

IL CONTRIBUTO DELLA GEOLOGIA E DELLA GEOTECNICA NEL RIPRISTINO DEI TERRAZZAMENTI DELL'AREA AMALFITANA

PAOLO BUDETTA¹ - DICEA Dipartimento d'Ingegneria Civile Edile e Ambientale – budetta@unina.it
GIOVANNI FORTE² - DICEA Dipartimento d'Ingegneria Civile Edile e Ambientale – giovanni.forte@unina.it
MARIANNA PIRONE³ - DICEA Dipartimento d'Ingegneria Civile Edile e Ambientale – marianna.pirone@unina.it
ANTONIO SANTO⁴ - DICEA Dipartimento d'Ingegneria Civile Edile e Ambientale – santo@unina.it
MARIALAURA TARTAGLIA⁵ - DICEA Dipartimento d'Ingegneria Civile Edile e Ambientale – marialaura.tartaglia@unina.it
GIANFRANCO URCIUOLI⁶ - DICEA Dipartimento d'Ingegneria Civile Edile e Ambientale – gianurci@unina.it

Sommario

Il lavoro analizza le caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e geotecniche dei versanti terrazzati nell'area di Amalfi-Ravello (23 km²) e le relative condizioni di stabilità, allo scopo di individuare le cause principali che determinano il collasso dei manufatti. In base ad una serie di sopralluoghi in campo finalizzati all'individuazione delle dimensioni delle opere murarie e di prove fisico-meccaniche in laboratorio sui terreni piroclastici sostenuti dalle macere, sono state condotte verifiche di stabilità, sia in condizioni statiche che dinamiche, valutando anche l'effetto della spinta aggiuntiva imputabile alla formazione di accumulo d'acqua temporaneo a tergo del muro. Lo studio ha evidenziato che, in presenza di eventi critici ed accumulo d'acqua a tergo del muro dovuto ad un cattivo funzionamento del sistema di smaltimento delle acque piovane, si verifica un'instabilità locale che può comportare il tranciamento o il ribaltamento del muro. Tali condizioni possono giustificare l'insorgere di fenomeni di colata rapida che interessano frequentemente ampie porzioni di versante. Pertanto, ne deriva la necessità di prevedere: l'installazione di sistemi di canalizzazione che allontanino le acque meteoriche impedendone l'infiltrazione a tergo del muro; un'ordinaria manutenzione dei sistemi di drenaggi del manufatto stesso. Tenuto conto dell'estensione dei terrazzamenti nell'area di studio (circa 163 km) e dell'abbandono delle antiche pratiche agronomiche in molte zone difficilmente raggiungibili, si ritiene che questi interventi possano migliorare, in molti casi, la stabilità globale di questi territori antropizzati ma fortemente vulnerabili.

Parole chiave: geomorfologia, geotecnica, verifiche di stabilità, muri a secco, terrazzamenti

Introduzione

I terrazzamenti della Costa di Amalfi, sostenuti da muri a secco (macere), rappresentano uno dei più importanti sistemi di organizzazione del paesaggio in Italia meridionale e, più in generale, nell'area mediterranea [1]. Essi sono frutto di conoscenze tradizionali legate alle tecniche costruttive ed agronomiche tipiche dell'area, alla perfetta comprensione delle caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e climatiche locali ed in grado di integrarsi in maniera ottimale con le caratteristiche naturali dei luoghi.

Le macere svolgono diverse ed articolate funzioni, quali: il sostegno dei terreni sciolti superficiali; l'incremento delle superfici coltivabili (in prevalenza agrumeti) e la delimitazione delle proprietà; l'interruzione dell'acclività dei versanti; la regimazione delle acque superficiali e la conseguente più agevole infiltrazione delle stesse nei terreni sottostanti. Questi paesaggi terrazzati rappresentano però un patrimonio culturale fragile in quanto la conservazione dei muri a secco richiede una costante manutenzione; essi, talora, sono in abbandono e degrado, a causa delle mutate condizioni di sviluppo socio-economico

rispetto alle motivazioni originarie che ne hanno giustificato la costruzione. Da tanto ne derivano situazioni di instabilità che coinvolgono l'insieme opera di sostegno-versante con conseguente aggravamento delle situazioni di rischio idrogeologico, come ad esempio gli eventi verificatisi nel dicembre 2019.

Il presente Lavoro si rivolge in particolare allo studio delle condizioni di stabilità dei terrazzamenti nell'area di Amalfi-Ravello (circa 23 km²), analizzandone le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni affioranti, le condizioni geomorfologiche dell'insieme versante-opera di sostegno in alcuni siti campione e i possibili interventi atti a garantirne la loro preservazione.

Inquadramento geologico

L'area di studio (Fig. 1) appartiene alla Penisola Sorrentina - M. ti Lattari: un *horst* carbonatico allungato

in direzione SW–NE, a sua volta separante il *graben* della Piana Campana – Golfo di Napoli, a nord, da quello della Piana del Sele – Golfo di Salerno, a sud. Questa struttura è formata in prevalenza da dolomie e calcari (Trias-Cretaceo superiore) e subordinatamente da *flysch* miocenici e tufi vulcanici. Su molti versanti montuosi si rinvengono coperture sciolte detritico-piroclastiche Quaternarie, ascrivibili alle fasi esplosive del vulcanismo flegreo e del Somma-Vesuvio. L'intera struttura, che forma una monoclinale immergente verso NW, è interessata da faglie normali e trascorrenti ed è caratterizzata da rilievi montuosi con quote elevate (M. Sant'Angelo a Tre Pizzi 1445 m s.l.m.); i versanti sono generalmente acclivi (pendenze >30-45°), originatisi per processi recessivi di scarpate di faglie. Le coperture detritico-piroclastiche, non terrazzate, presentano quasi ovunque precarie condizioni di stabilità.



Figura 1 – Perimetrazione delle aree interessate dai terrazzamenti lungo la costa amalfitana (credit: Google Earth).

L'intera Penisola è interessata da frane da crollo, colate rapide di fango ed eventi alluvionali spesso con effetti catastrofici [2-3-4]. Molti di questi eventi sono innescati da precipitazioni di elevata intensità e breve durata, che si manifestano soprattutto nel periodo autunno-inverno [5]. Negli ultimi 140 anni, si sono registrati circa 300 eventi di elevata magnitudo per frane in roccia (es: Amalfi 1899, 2021; M. Catiello 2002), colate rapide (es: Pozzano 1997, Nocera 2005; Ravello 2019) e fenomeni di *flash flood* (es: Vietri e Maiori 1954, Atrani

2010). Le perimetrazioni dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Italia meridionale classificano circa il 50% del territorio (200 km²) a pericolosità medio-alta da frana e circa il 13% delle aree urbanizzate (13 km²) sono interessate da condizioni di rischio elevato e molto elevato.

Tutti gli aspetti geologici, geomorfologici e di acclività prima descritti sono ben rappresentati nell'area di Amalfi-Ravello (Fig. 2) che, essendo caratterizzata dalla presenza di una percentuale di aree terrazzate pari a circa il 12% (e per uno sviluppo complessivo

delle macere di circa 163 Km), costituisce un valido caso di studio delle problematiche affrontate.



Figura 2 – Carta geomorfologica dell'area di Amalfi-Ravello.

Caratteristiche costruttive e condizioni d'appoggio delle macere

Come per le restanti aree terrazzate della Costa di Amalfi, anche nell'area di studio la tecnica costruttiva dei terrazzamenti è consistita nel sostenere, con muri in pietra calcarea a secco e senza legante, ripiani gradonati, allo scopo di ottenere una serie di superfici pianeggianti poste a quote decrescenti (Fig. 3).



Figura 3 – Sistema di terrazzamenti multipli con muri a secco.

In generale, la macera sostiene terra smossa dal pendio o integrata con altra prelevata altrove. L'ampiezza delle superfici piane dipende dall'acclività locale del versante e dallo spessore della coltre detritico-piroclastica. La muratura a secco presenta diverse tipologie e tessiture a seconda del substrato litico locale dal quale veniva raccolta o "cavata" la pietra. La fondazione è stata realizzata utilizzando blocchi di maggiori dimensioni che vanno via via diminuendo per i tratti in elevazione. Gli interstizi sono tamponati con scaglie più piccole mentre materiale minuto, collocato a tergo del paramento di monte, ne favorisce il drenaggio. Il sistema terrazzato è di solito completato da altre strutture, funzionali alla sua utilizzazione: scale, ripari ricavati nella muratura, vasche, sentieri, canali, piccoli edifici.

Di norma, l'altezza dei muri è tra 1 e 3 metri variando in altezza al crescere della pendenza del versante originario. Il tratto in elevazione è innalzato con una pendenza verso monte di circa il 15%. Su versanti molto acclivi, 1 ha di terreno terrazzato può aver richiesto sino a 2 km di muri di sostegno, con sviluppo planimetrico che segue l'andamento delle curve di livello.

In merito alle condizioni di appoggio dei muri, esse dipendono dalla stratigrafia locale che può essere talora molto semplice, con terreni piroclastici indifferenziati ricoperti da 0,30-0,80 m di terreno

agrario, fino a configurazioni multistrato caratterizzate da alternanze di livelli argillificati intercalati a strati pomicei e cineritici, poggianti sia sul substrato carbonatico che su brecce. La fondazione poggia direttamente su roccia o su strati prevalentemente detritici o brecce cementate.

Gli eventi di Vettica e di Ravello

Tra le colate rapide verificatesi nel contesto oggetto di studio, significativi per i m³ di terreno mobilitati sono gli eventi di Vettica del 5 marzo 2011 e di Ravello del 21 dicembre 2019.

In data 21/12/2019 il pluviografo di Ravello (389 m s.l.m.) registrò un totale di pioggia pari a 252,9 mm (Fig. 4a), un evento di pioggia con caratteristiche di quasi eccezionalità. Per il caso studio di Vettica, invece, il pluviografo della vicina stazione di Amalfi (99 m s.l.m.) registrò nel giorno critico un valore di 42 mm di pioggia. Tuttavia si susseguirono piogge copiose nei cinque giorni antecedenti l'innescò pari all'incirca a una pioggia cumulata di 149 mm (Fig. 4b).

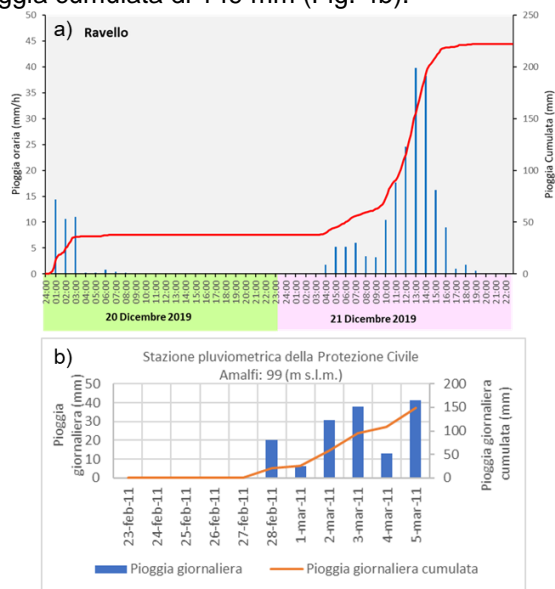


Figura 4 – a) Pioggia oraria e cumulata del 20 e 21/12/2019 registrate dal pluviografo di Ravello; b) Pioggia giornaliera e cumulata dal 23/02/2011 al 05/03/2011 registrate dal pluviografo di Amalfi.

In concomitanza dell'evento pluviometrico del

21/12/2019, si verificarono numerosi crolli di macere che coinvolsero strade ed abitazioni (Fig. 5).



Figura 5 – Crolli di muri a secco a seguito delle piogge intense del 20 e 21/12/2019.

In generale, la casistica dei crolli censiti nell'area di Amalfi-Ravello e le osservazioni post-evento hanno permesso di identificare alcune possibili cause d'innescò e meccanismi di rottura. Tra le cause, è possibile annoverare:

- accumulo di acqua nell'intercapedine esistente tra il muro e il terreno in corrispondenza di eventi di pioggia particolarmente intensi, dovuto al progressivo intasamento nel tempo del sistema di drenaggio. Tale condizione produce una spinta idrostatica aggiuntiva a tergo del muro stesso;
- vetustà ed usura dei detriti calcarei costituenti le macere combinati con una mancata manutenzione ed eventuali effetti aggiuntivi dovuti alla compenetrazione delle radici delle piante. Queste condizioni possono comportare una degradazione delle proprietà meccaniche del detrito.

Tra i meccanismi d'innescò sono stati osservati:

- rottura locale della macera, crollo del detrito calcareo e del materiale di riempimento;
- rottura generalizzata dell'insieme macera-terrazzamento, coinvolti dallo scorrimento di cumuli detritici a seguito dell'innescò di frane per scorrimento rotazionale/scivolamento o di rottura locale delle macere a monte;
- collasso per sovraccarico istantaneo, dovuto a caduta di massi a seguito di frane da crollo.

Analisi di stabilità

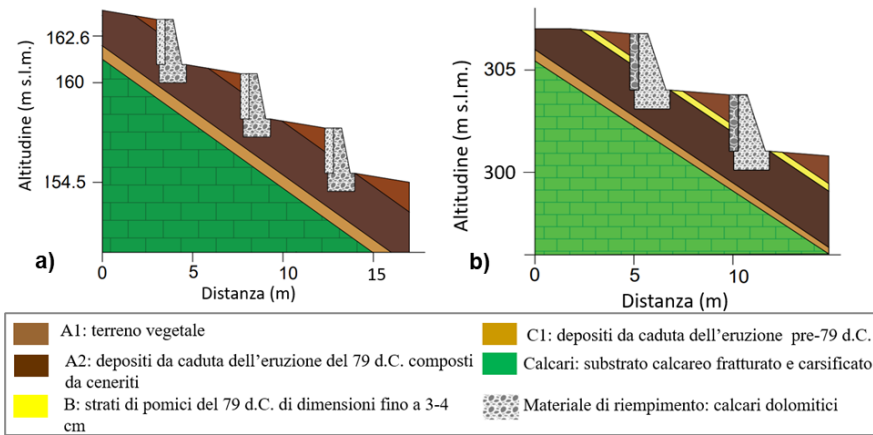


Figura 6 – Sezioni analizzate. a) Vettica di Amalfi; b) Ravello.

Le due sezioni analizzate sono caratterizzate da una stratigrafia simile, ad eccezione della presenza di uno strato di pomici (B), rinvenuto solo a Ravello. In sintesi, la stratigrafia locale è così costituita (dall'alto): livello (A1) terreno vegetale interessato da processi biochimici a seguito dell'azione di microrganismi del suolo (spessore circa 20-30 cm); livello (A2) cineriti sabbiose con pomici dell'eruzione del 79 d.C. (spessore circa 40-100 cm); livello (B) pomici grossolane non degradate in matrice piroclastica sabbiosa, con spessore variabile; livello (C1) cineriti granulometricamente costituite da sabbie limose giallastre (spessore circa 40-80 cm), suddivisibile in due sottolivelli solo sulla base del colore da scuro a giallo (C1a e C1b, rispettivamente); livello (S) pezzame calcareo. I terreni descritti si trovano generalmente in

Le analisi di stabilità del sistema muro-versante terrazzato sono state svolte per individuare il meccanismo d'innescò delle colate di fango che hanno colpito i due siti di Vettica e di Ravello.

Per entrambi i siti sono note la successione stratigrafica, la pendenza dei versanti e le dimensioni tipiche dei muri (Fig. 6). La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti in sito è disponibile grazie ad un elevato numero di indagini di laboratorio condotte su campioni prelevati nell'area oggetto di studio [4].

regime di parziale saturazione, essendo i meati del terreno occupati sia da acqua che da aria [6]. Detta u_a la pressione dell'aria ed u_w la pressione dell'acqua, tale differenza di pressione è detta suzione (s) e fornisce un incremento di resistenza a taglio del terreno durante l'anno sottoforma di coesione apparente, c_a definita come [6]:

$$c_a = S_r \cdot s \cdot tg\varphi' \quad (1)$$

Dove S_r è il grado di saturazione e φ' è l'angolo di attrito allo stato critico. Pertanto il criterio di rottura di Mohr Coulomb può essere esteso ai terreni parzialmente saturi come segue:

$$\tau_{lim} = c' + (\sigma - u_a) \cdot tg\varphi' + S_r \cdot s \cdot tg\varphi' \quad (2)$$

Topic ASSETTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO, STABILITÀ DEI VERSANTI TERRAZZATI E SENTIERISTICA— RESEARCH REPORT

Dove c' è la coesione reale del terreno e σ è la tensione totale normale sulla superficie di scorrimento. Di seguito in Tabella 1 e 2, si riportano le dimensioni dei

muri investigati con le relative proprietà fisico-meccaniche del detrito calcareo costituente la macera e le proprietà geotecniche dei litotipi presenti in sito.

Località	Altezza muro (m)	Spessore paramento (m)	Altezza fondazione (m)	Larghezza fondazione (m)	Pendenza versante (°)	Peso nell'unità di volume γ (kN/m ³)	Angolo d'attrito ϕ' (°)
Vettica	2,50	0,45	1,00	1,50	35	22	45
Ravello	3,00	0,45	1,00	1,80	35	22	45

Tabella 1 – Dimensione dei muri a secco investigati e proprietà fisico-meccaniche.

Livelli	Peso nell'unità di volume γ (kN/m ³)	Coesione c' (kPa)	Angolo d'attrito ϕ' (°)
A1 e A2 rimaneggiati	15,50	0	36
A1 e A2 in posto	15,50	0	38
C1	15,54	0	35,4
B	10,00	0	41
S	22,00	-	-

Tabella 2 – Proprietà geotecniche dei terreni utilizzate nelle verifiche di stabilità.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite sia in condizioni statiche che dinamiche con il Metodo dell'Equilibrio Limite, in particolare l'approccio di Morgenstern-Price implementato nel codice di calcolo GEO-SLOPE [7]. Le verifiche in condizioni dinamiche sono state condotte utilizzando un approccio pseudo-

statico, in accordo con la Normativa italiana per le aree sismiche [8].

Di seguito si riportano i parametri sismici relativi le zone di Amalfi e Ravello, utilizzati per le verifiche dinamiche delle sezioni analizzate (Tab. 3):

Comune	Vita di riferimento V_R (anni)	Categoria di sottosuolo	Stato limite	Periodo di ritorno T_R (anni)	β_s	a_g (g)	S_s	S_T	k_h	k_v
Amalfi (SA)	50	E	SLV	475	0,2	0,096	1,6	1,4	0,0425	0,0212
Ravello (SA)						0,097	1,6	1,4	0,0434	0,0217

Tabella 3 – Parametri sismici dei comuni di Amalfi e Ravello.

In tutte le analisi di stabilità, i terreni sono stati caratterizzati con i parametri riportati nelle tabelle 1-3, il calcare è stato modellato infinitamente resistente ed è stata assunta suzione nulla, quindi coesione apparente pari a zero, in tutti i litotipi. Quest'ultima ipotesi risulta ragionevole dal momento che gli eventi di pioggia critici investigati nei due siti d'interesse possono aver determinato la completa saturazione del pendio.

Dapprima si è investigata la stabilità globale del pendio, fissando una superficie di scorrimento tracciata ad hoc

compatibile con un fenomeno di rottura generale, che coinvolge sia il pendio che i muri. In entrambe le condizioni, statiche e perfino dinamiche, il coefficiente di sicurezza, FS, risulta ben maggiore dell'unità, in particolare per Vettica FS è pari a 1.660 in condizioni statiche e 1.544 in condizioni sismiche (Fig. 7). In tabella 4 sono riportati i FS determinati per la superficie di scorrimento globale visibile in Fig. 7, in condizioni statiche e sismiche per entrambi i siti.

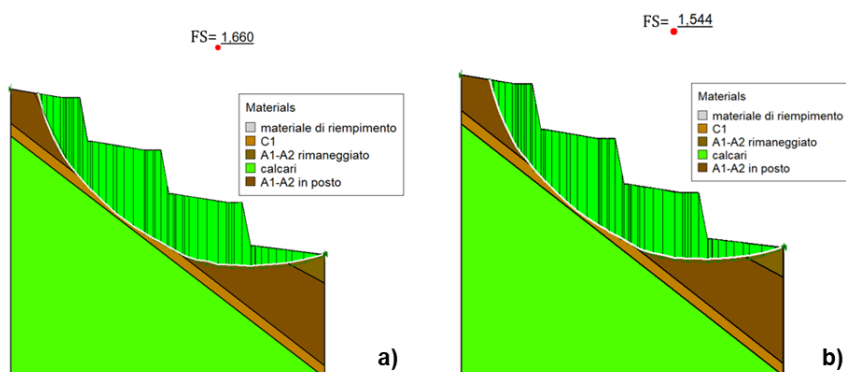


Figura 7 – Risultati delle verifiche di stabilità per il sito di Vettica, eseguite con l’approccio di Morgenstern-Price, in assenza di falda. a) condizioni statiche; b) condizioni dinamiche.

Caso studio	FS	
	Verifica statica	Verifica dinamica
Vettica	1,660	1,544
Ravello	2,033	1,904

Tabella 4 – Coefficienti di sicurezza di stabilità globale in condizioni statiche e dinamiche per Vettica e Ravello

Pertanto, l’innescò di dissesti può essere causato da problematiche locali legate alle caratteristiche di degrado del singolo manufatto, oppure dal mancato smaltimento delle acque superficiali. A tal proposito, il materiale fine trasportato da monte può occludere i meati che consentono il drenaggio delle acque, determinando l’accumulo di acqua nell’intercapedine tra muro e terreno in corrispondenza di eventi piovosi

intensi, capace a sua volta di instaurare una spinta aggiuntiva che causa la rottura dello stesso. Quest’ipotesi è avvalorata da rilievi in sito condotti dopo l’evento pluviometrico del dicembre 2019 a Ravello, a seguito del quale si è potuto accertare, in taluni casi, la quasi totale occlusione dei vuoti presenti nei paramenti murari e quindi la perdita della loro capacità drenante. In accordo con queste evidenze, le verifiche di stabilità locale, condotte ipotizzando la presenza di accumulo d’acqua temporaneo a tergo del muro capace di esercitare una spinta idrostatica sul muro stesso e fissando una superficie di scorrimento che s’immerge ed emerge rispettivamente a monte e a valle del singolo muro, hanno restituito valori di FS prossimi alle condizioni di equilibrio limite (FS variabile tra 0,993 e 1,002) (Fig. 8).

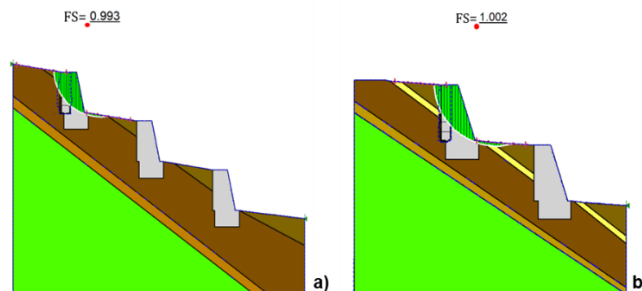


Figura 8 – Verifiche di stabilità locale, eseguite con l’approccio di Morgenstern-Price, ipotizzando la presenza di accumulo d’acqua a tergo del muro. a) sito di Vettica; b) sito di Ravello.

Dalla figura 8 è evidente che uno dei possibili fenomeni di rottura è il tranciamento del paramento. Tuttavia sono stati indagati anche altri meccanismi di rottura del

muro: lo scivolamento e il ribaltamento considerando i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze.

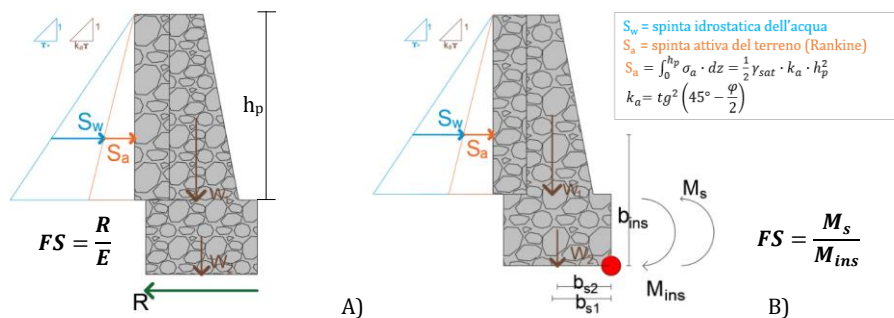


Figura 9 – Forze agenti sul muro: A) Verifica a scivolamento; B) Verifica a ribaltamento.

La spinta attiva è stata determinata utilizzando la teoria di Rankine [9]. Le forze agenti sul muro in entrambe le condizioni di scivolamento e ribaltamento sono schematizzate in Figura 9.

I risultati ottenuti per entrambi i casi di studio (Tab. 5), indicano che la verifica a scivolamento è soddisfatta, al contrario la verifica a ribaltamento non restituisce mai

valori di FS maggiori dell'unità. Pertanto, questi risultati indicano che possono verificarsi fenomeni di rottura locale della macera, in particolare il tranciamento del paramento o il ribaltamento del muro in occasione di fenomeni di pioggia intensi, fenomeni a loro volta capaci di innescare colate di fango su ampie porzioni di versante.

Comune	Verifica a scivolamento					Verifica a ribaltamento		
	S_a (kN)	S_w (kN)	E (kN)	R (kN)	FS	M_{ins} (kN·m)	M_s (kN·m)	FS
Amalfi (SA)	11,52	32,26	42,77	55,86	1,30	76,99	57,48	0,75
	11,52	assente	11,52	55,86	4,84	20,74	57,48	2,77
Ravello (SA)	16,59	45,00	61,59	70,77	1,15	123,18	95,54	0,78
	16,59	assente	16,59	70,77	4,26	33,18	95,54	2,87

Tabella 5 – Risultati delle verifiche di scivolamento e ribaltamento per Vettica e Ravello. Il termine E è la somma di S_a e S_w ; il termine R è la resistenza allo scivolamento; M_s è il momento stabilizzante; M_{ins} è il momento instabilizzante

Possibili interventi di stabilizzazione

L'approccio geotecnico utilizzato nei due siti campione ha evidenziato come la stabilità dell'insieme muro-terrazzamento è condizionato principalmente dai processi d'infiltrazione delle acque piovane nei terreni sciolti a tergo delle macere e, se la capacità drenante del manufatto è fortemente compromessa a causa della parziale o totale occlusione dei vuoti tra i blocchi

e le scaglie lapidee, si creano i presupposti per l'applicazione di spinte idrostatiche aggiuntive che comportano il collasso dell'opera per prevalenti meccanismi di tranciamento-ribaltamento. Tenuto conto dell'impossibilità di prevedere, in molti casi, il rifacimento o il ripristino di estesi tratti di manufatti, mediante il loro smontaggio e rifacimento soprattutto a causa delle mutate condizioni socio-economiche locali (vedi abbandono delle aree agricole più disagiate e

difficilmente raggiungibili), è evidente che l'intervento più agevole da proporsi è quello di realizzare canalette superficiali per smaltire l'accumulo di acqua a tergo del muro e per ristabilire una corretta regimazione. Applicando questo tipo di intervento ai casi di studio descritti, l'insieme muro-terrazzamento drenato risulta essere stabile con valori di FS sempre maggiori di 1,00 (Fig. 10). In tali condizioni anche le verifiche allo scivolamento-ribaltamento del manufatto risultano verificate come è evidente in Tabella 5 dal valore di FS in assenza di spinta idrostatica.

Le canalette, realizzate anche mediante opere di ingegneria naturalistica, devono garantire che gli scarichi delle canalizzazioni confluiscano nel più vicino fosso o impluvio evitando, nel contempo, l'innesco di processi erosivi in corrispondenza dei punti di scarico. Il sistema di canalette, inoltre, deve essere dimensionato in maniera tale da consentirne l'efficienza anche durante i massimi di pioggia preventivabili. Occorre verificare periodicamente la corretta efficienza delle opere (problemi di intasamento, rotture, ecc.) e provvedere alla manutenzione dello scolo e delle trincee o dei fossati nei quali sbocca la rete. Il corretto funzionamento della rete di drenaggio andrà effettuato tramite il controllo periodico delle portate, tenendo conto dell'entità delle precipitazioni.

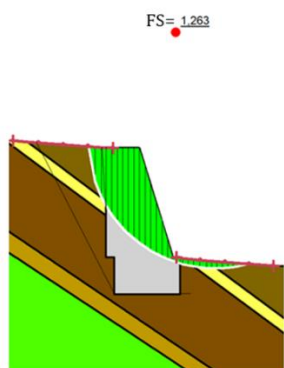


Figura 10 – Risultati delle verifiche di stabilità per il sito di Ravello in presenza di opere di canalizzazione delle acque superficiali.

In tutti gli altri casi di potenziale collasso delle opere, si dovranno prevedere interventi attivi e passivi da dimensionarsi caso per caso in relazione alla natura e

genesi dei potenziali punti di crisi. In questi casi è evidente che solo l'attento controllo del territorio e la riproposizione delle tecniche agronomiche adottate in passato possono mitigare il rischio di instabilità.

Conclusioni

I casi di studio analizzati nell'area di Amalfi-Ravello hanno permesso di evidenziare come il ripristino e la valorizzazione dei terrazzamenti sostenuti da muri a secco non può prescindere dall'attento studio delle caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e geotecniche locali dei versanti. In particolare occorre tener in conto lo spessore della coltre piroclastica; la profondità e tipologia del substrato lapideo; la corretta regimazione delle acque ruscellanti; le condizioni di stabilità globale dei versanti.

La principale causa di instabilità si è dimostrata essere la presenza di accumuli idrici a tergo dei manufatti, a seguito della mancata manutenzione dei drenaggi e della regimazione delle acque superficiali dovuta all'abbandono delle pratiche agronomiche che prevedevano anche un'attenta manutenzione dei terrazzamenti. L'approccio geotecnico utilizzato ha messo in evidenza come il fattore di sicurezza si riduca drasticamente localmente per effetto dell'applicazione sui muri di pressioni neutre positive. Per ovviare a questo inconveniente si ritiene opportuna la realizzazione di canalette superficiali così da ripristinare la corretta regimazione delle acque ruscellanti, oltre che un attento controllo del territorio e la riproposizione delle tecniche agronomiche del passato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Guida, M., Vallario, A. (2004) Muri sorrentini. Geologia, storia, tecnica e rischio ambientale. Ed. Di Mauro, 196 pp.
- [2] Calcaterra D., Santo A. (2004) The January 10, 1997 Pozzano landslide, Sorrento Peninsula, Italy. *Engineering Geology* 75(2):181–200.
- [3] Budetta P., De Luca C., Nappi M. (2016) Quantitative rockfall risk assessment for an important road by means of the rockfall risk management (RO.MA.) method. *Bull Eng Geol Environ* 75:1377–1397.
- [4] Forte, G., Pirone, M., Santo, A., Nicotera, M.V., Urciuoli, G. (2019) Triggering and predisposing factors for flow-like landslides in pyroclastic soils: the case study of the Lattari Mts. (Southern Italy). *Engineering Geology* 257:105–137.

[5] Santangelo, N., Forte, G., De Falco, M., Chirico, G.B., Santo, A. (2021). New insights on rainfall triggering flow-like landslides and flash floods in Campania (Southern Italy). Landslides, doi: 10.1007/s10346-021-01667-9.

[6] Fredlund, D.G., Rahardjo, H., Fredlund, M.D., 2013. Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley-Interscience.

[7] Geo-slope (2004) Geostudio tutorials. Geo-slope International Ltd.

[8] NTC (2018) – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale. Cap. 6 Progettazione geotecnica. D.M. 17/01/2018 in G.U. n.42 del 20/02/2018.

[9] Rankine WTM. On the stability of loose earth. Phil Trans Roy Soc Lond 1857; 147:9–27.