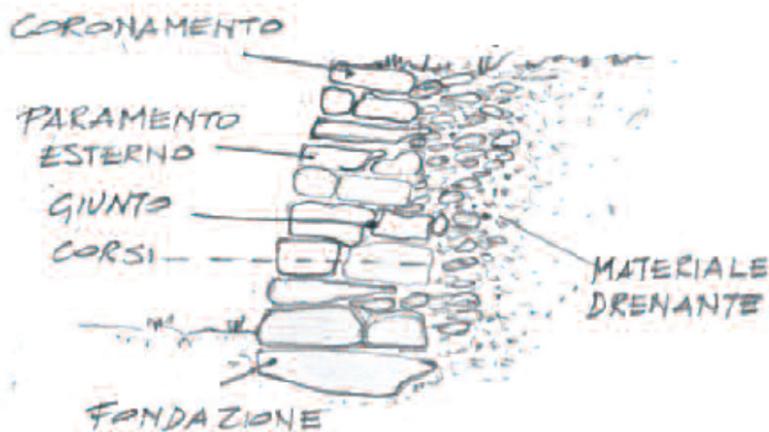


Figura 8: muri a secco nomenclatura

- **Fase preparatoria per ripristini/ricostruzioni a seguito di crolli**

La fase preparatoria consiste nel ripulire le parti interessate dal crollo e quelle adiacenti instabili, le pietre del paramento, il drenaggio e il terreno a tergo del muro, fino a configurare una scarpata stabile, per poter operare successivamente in sicurezza. Se necessario, occorrerà arrivare fino alla fondazione, verificandone lo stato di conservazione e progettando eventuali interventi di riparazione.

I materiali provenienti dalla demolizione debbono essere grossomodo suddivisi in tre gruppi:

- pietre di grossa pezzatura che vengono quasi esclusivamente utilizzate nella realizzazione della fondazione, del coronamento sommitale (quelle più belle e regolari),

del paramento esterno; quelle allungate saranno utilizzate come elementi di collegamento (diatoni);

- pietre di piccola pezzatura, principalmente utilizzate per gli intasamenti, per il riempimento interno e per il drenaggio, assieme a ciottoli e ghiaia;
- porzioni con granulometria sabbiosa e limosa, da evitare per il drenaggio, ma che devono essere comunque riportate nella posizione originaria, a ridosso del muro.

- **Fondazione**

L'elemento principale caratterizzante la fondazione è il substrato che si incontra durante lo scavo di preparazione per l'imposta del muro. Esso può essere costituito sia dal cappellaccio di alterazione della roccia sia dalla coltre elluvio-colluviale (terreno di una certa consistenza) che ricopre, talvolta, la roccia stessa, anche con strati di notevole spessore.

Nel caso in cui si riscontri il substrato roccioso (caso più probabile per gli interventi in progetto), le lavorazioni per la preparazione del piano di fondazione saranno costituite dalla rimozione di quella parte di roccia alterata che potrebbe non essere idonea ad una buona posa del muro.

Nel caso in cui la roccia si presenti con una inclinazione negativa (che tende a far scivolare il muro verso valle), è necessario realizzare un gradino che permetta la disposizione degli elementi della fondazione su un piano leggermente inclinato verso monte, in modo da generare componenti di reazioni di verso contrario a quello delle azioni prodotte dalla spinta del terreno.

Nel caso in cui si riscontri uno strato terroso, il piano di fondazione deve essere costituito da una superficie leggermente inclinata verso monte con una pendenza max di circa il 10%.

Nel caso in cui il terreno presenti una buona consistenza, la profondità dello scavo può anche essere limitata a soli 30 centimetri (circa); diversamente è necessario approfondire lo scavo fino al raggiungimento di uno strato di terreno più compatto.

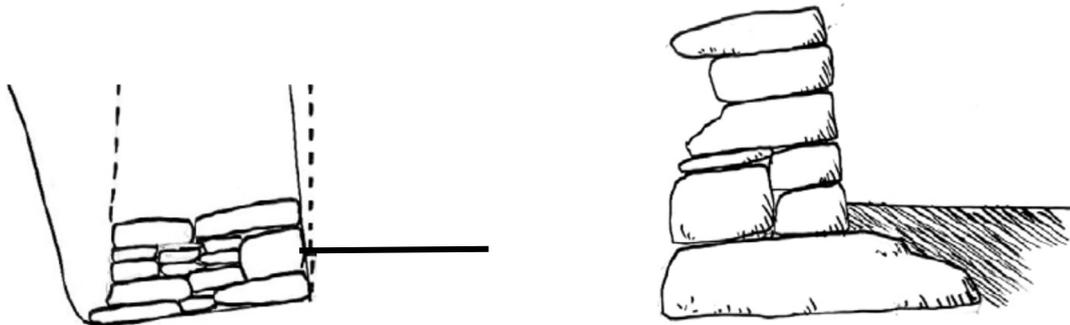


Figura 9: Esempi di corretta impostazione della fondazione: inclinazione della posa verso monte ed impiego di pietre di grosse dimensioni

Il dimensionamento della base deve corrispondere alle indicazioni progettuali. A livello puramente indicativo (e non come regola costruttiva), è possibile valutare la larghezza delle fondazioni nel seguente modo: circa 50÷70 centimetri per muri di altezza massima di 1.50 metri; circa 70÷100 centimetri per muri di altezza compresa tra i 1.5 e i 3.0 m.

In tutti i casi la larghezza del piano di fondazione deve essere sufficiente ad accogliere gli elementi che verranno utilizzati per realizzare la base del muro, costituiti dalle pietre di maggiore dimensione, presenti tra il materiale da costruzione disponibile.

Per la formazione dei corsi di base del muro si dovranno impiegare pietre regolari e di grossa pezzatura, per una profondità anche maggiore rispetto allo spessore dei corsi sovrastanti del muro.

Per le particolari esigenze di forma, dimensioni ed anche di resistenza si potranno impiegare blocchi importati (qualora non disponibili in loco), tenuto conto che questi risulteranno praticamente nascosti.

Le modalità di posizionamento dei singoli elementi sono le stesse descritte per la formazione del paramento esterno, ma con cura maggiore poiché un difetto di realizzazione della fondazione può compromettere in modo irreversibile la stabilità dell'intera opera.

- **Paramento esterno, corsi**

Le geometrie di costruzione del muro devono rispettare le indicazioni progettuali. In particolare, si terrà una inclinazione del paramento esterno (scarpa) di circa 10° rispetto alla verticale.

La scarpa è ottenuta mantenendo i corsi paralleli al piano di imposta della fondazione (ugualmente inclinato verso monte), arretrando leggermente gli elementi del paramento esterno nei vari corsi.

La presenza della scarpa contribuisce ad aumentare la resistenza al ribaltamento del muro mentre l'inclinazione delle pietre ad essa connessa evita lo slittamento delle stesse verso l'esterno della struttura.

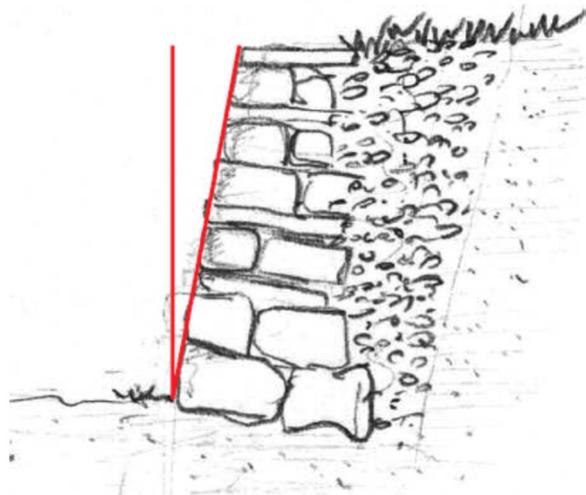


Figura 10: Sezione corretta di un muro a secco di contenimento con inclinazione della scarpa del 10% rispetto alla verticale

Come detto, nella fondazione e nella parte inferiore del muro sono impiegate le pietre di maggiore dimensione (che in questo modo sono più facilmente gestibili).

Tutte le pietre del paramento murario e del riempimento devono essere disposte con le facce di maggiore sviluppo disposte perpendicolarmente al paramento esterno (trasversalmente alla giacitura del muro); questo permette un migliore ammorsamento di tutta la muratura e, quindi, anche del paramento esterno con il riempimento di monte.

Alcune pietre o corsi possono essere disposte parallelamente per esigenze di legame. Alcune pietre di notevole lunghezza possono essere inserite perpendicolarmente alla facciata per tutto lo spessore del muro e, possibilmente, anche oltre.



Foto 10: Pietre di collegamento

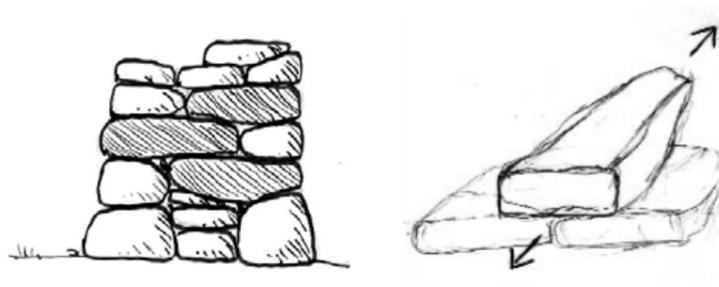


Figura 11: Pietre di collegamento

Per aumentare l'effetto del collegamento (es. in assenza di idonee pietre lunghe) si potranno impiegare teli di geogriglia (di larghezza circa 1 m), semplicemente appoggiati, non visibili dall'esterno e spinti oltre il drenaggio.

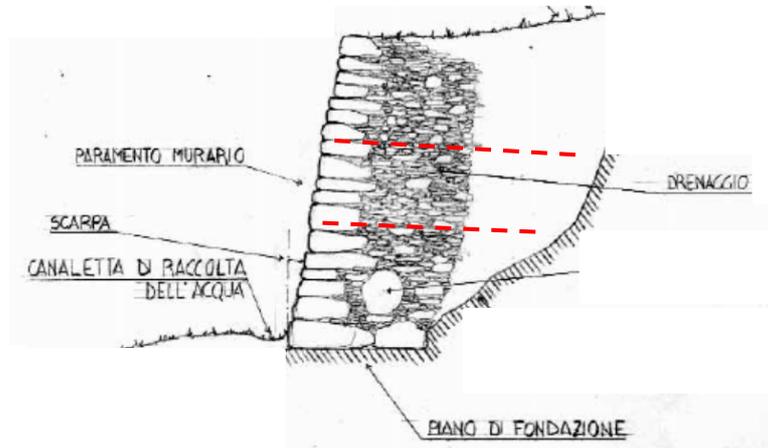


Figura 12: Inserimento di teli discreti di geogriglia (in poliestere) non visibili dall'esterno per miglioramento della stabilità interna

Ogni pietra del paramento esterno e del riempimento deve essere disposta in modo da presentare fin da subito la massima stabilità possibile, ottenuta garantendo il maggior numero di punti di contatto possibile. Ciò significa che, durante tutte le fasi di costruzione del muro, è necessario avere cura di posizionare le pietre nel modo più ordinato e regolare possibile, sempre con il criterio di favorire il legame ed evitare giunti verticali.



Figura 13: Montaggio corretto a sinistra ed errato a destra per la formazione di giunti verticali

Quando le asperità non permettono un corretto posizionamento delle pietre nel muro, il mastro muratore potrà procedere all'eliminazione di tali sporgenze o alla relativa sbazzatura; la massima stabilità degli elementi di maggiore dimensione può essere ottenuta grazie all'interposizione di scaglie, ovvero pietre di piccola pezzatura dalla forma di cuneo, forzando l'inserimento tra un elemento e l'altro.

Quando possibile, le facce più lisce delle pietre utilizzate nel paramento murario devono essere rivolte verso l'esterno, mentre le facce più irregolari devono essere riservate alle parti interne della muratura, per favorire il legame reciproco degli elementi.

È opportuno sottolineare la necessità che le pietre del paramento esterno abbiano dimensioni e forme adeguate. L'uso di elementi di piccola pezzatura in questa parte di muro, frequente soprattutto nei casi di ricostruzioni in aree caratterizzate da litotipi facilmente soggetti a degrado, può compromettere la stabilità dell'intera opera. Per tale ragione, nel caso di ricostruzioni in cui si abbia a disposizione esclusivamente materiale degradato, è necessario avere l'accortezza di procurarsi del nuovo materiale da impiegare nel paramento esterno.

La realizzazione dei corsi costituisce il modo più naturale e sicuro di procedere nell'edificazione di un muro. La costruzione di questi strati ordinati di pietre è fortemente influenzata dalle capacità dei costruttori e dal tipo di materiale a disposizione. Come già anticipato, i corsi interessano sia il paramento esterno sia il riempimento. Il materiale di riempimento deve essere mantenuto leggermente al di sotto del filo del paramento esterno, per favorire l'inserimento di eventuali scaglie (talvolta poste dall'interno del muro) sotto agli elementi del corso successivo.

L'altezza di ogni corso viene determinata dall'altezza delle pietre di maggiore dimensione impiegate nel paramento esterno.

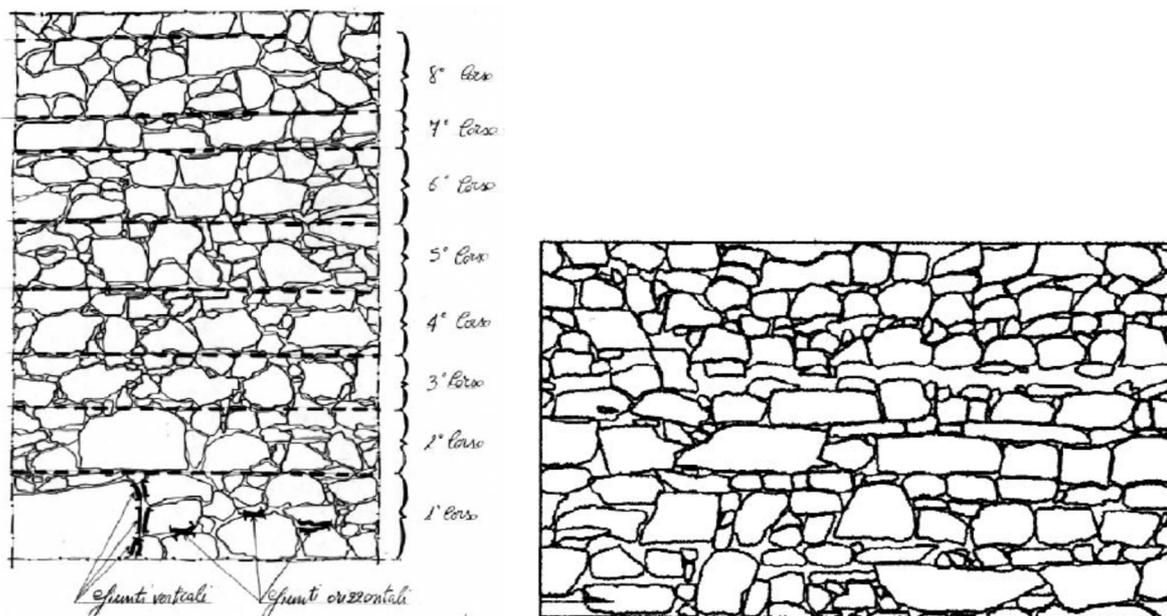


Figura 14: Schemi di paramento murario in cui si nota la presenza di "corsi" costituiti da un unico filare di pietre, o da pietre di altezze diverse con più elementi per ottenere il pareggiamento.



Foto 11: Esempio di ricorsi ben eseguiti con blocchi parallelepipedi con molti punti di contatto

Si procede ponendo le pietre per file il più possibile orizzontali (corsi), in modo da pareggiare costantemente il profilo superiore. L'altezza di ogni corso è determinata dalla pietra di maggior dimensione usata nel paramento esterno; ogni volta che si inizia un nuovo corso, si

alza il filo-guida all'altezza della pietra-guida e si procede riempiendo la fila. Ogni strato va eseguito con blocchi che abbiano altezza simile e pareggiato con scaglie di pietrame, prima di passare alla posa del corso successivo.

- **Coronamento superiore**

La parte sommitale del muro ha una funzione di protezione per tutto il muro e non può rappresentare uno degli elementi più deboli della struttura poiché un degrado o una sua destabilizzazione potrebbe rapidamente progredire ai corsi inferiori. Per questo il coronamento superiore viene generalmente realizzato con elementi regolari di grande pezzatura, spesso a lastra, e di pregio estetico.

Per le particolari esigenze di forma, dimensioni ed anche di resistenza si potranno impiegare blocchi importati (qualora non disponibili in loco) tenuto anche conto che modeste differenze di colore e struttura possono contribuire a dare evidenza della funzione di coronamento.

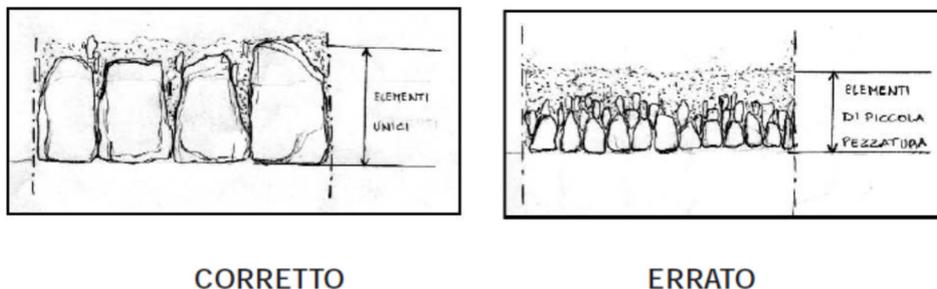


Figura 15: Esempi di formazione del coronamento superiore: a sinistra corretto, a destra errato

- **Drenaggio**

In presenza di eventi meteorici di una certa intensità, lo strato superficiale di terreno può imbibirsi per uno spessore dipendente dall'intensità e dalla persistenza delle piogge oltre che dalla permeabilità e dallo stato superficiale del terreno. Questa imbibizione determina una spinta idrostatica proporzionale alla profondità di impregnazione del terreno, che può raggiungere anche valori notevoli.

Per tutte le situazioni è obbligatorio creare un sistema di drenaggio a tergo del muro, che contribuirà ad una maggiore durata nel tempo dell'opera. Il drenaggio viene eseguito mediante il riempimento del retro del muro con tutte le pietre di piccole dimensioni e tutti gli scarti della lavorazione; in alternativa, si potrà impiegare ghiaione e breccia da cava in dimensioni 20/70 mm. Sono da evitare per il drenaggio materiali con granulometria sabbiosa e limosa.

Occorre evitare che il drenaggio raccolga direttamente l'acqua piovana, per la qualcosa non potrà essere portato fino a piano campagna; la parte superiore del riempimento sarà costituito da materiale terroso. La sistemazione morfologia non dovrà, inoltre, consentire ristagni d'acqua.

Il drenaggio contribuisce a raccogliere l'acqua di infiltrazione del terreno, abbassando o annullando i livelli piezometrici e quindi le spinte idrostatiche. Deve essere curato anche lo smaltimento dell'acqua, che può avvenire attraverso i naturali vuoti della struttura muraria. In rari casi, relative a strutture piuttosto "chiuse", si potranno lasciare piccoli vuoti a costituire piccoli canali di scolo.

6 VERIFICHE DEI MURI A SECCO

6.1 Premessa

Nel presente paragrafo vengono esaminate le condizioni di stabilità globali e locali dei muri a secco, con riferimento ai tratti da ricostruire.

I dimensionamenti geometrici proposti sono stati ispirati da osservazioni sui muri esistenti, esperienze di costruzioni simili, applicazione di abachi in uso per dimensionamenti di massima.

I risultati numerici delle verifiche sono condizionati da alcune variabili in gioco relative soprattutto ai muri a secco, in riferimento alla perizia costruttiva e alle incertezze sulla determinazione dei parametri geotecnici.

Il sistema comprendente il muro viene schematizzato nei tre ambiti seguenti, caratterizzati con i parametri caratteristici (contrassegnati con il pedice k) mostrati nella tabella seguente:

Tabella 1: parametri geotecnici

Materiale	Peso dell'unità di volume γ_k (kN/m ³)	Coesione c_k' (kPa)	Angolo di attrito φ_k' (°)
Muro a secco	20	20	35
Riempimento / drenaggio	19	0	38
Piroclastiti naturali	18	40	35

La presenza stagionale di acqua di infiltrazione del terreno non determina condizioni di spinte idrostatiche per l'efficacia del drenaggio a tergo e del muro stesso.

La resistenza al taglio del muro a secco dipende dalle caratteristiche delle pietre e, soprattutto, dalla modalità della messa in opera e dalla effettiva resa in termini di contatti ed ingranamento, i cui effetti sono rappresentati dalla coesione apparente indicata.

Sperimentazioni su “accumuli” di grosse pietre ben disposte e ingranate, mostrano involupi di rottura a taglio con coesioni apparenti anche piuttosto elevate (fino a 40-50 kPa) per bassi livelli tensionali, come nei casi in esame con muri di altezza contenuta (h_{max} 2.20 m).

La formazione naturale è prevalentemente costituita da piroclastite, a consistenza litoide o semilitoide; la coesione attribuita tiene conto della cementazione e di un certo grado di alterazione.

6.2 Metodologie di calcolo

In accordo alla normativa vigente, per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Secondo quanto previsto da normativa, per le analisi di stabilità in condizioni statiche SLU, i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

$\gamma_{\varphi'} = 1.25$	coefficiente parziale per l'angolo di resistenza al taglio
$\gamma_{c'} = 1.25$	coefficiente parziale per la coesione drenata
$\gamma_{cu} = 1.4$	coefficiente parziale per la coesione non drenata

In condizioni statiche l'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di progetto:

$\tan(\varphi'_{k,d}) = \tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi'}$	angolo di resistenza al taglio di progetto
$c'_{k,d} = c'_k / \gamma_{c'}$	coesione drenata di progetto
$c_{u,k,d} = c_{u,k} / \gamma_{cu}$	coesione non drenata di progetto

In condizioni statiche il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è $FS \geq 1.1$.

In condizioni sismiche le verifiche di sicurezza sono mirate a controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione $E_d < R_d$ [6.2.1] delle NTC 2018) impiegando lo stesso approccio delle condizioni statiche SLU (§ 6.8.2 delle NTC 2018) Combinazione (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 delle NTC 2018).

In condizioni sismiche l'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di progetto:

$\tan(\varphi'_{k,d}) = \tan(\varphi'_k)$ angolo di resistenza al taglio di progetto

$c'_{k,d} = c'_k$ coesione drenata di progetto

$c_{u,k,d} = c_{u,k}$ coesione non drenata di progetto

In condizioni sismiche il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è $FS \geq 1.2$.

6.3 Azione sismica

Per l'azione sismica, si sono considerati i parametri relativi al sito di Santo Stefano (LT), di cui ai valori seguenti.

- Per vita nominale $V_N = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_U = 1.0$ (Classe d'uso II), categoria di sottosuolo B, le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a: $a_g = 0.06$ g, $S_s = 1.2$, $S_T = 1.0$, da cui: $a_{max} = 0.06 \cdot 1.2 = 0.072$ g.

Per le analisi di stabilità sismiche SLV di fronti di scavo e rilevati, il coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito va assunto pari a $\beta_s = 0.38$.

Quindi si ha in condizioni sismiche:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.38 \cdot 0.072 = 0.027$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.014.$$

6.4 Verifiche di stabilità

Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il codice di calcolo denominato SLIDE (versione 2018, prodotto da Rocscience, Toronto, Canada), in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Nel caso in esame è stato usato il metodo di Bishop semplificato e si sono analizzate superfici non circolari.

Di seguito si sviluppano le verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche SLU per due configurazioni relative ai tratti di muro ricostruito:

- Altezza H=2.5 m, corrispondente alle altezze massime di progetto
- Altezza H=1.5 m, corrispondente alle altezze medie.

Le verifiche di stabilità risultano soddisfatte.

Di seguito si sintetizzano i risultati delle analisi di stabilità svolte:

Non trattandosi di un'opera di sostegno monolitica vengono esaminate anche condizioni di ipotetica rottura che coinvolge il muro stesso, definite (locali).

Tabella 2: Verifica di stabilità

Altezza muro	Tipologia di verifica	FS	
		Statica	Sismica
H=2.5 m	Verifica globale	1.135	1.367
	Verifica locale	1.182	1.424
H=1.5 m	Verifica globale	1.609	1.933
	Verifica locale	1.732	2.080

Si riportano di seguito alcuni grafici rappresentativi delle verifiche condotte delle due tipologie di muro esaminate.

6.5 Muro H=2.5 m

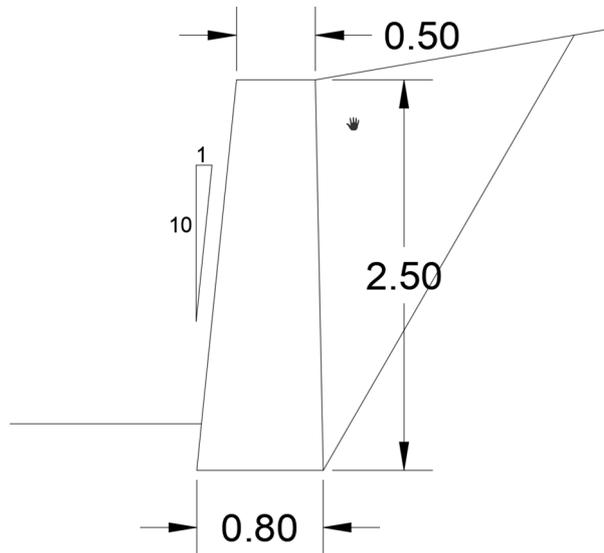


Figura 16 – Muro H=2.5 m (dimensioni orientative)

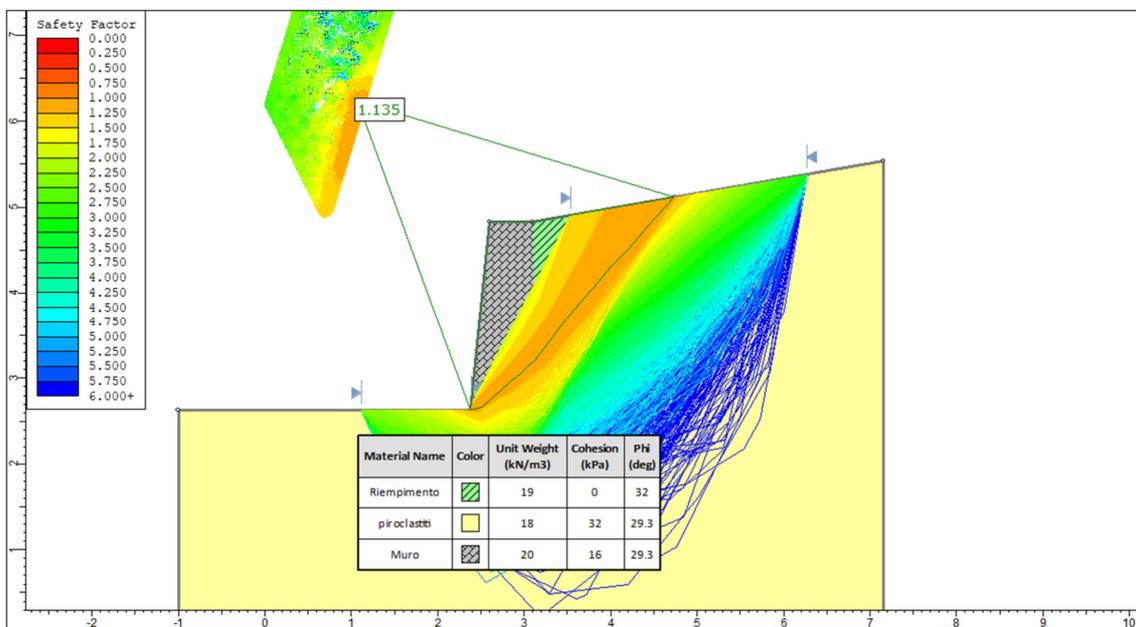


Figura 17: H=2.5 m – Analisi di stabilità statica – Verifica globale

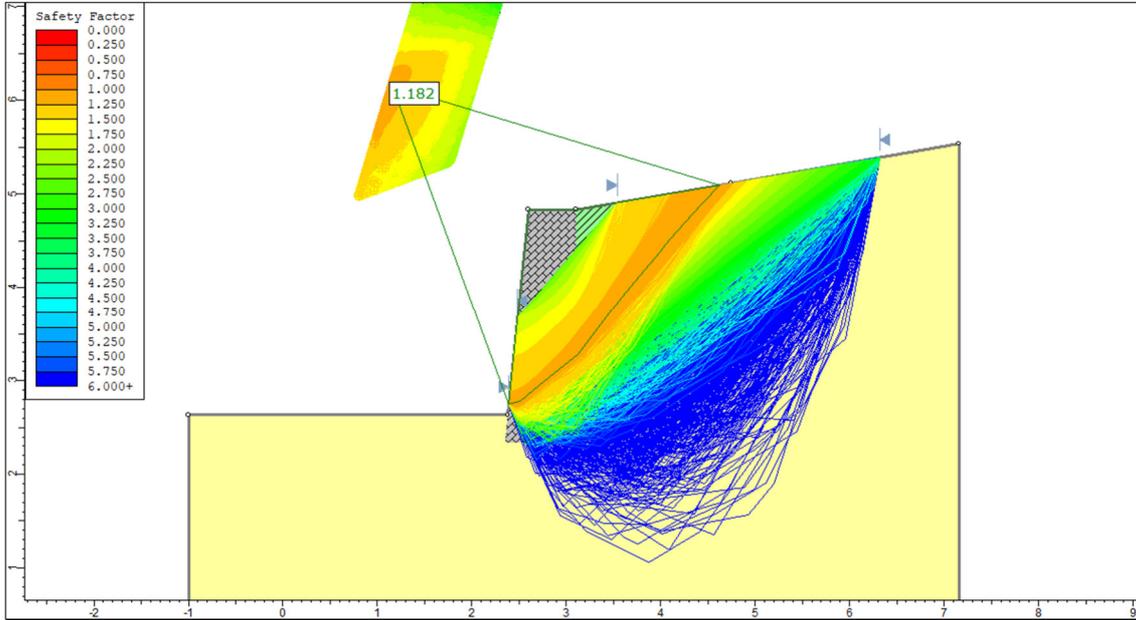


Figura 18: H=2.5 m – Analisi di stabilità statica – Verifica locale

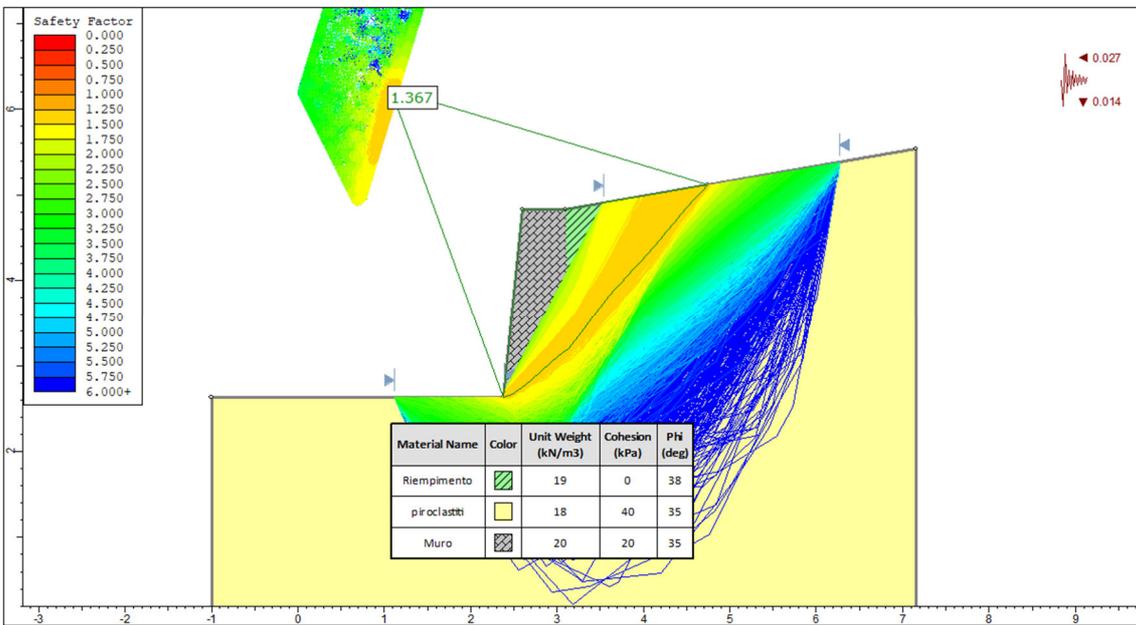


Figura 19: H=2.5 m – Analisi di stabilità sismica – Verifica globale

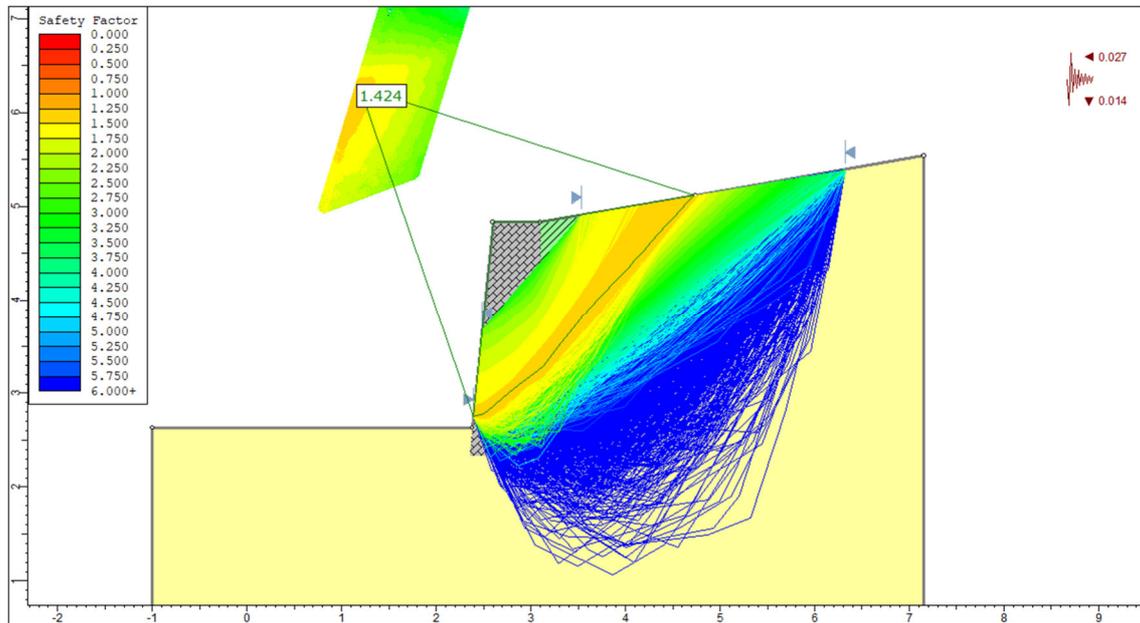


Figura 20: H=2.5 m – Analisi di stabilità sismica – Verifica locale

6.6 Muro H=1.5 m

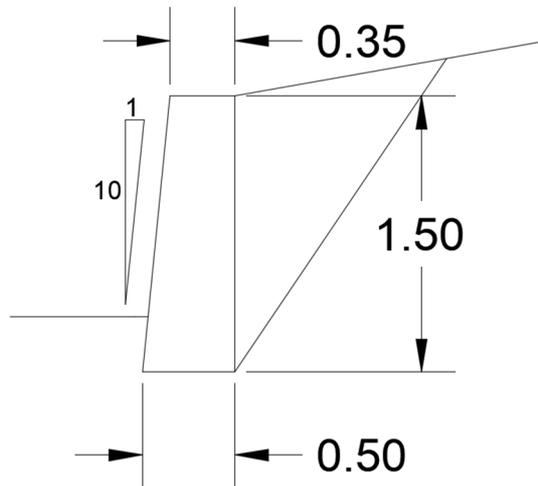


Figura 21 – Muro H=1.5 m (dimensioni orientative)

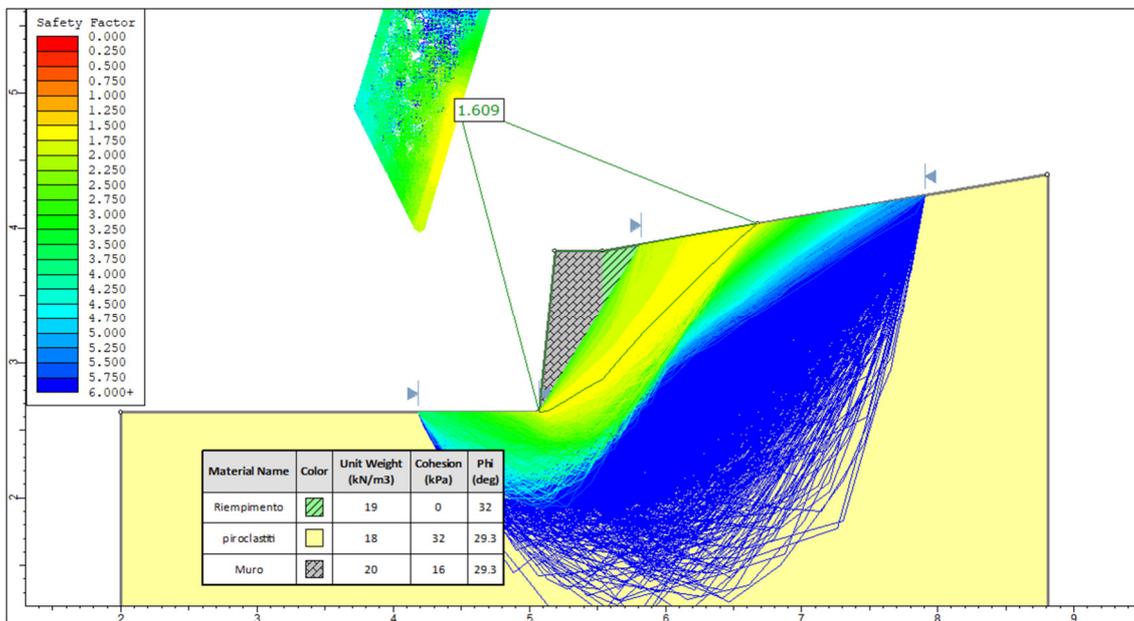


Figura 22: H=1.5 m – Analisi di stabilità statica – Verifica globale

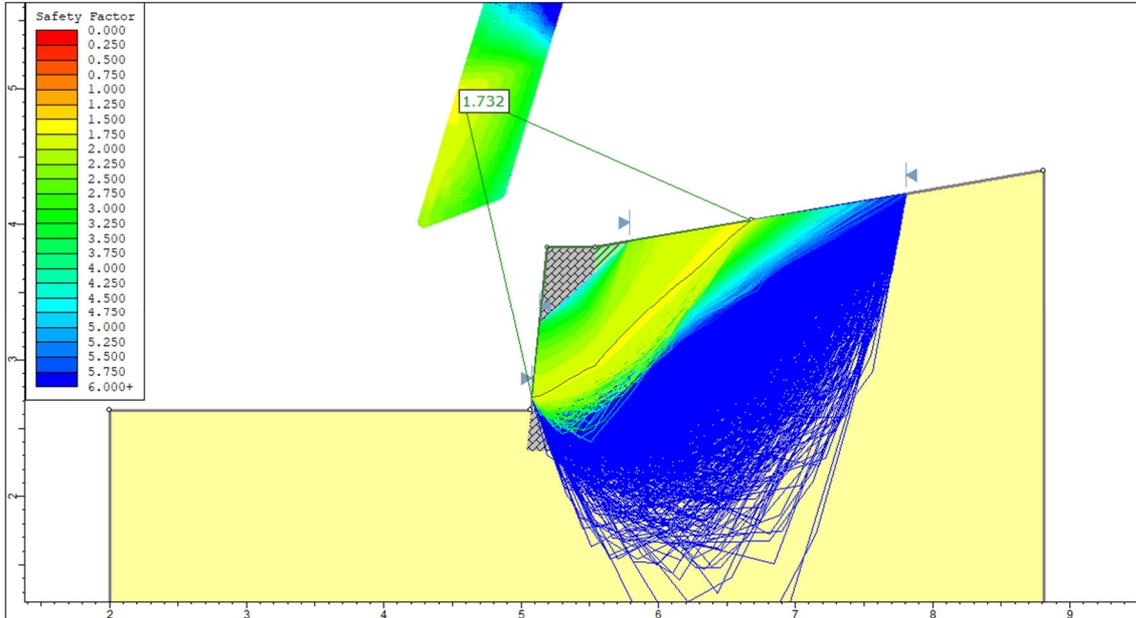


Figura 23: H=1.5 m – Analisi di stabilità statica – Verifica locale

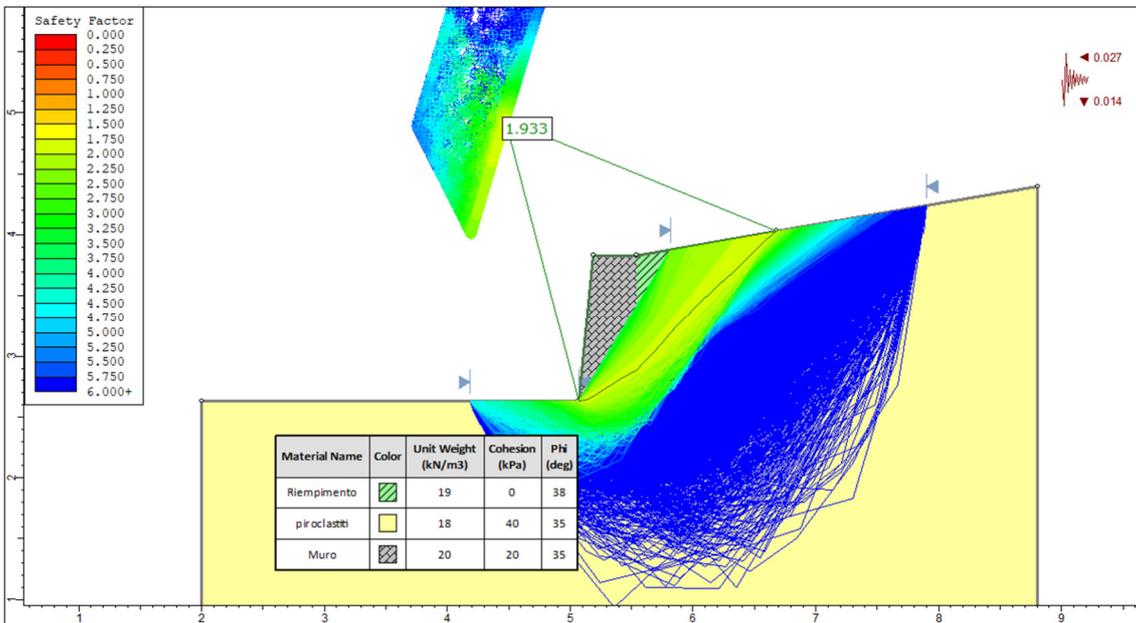


Figura 24: H=1.5 m – Analisi di stabilità sismica – Verifica globale

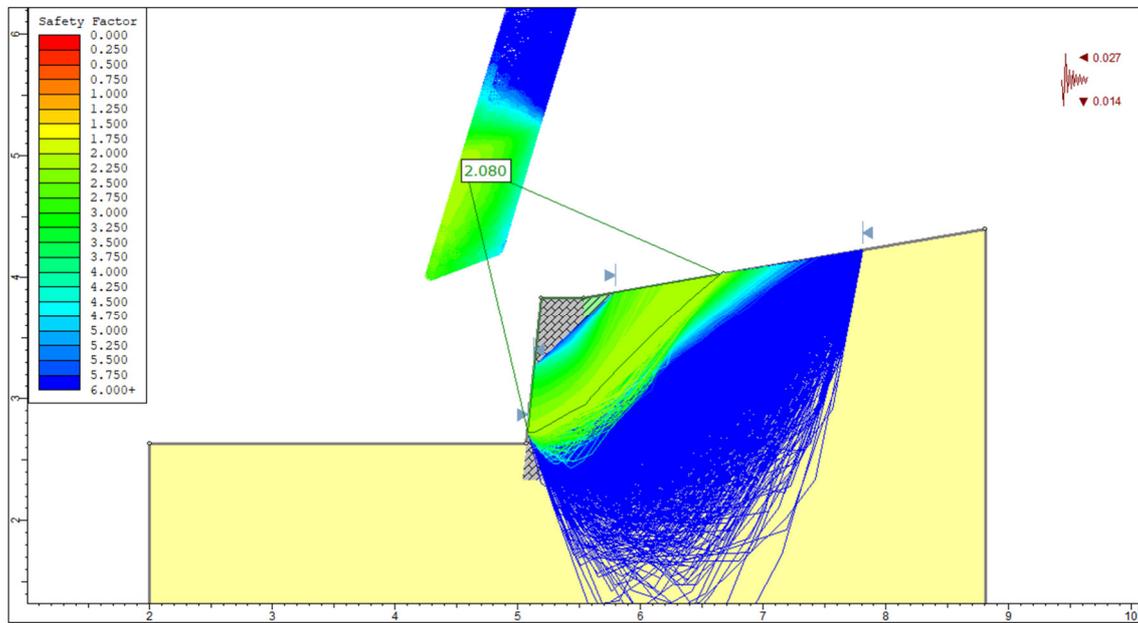


Figura 25: H=1.5 m – Analisi di stabilità sismica – Verifica locale