

# Il consolidamento dell'area del Farneto

Alberto Monesi



Parete rocciosa in sinistra del sottoroccia.

## 1. Premessa.

Il versante prospiciente la Strada Provinciale Val di Zena, in località Farneto (Comune di S. Lazzaro di Savena - Bologna) in destra orografica del torrente Zena, è interessato da diversi anni da fenomeni di degradazione diffusi e da movimenti gravitativi che determinano uno stato di potenziale pericolo per la sicurezza della viabilità della sottostante strada e la stabilità degli ingressi di tre gallerie artificiali e di una cavità naturale. Questa, denominata grotta del Farneto, riveste un particolare interesse dal punto di vista archeologico e mineralogico oltre che speleologico. La grotta, scoperta da Francesco

Orsoni nel 1871, è monumento nazionale e costituisce la più importante stazione preistorica della regione. Nell'ambito del costituendo «Parco dei Gessi Bolognesi» la grotta del Farneto e le adiacenti aree costituiscono pertanto un bene irripetibile. A seguito dell'accentuarsi della situazione di degrado statico del versante, la Amministrazione Provinciale di Bologna ha promosso una serie di studi del fenomeno, sulla base dei quali è stato realizzato un modello dei dissesti in atto ed individuate varie zone d'intervento oggetto di sistemazione con opere finalizzate a:  
— ripristinare l'equilibrio distrutto o a creare nuove condizioni di equilibrio mediante





Ingresso della galleria artificiale di destra parzialmente ostruito da materiale di frana.

22

elementi statico-inerziali di contrasto;  
 — eliminare con il drenaggio delle acque di circolazione gli effetti di imbibizione e plasticizzazione dei terreni;  
 — impedire il continuo degrado geotecnico delle rocce;  
 — non alterare l'ambiente naturale.  
 Sulla scorta di quanto sopra, la formula scelta per la progettazione e la realizzazione delle opere di consolidamento è stata quella dell'appalto concorso. Ad esso hanno partecipato tre imprese con tre progetti basati tutti sulla medesima linea di interventi, in accordo con le indicazioni sopra esposte. Aggiudicataria dell'appalto è stata la Impresa Rodio di Casalmaggiore (MI) il cui progetto viene più avanti descritto.

## 2. Morfologia e geolitologia.

Il versante è costituito da una parete subverticale dell'altezza di 12-90 m circa che si raccorda in alto con un pendio di inclinazione sui 25° circa, ricoperto da una fitta vegetazione erbacea ed arbustiva, in basso con un profilo concavo o convesso di inclinazione variabile dai 5° ai 18° circa che sfuma in un tratto suborizzontale. La morfologia è caratterizzata da una asprezza del rilievo, da forme carsiche

quali cavità, doline, pozzi, ecc. e da depressioni racchiuse entro pareti allungate nella direzione del pendio.

L'area è impostata sulla formazione gessoso-solfifera emiliano-romagnola ed è situata al margine settentrionale di una anticlinale intensamente tettonizzata. Dal punto di vista litologico l'affioramento in esame risulta costituito da banchi di gesso a struttura macrocristallina, spesso geminata, con intercalati strati di marne argillose contenenti, normalmente, piccoli cristalli gessosi. La giacitura degli strati presenta direzioni variabili tra i 115° ed i 150° rispetto al N con immersione verso NE e pendenze comprese tra i 55° ed i 75°. Una valutazione diretta sullo stato di fratturazione delle unità litologiche è stata eseguita mediante la misurazione dei valori di direzione ed immersione delle fratture stesse. L'esame dei dati raccolti ha evidenziato l'esistenza di due sistemi principali di fratture: uno disposto parallelamente alla direzione dei piani di stratificazione, l'altro perpendicolare agli stessi. Questi sistemi determinano o condizioni locali di separazione completa o riduzione delle proprietà meccaniche. Dalle numerose rilevazioni dirette si è inoltre potuto constatare che il grado di abbattimento dell'intero ammasso roccioso è particolarmente accentuato.





### 3. Descrizione dei dissesti.

Nel versante in esame sono state individuate le seguenti zone interessate da fenomeni in atto e/o potenziali:

#### *Zona A – Ingresso grotta del Farneto.*

Situato a mezzacosta nel pendio, alla base di una parete verticale, presenta una modestissima antistante piazzola ed accumulo, lungo la scarpata, di grossi blocchi gessosi abbattuti artificialmente. L'ingresso della grotta è caratterizzato dalla presenza di un brandello di banco gessoso del peso stimato di 150 t circa incombente sull'entrata della cavità. Tale masso si presenta parzialmente isolato dalla parete nella parte posteriore, ove si osservano blocchi rocciosi variamente compenetrati associati a materiali argillificati attraversati da un «pozzo» che collega la volta dell'ingresso con la superficie esterna, completamente staccato sul lato destro (guardando l'ingresso) ed appoggiato solamente sul lato sinistro su di una bancata, da cui sembra essersi staccato per fratturazione. Per quanto sopra la struttura è da considerarsi in precarie condizioni statiche e soggetta a possibili movimenti in direzione verticale e di ribaltamento verso l'esterno della grotta. Sulla destra dell'ingresso

si trova una paretina di modeste dimensioni in evidente stato di alterazione, causata principalmente dall'erosione delle acque meteoriche.

#### *Zona B – Parete aggettante in sinistra dell'ingresso.*

Posta sulla sinistra della grotta del Farneto (guardando l'ingresso) e da questa separata da una modestissima incisione è delimitata al piede da una scarpata costituita da grossi blocchi rocciosi abbattuti artificialmente, sul fianco da un canalone di accentuata inclinazione. La parete misura una altezza di 8-12 m circa e presenta, dalla parte del canalone, un oggetto di 3 m circa immergente verso l'ingresso della grotta del Farneto: essa è costituita da un banco gessoso, debolmente disarticolato e lateralmente interessato da una piccola cavità, poggiante su rocce gessose fortemente degradate e, talora, intensamente fratturate. Il pendio sovrastante è rappresentato da blocchi di gesso disarticolati, talora compenetrati, associati a materiali marno-argillosi. Le condizioni statiche sono abbastanza precarie: il fenomeno di abbattimento è in rapida evoluzione e si sta avvicinando pericolosamente alla zona d'ingresso della grotta del Farneto.





Ingresso della grotta del Farneto.

*Zona C – Area della vecchia cava in corrispondenza del Sottoroccia.*

La zona è morfologicamente caratterizzata da un canalone sormontato da una paretina rocciosa disarticolata nella parte sommitale (Sottoroccia) e da una parete rocciosa aggettante di notevoli dimensioni (15-20 m di altezza) in sinistra (volgendo le spalle al torrente Zena). Tutta la zona presenta una evidente instabilità legata alla presenza, al piede delle due pareti su ricordate, di un interstrato marno-argilloso immergente verso NE con una inclinazione di 55° che funge da livello di base locale e raccoglie le acque percolanti nella roccia gessosa sovrastante. Queste acque, unitamente a quelle di precipitazione, dilavando lo strato marnoso indeboliscono il piede della parete del Sottoroccia: privano cioè la roccia soprastante, fortemente fratturata, del supporto naturale. Tale processo di distacco di blocchi rocciosi dalla roccia madre è favorito anche dalla elevata pendenza degli strati (60°-70°). Questo fenomeno di scalzamento al piede provoca un costante arretramento verso monte della parete del Sottoroccia e tende ad allargarsi lateralmente sia verso la parete di

sinistra che verso la parete di destra, zona quest'ultima sita a monte dell'ingresso della grotta del Farneto, ove risultano evidenti i crolli verificatisi di recente. Nell'arco di quest'ultimo anno la parete del Sottoroccia ha subito un arretramento di circa 8-10 m circa.

L'insieme caotico del materiale marno-argilloso e dei blocchi rocciosi così formati, a seguito della saturazione del terreno marnoso in occasione di precipitazioni atmosferiche di una certa entità, scivola verso valle. Nel caso particolare il movimento franoso è stato normalmente contenuto dalla massa di blocchi rocciosi esistente al piede del versante, ove il materiale si accumula. In questi ultimi tempi il fronte di accumulo della frana, a seguito dell'accentuarsi del fenomeno, è notevolmente avanzato verso valle, cioè verso la strada provinciale Val di Zena. Di recente un masso del volume di 120 m<sup>3</sup> circa, sospinto dal materiale in frana, si è fermato ad una distanza di 10 m circa dal ciglio della scarpata stradale. La parete di sinistra, in prossimità del Sottoroccia, è stata messa a nudo di recente dall'arretramento della frana e per questo non è più soggetta alla pressione di contenimento della porzione abbattuta. In essa sono visibili alcune microcavità ed una frattura, diretta verso l'alto, disposta parallelamente alla parete stessa.

*Zona D – Costone centrale.*

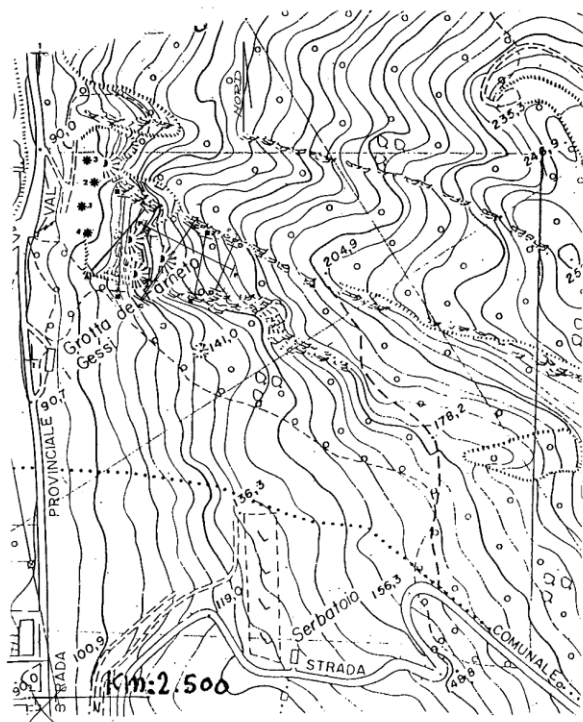
Pendio di accentuata acclività, da sub-verticale a verticale, dell'altezza di 90 m circa, costituito da roccia gessosa generalmente compatta: sovrasta gli ingressi delle gallerie artificiali ed il piazzale ad essi antistante. L'ammasso roccioso, con interstrati marnosi dello spessore di 1,50-2,00 m circa, presenta una giacitura degli strati con direzioni comprese tra i 125° ed i 150° rispetto al N ed immersioni verso NE variabili dai 55° ai 75°. È interessato da fratture disposte parallelamente o normalmente alla direzione degli strati che isolano volumi rocciosi di dimensioni e grado di stabilità molto variabili. Sulla sommità del pendio, nel lato occidentale, è presente una depressione semicircolare, a forma di anfiteatro, degradata, con alcuni massi instabili di grosse dimensioni. Le acque raccolte da questa zona confluiscono nel canalone del Sottoroccia contribuendo così alla instabilità dello stesso. Nel lato nord del versante è presente un modesto e stretto canalone, sviluppatosi in corrispondenza dell'interstrato marno-argilloso, ove è in atto un movimento franoso che ha ostruito l'ingresso della galleria artificiale di sinistra.

*Zona E – Gallerie artificiali.*

Trattasi di 3 gallerie utilizzate per la coltivazione della vecchia cava ubicate al piede del costone sopradescritto. Allo stato



## Corografia dell'area del Farneto



### LEGENDA

- Sondaggi geognostici
- Traccia delle sezioni geoelettriche
- Allineamenti geosismici

attuale solo la galleria centrale, osservando l'ingresso, al termine della quale si trovano un inghiottitoio e l'ingresso a cavità naturali, è percorribile. La galleria di destra, il cui ingresso è parzialmente ostruito da materiale di frana proveniente dal dissesto del Sottoroccia, presenta la parte terminale ed il collegamento con la galleria centrale totalmente o parzialmente occlusi da frane instauratesi in corrispondenza dell'interstrato marnoso mentre la galleria di sinistra, dall'ingresso chiuso dal materiale di disfacimento dell'interstrato marnoso presente nel canale che lo sovrasta, è impercorribile per la presenza di un ristagno d'acqua. Sulla volta, poi, del collegamento con la galleria centrale si hanno frequenti distacchi di frammenti lapidei. La rilevazione dell'andamento delle discontinuità esistenti sulla volta e sulle pareti delle gallerie, condotta dalla Ditta GE.IM.CO., oltre a confermare quanto già osservato in superficie, presenza cioè nell'ammasso roccioso di due sistemi principali di fratture di cui uno disposto parallelamente alla direzione degli strati e l'altro normalmente agli stessi, ha riscontrato l'esistenza di numerosissime fessurazioni di ridotta apertura, causate dal brillamento delle mine. Le condizioni statiche delle gallerie non

sono, pertanto, ovunque soddisfacenti sia per l'elevato grado di fratturazione della roccia, con possibilità di caduta di massi dalla volta, sia per la notevole instabilità dell'interstrato marnoso, dove è presente.

## 4. Indagini.

La campagna di indagini ha compreso, oltre al rilevamento geologico di dettaglio, prospezioni geofisiche (sismica a rifrazione ed elettrica) e sondaggi geognostici, utilizzati poi come piezometri, i cui risultati vengono qui di seguito brevemente descritti.

### 4.1. Indagine geosismica.

Allo scopo di conoscere lo spessore dei materiali in dissesto e di individuare le condizioni di fratturazione e di alterazione dell'ammasso roccioso sono state realizzate, dalla Ditta Edilsuolo di Pavia, 6 linee sismiche a rifrazione per un totale di 330 m lineari di allineamenti.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo Geometric-Nimbus 1210 F a 12 canali.

L'interpretazione delle dromocrone ha consentito di suddividere i terreni in due livelli differenziati:

- strato A con velocità sismiche inferiori a 1000 m/sec litologicamente composto o dai prodotti di alterazione superficiale dei gessi o da detriti di falda (con resti della precedente attività estrattiva) e blocchi di gesso franati immersi in matrice argillosa;
- strato B con velocità sismiche comprese tra 1900 e 2900 m/sec. litologicamente rappresentato dall'ammasso gessoso. Tali valori, al di sotto della media per formazioni gessose, si possono considerare normali per lo stato delle rocce in esame interessate sia da una macrocavernosità visibile sia da una microcavernosità ed una fratturazione e fessurazione evidenti.

### Linea A

Lo stendimento è stato eseguito sul piccolo pianoro prospiciente l'ingresso della grotta del Farneto, lateralmente al canale della frana del Sottoroccia e sottostante al ciglio roccioso destro.

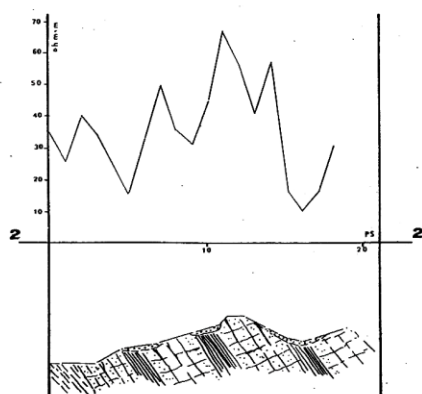
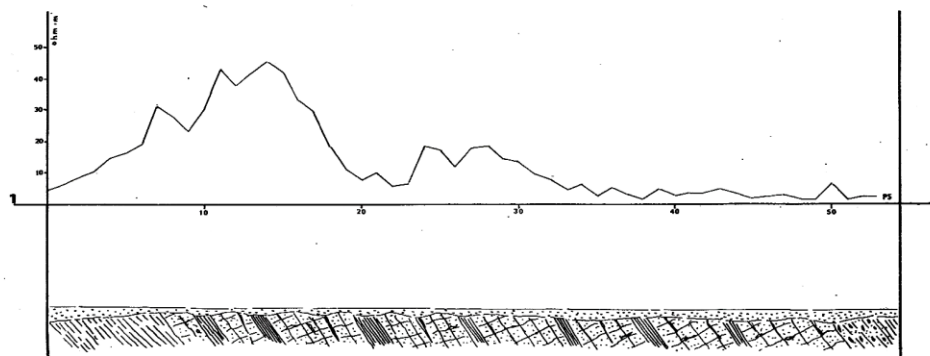
L'analisi dei dati evidenzia la presenza di detriti di falda (strato A), con velocità sismiche dell'ordine dei 550 - 820 m/sec, di spessore variabile dai 4 ai 10 m circa. Il sottostante substrato roccioso (strato B) presenta velocità di 2115 - 2550 m/sec.

### Linea B

L'allineamento è stato disposto parallelamente all'ingresso della grotta del Farneto, in



## Sezioni di resistività apparente



SCALA 1:2000

### LEGENDA

Copertura eluviale

### COMPLESSO GESSOSO - MARNOSO

scarsamente fratturato  
fratturato  
fratturato e alterato  
prevalenti intercalazioni marnose

Conglomerati, sabbie, argille.

Argille e argille sabbiose limose

corrispondenza del pianoro, sino ad incontrare la parete sinistra del canale del Sottoroccia. L'interpretazione del diagramma rileva la presenza di blocchi di gesso immersi in matrice argillosa (strato A) con velocità di 650 - 850 m/sec; lo spessore varia da un minimo di 2 m ad un massimo di 8 m circa. Le rocce sottostanti (strato B) presentano velocità di 2130 - 2550 m/sec.

### Linee C, D, E e F

Questi allineamenti sono stati sviluppati sul pendio che fa da tetto alla grotta del Farneto. In essi lo strato A, rappresentato da un ammasso roccioso disarticolato, fratturato e fessurato, si manifesta con velocità comprese tra 460 e 985 m/sec e spessore abbastanza omogeneo di entità mai superiori ai 4-5 m circa.

Lo strato B, caratterizzato da un substrato roccioso compatto e sano, presenta velocità variabili da un minimo di 1965 ad un massimo di 2950 m/sec. La zona di minor resistenza per le bancate gessose risulta essere l'area che fa cappello all'ingresso della grotta del Farneto. In corrispondenza del prosieguo del canale del Sottoroccia è stato riscontrato un forte spessore dello strato A, 6 m circa, che fa presagire l'esistenza di un disturbo tettonico.

## 4.2. Indagine geoelettrica.

Il controllo dell'andamento in profondità dei tipi litologici e la valutazione del relativo stato di degrado sono stati realizzati tramite l'impiego di una indagine geoelettrica, condotta dalla GE.IM.CO. S.p.A. di Casalecchio di Reno, lungo 2 sezioni. Il metodo usato, per motivi topografici, è stato quello del sistema dei «profili di resistività» e del «metodo rettangolo».

### Sezione 1.

È stata eseguita lungo la S.P. Val di Zena nel tratto compreso fra Ca' Gessi e Ca' Rossa ed interessa il piede del piazzale antistante la vecchia cava del Farneto. Dall'esame appare evidente il passaggio dalle marne tortoniane alla formazione gessosa che si presenta, per la sua bassa resistività, fortemente degradata e fratturata lungo tutta la sezione. Si osservano varie intercalazioni marnose ed un aumento, nella parte terminale del tratto studiato, della copertura eluviale. Il passaggio ai terreni pliocenici (conglomerati e sabbie) è chiaro e netto.

### Sezione 2.

È stata realizzata a monte dell'ingresso della grotta del Farneto, ad una distanza da questa



di circa 50 m e ad essa grosso modo parallela. La interpretazione dei dati evidenzia la esistenza di tre intercalazioni marnose o marno-argillose. I bassi valori di resistività attribuibili ai gessi dimostrano un elevato grado di fratturazione ed alterazione delle rocce. La copertura eluviale è scarsa o assente.

#### 4.3. Indagine geognostica.

Al fine di ottenere indicazioni sullo stato delle rocce gessose in profondità e di prelevare campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio, è stata eseguita (Ditta GE.IM.CO.), in corrispondenza del piazzale della vecchia cava del Farneto, una campagna geognostica comprendente:

- esecuzione di n. 4 sondaggi a rotazione e a carotaggio continuo della profondità di 20-25 m;
- prelievo di campioni indisturbati mediante l'impiego del doppio carotiere;
- installazione entro i fori dei sondaggi di piezometri a tubo aperto in p.v.c. fessurati.

Dall'esame delle successioni stratigrafiche ottenute con le perforazioni di sondaggio, si può constatare una buona corrispondenza con quanto emerso con le indagini geofisiche. Di particolare interesse, per quanto concerne lo sviluppo e l'andamento dei sistemi carsici, è la individuazione, in corrispondenza del sondaggio 2 alla profondità compresa tra i 10,60 ed i 12,00 m e del sondaggio 3 tra i m 10,20 - 11,20, di cavità completamente prive di materiali pelitici di riempimento (argille e prodotti di alterazione della roccia gessoso-marnosa).

La valutazione sullo stato di conservazione dei gessi è stata fatta mediante la valutazione dell'indice R.Q.D. (Rock Quality Designation) che permette, in funzione del grado di fratturazione, di classificare una roccia secondo una scala variabile da: «molto scadente» a «eccellente». L'indice R.Q.D. è il valore, espresso in percentuale, del rapporto tra la somma delle misure di tutti i frammenti di carotaggio di lunghezza superiore ai 10 cm e la misura dell'avanzamento totale di ogni singola operazione di carotaggio.

Se, per esempio, l'avanzamento del carotiere è di 110 cm e la somma delle lunghezze dei frammenti di recupero, aventi individualmente una lunghezza superiore ai 10 cm, è di 90 cm, il valore dell'indice R.Q.D. sarà:

$$R.Q.D. = 90/110 = 0,81 = 81\%$$

Pertanto, tanto maggiore è il grado di fratturazione di una roccia quanto minore è la possibilità di prelevare campioni di grosse dimensioni.

Dall'esame dei risultati ottenuti, riportati nelle stratigrafie, emerge che lo stato di fratturazione

dei gessi è generalmente piuttosto elevato, estremamente variabile ed indipendente, in linea di massima, dalla profondità.

Misure piezometriche protratte per 6 mesi hanno rilevato assenza di acque profonde.

#### 5. Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Il gesso è una roccia facilmente solubile nell'acqua e permeabile per fratturazione: presenta durezza 2, peso specifico  $2,30 \text{ t/m}^3$  ed una pressione di rottura variabile da 103 a  $178 \text{ Kg/cm}^2$ .

Chimicamente il gesso è  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . «Il solfato di calcio, essendo sale di un acido forte e di una base non molto forte, subisce l'idrolisi e la sua soluzione fa reazione acida. Questo spiega perché il gesso aderisce fortemente al ferro, ma lo corrode, tanto che un pezzo di ferro, o acciaio, imprigionato in esso, viene subito avvolto da una aureola di ruggine e gradatamente si altera in profondità fino alla distruzione» (estratto da «Dizionario di Ingegneria» U.T.E.T. Vol V).

In questi terreni le prime vie di penetrazione dell'acqua, rappresentate dalle fratture e dai giunti di stratificazione, vengono via via ampliate dall'azione solvente dell'acqua. Si crea così un sistema di cavità, di dimensioni ed estensioni varie, tra loro intercomunicanti. Risultato di tale processo è il formarsi di una circolazione idrica sotterranea che si sostituisce via via alla idrografia superficiale che finisce per scomparire. Il complesso dei vari fenomeni viene chiamato «carsismo»; esso è assai diffuso nell'area in esame e dettagliatamente descritto in numerose pubblicazioni, cui si rimanda per maggiori informazioni.

Le marne presentano un grado di erodibilità medio, una umidità naturale compresa tra il 22,6% ed il 30,19% ed un peso specifico variabile da  $1,82 \text{ t/m}^3$  a  $1,96 \text{ t/m}^3$ . La costante presenza entro questi terreni di microcristalli gessosi ha impedito, per incipienti fenomeni di «presa» negli impasti saturi, la determinazione dei limiti di Atterberg: si è comunque potuto accertare che la componente limo-argillosa delle marne è sempre molto elevata (60-80%). Prove di taglio consolidate e drenate all'apparecchio di Casagrande hanno fornito i seguenti valori:

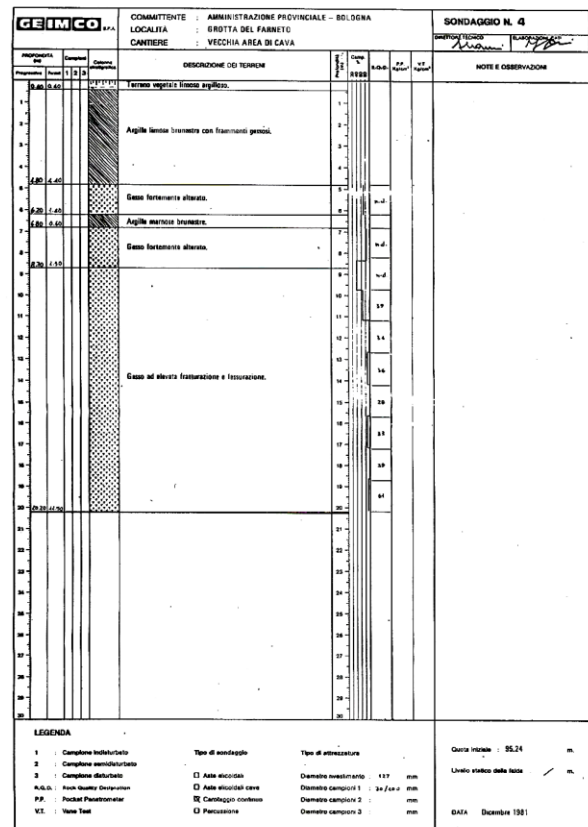
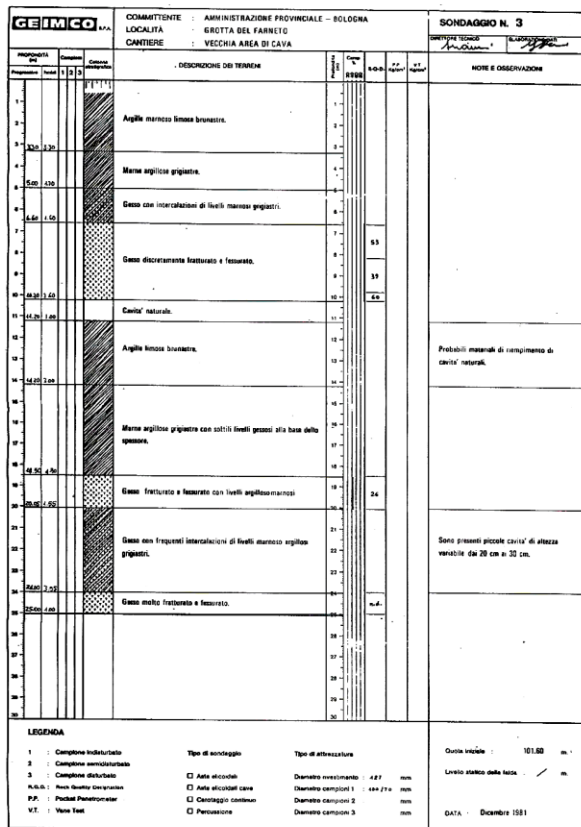
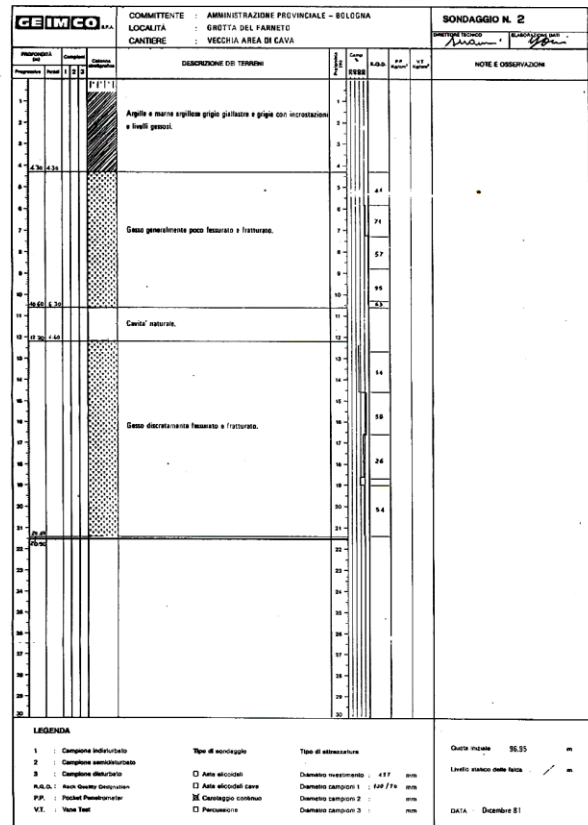
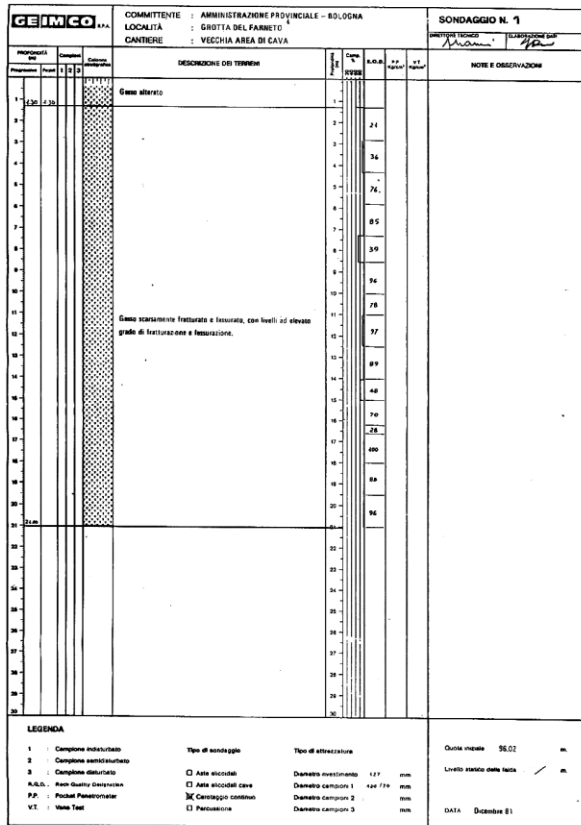
$$18^\circ < \varphi < 33^\circ$$

$$0,00 < c < 0,32 \text{ Kg/cm}^2$$

Tali dispersioni sono, tuttavia, ampiamente giustificate dalle variazioni litologiche individuabili nei materiali argillo-marnosi. Le argille marnose sono impermeabili e sostengono, quando mantengono l'originario assetto degli strati, locali modestissime falde acquifere.



# Stratigrafie





## 6. Cause del dissesto.

Le risultanze delle indagini eseguite hanno evidenziato, nel versante in esame, una situazione di generale instabilità che avviene per processi di alterazione all'interno della massa rocciosa o per fenomeni franosi riconducibili, in linea generale, a crolli di massi o scorrimenti traslazionali. I fattori predisponenti sono essenzialmente:

- l'esistenza di sistemi di fratture conseguenti a dislocazioni tettoniche;
  - la presenza di diffusi fenomeni carsici;
  - l'alterazione delle rocce dovuta agli agenti atmosferici;
  - le scadenti caratteristiche geotecniche dell'interstrato marnoso;
  - la elevata acclività del pendio;
  - l'irrazionale sfruttamento a fini industriali dell'ammasso gessoso.
- L'esplosione delle mine ha contribuito ad accentuare le diaclasi esistenti ed a formare nuove fessurazioni.

La causa determinante è da ricercarsi, a parte l'azione risolutiva della gravità, nell'azione dell'acqua che determina o l'imbibizione dell'interstrato marnoso con conseguente diminuzione della resistenza al taglio o la dissoluzione, lungo le superfici di discontinuità, del gesso con creazione di nuovi vuoti o allargamento di quelli esistenti.

Tale processo, dove è più spinto ed esteso, determina una variazione dello stato di equilibrio della massa rocciosa.

Da tutto ciò risulta evidente che per migliorare le condizioni del versante si rende necessario limitare, per quanto possibile, l'azione delle acque e creare nuove condizioni di equilibrio mediante elementi statico-inerziali di contrasto.

## 7. Tipologia degli interventi.

In relazione ai fattori caratterizzanti i dissesti in atto e tenuto conto della potenzialità di evoluzione degli stessi, il progetto di consolidamento dell'area in esame prevede i seguenti interventi di stabilizzazione, riconducibili a 4 tipologie fondamentali:

- ancoraggi e chiodature.
- ancoraggi con tiranti
- drenaggi
- modellamento del versante.

La scelta dei provvedimenti, che all'occorrenza possono essere combinati, dipende dal tipo di instabilità da fronteggiare.

### A) Ancoraggi e chiodature

La funzione di questo intervento di tipo passivo è quella di unire tra di loro i vari blocchi rocciosi, onde ridurre i possibili gradi di libertà, in modo da realizzare un complesso di

maggiori proporzioni, autostabile, capace di resistere a sollecitazioni che i singoli massi non riuscirebbero a sopportare.

Trattasi di barre della lunghezza di 10 m in acciaio corrugato tipo Dywidag del diametro di 26,5 mm (ancoraggi) o di barre della lunghezza di 2,5-3,0 m in acciaio Fe B44K del diametro di 24 mm (chiodi), trattate con tripla protezione contro le aggressioni chimiche, contenute in una calza polivinilica esterna per il contenimento delle resine iniettate, alloggiare e cementate in perforazioni suborizzontali di 45 o 35 mm.

### B) Ancoraggi con tiranti.

La funzione dell'opera è quella di impedire il potenziale scivolamento dell'ammasso roccioso mediante un sistema di forze ad esso applicato, in modo da costituire un insieme che conservi l'equilibrio. Nel caso in esame è previsto un ancoraggio mediante tiranti attivi ad asse verticale, dimensionati in modo che attraversando il terreno in precario equilibrio ed ancorandosi alla roccia vergine in sito, trasmettano alla massa rocciosa un tipo utile di 30 t per ogni ancoraggio.

Entro fori del diametro di 90 mm e della lunghezza di 15 m circa vengono alloggiati tiranti costituiti da tre trefoli in acciaio armonico da 0,6 pollici suddivisi in due parti: una parte, quella profonda, della lunghezza di 1-2 m circa cementata, formante cioè il bulbo di ancoraggio, ed una parte libera sottoposta a trazione. Il bulbo viene effettuato mediante iniezioni costituite da una miscela di acqua e cemento ferrico-pozzolánico, eseguite per piccole sezioni ed a pressioni tali da interessare anche eventuali fessurazioni della roccia bonificandola, creando un bulbo monolitico. Nella parte libera il tirante è interessato da una duplice protezione: guaina flessibile esterna in p.v.c. e verniciatura con resina epossidica che assicura una pellicola di protezione. La testa del tirante è costituita da una piastra di ferro con 3 fori per l'alloggiamento dei trefoli posta in blocchi di calcestruzzo delle dimensioni di cm 100x100x40. A maturazione avvenuta dei blocchi si inizia il tensionamento del tirante applicando ad ogni singolo trefolo il relativo martinetto oleodinamico. Tutti i trefoli vengono quindi tensionati contemporaneamente per successivi incrementi fino a raggiungere le 30 t finali di carico predisposto. Al termine di tale operazione viene effettuato il riempimento della parte interna della guaina mediante miscela cementizia.

### C) Drenaggi.

Questo tipo d'intervento propone il drenaggio delle acque sotterranee e superficiali onde evitare, data la notevole suscettibilità all'acqua sia del gesso che della marna, gli effetti di



imbibizione, plasticizzazione e degrado geotecnico dei terreni, che costituiscono i principali fattori di ammaloramento geostatico dell'area in esame. Esso risulta composto, per l'intercettamento e la raccolta delle acque profonde, da tubi drenanti in p.v.c. fessurati alloggiati in perforazioni suborizzontali del diametro di 45 mm e disposti secondo una maglia fitta, per il rapido smaltimento delle acque di superficie da canalette impermeabili.

#### D) Modellamento del versante.

Provvedimento volto a regolarizzare il pendio nei punti più accidentati, con demolizione dei volumi rocciosi di maggiori dimensioni, a riprofilare il materiale di accumulo e ad inerbire i tratti privi di vegetazione. L'inerbimento sarà effettuato mediante il metodo bianco-verde che consiste nella irrorazione, mediante idroseminatrici ad alta pressione, di una soluzione acquosa composta da:

- miscugli selezionati di semi di specie erbacee e, in subordine, di specie arbustive ed arboree;
- fertilizzanti chimici, organici, additivi e prodotti fito-ormonici;
- resine R-A.

#### 8. Descrizione degli interventi.

I lavori di consolidamento sono iniziati nel dicembre 1986 ed ultimati nel novembre 1987.

##### Zona A - Ingresso grotta del Farneto.

Il masso sovrastante l'ingresso della grotta del Farneto è stato sostenuto, sul lato destro, da una colonna in ferro del diametro di 50 cm, opportunamente inclinata, riempita all'interno di calcestruzzo, ancorata alla base alla roccia madre mediante un plinto metallico quadrato di 100 cm fissato con 8 ancoraggi, gli esterni leggermente inclinati, della lunghezza di 10 m costituiti da barre di acciaio Dywidag del diametro di 26,5 mm, sigillate mediante resina in fori del diametro di 45 mm. Questi fori hanno riscontrato discontinuità nella massa rocciosa, non sempre correlabili tra di loro, sui 3,5 e 7 m di profondità. I materiali ferrosi sono stati protetti dalla corrosione mediante resinatura. Onde evitare il ribaltamento del masso verso l'esterno della grotta sono stati realizzati solamente sulla sua porzione di sinistra in quanto sulla destra, all'interno, vi è una discreta cavità, n. 5 ancoraggi, sub-orizzontali, della lunghezza di 10 m costituiti da barre di acciaio Dywidag del diametro di 26,5 mm,



Messa in opera di graticciate sull'accumulo di materiale prospiciente l'ingresso della galleria artificiale di sinistra.



sigillate mediante resina in fori del diametro di 45 mm. Le perforazioni hanno riscontrato nell'ammasso roccioso discontinuità, sufficientemente correlabili tra di loro, sui 2,20, 3,60 e 5,0 m circa di profondità.

Alcuni massi presenti all'interno dell'ingresso della cavità naturale ed all'esterno sul lato sinistro sono stati placcati mediante chiodature costituite da barre di acciaio ad aderenza migliorata del tipo Fe B44K del diametro di 14 mm e della lunghezza di 2,5 m, sigillate con resina in fori del diametro di 34 mm.

Alla sommità della parete stessa sono stati disaggiati alcuni massi pericolosi, rimossa la vegetazione arborea per una profondità di 3-5 m circa al fine di evitare l'effetto «dirompente» di frantumazione della roccia causato dagli apparati radicali, e messa in opera una canaletta impermeabile in lamiera zincata onde ridurre la quantità d'acqua superficiale circolante.

#### *Zona B – Parete aggettante in sinistra dell'ingresso.*

La parete in oggetto è stata ancorata mediante 4 barre Dywidag della lunghezza di 11 m, con inclinazione dell'orizzontale di 2° - 17°, sigillate con resina entro perforazioni del diametro di 45 mm.

Nell'ammasso roccioso sono state riscontrate discontinuità nei primi metri e sui 6 m, queste ultime correlabili tra di loro, in corrispondenza della modestissima incisione che le separa dalla parete costituente l'ingresso della grotta del Farneto. Il lato destro è stato inoltre sostenuto da una colonna metallica del diametro di 35,6 cm, riempita di calcestruzzo, adeguatamente inclinata, ancorata al substrato mediante un plinto metallico delle dimensioni di 90x80 cm, fissato con 6 ancoraggi della lunghezza di 6 m costituiti da barre di acciaio Dywidag.

Nel pendio sovrastante sono stati demoliti i volumi rocciosi maggiormente instabili e realizzate 16 chiodature della lunghezza di 2,50 m.

#### *Zona C – Area della vecchia cava in corrispondenza del Sottoroccia.*

In corrispondenza della parete rocciosa aggettante di sinistra, disaggiati alcuni massi pericolosi, sono stati realizzati n. 8 ancoraggi mediante barre di acciaio Dywidag sigillate con resina della lunghezza di 11 m.

Nell'ammasso roccioso sono state riscontrate discontinuità strutturali e piccole cavità carsiche solo nei primissimi metri.

Nella paretina rocciosa (Sottoroccia) i massi disarticolati, eliminati quelli instabili, sono stati ancorati alla parete di sinistra e retrostante mediante n. 8 barre in Fe B44K diametro 24 mm, sigillate con resina, della lunghezza di 6 m circa e le acque percolanti intercettate



Parete aggettante in sinistra dell'ingresso sostenuta dalla colonna metallica.

mediante n. 10 dreni suborizzontali di lunghezza variabile dai 5,00 agli 11,00 m. circa. Nel pendio sovrastante sono invece stati messi in opera n. 10 tiranti della lunghezza di 15 m tensionati a 30 t.

Lungo il canalone si è proceduto alla demolizione di massi di grosse dimensioni, alla regolarizzazione del pendio con costruzione di canalette per la regimazione delle acque superficiali ed all'inerbimento di tutta la superficie mediante idrosemina di specie autoctone.

#### *Zona D – Costone centrale.*

Nella pendice sovrastante i 3 ingressi delle gallerie artificiali si è operato in due direzioni, differenziando gli interventi in funzione delle dimensioni delle parti instabili: disaggio delle piccole porzioni e chiodature di quelle maggiori. Quest'ultima operazione ha comportato l'esecuzione di n. 16 ancoraggi speciali con barre Fe B44K diametro 24 mm riempiti con resina della lunghezza di 5,00 m e di n. 40 chiodature speciali in Fe B44K diametro 14 mm riempite con resina della lunghezza di 2,5 m.

In corrispondenza di un anfiteatro roccioso,



posto alla sommità del costone nel lato occidentale, è stato realizzato un bacino di raccolta delle acque sorgive, incanalate verso il basso mediante un tubo in polietilene, mentre nello stretto canalone situato a nord si è proceduto all'inerbimento di tutta la superficie mediante idrosemina ed alla messa in opera di graticciate.

#### *Zona E – Gallerie artificiali.*

Essendo prevista l'apertura al pubblico delle gallerie, sono state rese percorribili solamente quelle di centro e di sinistra, guardando gli ingressi, in quanto quella di destra è visibile dall'esterno e dal passaggio che la mette in comunicazione con quella di centro. Gli interventi realizzati, atti a garantire la incolumità dei visitatori, sono stati:

- il consolidamento dei portali d'ingresso delle gallerie mediante l'esecuzione di n. 23 chiodature speciali in Fe B44K diametro 14 mm della lunghezza di 2,5 m riempite con resina;
- la installazione sulla volta delle gallerie di una doppia rete metallica ad alto assorbimento della larghezza di 4 m sostenuta da cavi di acciaio del diametro di 12 mm ancorati alle pareti delle gallerie;
- la chiusura del passaggio, mediante la installazione di due cancelli, fra la galleria di centro e quella di sinistra data l'instabilità della volta.

Tali lavori sono stati preceduti dal prosciugamento e sgombero della galleria di sinistra, ove si era formato un ristagno di acqua della superficie di 800 m<sup>2</sup> con presenza sul fondo di melma per uno spessore di 1,00 - 1,50 m circa, e dalla realizzazione, in entrambe le gallerie, di canalette di scolo per le acque di percolazione. Queste acque, assieme a quelle di precipitazione meteorica, defluiscono attraverso una condotta interrata nel torrente Zena.

In corrispondenza dell'accumulo di materiale sottostante gli ingressi alla grotta ed alle gallerie artificiali ed occupante il vecchio piazzale, si è proceduto alla demolizione dei volumi rocciosi di maggiori dimensioni, alla regolarizzazione del pendio nei punti più accidentati, alla regimazione delle acque superficiali mediante l'esecuzione di canalette, alla messa in opera di graticciate ed all'inerbimento mediante idrosemina di specie autoctone.

#### **9. Conclusioni.**

La complessità della situazione geologica e geotecnica della zona, a causa della variabilità di consistenza delle rocce e della presenza entro l'ammasso roccioso di discontinuità strutturali e di piccole cavità carsiche non sempre rilevabili dall'esterno, aggravata per di più dal sovrapporsi di fattori di disturbo provocati dall'intervento umano, ha reso necessario l'utilizzo di tecniche ed accorgimenti molto particolari e del tutto specialistici.

La particolare morfologia del pendio e la inaccessibilità di alcuni luoghi ai normali mezzi meccanici hanno inoltre impedito la realizzazione di adeguate opere.

Per quanto non sia possibile trarre considerazioni definitive, poiché l'intervento di stabilizzazione del pendio è stato appena realizzato, si può comunque affermare che le opere realizzate hanno dimostrato una certa efficacia. In corrispondenza dei canaloni impostati sui terreni marnosi la situazione geomorfologica ha reso difficile e complesso un intervento di efficace consolidamento.

#### **Bibliografia**

EDILSUOLO S.r.l., *Indagine sismica a rifrazione in località grotte di Farneto*. S. Lazzaro (BO). Lavoro inedito.

GE.IM.CO S.p.A., *Grotte del Farneto: indagini sulla stabilità del versante di ingresso*. Lavoro inedito.

---

#### **Autore**

Dott. A. Monesi, responsabile del Servizio Geologia dell'Amministrazione Provinciale di Bologna.

---