

IL COLLE E LA FORTEZZA DI OSOPPO (ITALIA): PIANIFICAZIONE E REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO

Meriggi R.¹, Menchini G.², Cocco A.³ e Grandinetti P.G.⁴

ABSTRACT: *The hill and the fort of Osoppo (Italy): planning and realisation of restoration works*

The hill of Osoppo is situated at the foot of the Carniche Alps in the point where the river Tagliamento flows into the Friuli plan, a place which formed and still forms a mandatory communication channel between north-eastern Italy and central Europe. Because of its strategic position, the hill has been used during many centuries as a military fort and all its rulers, Venetians, Frenchs, Austrians and finally Italians, have built on its top and slopes several buildings which were strongly damaged by a bombing in the Second World War and then by a strong earthquake in 1976. The ruins are a very important cultural heritage and, in 1983 the local authorities, with the aim to preserve the Hill and the Fortress from natural degradation, drew up a Plan which has been developed into a multidisciplinary study, including a comprehensive geological and geotechnical analysis, in order to design stabilisation works with low environmental impact (MENCHINI et al. 1987), (MERIGGI et al. 1988). In the paper are briefly described the analysis carried out for the restoration of some historical buildings and, with major emphasis, that developed to design the active and passive protection works to prevent part of the town south of the hill from rockfalls. In particular, the use of a very sophisticated model to calculate the trajectories of rockfalls has permitted to build a passive defensive work, a concrete walls lined with stones, with dimensions sufficient to prevent the risk without altering the urban landscape.

SOMMARIO: *Il Colle e la fortezza di Osoppo (Italia): pianificazione e realizzazione degli interventi di consolidamento*

Nell'ambito del progetto di Piano di Conservazione e Sviluppo del Colle e della Fortezza di Osoppo (1985), era stato condotto un ampio e dettagliato studio delle condizioni geomorfologiche e geostatiche dell'area attraverso l'analisi dello stato di fatto, ricostruendo tramite fonti storiche i diversi interventi antropici realizzati allo scopo di adattare il sito alla evoluzione delle tecniche difensive nel corso di diversi secoli. Il Colle, situato ai piedi delle Alpi Carniche nella zona in cui il F. Tagliamento sbocca nell'alta pianura friulana, ha infatti svolto un ruolo strategico di primaria importanza dal 15° secolo sino alla fine della seconda guerra mondiale. L'identificazione di zone a diverso grado di rischio per la difesa dell'abitato sottostante e le condizioni di stabilità dei siti di maggiore interesse storico avevano consentito di definire le tipologie di intervento ritenute più idonee per ridurre l'impatto ambientale delle opere stesse. L'articolo illustra sommariamente gli interventi già realizzati per il recupero di alcuni edifici di interesse storico e, con maggior dettaglio, le analisi svolte per la progettazione delle opere di difesa attiva e passiva per proteggere l'abitato e le strade di accesso alla Fortezza dal pericolo di distacco di blocchi lapidei dalle pareti conglomeratiche del Colle. In particolare, si illustra l'impiego di un modello di calcolo molto sofisticato utilizzato per simulare le traiettorie dei massi e come esso abbia consentito di progettare un'opera di difesa passiva, un muro in calcestruzzo rivestito in pietra locale, con dimensioni sufficienti a ridurre il rischio senza alterare in modo significativo il paesaggio urbano.

Parole chiave: Scendimento massi, chiodatura, barriere paramassi

¹ Dipartimento di Georisorse e Territorio, Udine – meriggi@dgt.uniud.it

² Tecnogeo, Studio Tecnico Associato, Udine – jmenc@tin.it

³ CP Ingegneria, Gemona del Friuli (UD) – cp.eng@tin.it

⁴ Univ - Università di Venezia – pigrandi@tin.it

INTRODUZIONE

Il colle di Osoppo emerge come un baluardo naturale, con un dislivello di circa 120 m, nell'area in cui il fiume Tagliamento inizia il suo scorrere nell'alta pianura friulana, in posizione contigua all'abitato (Figura 1). Esso rappresenta nella realtà del Friuli, un luogo di rilevante interesse storico e ambientale. Lì ha trovato spazio un insediamento assolutamente singolare per essere stato utilizzato dall'antichità sino all'epoca moderna come struttura militare e luogo di difesa. Qui gli uomini si sono attivati in un'opera di imponente trasformazione e "costruzione" del rilievo naturale, utilizzandolo come luogo di guerra, con una continua attenzione al modificarsi delle strategie e delle tecniche militari (per tali ragioni è stato dichiarato nel 1923 "monumento nazionale" ed è tutelato ai sensi della legge n. 1089/1939). Dopo i bombardamenti del 1945 e gli eventi sismici del 1976, il colle ha subito un periodo di abbandono, ridotto a un coacervo di resti della sua lunga storia, con evidente degrado delle strutture murarie, diffusi fenomeni di dissesto, la crescita incontrollata e a carattere invasivo della vegetazione. Con la legge regionale n.11/83 riguardante i parchi e gli ambiti di tutela regionali, l'Amministrazione Comunale ha predisposto un piano particolareggiato, nella forma del "piano di conservazione e sviluppo" (P.C.S.) con il duplice obiettivo di recuperare la sicurezza di accessibilità al colle e all'abitato, che si trova a ridosso in corrispondenza della sua parte meridionale, e recuperare il luogo come sistema complesso, insieme articolato, ma integrato, di aree ed elementi differenziati: ambienti di specifico valore naturalistico, siti di interesse storico e archeologico, spazi per la ricreazione

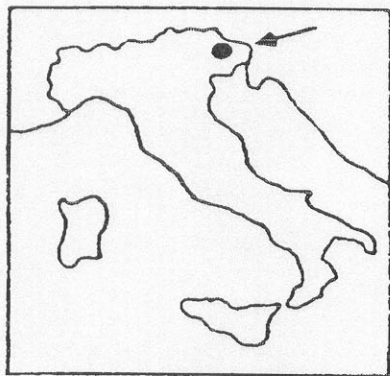


Figura 1: Posizione geografica

Figure 1: Geographical position

ed il tempo libero, aree di attrazione turistica. L'elaborazione del piano è stata preceduta da un'estesa analisi degli aspetti geologici che ha avuto lo scopo non solo di far emergere la conformazione geomorfologica del colle, alterata dai numerosi interventi antropici avvenuti nel corso dei secoli (MENCHINI et al. 1987) ma anche l'analisi e la mappatura dei principali dissesti geostatici dell'ammasso roccioso. Nell'analisi di settore sono stati affrontati anche gli aspetti più propriamente geotecnici per definire le tipologie di intervento più opportune per mettere in sicurezza i sentieri, le strade di accesso al colle e l'abitato sottostante tenendo conto del loro impatto sui caratteri paesaggistici, naturalistici e storico-insediativi del colle (MERIGGI et al. 1988).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

Il colle di Osoppo e le aree contigue rappresentano parte della storia geologica più recente del Friuli. I depositi del colle di Osoppo, come quelli del colle di S.Rocco e del Col Vergnal, in posizione prossima, sono rappresentati da conglomerati che hanno come unico e frequente substrato affiorante depositi sabbiosi giallastri. VENTURINI (1991), contrariamente a quanto ritenuto sull'età dei conglomerati attribuita al quaternario, sulla base di considerazioni litologiche e tettoniche, afferma che sabbie e conglomerati sono verosimilmente da ritenersi in continuità stratigrafica e di età miocenica. I conglomerati, in particolare, si presentano in strati e banchi di spessore da qualche decina di cm a qualche metro ($2 \div 3$), con granulometria nella gran parte dei casi caratterizzata da elementi di $10 \div 50$ cm, di natura carbonatica; intercalati si rilevano orizzonti sabbiosi giallastri, di spessore medio di circa 20-30 cm, con un rapporto di circa 1:20 come indicato da VENTURINI (1991). Lungo le pendici sono presenti ampie fasce di detrito di falda, con elementi conglomeratici di dimensioni grossolane, di spessore di alcuni metri nella parte inferiore. Numerosi scavi eseguiti sull'altopiano hanno consentito di quantificare gli interventi di riporto, realizzati per spianare la superficie del colle, e localizzati un po' ovunque, con uno spessore anche di circa 5.0 m; i terreni sono risultati eterogenei, anche in punti vicini, rappresentati da depositi ghiaioso-sabbiosi e sabbiosi, con ciottoli di grandi dimensioni e resti di cotto. Il quadro strutturale è definito dall'andamento della stratificazione da (suborizzontale a $30^\circ \div 40^\circ$ di inclinazione) e da faglie e fratture, risultato di sollecitazioni tettoniche e subordinatamente di decompressione dei versanti; si tratta di discontinuità di ordine maggiore, in prevalenza, e minore, subverticali, ad andamento NE-SW.

WNW-ESE, E-W e N-S. L'analisi strutturale ha consentito di definire la distribuzione dei poli, e tramite i grandi cerchi di ottenere la distribuzione degli sforzi di compressione. In generale si può desumere che la massa rocciosa ha subito le ultime due fasi compressive che dall'Età mesozoica all'attuale hanno interessato l'area friulana: la spinta orientata NNE-SSW attribuibile alla seconda fase compressiva che ha interessato le Alpi, con formazione di strutture tettoniche dette "tilaventine", e la spinta orientata NW-SE dovuta all'ultima fase compressiva che ha portato alla formazione di strutture tettoniche dette "valsuganesi". Il colle di Osoppo non è interessato dalla presenza di acque superficiali. Le acque meteoriche trovano via di sgrondo in profondità attraverso il diffuso sistema di fratture, come localmente è evidenziato da ampie fasce di concrezioni su superfici messe a giorno per il distacco di qualche blocco lapideo; non si trovano quindi punti di emergenza e raccolta delle acque.

LE OPERE REALIZZATE

Le opere realizzate nella parte centrale e meridionale dell'altopiano hanno riguardato la sistemazione ambientale del colle Napoleone e dell'invaso centrale, la liberazione dalla vegetazione e dalle macerie e il recupero dei terrazzamenti a sud del colle Napoleone e dei resti murari del terrapieno della Casa del comandante, la ristrutturazione della ex casa del custode come centro visite. All'interno dell'area centrale, la Casa del tamburo, un piccolo edificio veneto ridotto a rudere, è stata restaurata negli elementi superstiti e completata, per essere usata come punto di ristoro. Una nuova struttura, composta da pilastri, travi e capriate in acciaio, da solai e ballatoi in calcestruzzo e da un tetto in coppi, è stata inserita all'interno del rudere. Attraverso l'articolazione dei profili metallici, essa ripropone nelle sue linee essenziali, quasi come uno "scheletro", la figura storica dell'edificio. La parte meridionale dell'altopiano è costituita dalla singolare compresenza, nello stesso sito, di un forte sotterraneo italiano e dei ruderi del Castel novo. Grandi riporti di terra e macerie e un vasto piazzale in calcestruzzo avevano quasi completamente ricoperto i resti storici. Gli interventi di progetto hanno riguardato un imponente lavoro di asportazione dei materiali di riporto, il restauro degli elementi archeologici e storici rimessi in luce, la riconfigurazione del piano superiore del forte che è diventato il nuovo "piazzale delle cupole", la sistemazione ambientale degli spazi scavati, la realizzazione infine di un nuovo sistema di percorsi, per consentire la fruizione dei manufatti storici recuperati. Questi ultimi riguardano un percorso pedonale sopraelevato lungo le mura del castello fino alla torre circolare ripristinata, un ponte in acciaio e una scala in acciaio che scende al piazzale. Il ponte, il monumento, la scala e gli altri percorsi sono concepiti, nella forma e nei materiali, come oggetti autonomi, in quanto diventano elementi di raccordo tra "episodi" storici profondamente diversi: il castello rinascimentale, i resti archeologici, le mura e la rocca medievali, il forte moderno. E' in fase di completamento il recupero della chiesa di S. Pietro, edificio del 18° secolo mai completato, per il quale sono stati realizzati il consolidamento della facciata, il restauro delle presenze archeologiche, la copertura con una struttura posta su pilastri che sostengono una passerella posta alla quota delle falde laterali che coprono le cappelle; il presbiterio è lasciato scoperto. Il ripristino di questo edificio è stato preceduto da un'accurata ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo ed in particolare dell'andamento del substrato roccioso. La ristrettezza dell'area di indagine, accompagnata dalla presenza di strati di interesse archeologico, ha indirizzato l'indagine in sito verso metodologie dirette, semplici e non distruttive. Sono stati quindi eseguiti solo semplici scavi geognostici che tuttavia hanno consentito un estremo dettaglio della ricostruzione stratigrafica (Figura 2). Gli interventi lungo il versante meridionale sono stati realizzati per garantire l'accesso alla Fortezza in condizioni di sicurezza. E' stato eseguito il consolidamento sia di strutture murarie che di blocchi rocciosi potenzialmente instabili. E' stato così completato il recupero delle murature lungo il percorso di guardia dell'altopiano e delle murature merlate presenti alla base del colle lungo la sede stradale. I blocchi rocciosi, con cubatura spesso superiore a qualche centinaio di metri cubi, sono stati consolidati mediante l'impiego di tiranti attivi e bulloni.

L'INTERVENTO DI DIFESA DEL LATO SUDOCIDENTALE DEL COLLE

Durante gli eventi sismici del maggio 1976, si sono verificati distacchi improvvisi di blocchi ed il loro scendimento lungo il versante sovrastante via Moscovia. I blocchi, di diversa cubatura (dal mc a qualche centinaio di mc) si sono arrestati alla base del pendio, e in alcuni casi hanno raggiunto ed oltrepassato la via.

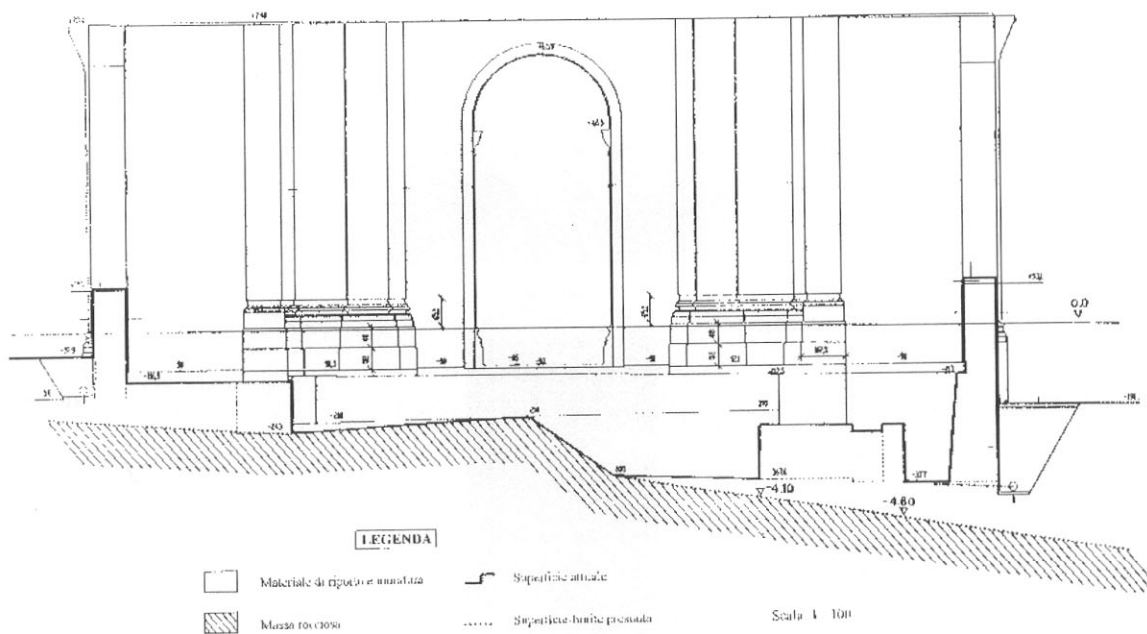


Figura 2: Sezione stratigrafica per il restauro della chiesa di San Pietro
 Figure 2: Stratigraphic section for the restoration of St. Peter's church

E' stato quindi necessario delimitare un'area di vincolo geologico all'interno della quale sono vietati l'edificazione e la viabilità. Lungo i versanti sede dei fenomeni franosi permangono condizioni di equilibrio precario in diverse zone, e in particolare in prossimità del coronamento del versante e lungo una dorsale alla base dello stesso. L'intervento di progetto è finalizzato a consolidare, ove possibile, il versante e comunque ad ottenere una riduzione dell'area sottoposta a vincolo geologico per mettere in sicurezza la viabilità alla base del colle. Al fine di definire il quadro strutturale utile, lo studio geologico; in particolare, ha rilevato le giaciture delle discontinuità, con una rappresentazione stereografica dei poli dei piani, e definendo sul reticolo di Schmidt le direzioni di possibile scivolamento; sono state altresì rilevate le caratteristiche geomeccaniche della massa rocciosa che di seguito vengono schematicamente riassunte:

- le fratture hanno andamento regolare, localmente ondulato, con superfici ruvide, localmente indentate;
- l'estensione monodimensionale delle fratture è compresa tra 1,0 m e 15,0 m;
- la spaziatura tra le fratture varia tra 80 cm e 200 cm;
- le fratture sono beanti con aperture di 0,5 cm ÷ 1,0 cm e spesso anche di qualche centimetro;
- le fratture sono generalmente prive di materiale di riempimento.

Localmente vi è la presenza di alcune fratture di tensione di ridotta estensione.

Gli interventi previsti dal progetto si articolano nel consolidamento dei blocchi rocciosi potenzialmente instabili con tiranti e bulloni lungo la dorsale alla base del versante e nella realizzazione di un'opera paramassi lungo via Moscovia.

LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROTEZIONE ATTIVA

Il progetto degli ancoraggi e dei bulloni utilizzati per consolidare i blocchi rocciosi instabili è stato eseguito utilizzando la relazione all'equilibrio limite proposta da KOWARI E FRITZ (1984):

$$FS = \frac{S_{\max}}{S} = \frac{(N - U) \cdot \tan \phi + c \cdot A + n \cdot C_h}{-(R + F_r) \cdot \cos(\alpha + \beta) + (W + F_w) \cdot \sin \alpha}$$

nella quale i simboli usati hanno il seguente significato (Figura 3):

- c = coesione lungo i giunti;
 ϕ = angolo d'attrito dell'ammasso roccioso lungo i giunti;
 A = area della superficie di scivolamento;
 W = peso del blocco;
 C_h = contributo alla resistenza di taglio lungo la superficie di scivolamento prodotto da ciascuna barra di rinforzo;
 n = numero delle barre;
 F = forza sismica applicata al blocco;
 $\beta_p = 180^\circ$ inclinazione della forza sismica.
 R = risultante del carico applicato dai tiranti;
 β = inclinazione della risultante del carico applicato dai tiranti;
 U = pressione neutra lungo la superficie del giunto;
 α = inclinazione del piano di scivolamento.

La componente delle forze agenti ortogonalmente alla superficie di scorrimento è espressa da

$$N = (R + F_r) \cdot \sin(\alpha + \beta) + (W + F_w) \cdot \cos \alpha$$

in cui

$$F_r = \frac{F \cdot \cos \beta_p}{\cos \beta} \quad \text{e} \quad F_w = F \cdot (\sin \beta_p - \cos \beta_p \cdot \tan \beta)$$

sono rispettivamente le componenti di F in direzione di R e di W .

Il contributo di ciascun chiodo alla resistenza equilibrante, Ch , è stato calcolato secondo quanto prescritto dalla normativa AICAP (1993) ed utilizzando la relazione indicata da PANET (1987):

$$Ch = Q \cos(\theta + \psi) \tan \phi + Q \sin(\theta + \psi) \quad (2)$$

in cui Q è la risultante delle forze agenti sulla sezione dell'inclusione metallica, θ l'angolo che la barra forma con la normale al piano di scivolamento e ψ l'angolo di Q rispetto alla direzione della barra stessa. Il valore di ψ dipende da θ e da δ , angolo di dilatanza del giunto, tramite la relazione:

$$\tan \psi = \frac{1}{4 \cdot \tan(\theta + \delta)} \quad (3)$$

L'angolo di resistenza al taglio lungo le superfici di discontinuità è stato valutato come somma dell'angolo d'attrito di base della roccia conglomeratica, $\phi_b = 30^\circ$, e dell'angolo di dilatanza del giunto che, in relazione alle condizioni di scabrezza osservate, è stato assunto pari a $\delta = 0^\circ \div 5^\circ$. Poiché le

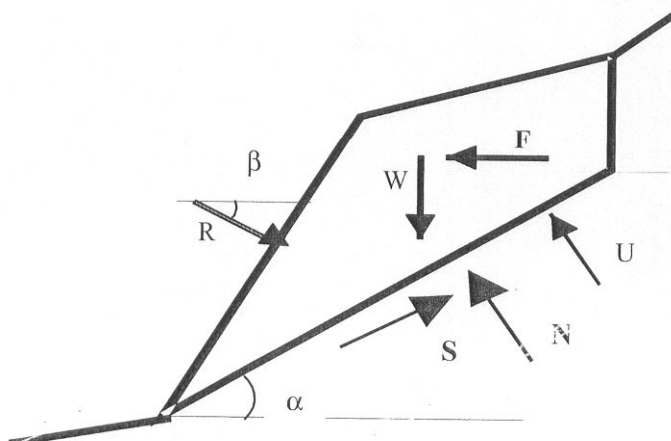


Figura 3: Schema statico di riferimento
 Figure 3: Theoretical model used for stability analysis

discontinuità presentavano percentuali di persistenza inferiori al 100 %, alla coesione è stato attribuito un valore variabile senza tuttavia superare il valore di $c = 30$ kPa. A scopo prudenziale, nel calcolo non è stata considerata la presenza del vincolo di appoggio presente generalmente al piede dei blocchi e quindi i fattori di sicurezza calcolati si riferiscono alla condizione più gravosa ipotizzabile: la mancanza dell'appoggio e la concomitanza di un evento sismico con accelerazione stimata pari a 0.1 g.

LA PROGETTAZIONE DELL'OPERA PARAMASSI

Le indagini geologiche compiute nell'ambito dello studio hanno evidenziato, nei versanti orientali e meridionali del Colle, la presenza di alcune zone con blocchi rocciosi singoli in condizioni di precaria stabilità, nonché una fascia rocciosa instabile, sovrastata da una debole copertura vegetale, insistenti sulle aree antropizzate poste al piede del Colle (Figura 4).

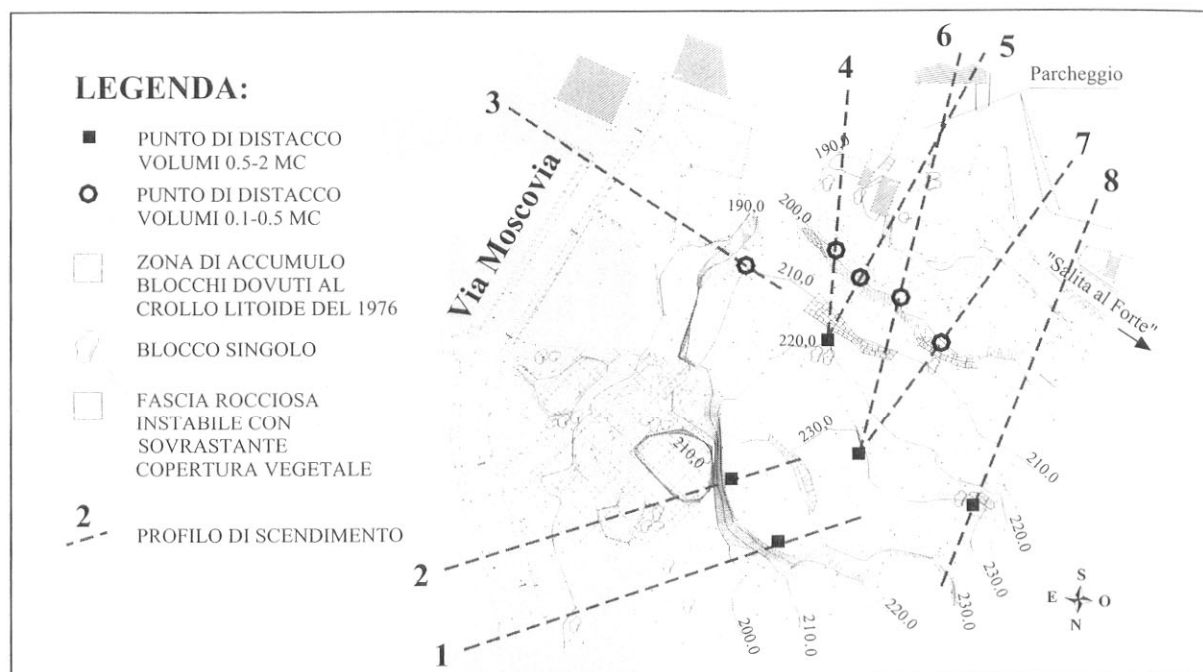


Figura 4: Planimetria della zona interessata da fenomeni di scendimento massi
Figure 4: Map showing topography of danger area and design rockfall paths

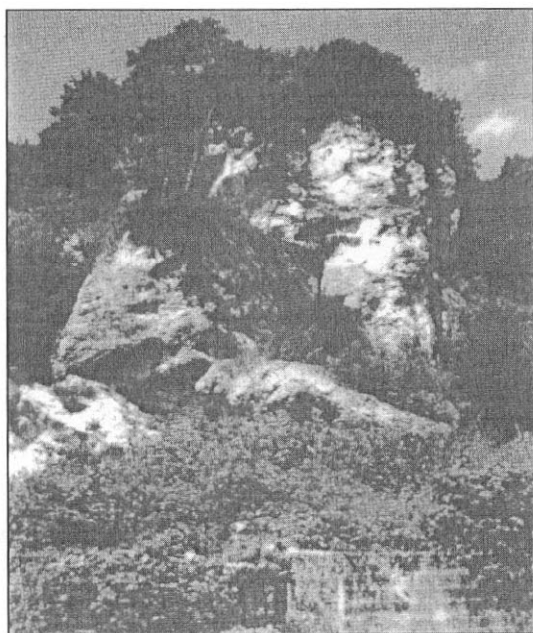


Figura 5: Scarpata sub-verticale orientale con blocchi ciclopici conglomeratici alla base
Figure 5: Eastern rock slope with large conglomerate boulders at the base

In considerazione di ciò, al fine di identificare la pericolosità dei potenziali processi di crollo e quindi l'effettivo stato di rischio delle zone citate (tra cui un parcheggio ed una via urbanizzata), si è provveduto a sviluppare, in corrispondenza a 8 sezioni topografiche ritenute significative, una analisi probabilistica di scendimento massi. Tale analisi ha fatto riferimento al potenziale moto di blocchi singoli, non prendendo quindi in considerazione fenomeni di vero e proprio crollo litoide del tipo di quello già accaduto in seguito agli eventi sismici del 1976 (Figura 5), del quale ancora si osservano i volumi ciclopici residuali alla base orientale del colle (QUERINI 1977). La taratura dei parametri utilizzati nelle simulazioni è stata effettuata sulla scorta delle informazioni geomeccaniche e geomorfologiche desunte dai rilievi geologici effettuati, nonché con riferimento ai valori presenti nella letteratura tecnica corrente, ricavati su pendii analoghi a quello in esame (AZZONI et. al 1995) (PARONUZZI et. al 1996) (PARONUZZI 1987).

Con particolare riferimento alla dimensione attesa dei blocchi movimentabili, il così detto "blocco di progetto" (PARONUZZI et. al 1995), è

stato possibile identificare due distinte classi volumetriche. La prima, corrispondente ad un intervallo di volumi pari a $0.1 \text{ m}^3 \div 0.5 \text{ m}^3$, si riferisce alla possibilità di distacchi singoli dalla fascia rocciosa instabile con orientamento NO-SE posta lungo la isoipsa 205 m, avente lunghezza pari a $20 \div 30 \text{ m}$ e situata in corrispondenza all'attacco della "Salita al Forte" (sezioni 4-5-6-7-8), nonché allo sfasciume mobilizzabile nel compluvio identificato dalla sezione 3. La seconda, con volumi ricadenti nel campo $0.5 \text{ m}^3 \div 2.0 \text{ m}^3$, rappresenta i singoli blocchi potenzialmente mobilizzabili censiti sul versante sud-occidentale del colle (sezioni 4-5-6-7-8, nonché quelli che si potrebbero staccare dal coronamento della scarpata sub-verticale orientale (sezioni 1-2).

Le simulazioni di scendimento sono state condotte utilizzando un modello in grado di rappresentare la naturale casualità del sistema grazie ad un appropriato metodo di generazione pseudo-casuale delle principali grandezze geometriche e geomeccaniche in gioco durante il movimento dei massi, e in grado di fornire la quantificazione delle grandezze di progetto (energia posseduta ed altezza di volo dei blocchi) in termini probabilistici. Si ricorda che, a tal fine, è assolutamente necessario che il modello consenta, nella sua implementazione, la riproduzione di un elevato numero di simulazioni, affinché sia possibile affermare l'identità tra frequenza e probabilità. Nel caso applicativo in esame si è scelto un

modello bidimensionale basato sulla cinematica del punto materiale (Figura 6), dotato di una evoluta implementazione della stocasticità del fenomeno ottenuta attraverso l'utilizzo di varie funzioni di distribuzione di probabilità, tra le quali, soprattutto, la funzione Beta (ARTINI 1997).

Le simulazioni probabilistiche effettuate hanno permesso di definire la probabilità di raggiungimento delle zone a rischio precedentemente citate da parte dei blocchi mobilizzabili, nonché i livelli energetici associabili al moto degli stessi. In generale, nelle zone a rischio, si sono ottenute altezze di volo non superiori a 1.40 m al 99-esimo percentile, ed energie cinetiche

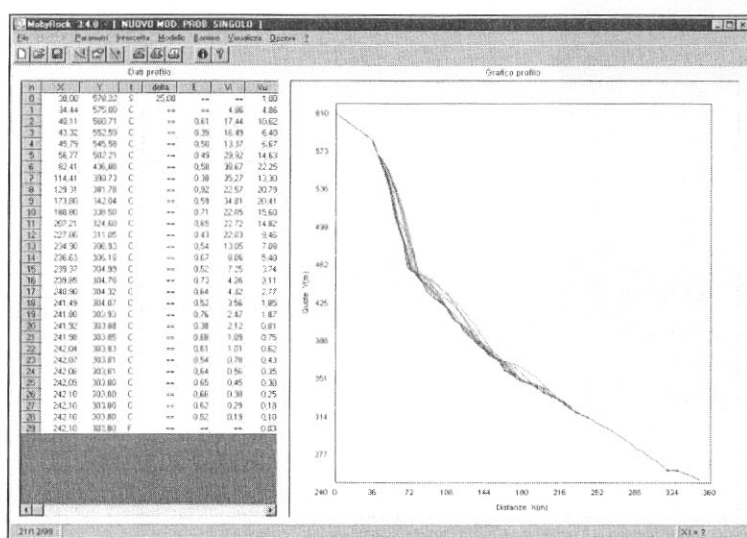


Figura 6: Simulazioni probabilistiche di scendimento massi mediante programma di calcolo

Figure 6: Computer generated probabilistic rockfall paths

non superiori a 450 kJ al medesimo livello probabilistico (per ogni simulazione si è effettuato un numero di cadute pari a 1000).

Tali valori, tutto sommato contenuti, coniugati con le imprescindibili valenze storico-paesaggistiche dell'area, hanno sconsigliato l'utilizzo di reti paramassi elastiche, indirizzando la scelta dell'opera di difesa verso un sistema muro-rilevato ammortizzante (Figura 7).

La struttura prevista risulta pertanto costituita da un muro anteriore in c.a. gettato in opera, rivestito frontalmente da un paramento in pietrame locale, e da un rilevato posteriore realizzato in gabbioni. A monte della struttura è prevista una trincea per favorire l'arresto dei blocchi e l'attività di manutenzione del rilevato. A valle di quest'ultimo, nello spazio compreso tra il muro in c.a. ed il rilevato stesso, è previsto uno strato ammortizzante di terreno, al fine di limitare la trasmissione delle tensioni da impatto al muro in c.a. In riferimento alla progettazione geotecnica dell'opera di difesa così concepita, è stato ipotizzato un modello di comportamento meccanico del gabbione di tipo plastico, valutando la profondità di penetrazione del masso impattante di progetto sia in funzione della compressibilità del gabbione, sia delle caratteristiche geomeccaniche del blocco impattante (PARONUZZI 1989). Successivamente, definita la durata dell'impatto, si è stimato l'ordine di grandezza della forza istantanea sviluppata.

Le simulazioni probabilistiche condotte hanno mostrato valori del 99-esimo percentile della velocità d'impatto sulla rocktrap sostanzialmente oscillanti nell'intervallo 10÷15 m/s, in funzione del profilo di scendimento a cui si fa riferimento. Sulla base di tali valori di velocità, i risultati delle elaborazioni hanno indicato che, per una massa del blocco di progetto pari a 1300÷5200 kg, corrispondente ad un volume di 0.5÷2 m³, è probabile che si possano attendere profondità di penetrazione nella gabbionata pari a circa 30÷70 cm, e forze istantanee d'impatto prossime a 300÷1000 kN. E' interessante osservare che i valori di forza d'impatto così ottenuti non sarebbero in alcun modo assorbibili da strutture rigide in c.a., ed inoltre, qualora tali valori possano considerarsi mediamente rappresentativi dello stato tensionale e deformativo instauratosi, è possibile ottenere una misura grossolana del lavoro speso per la deformazione plastica della gabbionata attraverso il loro prodotto. Procedendo in tale modo si sono ottenuti valori del lavoro di deformazione compresi nell'intervallo 90÷700 kJ, confrontabili con l'energia dei blocchi ottenuta nelle simulazioni probabilistiche, e tali da poter considerare sufficientemente attendibile il modello d'interazione blocco-gabbione assunto nei calcoli.

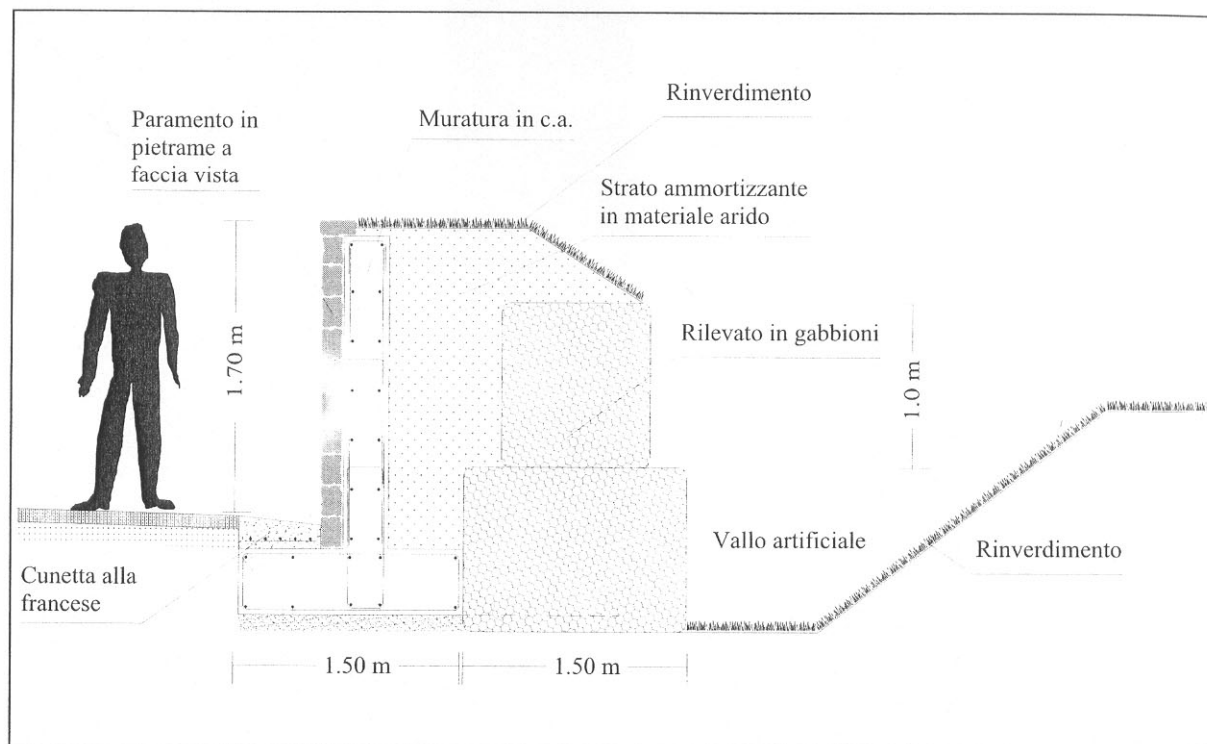


Figura 7: Sezione trasversale del sistema muro-rilevato previsto
Figure 7: Cross section of rockfall defensive system

BIBLIOGRAFIA

- ARTINI E. (1997). "Un modello probabilistico per lo studio dei fenomeni di caduta massi". Università degli Studi di Udine, facoltà di Ingegneria, Tesi di Laurea, A.A. 1996-97, Udine, vol.1, 209 pp.
- AZZONI A. & DE FREITAS M.H. (1995). "Experimentally gained parameters, decisive for rock fall analysis". Rock Mechanics and Rock Engineering, 28 (2), pp. 111-124.
- MENCHINI G., MERIGGI R. & GRANDINETTI P.L. (1987). "Questioni di conoscenza e di recupero di un sito storico ambientale: il colle e la fortezza di Osoppo (Udine)". 6° Congresso Nazionale dei Geologi, Venezia., pp. 205-218.
- MERIGGI R., MENCHINI G. & GRANDINETTI P.L. (1988). "Engineering geology mapping of the hill in Osoppo, Italy". Proceedings of the International Symposium "The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Athens, 19-23 September, Balkema, pp. 1363-1374.
- KOVÁRI K. & FRITZ P. (1984). "Recent developments in the analysis and monitoring of rock slopes". Proceedings of 4th International Symposium on landslides. Special print. Toronto pp 1-17.

- PANET M. (1987). "Renforcement des fondations et des talus à l'aide d'ancrages actifs et passifs". Proceedings of 7th Congr. Int. Soc. Rock Mech., Montreal, pp 1569-1580.
- PARONUZZI P. (1987). "Modelli di calcolo per l'analisi della propagazione di blocchi rocciosi in frana". Rivista Italiana di Geotecnica, anno XXI, n°4, ottobre-dicembre 1987, pp. 145-165.
- PARONUZZI P. (1989). "Criteri di Progettazione dei Rilevati Paramassi". Geologia Tecnica, 1/89, pp. 23-41.
- PARONUZZI P. & COCCOLO A. (1995). "Crollo di progetto ed affidabilità delle barriere paramassi". Geingegneria Ambientale e Mineraria - GEAM 86, giugno-settembre 1995, n° 2-3, pp. 147-154.
- PARONUZZI P., BLASI L., CAUTILLI F. & TASSONI E. (1996). "La falesia delle Acque Dolci di Monte Argentario: modellazione cinematica di caduta massi e progettazione delle opere di difesa". Quarry and Construction, anno XXXIII, n.2 febbraio 1996, pp. 79-94.
- QUERINI R. (1977). "Frane provocate dal terremoto del 1976 nel Friuli". Accademia di Scienze Lettere e Arti di Udine, Arti Grafiche Friulane, Udine, pp. 46.
- VENTURINI C. (1991). "Il conglomerato di Osoppo". Gortania, Atti del Museo Friulano di Storia naturale, Vol. 13, pp. 31-49.



Convegno GeoBen 2000



***Torino 7-9 giugno 2000
Palazzina di Caccia di Stupinigi***

Condizionamenti Geologici e Geotecnici nella Conservazione del Patrimonio Storico Culturale

***“Geological and Geotechnical influences
in the Preservation of Historical
and Cultural Heritage”***

Atti - Proceedings

**A cura di – Edited by
Giorgio LOLLINO**

La stampa degli Atti del Convegno è stata finanziata dal GNDICI
(Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) del CNR.

Pubblicazione n. 2133