

geomorfologica della parete, con la formazione della cengia sulla quale è costruito l'eremo. I principali fattori fisici che con azione combinata nei tempi lunghi hanno stabilito la attuale situazione di precaria stabilità sono stati così definiti:

- fenomeni tettonici che hanno determinato la parete rocciosa in sé e relativi sistemi di fratture
- l'azione dei ghiacciai (glaciazioni) i quali, ad intermittenza, invadendo la valle e ritirandosi, hanno sottoposto la parete ad una ciclica azione di compressione e di scarico
- l'azione dell'erosione lacustre al piede dell'intera parete e dell'erosione diffusa degli agenti atmosferici in generale sull'intera parete
- l'azione risolutiva della gravità. Essa ha determinato il crollo di ampie fette di parete.

Come si può notare l'eremo ha potuto essere costruito sullo spalto creatosi ad una quindicina di metri sopra il livello del lago, ma il fenomeno di degrado generale sopra descritto è tuttavia continuato lentamente nel tempo fino ad arrivare alla situazione attuale di "equilibrio limite".

Nel corso delle indagini sono state tenute sotto controllo mediante micrometri alcune delle principali fessure degli edifici situate in punti particolari, scelti in modo da poter ricostruire con buona approssimazione i supposti movimenti del masso roccioso di fondazione.

L'evoluzione delle deformazioni, seguita nell'arco di oltre 7 mesi, ha confermato la criticità della zona sottostante la Chiesa e la relativa tranquillità delle fondazioni del vento centrale e di quello meridionale.

In conclusione le indagini hanno evidenziato la necessità di eseguire i trattamenti di stabilizzazione e la loro urgenza; hanno inoltre fornito i dati fondamentali per la stesura

Inizia qui la pagina 1 con il sommario

Gli elaborati progettuali, consegnati nei primi mesi del 1975, comprendevano ulteriori indagini in situ per meglio calibrare l'intensità di alcuni interventi e tutti i trattamenti di consolidamento della roccia, sia per l'ancoraggio della zona compresa tra le fondazioni ed il lago, sia per la stabilizzazione della parete sovrastante: tutto questo con priorità assoluta nei confronti delle operazioni di restauro degli immobili.

A questo punto iniziava per l'Amministrazione Provinciale di Varese la difficilissima opera di reperimento dei fondi necessari.

Dopo molte perplessità sul come agire, nel 1977 veniva accettata la proposta del progetto di realizzare il consolidamento procedendo per gradi, secondo fasi successive, in funzione del grado di pericolosità delle varie zone.

Aveva quindi inizio la fase esecutiva; la gara di appalto assegnava i lavori specialistici all'Impresa Edilsonda Fondazioni che dava corso ai lavori a partire dal 6 gennaio 1979.

3. ULTERIORI INDAGINI IN SITU. SONDAGGI ED ESTENSIMETRI

Alcuni sondaggi suborizzontali sono stati eseguiti a rotazione con corone a diamante del diametro di 85 mm fino ad una profondità di una quarantina di metri attraverso il masso roccioso di fondazione della Chiesa; scopo dei sondaggi l'esame della consistenza strutturale della roccia e la determinazione esatta delle grandi fessurazioni subverticali nell'ambito del masso roccioso, nonché l'ispezione accurata della zona dove sarebbero stati realizzati i buibi di ancoraggio dei tiranti.

Come mostra lo schizzo planimetrico esposto in figura n. 5 sono stati posti in opera 10 estensimetri a lunga base (SIS Geotecnica) per la misura degli spostamenti nel tempo dei vari diedri di roccia.

La loro distribuzione è stata studiata in modo

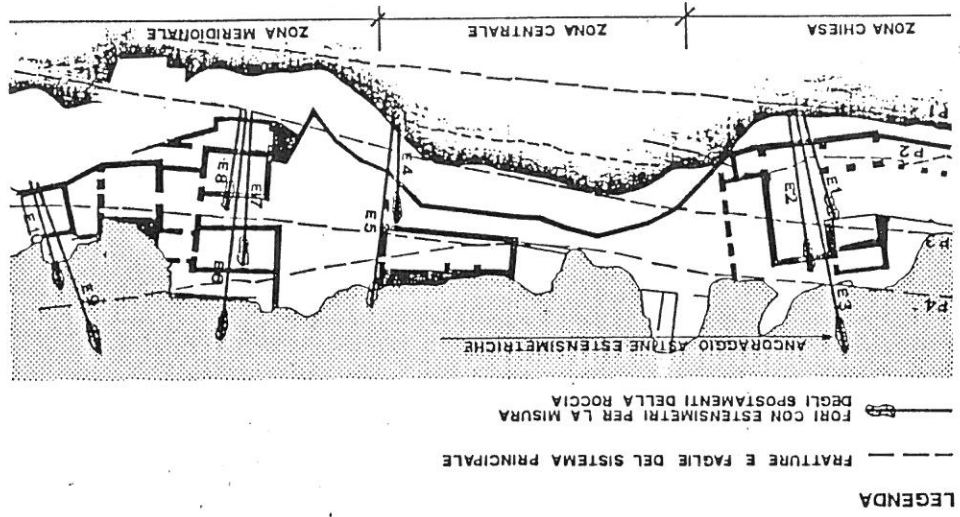


Fig. 5

Per favore seguire le istruzioni stampate nel retro

Per il calcolo del "tirò" necessario per garantire la stabilità è stato considerato l'equilibrio del masso di roccia più esterno (in situazione di equilibrio limite) sul quale poggia tutto il muro laterale verso lago della Chiesa ed alcuni fra i più importanti pilastri della navata (gli altri sono posti a cavallo della fessura).

Questo masso di roccia è delimitato lateralmente dalla parete a lago e dalla grande fessura verticale ed in basso, a 5 m circa sotto il livello medio del lago, da una fessura di terrazzamento (tipica di questa formazione) inclinata di 15° circa a franappoggio sulla quale il masso stesso tende a scivolare (vedere la figura n. 7).

Dopo attento esame della situazione generale e di tutti i problemi specifici connessi si è giunti alla conclusione che per conseguire una stabilità permanente con coefficiente di sicurezza pari a 2 era necessario:

- disporre i tiranti ad interasse di 3 m fra loro, distribuiti su 4 file sovrapposte distanziate in verticale di 3 m l'una dall'altra (soluzione ottimale rispetto ad altre considerate)
- applicare una pretensione (forza esterna "attiva") a ciascun tirante pari a 96 tonnellate, questo tenuto anche conto della inclinazione dei tiranti nei confronti del piano di scivolamento.
- Sono stati messi in opera 58 tiranti e 6 trefoli in acciaio armonico di lunghezza totale di 35 m (di cui 10 m di bulbo e sacco otturatore).
- Le operazioni si sono svolte con grande regolarità.

Per favore seguire le istruzioni stampate nel retro

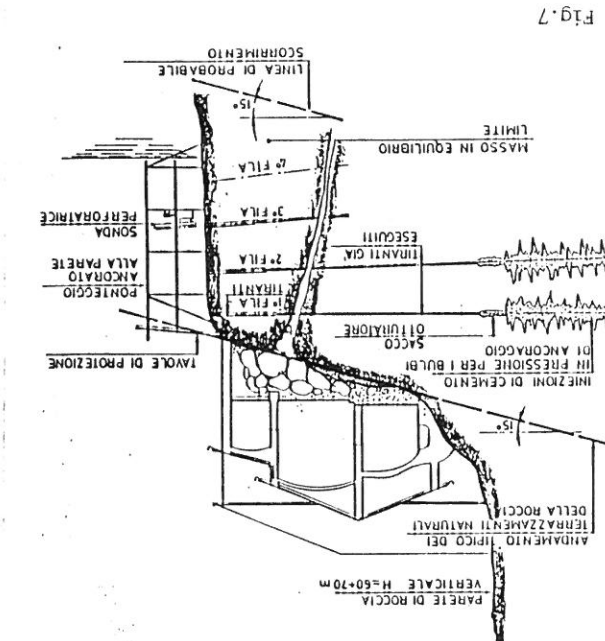


Fig. 7

Per il progetto dei tiranti - numero, portata, distribuzione, lunghezza - sono stati tenuti in considerazione svariati fattori quali la morfologia della parete, la presenza della grande fessura beante, la consistenza della roccia in profondità, la distribuzione omogenea degli sforzi di trazione nell'ambito del masso di roccia più esterno, la salvaguardia del progetto.

Per il calcolo del "tirò" necessario per garantire la stabilità è stato considerato l'equilibrio del masso di roccia più esterno (in situazione di equilibrio limite) sul quale poggia tutto il muro laterale verso lago della Chiesa ed alcuni fra i più importanti pilastri della navata (gli altri sono posti a cavallo della fessura).

Questo masso di roccia è delimitato lateralmente dalla parete a lago e dalla grande fessura verticale ed in basso, a 5 m circa sotto il livello medio del lago, da una fessura di terrazzamento (tipica di questa formazione) inclinata di 15° circa a franappoggio sulla quale il masso stesso tende a scivolare (vedere la figura n. 7).

Dopo attento esame della situazione generale e di tutti i problemi specifici connessi si è giunti alla conclusione che per conseguire una stabilità permanente con coefficiente di sicurezza pari a 2 era necessario:

- disporre i tiranti ad interasse di 3 m fra loro, distribuiti su 4 file sovrapposte distanziate in verticale di 3 m l'una dall'altra (soluzione ottimale rispetto ad altre considerate)
- applicare una pretensione (forza esterna "attiva") a ciascun tirante pari a 96 tonnellate, questo tenuto anche conto della inclinazione dei tiranti nei confronti del piano di scivolamento.
- Sono stati messi in opera 58 tiranti e 6 trefoli in acciaio armonico di lunghezza totale di 35 m (di cui 10 m di bulbo e sacco otturatore).
- Le operazioni si sono svolte con grande regolarità.

Per il progetto dei tiranti - numero, portata, distribuzione, lunghezza - sono stati tenuti in considerazione svariati fattori quali la morfologia della parete, la presenza della grande fessura beante, la consistenza della roccia in profondità, la distribuzione omogenea degli sforzi di trazione nell'ambito del masso di roccia più esterno, la salvaguardia del progetto.



Fig. 6

Si è quindi avuto la possibilità di tenere sotto preciso controllo tutta la situazione durante la fase importantissima di posa in opera dei tiranti e di tensionamento sotto la Chiesa.

Inoltre è così possibile controllare nei tempi lunghi gli effetti delle operazioni eseguite e quegli eventuali ulteriori movimenti che dovessero verificarsi sia sotto la Chiesa, sia sotto gli altri edifici che non sono stati oggetto di operazioni di "fissaggio". Possiamo dire che finora tutto si è svolto regolarmente e nessun movimento imponente è in atto.

4. I TIRANTI A TREFOLI PER IL "FISSAGGIO" DELLA ZONA SOTTOSTANTE LA CHIESA

Per il progetto dei tiranti - numero, portata, distribuzione, lunghezza - sono stati tenuti in considerazione svariati fattori quali la morfologia della parete, la presenza della grande fessura beante, la consistenza della roccia in profondità, la distribuzione omogenea degli sforzi di trazione nell'ambito del masso di roccia più esterno, la salvaguardia del progetto.

cializzate.



Fig. 9

Tutti i tiranti sono stati tensionati in una prima fase a tasso ridotto (30% del totale) sotto il continuo controllo degli estensimetri: sarebbe infatti stato molto rischioso eseguire il tensionamento totale prima della esecuzione del riempimento della grande fessura sotto la Chiesa (l'operazione è descritta nel paragrafo 5.).

D'altra parte si è voluto fornire immediatamente una certa sicurezza al masso roccioso in equilibrio limite. Ultimate le iniezioni di riempimento della fessura i tiranti sono stati tensionati in ulteriori fasi successive secondo un programma prestabilito.

Le prove eseguite su alcuni tiranti "cam-pione" hanno denunciato il buon funzionamento del bulbo e la regolare rispondenza della parte libera dei trefoli.

La stabilità voluta è stata sicuramente conseguita: lo hanno dimostrato con certezza i dati ricavati dalle misure degli estensimetri e del micrometri, lo stato generale delle strutture della Chiesa che non hanno più evidenziato quei segnali di fatica progressiva tanto palesi nel corso degli studi preliminari.

La figura n. 8 mostra il ponteggio "appeso" alla parete sotto la Chiesa utilizzato per le opere di tirantatura della roccia di imposta.

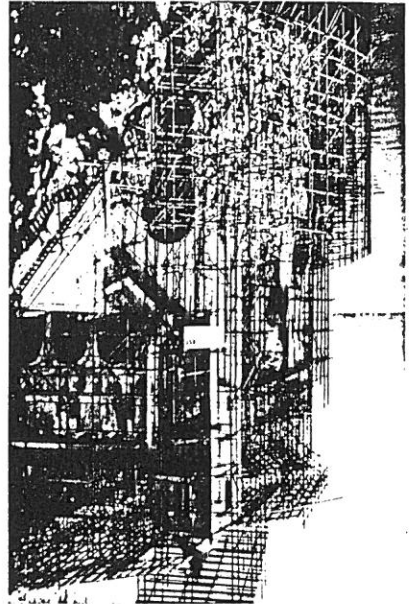


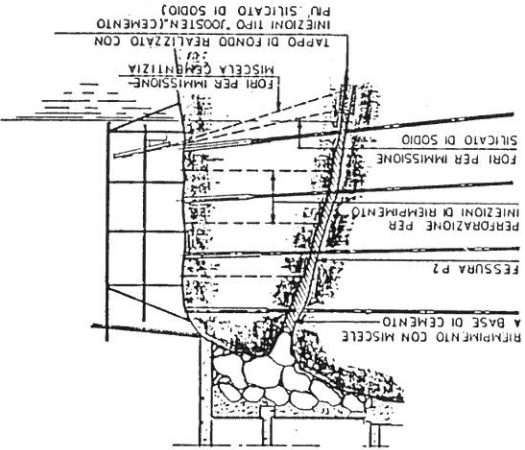
Fig. 8

La figura n. 9 riporta una delle testate dei 58 tiranti.

5. LE INIEZIONI DI RIEMPIMENTO DELLA FESSURA BEANTE SOTTO LA CHIESA

Merita particolare cenno questa lavorazione che se a prima vista può apparire abbastanza semplice, nel caso specifico ha richiesto invece l'applicazione di tecnologie molto spe-

Fig. 10



La fessura da riempire infatti, oltre alla notevole ampiezza (più di 1 m di larghezza mediantemente) non presentava alcun contenimento nei suoi due lati, né sul fondo dove proseguiva al di sotto del livello del lago.

Si può avere un'idea guardando la fotografia n. 3.

Penetrando nella zona superiore della cavità, attraverso alcuni punti accessibili, si poteva chiaramente udire sul fondo il rumore provocato dallo "sbattimento" delle onde del lago. Era quindi innanzitutto necessario creare una "tamponatura" della fessura sul fondo e lungo linee verticali laterali, per avere poi la possibilità di completare il riempimento di tutta la cavità sottostante la Chiesa senza perdite di miscela in zone non interessanti.

Il lavoro è stato affrontato e risolto secondo le fasi che si riportano schematicamente qui di seguito:

a) realizzazione del "tappo di fondo" mediante iniezione simultanea in coppie di fori ravvicinati (vedere figura n. 10) di miscela cementizia e silicato di sodio - sistema Joosten

Per favore seguire le istruzioni stampate nel retro

- b) chiusura laterale a settentrione: è stata eseguita con sistema identico al precedente, ma attraverso perforazioni verticali a partire dallo spalto roccioso in prossimità dell'ingresso Nord della Chiesa. I due tamponamenti di cui a) e b) hanno comportato in totale i seguenti quantitativi di lavoro:
- perforazione a rotazione Ø 45 mm 590 m
 - miscela cementizia (spesso carl- cata con sabbia) 128 m³
 - silicato di sodio 64 m³
- c) tamponamento laterale a meridione: si tratta proprio del labbro della fessura di fig. n. 3. A causa delle grandi dimensioni si è dovuto ricorrere allo spritz-beton. Il lavoro è stato curato in modo tale che il tamponamento venisse realizzato ad una certa profondità entro la fessura, così da non alterare la morfologia naturale di questa zona così interessante e caratterizzata. Nei punti di maggiore apertura della fessura lo spritz-beton ha dovuto essere trattenuto e sostenuto da reti metalliche opportunamente predisposte. Sono stati utilizzati 79 m³ di spritz. A questo punto il lavoro di riempimento ha potuto essere compiuto con relativa semplicità:

Le iniezioni sono state eseguite attraverso fori suborizzontali, praticati a partire dal ponteggio a iago e disposti su 4 file sovrapposte, intercalate alle file dei tiranti. Si è potuto constatare, in alcuni punti visivamente in altri con sonde particolari, che il livello di riempimento ha raggiunto la quota stabilita, dove si è stabilizzato. La composizione della miscela (caricata con sabbia) è stata oggetto di studio particolare perché si è voluto da una parte garantire a 28 giorni una resistenza a compressione di almeno 6 Kg/cm² (con coefficiente di sicurezza pari a 2), dall'altra parte ottenere una viscosità alta con agevole "pomponabilità" ed una buona resa volumetrica, il tutto cercando di tenere i costi bassi. Per il riempimento sono stati iniettati, attraverso 30 fori, 490 mc di miscela. Durante le operazioni di tensionamento al tasso di lavoro definitivo di tutti i tiranti si è potuto constatare, attraverso le misurazioni estensimetriche, come il riempimento della grande fessura sia stato compiuto omogeneamente e come la trasmissione in profondità delle forze "attive" applicate potesse garantire definitivamente la stabilità della Chiesa.

6. CONSOLIDAMENTO DELLA PARTE ROCCIOSA SOVRASTANTE L'ERMO. Si è trattato di un lavoro molto impegnativo non solo per le dimensioni notevoli della

parete da trattare (per un totale di 5.000 mq di superficie ed altezza, in alcune zone, di oltre 70 m), ma anche per la pericolosità derivante dal precario equilibrio di numerose placche di roccia. Al di sopra del piazzale del torchio, come mostra la sezione di figura n. 11, la roccia aggettante si presentava interessata da fessure ad andamento verticale molto aperte.

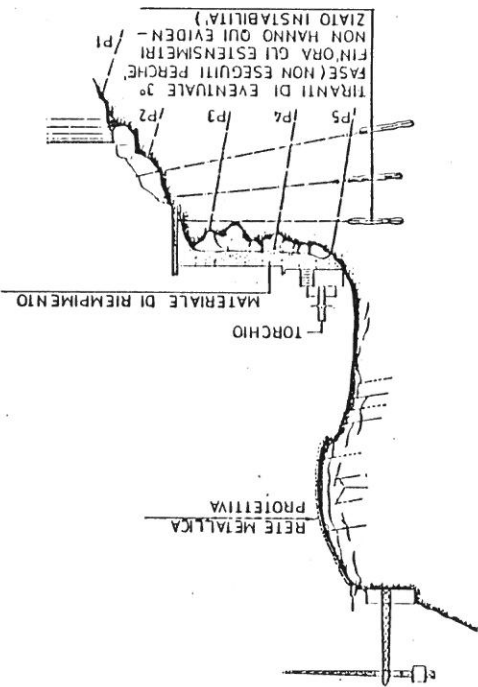


Fig. 11

Queste discontinuità sono state originate dal normale collasso gravitazionale della parete, accentuato dagli effetti derivanti dagli sbalzi termici particolarmente rilevanti in una zona così esposta. Anche l'acqua, infiltrandosi in sommità, ha avuto la possibilità di percolare in modo indiscriminato nell'ambito della crosta più superficiale della parete. Questa pericolosa situazione, che si era subito evidenziata fin dall'epoca dei primi sopralluoghi, veniva poi riscontrata in numerose altre zone sparse un po' dovunque, come mostra la figura n. 12: di qui la necessità di un trattamento globale di tutta la parete. La fotografia n. 13 riporta una visione parziale del grande ponteggio costruito a ridosso della parete nella zona meridionale. L'intervento di stabilizzazione ha comportato operazioni assai complesse e delicate, complicate anche dal fatto che lavori del genere, svolti a grande altezza ed avendo a che fare con una corteccia di roccia insidiosa, impongono attenzioni continue, assai impegnative per gli operatori. Elenchiamo con breve commento le lavorazioni svolte nel loro ordine cronologico di esecuzione:

ne.

6.1. Ponteggi, "disgaggi" e pulizia

Mano mano che il ponteggio saliva, veniva eseguita un'accurata pulizia della parete. Le scaglie rocciose di dimensioni piccole (medio-piccole) già praticamente staccate, sono state asportate e calate ai piedi del ponteggio mediante apposite discenderie in legname. I massi più grossi hanno dovuto essere "chiodati" immediatamente (vedere figura n. 14).

Da pagina 2 in poi, comincia da qui la battitura



Fig. 12

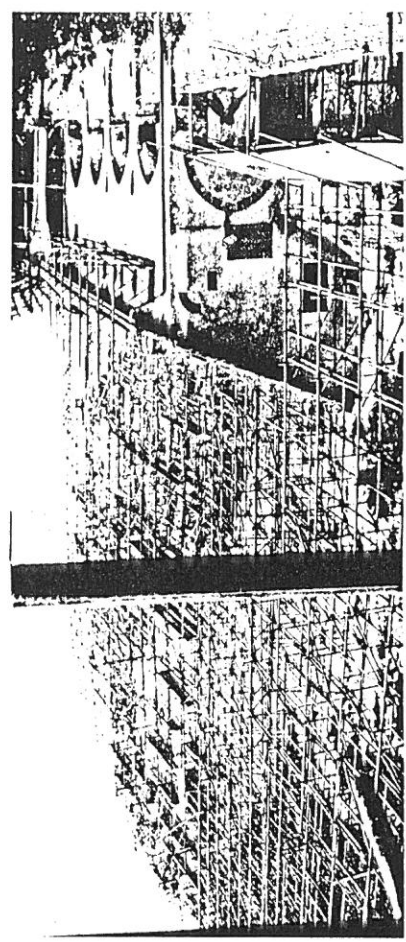


Fig. 13



Fig. 15

Nelle zone più alte la vegetazione ha dovuto essere rimossa e gli apparati radicali non asportabili sono stati trattati con prodotti speciali atti ad impedire la rivestazione e a "mummificare" il legno residuo. Si è così cercato di eliminare l'effetto "di rompenite" di frantumazione della roccia causato appunto dallo svilupparsi della vegetazione. La figura n. 15 riporta un dettaglio dell'effetto "martinetto" di una grossa radice che ha spaccato la roccia all'intorno.

Fig. 14



Per favore seguire le istruzioni stampate nel retro

6.2. Le barre di ancoraggio

Si è trattato di chiodature passive di 6-8 m di lunghezza: si sono utilizzate barre di acciaio ad adherenza migliorata del diametro di 26 mm, allongiate e cementate accuratamente in perforazioni suborizzontali di 45 mm di diametro.

Le piastre (15x15 cm) sono state tutte adatte alla superficie rocciosa mediante ricche di malta cementizia e protette con speciali vernici.

Sono state messe in opera in totale 509 barre (densità approssimativa: 1 barra ogni 10 mq di parete).

6.3. Sigillatura con resine

Si tratta del lavoro forse più impegnativo e determinante agli effetti del risanamento della parete.

Sono state impiegate malte di resine epossidiche opportunamente pigmentate per non alterare il colore originario della roccia calcarea.

Il potere di "aggrappaggio" di queste resine, come è noto, raggiunge valori molto alti. Riportiamo alcuni valori sperimentati in luogo

- per le malte di resina: rottura a compressione $\sigma_c > 500 \text{ Kg/cm}^2$, rottura a trazione $\sigma_t > 80 \text{ Kg/cm}^2$

- adherenza resina/roccia calcarea: $a = 80 + 100 \text{ Kg/cm}^2$

I calcoli dimostrano come un'accurata sigillatura al contorno di massi o scaglie rocciose pericolanti (equilibrio limite) possa incrementare il coefficiente di sicurezza da 5 a 10 volte.

Naturalmente un tale risultato presupponeva un'accurata pulizia delle superfici di roccia interessata e tutta una serie di misure attinenti alla regolare preparazione della malta: resina, carica di sabbia ed indurenti graduati in modo da garantire la lavorabilità del materiale e la perfetta polimerizzazione in funzione della temperatura e dell'umidità.

Possiamo ora dire, a conclusione del lavoro, che dopo un primo periodo di inaffidabilità, gli operatori hanno saputo affrontare e portare a termine questo complicato lavoro con maestria e buon senso, ottenendo un ottimo risultato sotto ogni punto di vista.

Sono state applicate resine per un totale di 2.251,50 ml di fessura, pari ad un valore medio unitario di 0,45 ml di resina per ogni mq di parete rocciosa.

La figura n. 16 riporta un particolare della parete consolidata. Si evidenziano bene due piastre di testate di barre di ancoraggio, alcune fessure sigillate con resina con un foro di drenaggio al centro.

6.4. I tubi drenanti

Il consolidamento della parete ha originato una impermeabilizzazione pressoché totale di tutta la fascia di roccia più corticale.

E' stato dunque necessario mettere in opera una serie di tubi drenanti che potessero captare in profondità, al di là della zona trattata, quelle acque che ancora avessero avuto modo di percolare all'interno a seguito di infiltrazioni dalla sommità o dalle colline retrostanti.

Sono state realizzate due file di drenaggi suborizzontali profondi 15 m e 10 m, poste l'una a 16 m al di sopra dello spalto dell'eremo, l'altra a 28 m circa, che hanno costituito due veri e propri schermi drenanti allo scopo di regolamentare il flusso dell'acqua attraverso gli strati rocciosi e di annullare ogni possibile spinta a tergo della parete consolidata.

La figura n. 17 mostra una porzione di parete completamente risanata.



Fig. 17



Fig. 16

Tale zona sovrasta l'eremo dall'ingresso meridionale fino a tutto il cortiletto del "torchio".
 Si notano varie piastre d'ancoraggio, alcuni drenaggi, la rete plastificata di protezione superficiale.

7. CONCLUSIONE

In questa memoria ho cercato di descrivere per sommi capi un lavoro che credo possa interessare sia perché coinvolge un monumento di notevole rilevanza storico-artistica, sia perché la progettazione, "guidata" da una serie di indagini preventive, ha proposto delle soluzioni base da integrarsi o meno in funzione di ulteriori accertamenti in corso d'opera. Infatti il lavoro è stato poi condotto in fasi successive durante le quali è stato possibile, tramite controlli sistematici, adattarsi

re gli interventi progettati alle reali necessità. In altre parole si è approfittato delle maggiori disponibilità finanziarie nel corso del cantiere vero e proprio per colmare quelle lacune di conoscenza che sono inevitabili nella fase di approccio al problema e che spesso portano, come è naturale, ad una sopravvalutazione del rischio e di conseguenza ad un appesantimento dei trattamenti.
 Inoltre l'intervento di S. Caterina del Sasso rappresenta, a mio parere, un esempio abbastanza raro in Italia di iniziativa e di tenacia da parte di un Ente Pubblico (l'Amministrazione Provinciale di Varese) che ha saputo affrontare e portare a termine un'operazione complicata in mezzo a molteplici difficoltà, assicurando nel tempo la stabilità di un complesso artistico di così grande valore.

Summary
 S. Caterina del Sasso monastery - Leggìuno (Varese - Italy) - Stabilization works of the foundation rock and of the rocky wall above the buildings.

The monastery of S. Caterina del Sasso as a whole (its first buildings date back as far as the XIII century) is founded on a long and narrow limestone terrace located at the top of a vertical slope, 16 meters high, right above the left shore of Lago Maggiore, at Leggìuno, a few kilometers from Laveno. The rocky terrace, which is part of an impressive amphitheatre overlooking the lake, is dominated by a vertical projecting wall of rock, 50-70 meters high. Unfortunately the rock, on which the monastery has its foundations, has been showing for several years a dangerous static situation, which has recently led to a serious deterioration of the stability of all the buildings. My paper relates on:

- preliminary studies - geological research
- researches in situ and plan of the stabilization works
- details on the execution of the works:
- long base length extensometers and micrometers
- multiple strand anchors
- anchors bars
- treatments of the rock with epoxy resins
- drainages.

The works for the rock's reinforcement, now successfully finished, and those for the buildings' restoration, still in progress, have been able to save an important artistic and historical masterpiece, which otherwise would have been completely lost in a short time.