

FOTO 1

# IL CONSOLIDAMENTO ROCCA DI

Pietro Lunardi, Milano    A. Santini, Firenze    M. Crisà, Cefalù\*

**LA GEOINGEGNERIA  
E IL RESTAURO  
DEI BENI  
STORICO-AMBIENTALI**

**STUDIO DEI DISSESTI  
E PROGETTAZIONE  
DEGLI INTERVENTI  
DI CONSOLIDAMENTO**

### INTRODUZIONE

#### Cenni storici

La Rocca di Cefalù (PA) è un ampio plateau calcareo che si erge per quasi 300 m d'altezza sul promontorio del Paese di Cefalù (Foto 1).

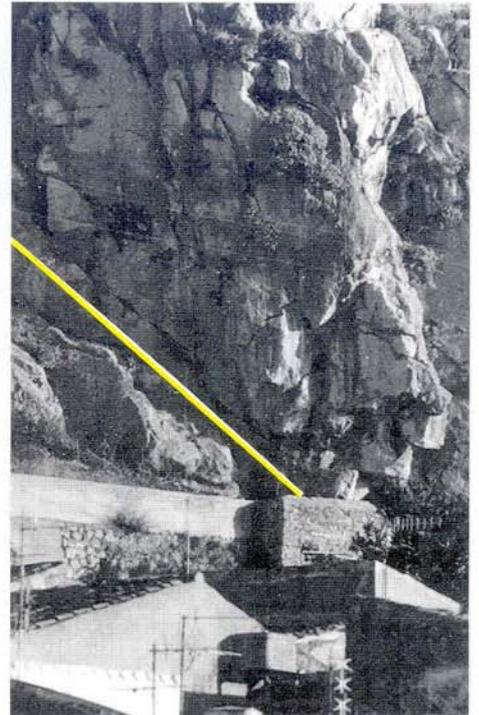
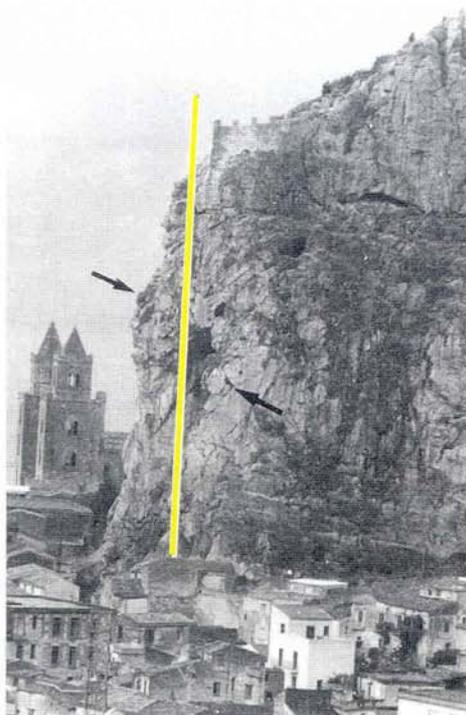
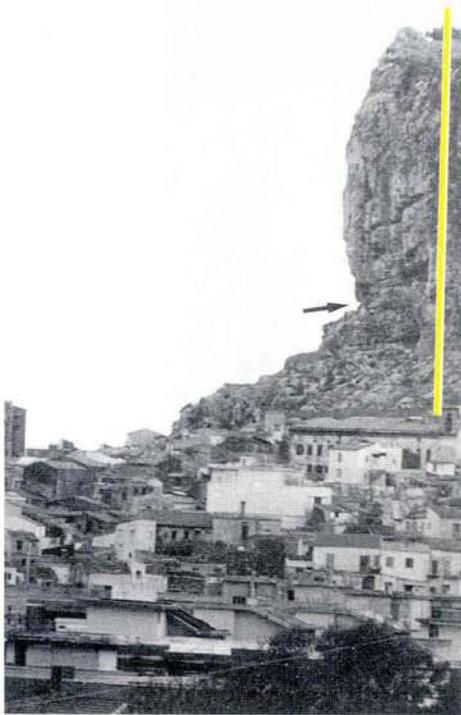
Stante la sua natura morfologico-strutturale la Rocca tende a fessurarsi originando intorno al suo perimetro dissesti gravitativi la cui tipologia è generalmente

\* Ingegnere Capo, Comune di Cefalù

afferibile a un crollo di blocchi rocciosi isolati delle discontinuità naturali preesistenti o di neoformazione (Foto 2).

Detti fenomeni hanno rappresentato e rappresentano tutt'ora un notevole pericolo per tutta la popolazione che insedia gli abitati direttamente circostanti il perimetro della Rocca ed in particolare per quelli disposti nel settore Ovest della stessa (Foto 3).

Pertanto e a seguito del verificarsi di sempre più frequenti distacchi di elementi lapidei della parete perimetrale che delimita la Rocca di Cefalù, il Comune allarmato per il pericolo che tali distacchi possono rappresentare nei riguardi dell'incolumità



(in alto) FOTO 2 - Da sinistra.  
 • Fronte NO - Zona Duomo.  
 • Fronte NO-O - Zona Vicolo Cosentino e Vicolo Saraceno.  
 • Fronte O - Zona Vicolo Cosentino.

(a destra) FOTO 3.



# DELLA CEFALÙ

delle persone che occupano le case sottostanti, su consiglio del Servizio Geologico del Corpo Regionale delle Miniere, ha deciso nel 1978 di avviare lo studio generale e di dettaglio sullo stato della Rocca allo scopo di redigere un progetto esecutivo degli interventi di consolidamento necessari alla sua stabilizzazione.

Il primo atto è consistito nella redazione di una relazione generale preliminare (1981) sui modi, tipi, tempi di intervento da

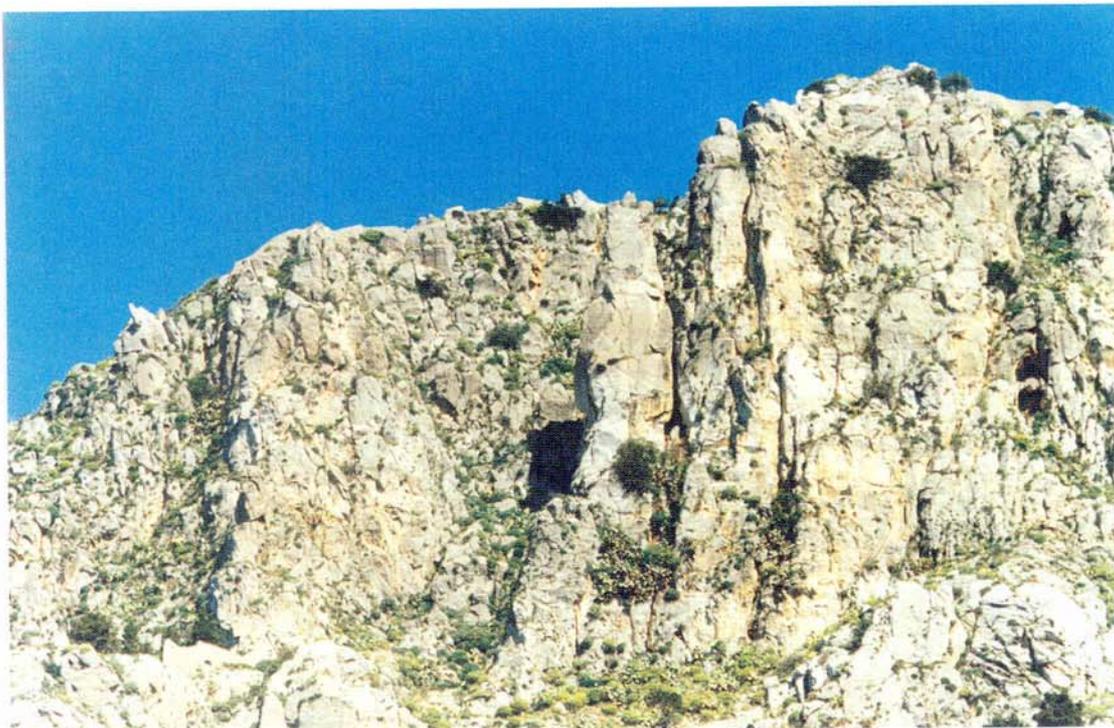


FOTO 4

operare sui fronti rocciosi e sulle possibilità di interventi nelle diverse situazioni di instabilità che nel tempo si sono venute creando sulle pendici della Rocca.

Successivamente, attraverso i finanziamenti sia della Regione Siciliana sia del Dipartimento della Protezione Civile, sono stati eseguiti dal Comune di Cefalù, per stralci funzionali esecutivi, numerosi interventi di bonifica e consolidamento statico che hanno permesso di rimuovere i potenziali pericoli nelle zone più dissestate permettendo in tal modo il recupero dell'area sottostante precedentemente evacuata o giudicata soggetta a situazione di forte rischio per la pubblica incolumità.

Attualmente la bonifica e il consolidamento della parete rocciosa continua attraverso la realizzazione di lavori che interessano l'area sudoccidentale della Rocca dove la presenza di importanti monoliti rocciosi pregiudica la sicurezza della sottostante zona edificata (Foto 4).

## QUADRO GEOLOGICO

### Generalità

Nell'ambito del complesso strutturale «Panormide», appartenente al Cretaceo Inf. delle Madonie orientali e costituito da una serie di affioramenti calcarei autoctoni paralleli alle coste, con spessore massimo di 600 m ed estesi dal Palermitano a Termini

Imerese e Pizzo Carbonara, la Rocca di Cefalù rappresenta indubbiamente uno dei luoghi più eclatanti sia per la struttura geologica sia per la bellezza paesaggistica.

L'ampio pleateau calcareo rappresenta il relitto di una formazione costituita da calcari

recifali grigio-bluastri a Rudiste, gasteropodi e coralli mal stratificati in grossi banchi con livelli di breccie intraformazionali (Rocca di Cefalù) e da prevalenti calcareniti pellettifere a gasteropodi, in strati di 50 cm - 1 m (Cozzo Carcarello). Queste rocce sono attraversate da filoni sedimentari riempiti da calcilutiti chiare in facies di «Scaglia».

Lo spessore della Formazione è superiore a 200 m [Grasso, Lentini, Vezzani, 1978].

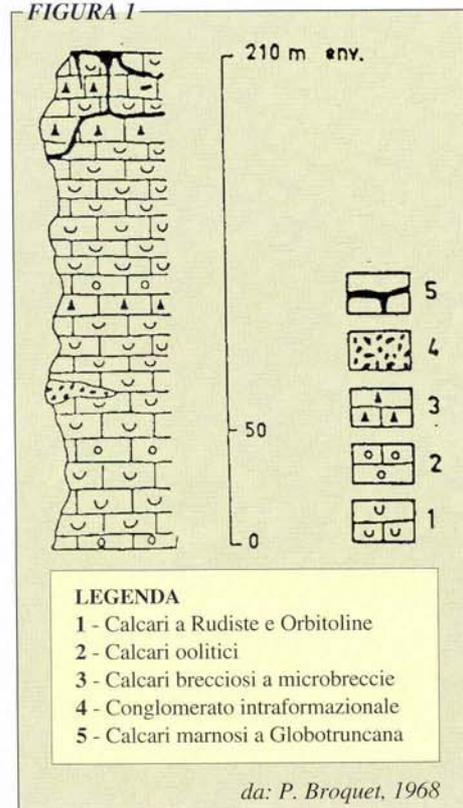
Un profilo stratigrafico della Rocca di Cefalù è mostrato in Figura 1 [P. Broquet, 1968]. Si notano essenzialmente dei calcari recifali a Rudiste, nei quali si intercala, verso la quota 80 m s.l.m., un livello microconglomeratico poi conglomeratico, rimaneggiante elementi litici di facies identica a quella dei terreni incassanti. Si tratta quindi di un conglomerato intraformazionale.

Talora i calcari appaiono ciottolosi a microbreccie con cemento microgranulare [P. Broquet, 1968].

La morfologia della massa rocciosa della Rocca è caratterizzata da profili morfologici differenti a seconda delle condizioni geostrukturali locali: il profilo più caratteristico, che ricorre per almeno i 2/3 dello sviluppo perimetrale, presenta un andamento convesso sulla parte più elevata per effetto dei processi di degradazione e dilavamento, ripido quasi a picco nella parte mediana e declive alla base, con inclinazione compresa tra 25 e 35 gradi per la presenza di una scarpata detritica ad andamento rettilineo.

Quest'ultima è ricoperta superficialmente

FIGURA 1



da una quantità limitata di blocchi, ed ha uno spessore elevato in corrispondenza alle zone dove, a causa dell'esposizione, il grado di ammaloramento della roccia nel tempo è stato più elevato. Le dimensioni modeste dei massi e la classazione granulometrica creatasi naturalmente lungo il pendio detritico, sono conseguenti alla notevole energia d'impatto della roccia che cade dall'alto, si frantuma, e successivamente, con il contributo del dilavamento, viene trascinata lungo il pendio stesso con disposizione gradata ed accumulo della parte fine in prossimità del piede.

## Tettonica e strutture

Dal punto di vista tettonico strutturale generale di particolare importanza, a testimonianza dei fenomeni di rilassamento tensionale che l'hanno interessata nei tempi geologici recenti, è la presenza di evidenti linee di dislocazione a faglia diretta individuate nel settore nordorientale della Rocca (Figura 2). [Crimi, Ventura, 1990].

Dal punto di vista geostrutturale il blocco calcareo della Rocca, dall'aspetto massiccio e omogeneo, è in realtà interessato da una fitta rete di discontinuità geologiche prevalentemente irregolari (vedi Figura 3). Tali discontinuità, almeno sulla base dei rilievi di superficie, si possono classificare secondo questo schema:

**d1) Discontinuità congenite o giunti di stratificazione** presenti in tutta la massa calcarea, ma non sempre facilmente distinguibili come sulla parete Nord-Ovest della Rocca, dove hanno direzione di immersione N-E ed inclinazione di circa 20°.

Queste discontinuità che delimitano bancate di calcare, potenti da qualche decimetro fino a qualche metro, sono generalmente ben serrate, cementate e prive di materiali di interstrato, tranne alcune, ben evidenti sulle pareti Nord-Ovest, Ovest, Sud-Ovest lungo le quali si sono impostati fenomeni carsici diffusi.

**d2) Fratture insite d'origine esterna** conseguenti a fenomeni geodinamici di distensione presenti un pò dovunque nella parte più corticale del massiccio, generalmente aperte e beanti.

**d3) Fratture acquisite di origine tettonica** a cui appartengono sistemi di faglie principali con direzione radiale, tipica delle unità che si sono originate per sollevamento tettonico, e sistemi di faglie secondarie variamente orientati e non sempre identificabili da un punto di vista genetico.

L'inclinazione dei piani di discontinuità è

compresa mediamente tra 60° e 90° con punte minime di 30° in zone ben definite. Le discontinuità tettoniche principali costituiscono sistemi chiusi con continuità di centinaia di metri mentre quelle secondarie, estese per alcune decine di metri, tendono a serrarsi nell'interno della massa rocciosa.

**d4) Discontinuità di tipo carsico** impostate per lo più lungo giunti di stratificazione e lungo piani di faglia, interessate da estesi

fenomeni di ricementazione calcitica.

Queste forme carsiche sono presenti un pò dovunque lungo le pareti perimetrali della Rocca ed in maniera più vistosa sui fronti Nord-Est, Nord-Ovest, Ovest.

Sulla carta geologica (Figura 3) sono riportati i risultati dei rilievi strutturali eseguiti, con l'indicazione dei sistemi di discontinuità classificati secondo lo schema sopra citato e rappresentati nel reticolo stereografico polare (Figura 4).

FIGURA 2

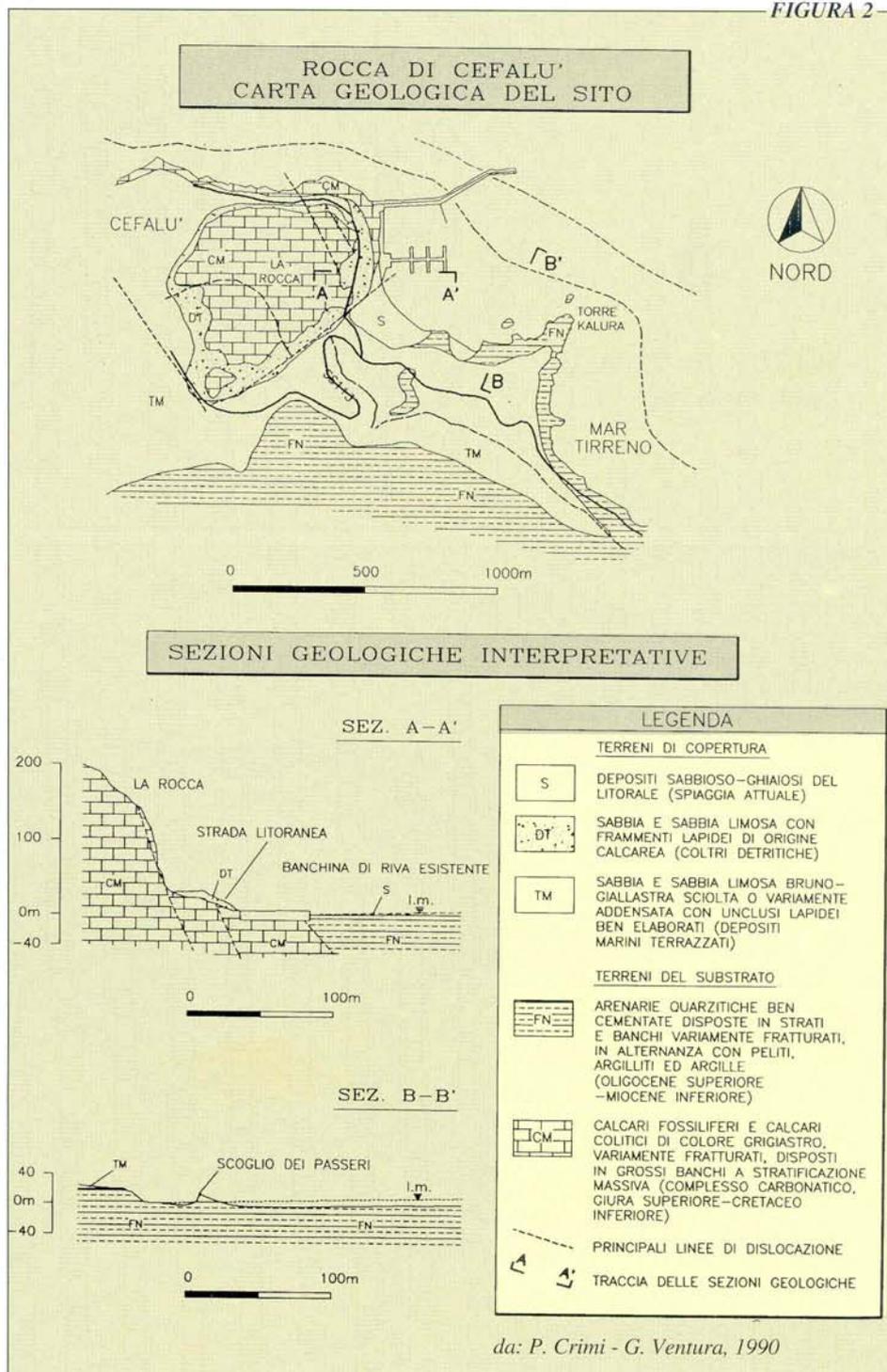


FIGURA 3

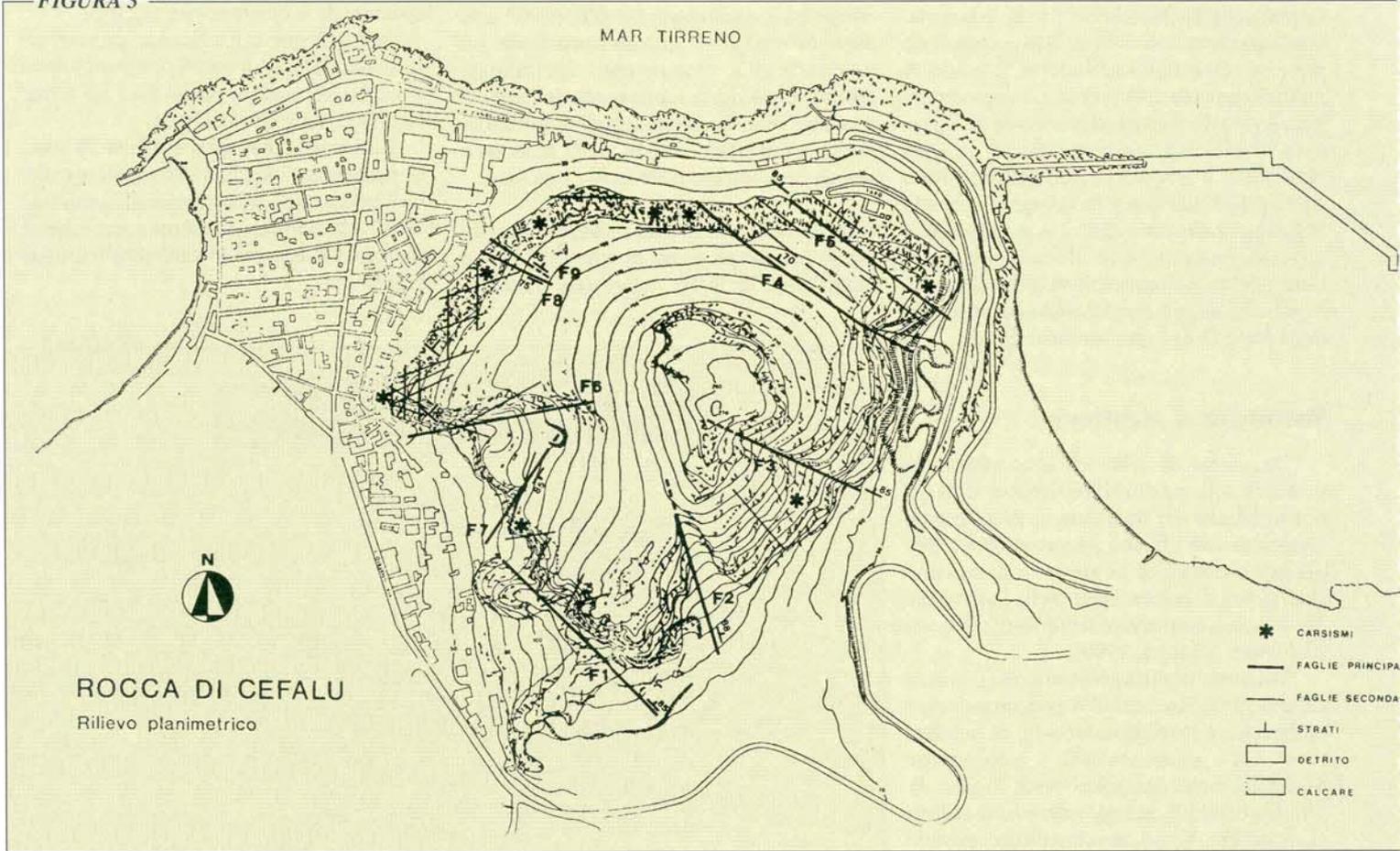
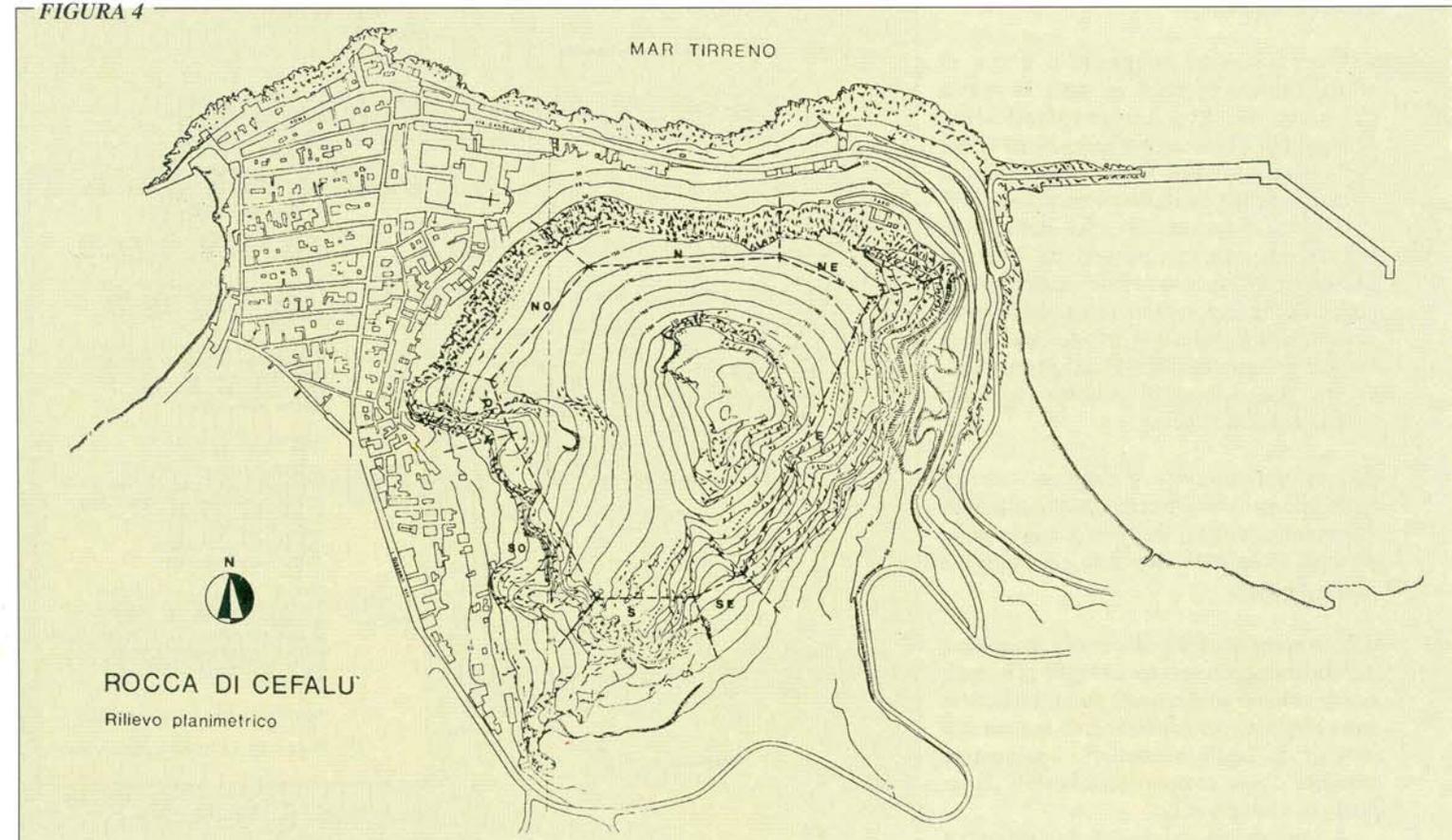


FIGURA 4



**GIACITURA FAGLIE**

- F 1 = 50° / 85°
- F 2 = 75° / 88°
- F 3 = 25° / 85°
- F 4 = 35° / 70°
- F 5 = 40° / 85°
- F 6 = 350° / 70°
- F 7 = 140° / 85°
- F 8 = 220°-230° / 75°
- F 9 = 40°-50° / 85°

**GIACITURA STRATI**

- ZONA NORD = 70°-80° / 10°-25°
- ZONA OVEST = 40°-60° / 15°-20°

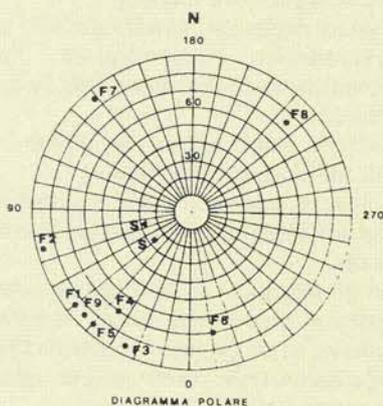


DIAGRAMMA POLARE

- FAGLIE
- STRATI ZONA OVEST
- ▲ STRATI ZONA NORD

**QUADRO GEOMECCANICO**

**Considerazioni sul litotipo e sull'ammasso**

Il litotipo è compatto, fresco, suddiviso e leggermente ossidato in corrispondenza di superfici di discontinuità; fenomeni di alterazione o di decomposizione del materiale possono essere presenti nell'ambito delle zone di faglia.

Nell'ammasso roccioso sono evidenti sistemi di discontinuità maggiori verticali, ad elevata frequenza, continui, leggermente ondulati, piuttosto serrati: si notano inoltre sistemi minori irregolarmente diffusi, che si sviluppano prevalentemente nell'ambito della frequenza del sistema subverticale suddetto.

Il volume roccioso unitario, in funzione dell'esposizione del versante, della sua orientazione rispetto ai sistemi di discontinuità, della posizione lungo il profilo delle scarpate, va da dimensioni piuttosto piccole (pluridecimetriche) a forma irregolare a dimensioni medio-elevate (plurimetriche) e forma regolare compresa tra quella cubica e quella parallelepipedo allungata.

La resistenza del materiale è elevata quando il litotipo è omogeneo e continuo. I parametri caratteristici possono superare i 500 ÷ 600 kg/cm<sup>2</sup>. Nei riguardi invece della

resistenza alla compressione della massa rocciosa, la presenza di uno o più sistemi di superfici di separazione geologica ad elevato indice di continuità, può ridurre questo tipo di resistenza in direzione parallela al sistema, specie ove manchino condizioni di coazione di tipo triassiale (zona di parete e zone di spigolo della Rocca). Anche in direzione normale a questo sistema ma limitatamente alle zone corticali dell'ammasso, la resistenza può mettere in evidenza valori bassi.

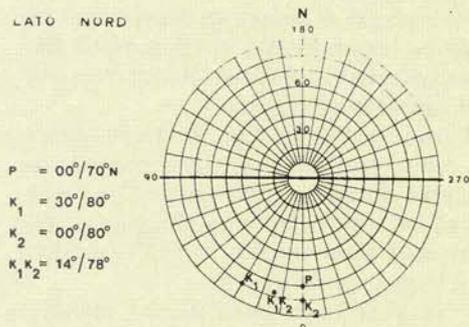
Il parametro evidenzia comunque mediamente una elevata resistenza della massa rocciosa alla compressione (come è d'altra parte testimoniata dai profili di equilibrio dei fronti) pur stabilendosi a livelli inferiori di quelli propri della resistenza del materiale.

Carotaggi eseguiti per 130 m complessivi di perforazione hanno permesso di evidenziare le caratteristiche fratturative della Rocca attraverso la rappresentazione ad istogramma del valore del parametro RQD (Rock Quality Designation) [Deere, 1964] (Figura 5).

Con gli stessi dati si è eseguita l'analisi statistica del numero di fratture al ml (Figura 6) che ha evidenziato una classe modale pari a ≈ 5 ÷ 7 fratture al ml e un andamento con coda verso i valori superiori.

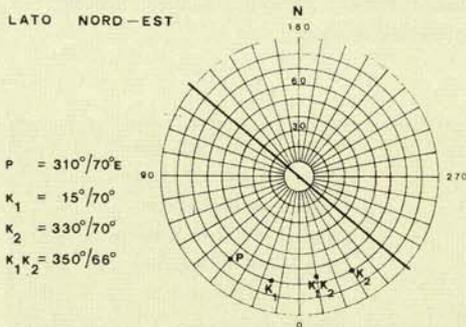
L'incrocio di questi dati ha altresì permesso di osservare la correlazione fra il numero di fratture al ml e il valore di RQD

**LATO NORD**



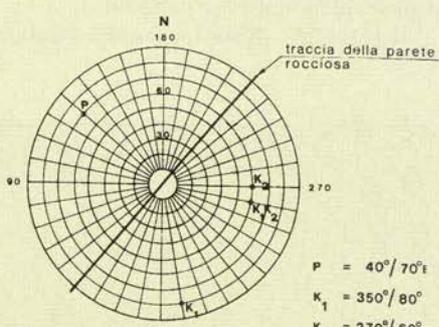
- P = 00° / 70°N
- K<sub>1</sub> = 30° / 80°
- K<sub>2</sub> = 00° / 80°
- K<sub>1,2</sub> = 14° / 78°

**LATO NORD-EST**



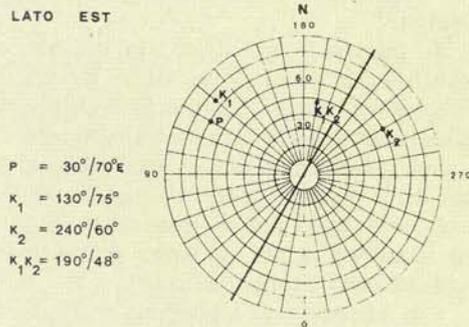
- P = 310° / 70°E
- K<sub>1</sub> = 15° / 70°
- K<sub>2</sub> = 33° / 70°
- K<sub>1,2</sub> = 35° / 66°

**LATO NORD-OVEST**



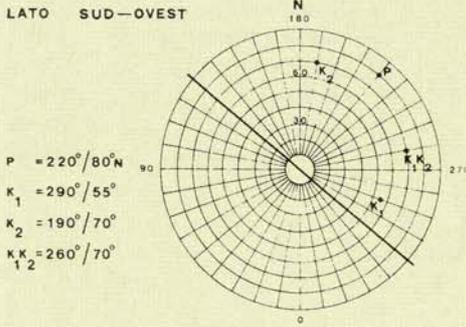
- P = 40° / 70°E
- K<sub>1</sub> = 35° / 80°
- K<sub>2</sub> = 27° / 80°
- K<sub>1,2</sub> = 28° / 60°

**LATO EST**



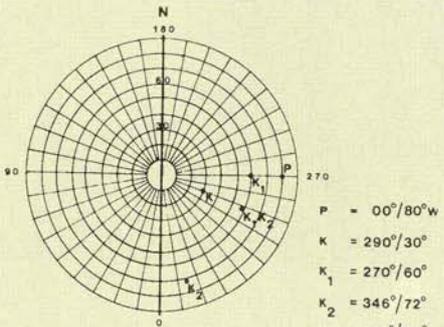
- P = 30° / 70°E
- K<sub>1</sub> = 130° / 75°
- K<sub>2</sub> = 24° / 60°
- K<sub>1,2</sub> = 19° / 48°

**LATO SUD-OVEST**



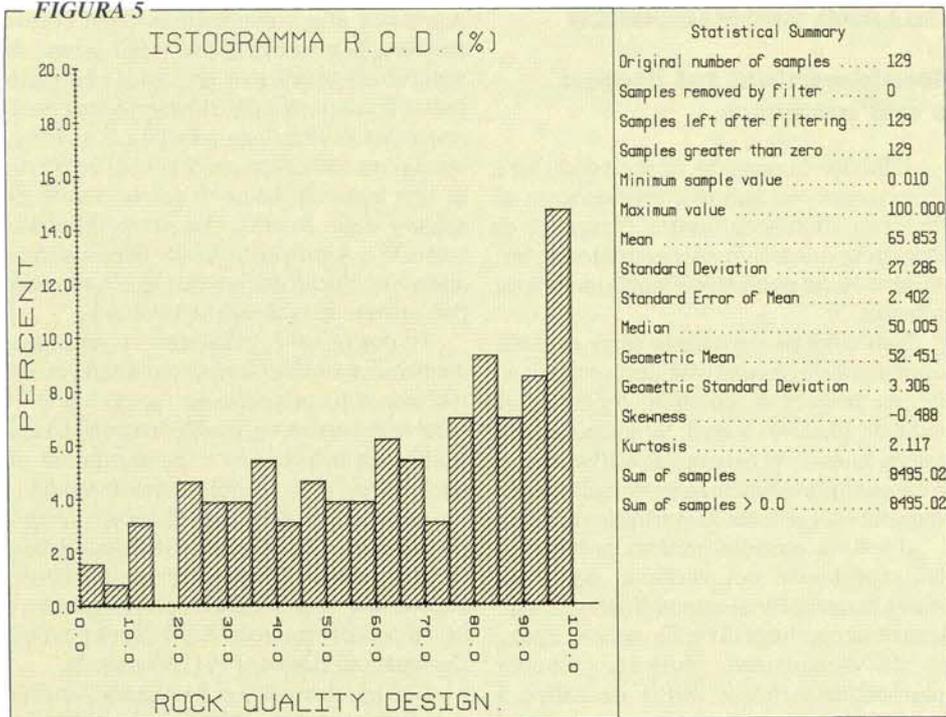
- P = 220° / 80°N
- K<sub>1</sub> = 290° / 55°
- K<sub>2</sub> = 190° / 70°
- K<sub>1,2</sub> = 260° / 70°

**LATO OVEST**



- P = 00° / 80°W
- K = 290° / 30°
- K<sub>1</sub> = 27° / 60°
- K<sub>2</sub> = 346° / 72°
- K<sub>1,2</sub> = 292° / 58°

FIGURA 5



(Figura 7). Attraverso l'utilizzo dei parametri relativi alla resistenza a compressione uniaassiale, l'RQD, la spaziatura delle fratture e le relative condizioni geomeccaniche, nonché le condizioni di umidità dell'ammasso, si è individuato il valore RMR (Rock Mass Rating) di Bieniawski [Bieniawski, 1984] che definisce la qualità dell'ammasso roccioso.

Il parametro RMR permette, attraverso

formulazioni riconosciute internazionalmente [Hoek & Brown, 1988], di individuare le curve intrinseche di resistenza al taglio che nel caso in oggetto (Figura 8) scaturiscono da valori di RMR pari a 68 e 58 (fascia intrinseca).

Nella stessa figura è riportata la retta intrinseca di resistenza al taglio della discontinuità ricavata statisticamente su materiali analoghi.

## Condizioni di stabilità della Rocca

Si esamina brevemente quali sono le cause che hanno minacciato e minacciano la stabilità delle pareti perimetrali della rocca.

L'instabilità delle pareti è riferibile generalmente a:

- la predisposizione di un versante a decomprimersi secondo determinate direzioni per la presenza di uno o più sistemi di discontinuità subparallele ai fronti e ad isolare volumi unitari configurati dall'intreccio delle diverse superfici di frattura;
- l'azione degli agenti atmosferici: dell'acqua (dilavamento, incrostazioni, spinte idrostatiche, ecc.), del vento e delle escursioni termiche;
- l'azione della vegetazione (effetto cuneo delle radici dentro alle fratture).

In particolare se si analizza il profilo tipo (Figura 9) della zolla calcarea si può osservare come:

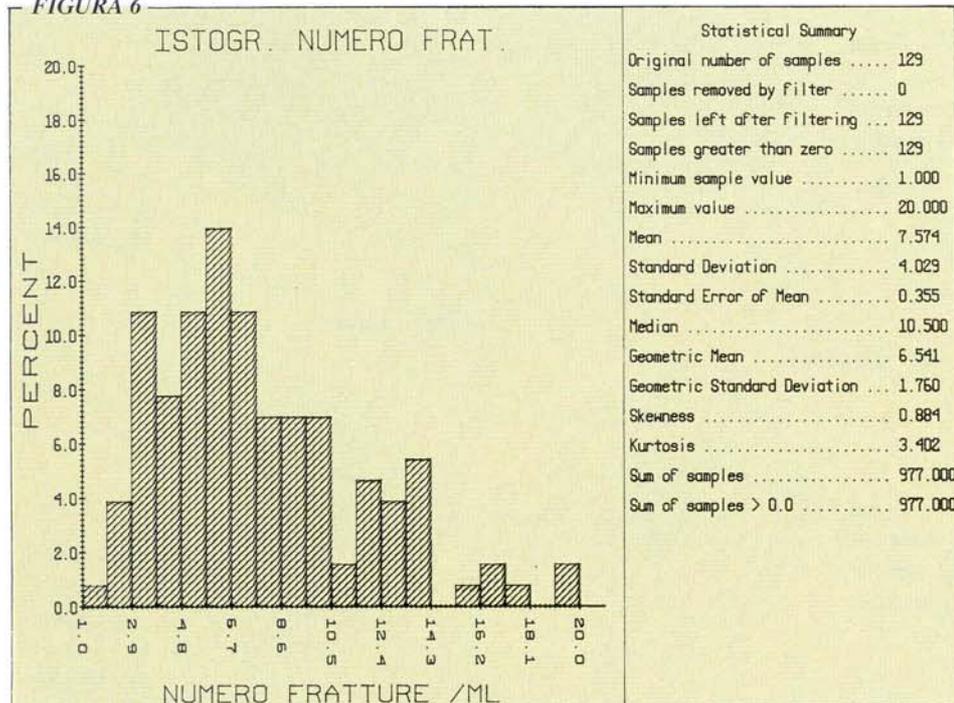
- la presenza di una abbondante coltre di detrito al piede delle pareti confermi la tendenza ad un progressivo allentamento e disfacimento delle pareti calcaree, quindi ai fenomeni evolutivi di cui sopra;
- la ricerca di un equilibrio naturale da parte del versante porti alla formazione di fratture di trazione del tipo (a) subparallele ai fronti liberi subverticali (nella parte alta delle pareti), come conseguenza di processi di progressiva decompressione;
- la presenza di sistemi di discontinuità di origine tettonica (tipo b) subparalleli alle pareti perimetrali possa facilitare i processi di decompressione stessa;
- l'azione combinata degli agenti atmosferici e delle vegetazioni in corrispondenza ai sistemi di minore resistenza dell'ammasso possa ridurre la resistenza al taglio, ai soli termini d'attrito residuo, fino all'instabilità dei singoli volumi unitari.

In definitiva tutto ciò si traduce nell'innesco sulle pareti rocciose di lenti fenomeni deformativi che, con progressione imprevedibile nel tempo e con carattere di irreversibilità, portano a collassi localizzati con conseguente crollo o caduta di volumi rocciosi.

A questo proposito è importante sottolineare come fino dalle prime osservazioni e rilievi si è potuto osservare che tali fenomeni evolutivi sono vistosamente in atto e come d'altra parte sia impossibile in casi del genere, prevedere i tempi di tale evoluzione, quindi fare previsioni attendibili sul momento in cui in futuro potranno verificarsi nuovi crolli o distacchi.

Ciò premesso si espongono i criteri secondo i quali si è proceduto nello studio di

FIGURA 6



stabilità e nella progettazione degli interventi di consolidamento e bonifica dei fronti calcarei sia sulla base delle informazioni raccolte, sia di quelle che si sono acquisite di volta in volta attraverso una adeguata campagna geognostica in fase esecutiva.

### Criteria di approccio allo studio di stabilità

Lo scopo principale dello studio di stabilità è stato quello di giungere alla stesura di «una mappa del livello dei rischi» (Figura 10a) sulla quale, attraverso una valutazione dei rischi relativi alla natura delle instabilità (10b), alle condizioni al piede delle pareti competenti a diverse situazioni morfologiche (10c) dei fronti, alla probabilità che le instabilità stesse si possano produrre, sono state raccolte indicazioni, sia sulle zone maggiormente soggette a condizioni di precaria stabilità, sia sui tipi di interventi di stabilizzazione che si sono ritenuti indispensabili alla loro risoluzione.

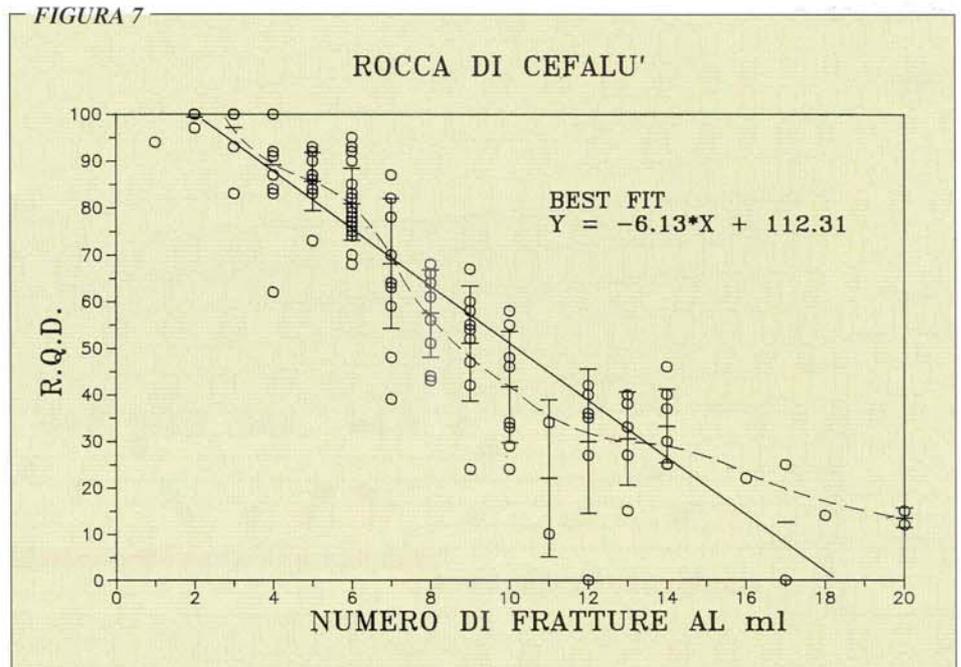
Come accennato, questo primo studio, condotto sulla base di semplici osservazioni e rilevamenti in sito, è stato integrato successivamente da una serie di dati ricavati dalle campagne geognostiche di dettaglio eseguite durante gli stralci funzionali esecutivi.

Esaminiamo ora in base a quali elementi si è giunti alla compilazione della «mappa del livello dei rischi».

#### a) natura delle instabilità:

sulla Figura 10b allegata, si sono analizzati i vari tipi di instabilità che si possono produrre sulle pareti classificandole sulla base della loro natura:

- A - caduta di pietre o blocchi per desquamazione o splaccaggio delle pareti;
- B - crollo per distacco di volumi rocciosi aggettanti sulla parte medio-bassa delle pareti;
- C - crollo per scivolamento di volumi rocciosi;
- D - crollo per distacco di volumi rocciosi aggettanti nella parte alta delle pareti;
- E - crollo per ribaltamento di volumi rocciosi parzialmente isolati in conseguenza di rottura al piede;
- F - caduta di pietre o blocchi dalla zona di coronamento della parete perimetrale;
- G - crollo di volumi rocciosi



isolati per ribaltamento conseguente a rottura al piede;

dove con crollo si è fatto riferimento a volumi rocciosi dell'ordine della decina di m<sup>3</sup> dove con caduta si è fatto riferimento a volumi rocciosi unitari dell'ordine del m<sup>3</sup> o a pietre dell'ordine del dm<sup>3</sup>.

Definiti così i vari tipi di instabilità si è passati alla valutazione del livello di rischio

che può comportare ciascuna delle tipologie analizzate, sulla base:

- 1) dell'entità dei volumi di roccia in gioco nelle diverse situazioni d'instabilità;
- 2) della giacitura e direzione dei piani di discontinuità delimitanti i volumi di cui sopra;
- 3) delle condizioni al piede dei volumi rocciosi esaminati.

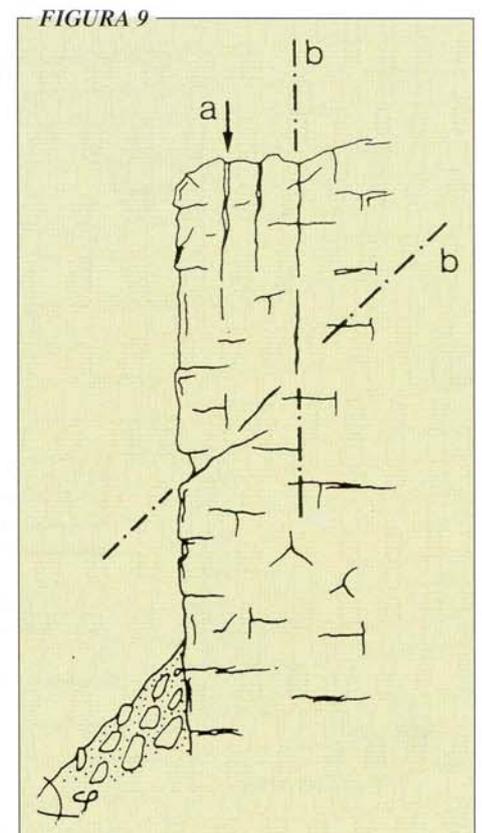
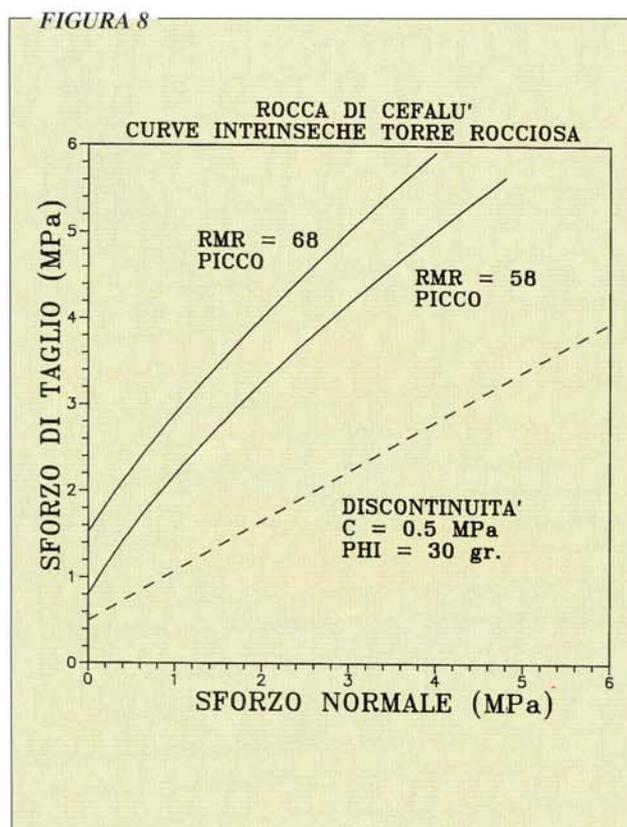
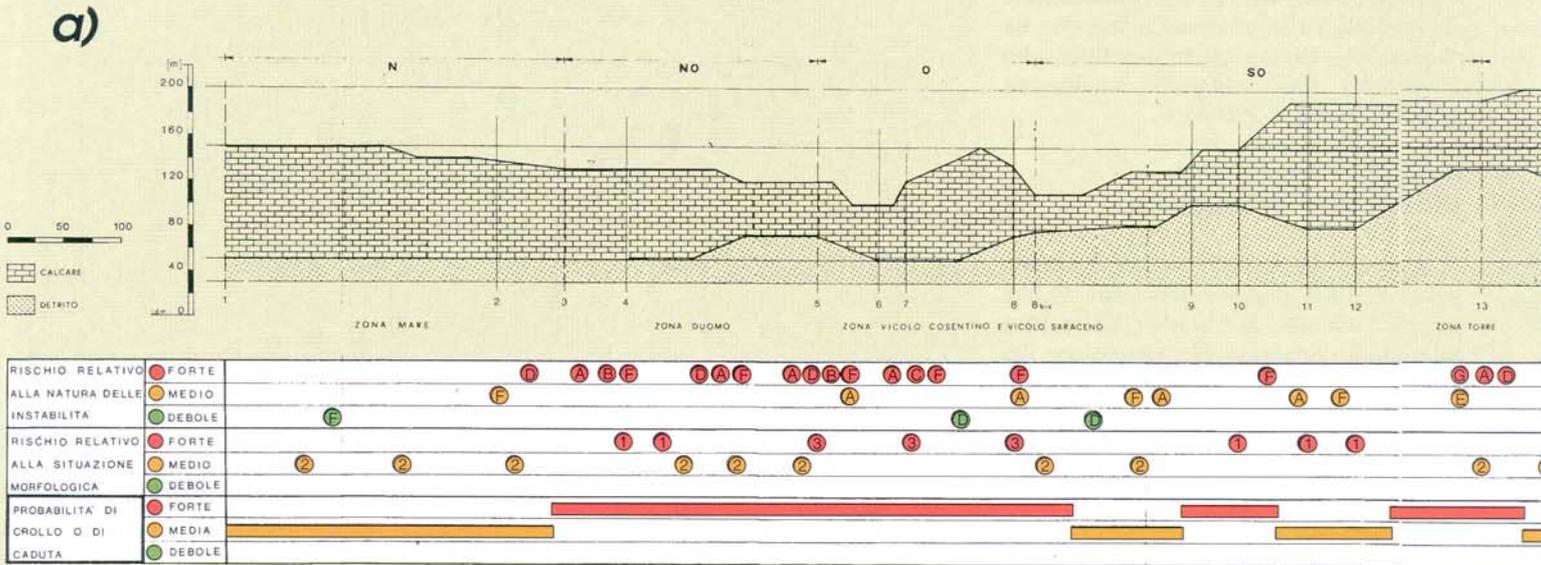
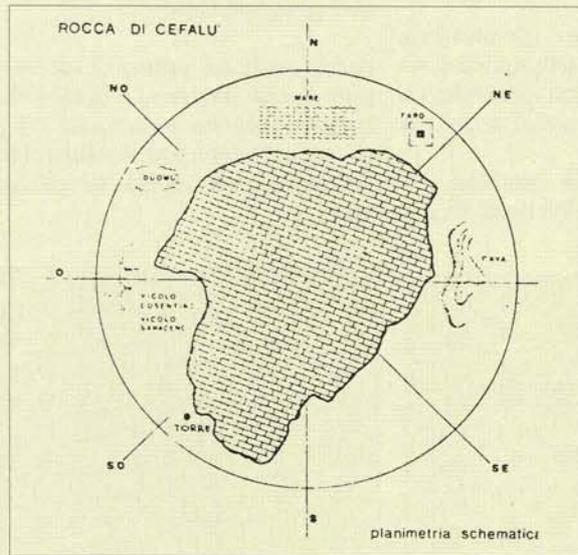


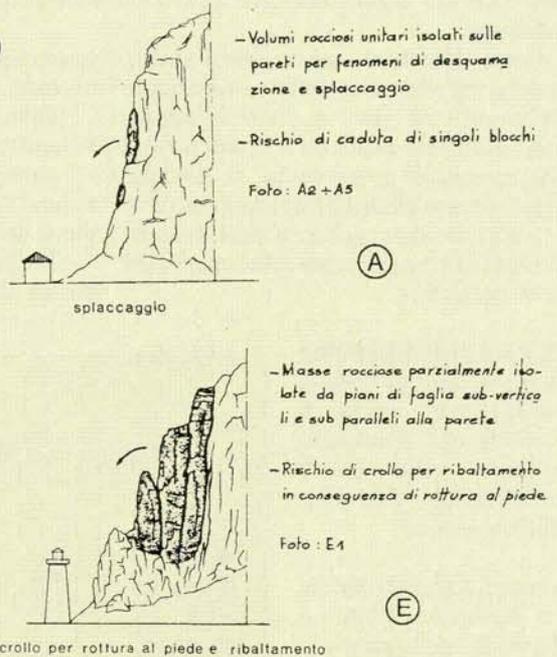
FIGURA 10



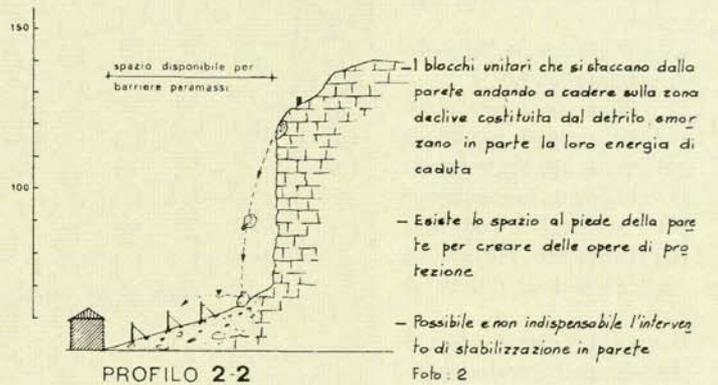
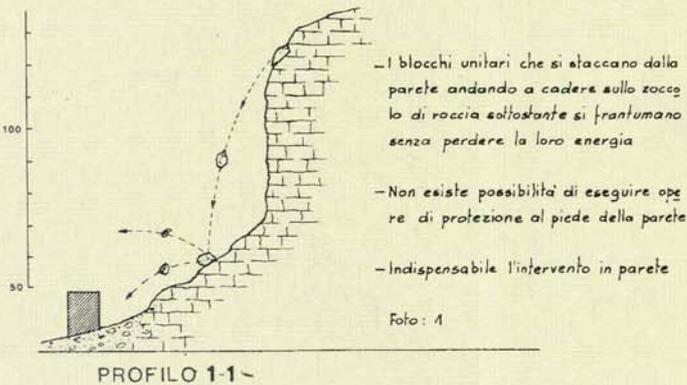
**SVILUPPO PROSPETTICO SCHEMATICO DELLA PARETE PERIMETRALE**

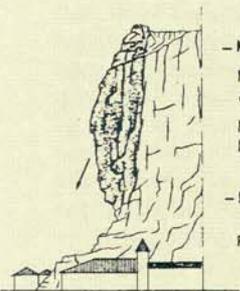
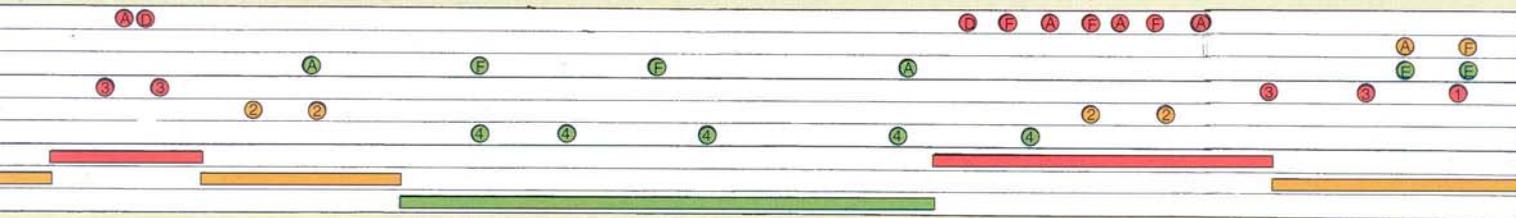
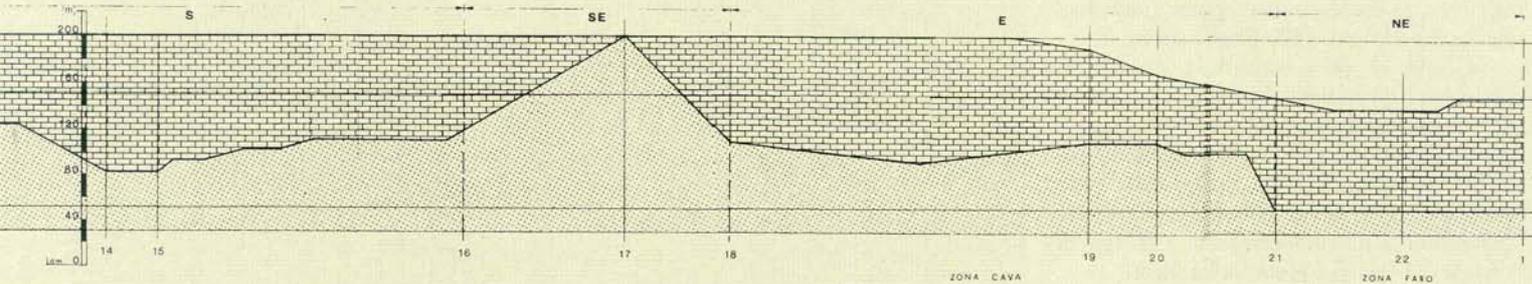


b)



c)





- Masse rocciose aggettanti nella parte medio bassa delle pareti delimitate da fratture di decompressione sub-verticali e sub-parallele alle pareti

- Rischio di crollo per distacco

Foto: B1-B2-B3

(B)

crolli per distacco



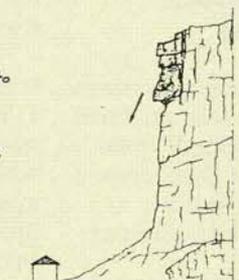
- Masse rocciose delimitate da superfici di discontinuità beanti orientate a frangipoggi rispetto alle pareti

- Rischio di crollo per slittamento

Foto: C1

(C)

crolli per slittamento



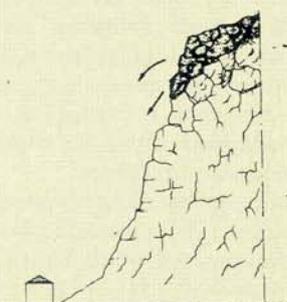
- Masse rocciose aggettanti nella parte alta delle pareti delimitate da fratture beanti di decompressione sub-verticali e sub-parallele alle pareti

- Rischio di crollo per distacco

Foto: D1-D3

(D)

crolli per distacco



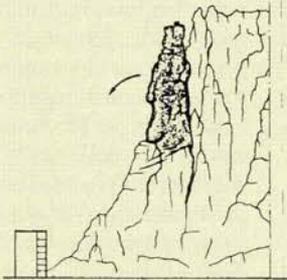
- Masse rocciose in corrispondenza al coronamento della roccia totalmente decomprese e suddivise in blocchi rocciosi unitari giustapposti

- Rischio di caduta di singoli blocchi

Foto: F1-F9

(F)

caduta di blocchi



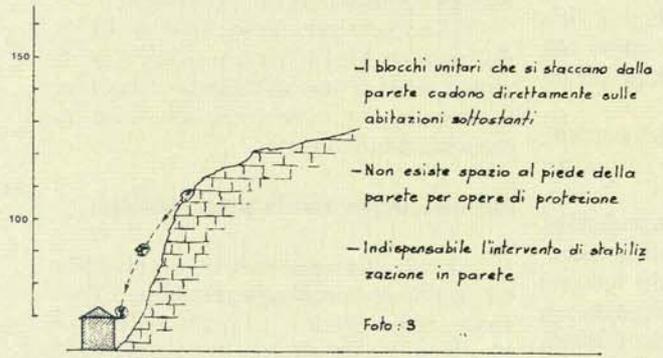
- Masse rocciose isolate da fratture beanti sub-verticali, parallele e normali alla parete

- Rischio di crollo per ribaltamento in conseguenza di rottura al piede

Foto: G1

(G)

crolli per rottura al piede e ribaltamento



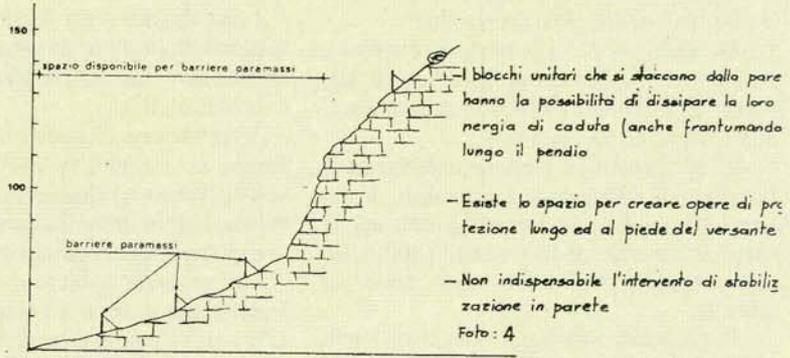
- I blocchi unitari che si staccano dalla parete cadono direttamente sulle abitazioni sottostanti

- Non esiste spazio al piede della parete per opere di protezione

- Indispensabile l'intervento di stabilizzazione in parete

Foto: 3

PROFILO 3-3



- I blocchi unitari che si staccano dalla parete hanno la possibilità di dissipare la loro energia di caduta (anche frantumando) lungo il pendio

- Esiste lo spazio per creare opere di protezione lungo ed al piede del versante

- Non indispensabile l'intervento di stabilizzazione in parete

Foto: 4

PROFILO 4-4

## Strade e Costruzioni

b) **Situazioni morfologiche relative alle condizioni al piede delle pareti:** sulla Figura 10C si sono analizzati i profili morfologici tipo che ricorrono con maggior frequenza lungo il perimetro della Rocca stessa.

Come si può notare, i profili si differenziano sostanzialmente per la natura e l'estensione della zona al piede della parete rocciosa. Il livello del rischio, in questo caso, è valutato sulla possibilità o meno di dissipare naturalmente o artificialmente con barriere paramassi ad alta deformabilità, l'energia di caduta di blocchi o pietre delle pareti.

c) **probabilità di crollo o di caduta di volumi rocciosi:** sulla Figura 10a unitamente ai risultati delle analisi ai punti a) e b), viene riportata una valutazione sulle probabilità che le forme di instabilità di cui sopra si possono verificare o meno.

### INTERVENTI DI BONIFICA E CONSOLIDAMENTO

Dall'esame delle valutazioni condotte sulla natura delle instabilità, sulle situazioni morfologiche, sulle probabilità di crollo o caduta di volumi rocciosi sono emerse importanti considerazioni in ordine a:

- zone maggiormente minacciate da crolli o cadute di volumi rocciosi;
- tempi di intervento;
- sistemi di intervento.

Dall'individuazione delle zone più critiche definite con la mappa del livello di rischio ne è scaturita la cronologia e la gerarchia degli interventi.

I sistemi di intervento invece sono stati ideati secondo criteri con i quali si è inteso operare:

- livello di rischio;
- natura delle instabilità;
- aspetto paesaggistico.

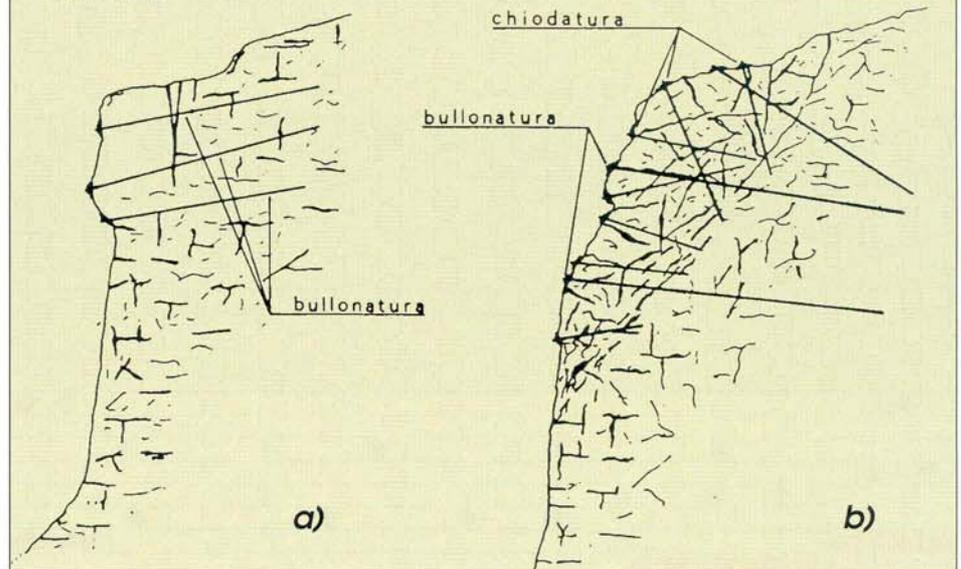
In particolare in funzione della natura e delle dimensioni delle masse instabili si è potuto operare attraverso:

- bonifica delle pareti, che prevede l'asportazione dei massi pericolanti;
- consolidamento dei volumi rocciosi in posto, che prevede, senza asportazione di materiale, l'ancoraggio delle quinte di roccia pericolanti alla retrostante roccia stabile.

Gli interventi di consolidamento hanno la funzione di stabilizzare l'ammasso, da un lato migliorando le caratteristiche meccaniche lungo le superfici di discontinuità, dall'altro conservandole là dove in natura sono già discrete.

In generale, nei singoli stralci funzionali che hanno composto l'intervento generale fino ad oggi, si è proceduto secondo uno schema ben definito di operazioni

FIGURA 11



razionalizzando in tal modo l'azione di bonifica e consolidamento globale della Rocca.

In particolare si è provveduto a sviluppare le fasi qui al seguito descritte:

- 1) ispezione in parete eseguita da persone specializzate per un primo rilevamento di dettaglio e messa in opera di dispositivi di misura per il controllo delle deformazioni;
- 2) posa su tutta la parete da stabilizzare di rete elettrosaldata fissata con chiodi speciali e cavi di acciaio tesi all'estremità del campione;
- 3) prefissaggio, mediante l'impiego di resine ed elementi in vetroresina, dei blocchi più pericolanti onde garantire uno stato di stabilità provvisoria durante la fase di perforazione per sondaggi o per ancoraggi;
- 4) esecuzione in parete di sondaggi orientati e carotaggi per lo studio delle fratture anche con l'ausilio della sonda Tv e l'individuazione dei volumi di roccia instabile, con l'impiego di impalcature o di gru speciali;
- 5) esecuzione dei consolidamenti: la raccolta degli elementi al punto 4) ha permesso di redigere il progetto esecutivo di consolidamento nei vari stralci funzionali quindi di definire:
  - il tipo di interventi sia dal punto di vista qualitativo (ancoraggi passivi e attivi) che quantitativo (intensità degli ancoraggi per m<sup>2</sup> e loro diametri);
  - l'orientazione di questi in funzione delle forme di instabilità previste (distacco, scivolamento, ribaltamento);
  - la loro importanza sulla base della profondità che gli stessi ancoraggi dovevano interessare.

In generale quando i volumi rocciosi instabili si presentavano come solidi omogenei (Figura 11a) compatti e privi di discontinuità, il fissaggio alla roccia stabile retrostante è avvenuto direttamente mediante bulloni o tiranti in acciaio, protetti da malte di cemento

antiritiro e di lunghezza adeguata; viceversa (Figura 11b) i volumi rocciosi sono stati legati tra di loro con chiodature corte e resina ai fini di ricreare una coesione d'insieme (roccia armata) quindi fissati all'ammasso omogeneo retrostante, con bulloni di dimensioni adeguate. Relativamente alla tipologia degli ancoraggi si è utilizzato, nella maggior parte dei casi, barre di acciaio di tipo passivo escludendo quelli di tipo attivo per non indurre nell'ammasso nuovi stati tensionali potenzialmente deleteri.

6) Sigillatura impermeabile delle fratture beanti con malta di resina o preferibilmente con malta di cemento antiritiro, sia per aumentare la resistenza al taglio lungo queste direttrici di minor resistenza, alleggerendo quindi il lavoro degli ancoraggi, sia per proteggere l'ammasso dall'azione chimico-fisica delle acque di percolazione.

Se poi, sul campione di parete prescelto per la stabilizzazione si riscontrava la necessità di eseguire delle operazioni di bonifica, quindi asportazione di piccoli massi, si è proceduto solamente se al piede della parete stessa risultava disponibile lo spazio sufficiente per creare delle opere di protezione adeguate tipo barriere paramassi ad alta deformabilità.

Tali barriere hanno avuto il duplice scopo di consentire, a breve termine, il disgiungimento di piccoli massi, a lungo termine di proteggere le abitazioni e le opere civili sottostanti da eventuali futuri distacchi.

### Alcuni interventi particolari

Alcuni settori della parte in cui sono state realizzate le opere di bonifica e stabilizzazione sono stati oggetto, in virtù delle loro caratteristiche morfologico strutturali, a interventi assai particolari che vengono al seguito illustrati.

## Parete su Vicolo Rosariello

Gli interventi realizzati in questa zona della parete riguardano un'area molto estesa caratterizzata dalla presenza di una grande cavità dovuta a fenomeni di carsismo (Foto 5).

Con particolare attenzione è stata esaminata la situazione geostrutturale della roccia che forma l'arco sovrastante la cavità e i piedritti sinistro e destro.

Sul piedritto sinistro e volta rocciosa, in base ad un esame visivo e ai sondaggi eseguiti e in fase di esecuzione sul piedritto sinistro, si è resa necessaria la realizzazione di una serie di ancoraggi passivi formati da una barra Dywidag 85-105 kg/mm<sup>2</sup> con diametro nominale Ø 26.5 mm iniettati con boiaccia antiritiro al fine di ricucire tra loro tutta una serie di superfici di discontinuità con giacitura Nord-Ovest ed immersione di  $\approx 60^\circ$  che dava luogo ad una serie di bancate di calcare potenti da qualche decimetro fino a qualche metro (Figura 12).

Inoltre, dall'esame di un sondaggio eseguito sulla parete, si è riscontrata a 3.5 m di profondità la presenza di una superficie di



FOTO 5

FIGURA 12

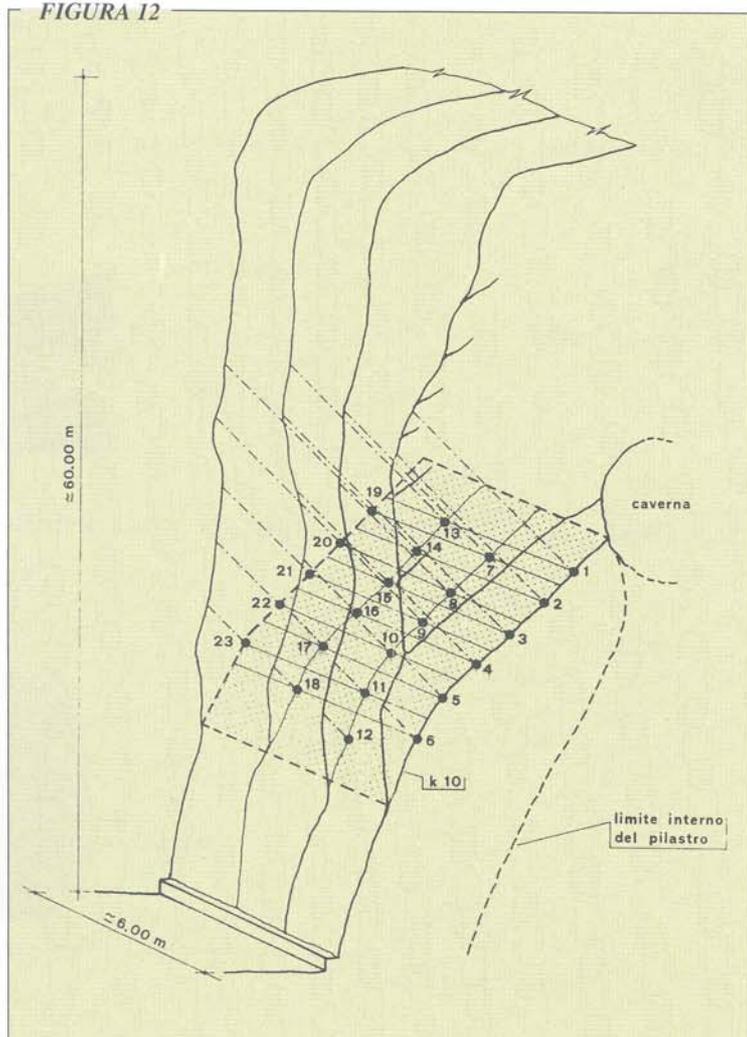
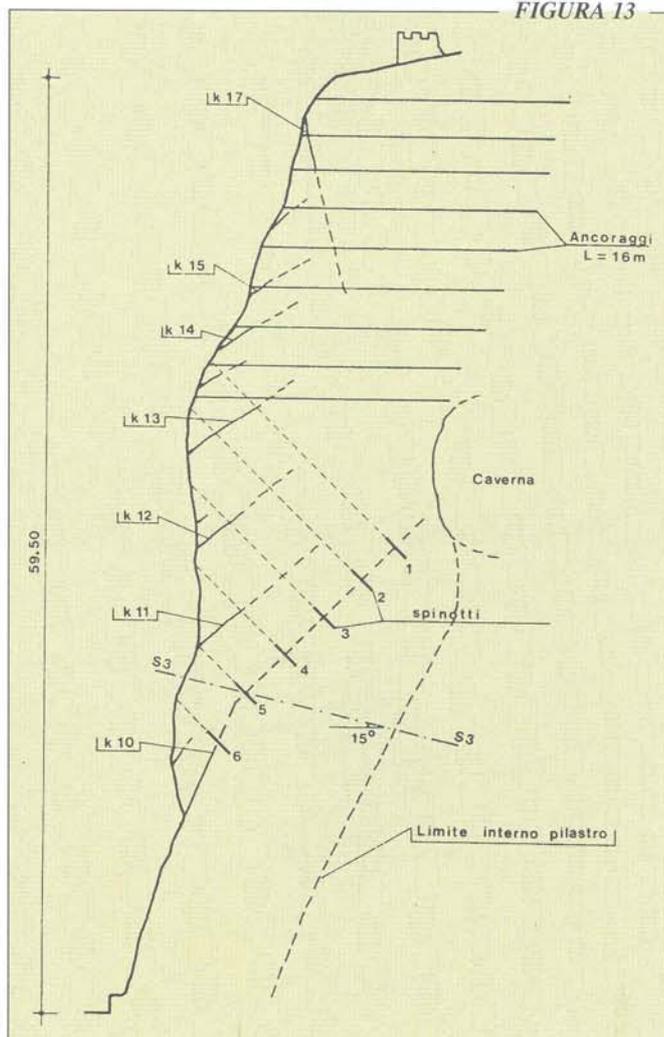


FIGURA 13



discontinuità che separa il piedritto della caverna per tutta la sua larghezza, in due parti che tendono a scivolare l'una sull'altra.

Al fine di riuscire a cucire tale discontinuità in corrispondenza dello spigolo si è fatto ricorso alla realizzazione di spinotti (Figura 13) costituiti da una barra di acciaio del diametro di 80 mm e della lunghezza di 2 m posizionati in corrispondenza della discontinuità mediante perforazione eseguita a rotazione del diametro di 100 mm. In una seconda fase si è proceduto sia all'intasamento del foro mediante boiaccia antiritiro, sia alla

messa in opera di una barra in acciaio di aderenza migliorata di diametro pari a  $\varnothing 30$  mm saldata allo spinotto che si estende per tutta la lunghezza del foro (Figura 14).

Le barre sono state calcolate in modo da dare un contributo resistente uguale alla sollecitazione di taglio indotta da un sovraccarico pari al 20% del volume di roccia sovrastante (per ottenere un coefficiente di sicurezza di  $F_s = 1.2$ ).

La realizzazione degli spinotti è stata effettuata mediante perforazione eseguita con un'inclinazione rispetto all'orizzontale di circa

45° in modo da assicurare l'ortogonalità delle barre rispetto alla giacitura della superficie di discontinuità.

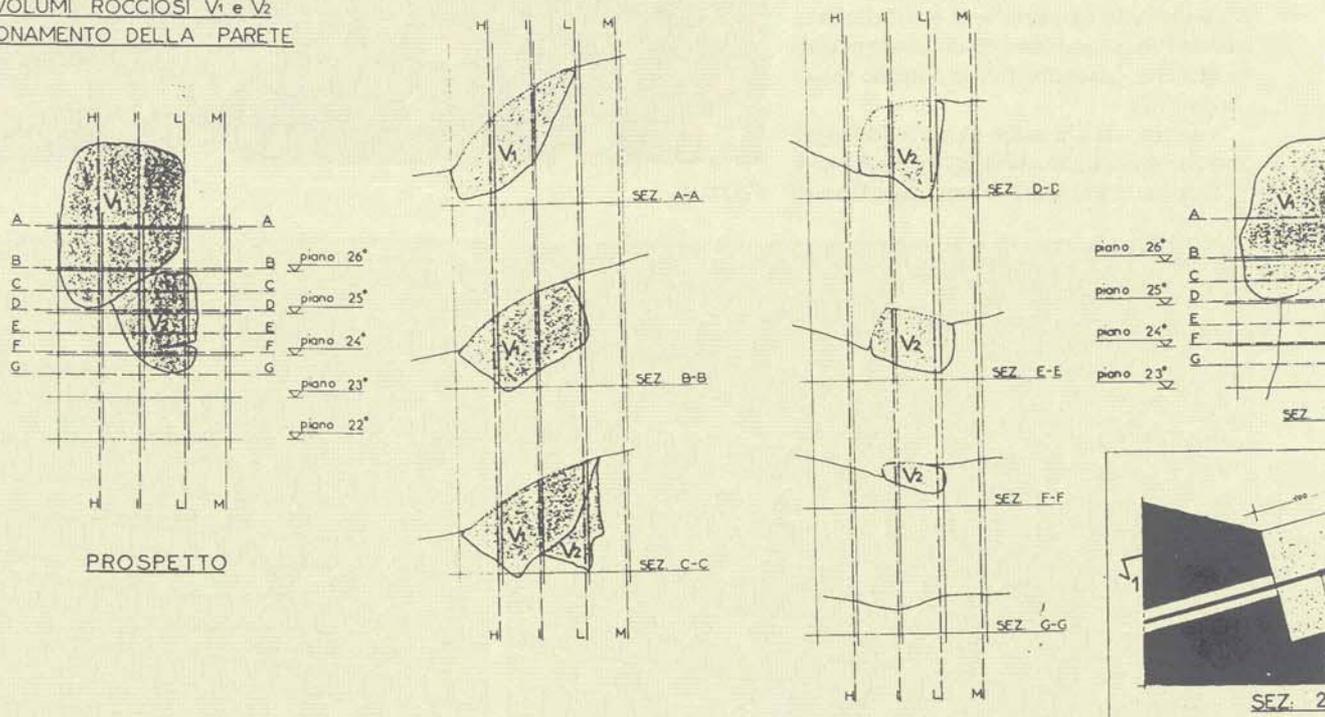
## Parete sovrastante il percorso pedonale

La zona sovrastante il percorso pedonale, ricadente sempre nell'area occidentale della parete rocciosa della Rocca presentava, all'accesso in parete a mezzo di ponteggi, un alto grado di suddivisione della massa rocciosa e la presenza di due grossi volumi

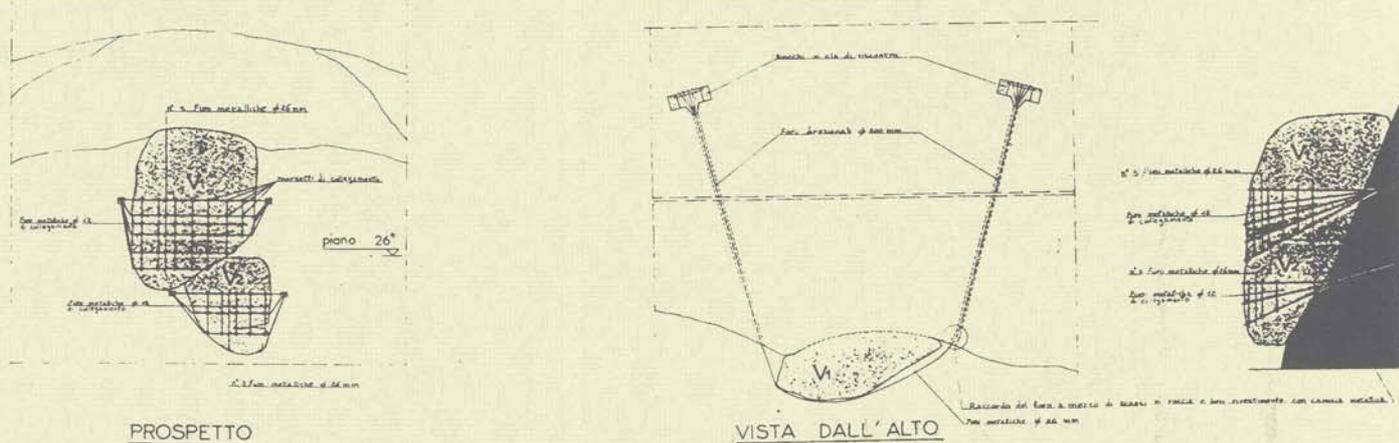
FIGURA 15

### RILIEVO, SCHEMA DELLE OPERE PROVVISORIE E DEL CONSOLIDAMENTO DEI VOLUMI ROCCIOSI V1 E V2 POSTI AL CORONAMENTO

RILIEVO DEI VOLUMI ROCCIOSI V1 e V2 POSTI AL CORONAMENTO DELLA PARETE



SCHEMA DELLE OPERE PROVVISORIE PER EFFETTUARE IN SICUREZZA IL CONSOLIDAMENTO DEI VOLUMI ROCCIOSI V1 e V2



rocciosi V1 e V2, di notevoli dimensioni, completamente disarticolati e in precarie condizioni di equilibrio, tali da richiedere la costruzione di una serie di opere provvisorie per poter procedere in sicurezza al successivo intervento di consolidamento. Tali opere, provvisorie e definitive (Figura 15) sono state realizzate nella successione esposta e sono consistite in:

- esecuzione di fori direzionali  $\varnothing$  200 mm mediante attrezzatura di perforazione a rotazione, dalla sommità del coronamento verso la parete rocciosa, e opportunamente

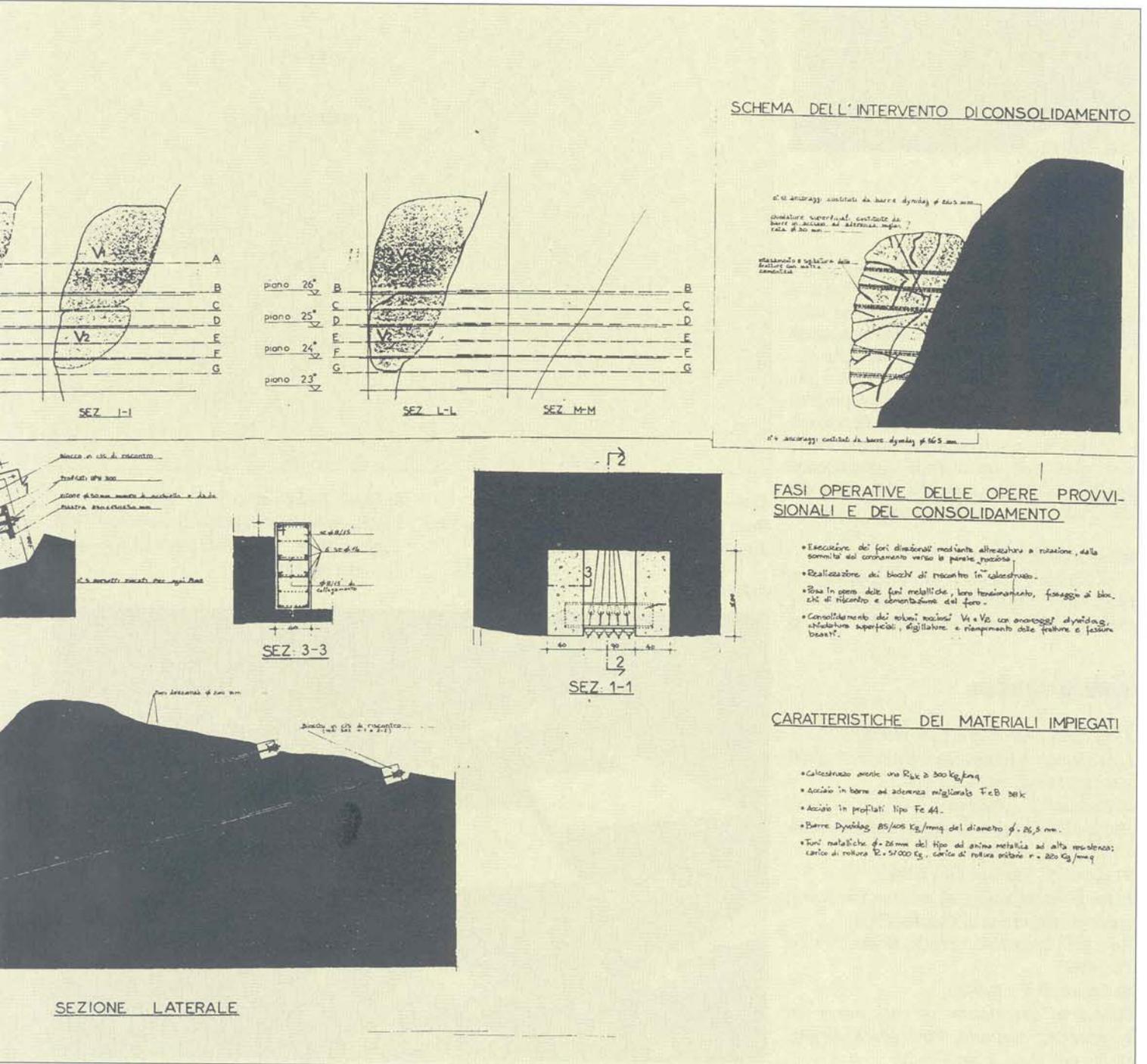
ubicati in posizione laterale rispetto ai volumi V1 e V2 da consolidare;

- realizzazione di blocchi di calcestruzzo (Foto 6) con profilati metallici, UPN 300, annegati al loro interno per il bloccaggio delle funi metalliche;

- messa in opera di funi  $\varnothing = 26$  mm (Foto 7), del tipo ad anima metallica ad alta resistenza (carico di rottura  $R = 56.000$  kg., carico di rottura unitaria  $R = 220$  kg/mm<sup>2</sup>), mediante l'introduzione di queste all'interno dei fori direzionali, loro tensionamento, eseguito per gradi nel costante controllo della strumentazione,

fissaggio ai blocchi di calcestruzzo e successiva cementazione del foro;

- consolidamento con ancoraggi costituiti da barre Dywidag della lunghezza di 15 m, chiodature superficiali a mezzo di barre Fe B 38 K ad aderenza migliorata,  $l = 4$  m, sigillature e riempimento con malta di tutte le fratture e fessure beanti, sia per aumentare la resistenza al taglio lungo queste direttrici di minor resistenza, alleggerendo così il lavoro degli ancoraggi, sia per proteggere l'ammasso dall'azione chimico-fisica delle acque di percolazione.



SCHEMA DELL'INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO

FASI OPERATIVE DELLE OPERE PROVVISORIE E DEL CONSOLIDAMENTO

- Esecuzione dei fori direzionali mediante attrezzatura a rotazione, dalla sommità del coronamento verso la parete rocciosa.
- Realizzazione dei blocchi di riscontro in calcestruzzo.
- posa in opera delle funi metalliche, loro tensionamento, fissaggio ai blocchi di riscontro e cementazione del foro.
- Consolidamento dei volumi rocciosi V1 e V2 con ancoraggi dywidag, chiodature superficiali, sigillature e riempimento delle fratture e fessure beanti.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

- Calcestruzzo aresic una  $R_{ct} \geq 300$  kg/cm<sup>2</sup>
- Acciaio in barre ad aderenza migliorata Fe B 38 K
- Acciaio in profilati tipo Fe 44
- Barre Dywidag 85/105 Kg/mm<sup>2</sup> del diametro  $\varnothing = 26,5$  mm.
- Funi metalliche  $\varnothing = 26$  mm del tipo ad anima metallica ad alta resistenza: carico di rottura  $R = 57.000$  kg., carico di rottura unitaria  $r = 220$  Kg/mm<sup>2</sup>

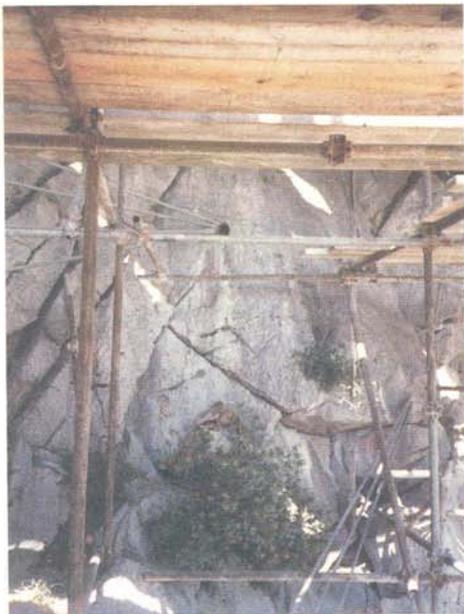


FOTO 7

## CONCLUSIONI

La Rocca di Cefalù manifesta da tempo segni di ammaloramento statico costituiti da dissesti gravitativi che si sviluppano sulle pareti laterali sottoforma di crollo e caduta di volumi rocciosi di dimensione variabile.

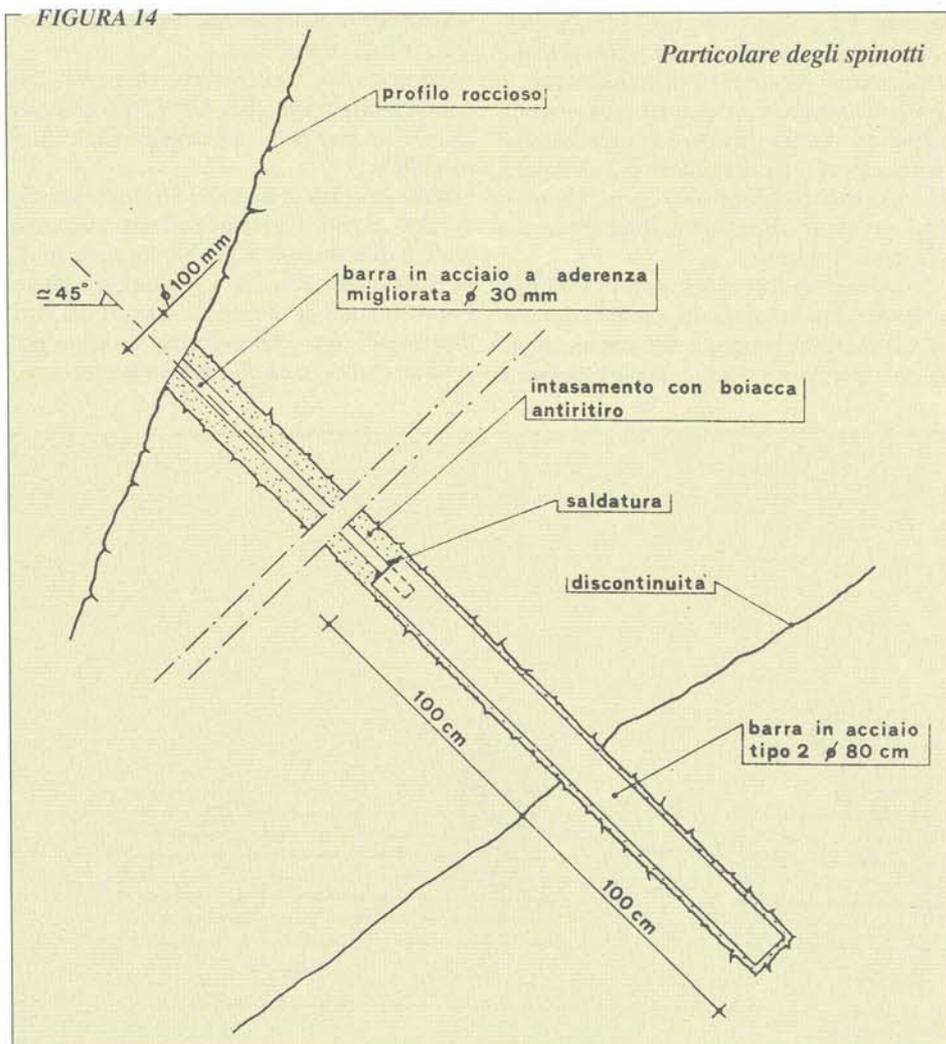
La presente memoria relazione sinteticamente gli studi, le indagini e i progetti eseguiti per successivi stralci funzionali esecutivi necessari alla risoluzione delle instabilità nell'ottica della sistemazione generale della Rocca e della rimozione dei rischi per la pubblica incolumità.

### Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Dott. Geol. P.Froldi per la collaborazione prestata nella stesura dell'articolo. ■

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Grasso, Lentini, Vezzani, (1978): *Lineamenti stratigrafico strutturali delle madonie*. Geol. Romana, vol. 17.
- 2) Broquet, P., (1968): *Etude geologique de la region des Madonies - These Fac. Sc. Lille*.
- 3) Crimi P., Ventura G., (1990): *Studi geomorfologici di un tratto di fascia costiera della zona di Cefalù (PA)*. Atti VII Congr.Naz. O.N.G., Roma, 25÷27/10/1990.
- 4) Deere, D.V. (1964): *Technical description of rock cores for engineering purposes*. Rock Mech. Engng. Geol., vol. 1, no. 1, pp. 17÷22.



5) Bieniawski, Z.T. (1984): *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*. Balkema. Boston.

6) Hoek, E & Brown, E.T. (1988): *The Hoek & Brown Failure Criterion. A 1988 Update, Proc. 15th Rock Mech Symposium, Toronto, pp. 31÷38.*

FOTO 6

