

# SALVATAGGIO DEI TEMPLI DI ABU SIMBEL

*Applicazioni speciali di resine sintetiche che hanno  
consentito la rimozione dei templi.*

Omaggio della



ING. GIOVANNI RODIO & C.  
IMPRESA COSTRUZIONI SPECIALI S. p. A.

# Salvataggio dei templi di Abu Simbel

Applicazioni speciali di resine sintetiche che hanno consentito la rimozione dei templi.

dott. ing. Achille Balossi Restelli \*

*Il problema più impegnativo e tecnicamente più difficile da risolvere, per il salvataggio dei templi della Nubia, è stato quello relativo ai templi rupestri di Abu Simbel, la cui importanza storica e artistica può considerarsi eccezionale.*

*Il maggiore dei due templi, dedicato ad Ammon e ad Harmakis, si presenta come una gigantesca parete di roccia larga quasi 40 m e alta 32 m, modellata in una sequenza di 4 statue colossali di Ramsete II e coronata da una fascia di 22 cinocefali seduti. L'interno del tempio, scavato nella roccia, è composto da una grande sala divisa in 3 navate da pilastri cui si addossano figure simboliche di Osiride; seguono il santuario, 3 piccole celle e ambienti irregolari più bassi. I muri sono ornati da bassorilievi celebranti le gesta guerresche del Faraone. Il tempio minore, situato a 100 m di distanza, ripete nella facciata ornata di 6 statue racchiuse entro nicchie e nella sala a 6 pilastri lo stesso schema.*

*Per la salvaguardia di tali splendide testimonianze di civiltà, le imprese consociate: Grands Travaux de Marseille di Parigi — Hochtief di Essen — Impregilo di Milano — Skanska e Sentab di Stoccolma — Atlas del Cairo — Ing. Giovanni Rodio e C. di Milano, hanno realizzato un'opera di alto valore tecnico e di grande originalità, che può ben definirsi uno dei più coraggiosi e intelligenti interventi che siano stati concepiti nel campo dell'archeologia. Nella nota che segue vengono descritti i lavori di rinforzo dell'arenaria e i trattamenti superficiali della roccia eseguiti con resine sintetiche.*

## Premessa

La fantastica storia dell'operazione di salvatag-

gio dei templi rupestri di Abu Simbel è cominciata in un certo senso il 9 gennaio 1960, quando le prime mine intaccarono il granito nei pressi della prima cateratta del Nilo, ad Aswan. Quel giorno tutti si resero conto che la nuova grande diga di Saad el Aali, impostata in quella roccia granitica, sarebbe ben presto divenuta realtà. La nuova diga, nel giro di sette-otto anni al massimo, avrebbe fatto salire le acque del Nilo di ben 64 m (dalla quota di 119 m sul mare della vecchia diga di Aswan, alla quota di 183 m).

Stava per nascere un gigantesco lago artificiale, una riserva d'acqua di 157 miliardi di metri cubi (invaso come importanza secondo nel mondo): riserva preziosissima per l'Egitto, di vitale importanza per la sua futura evoluzione economica; basti pensare che la superficie coltivabile sarebbe aumentata, con lo sfruttamento delle nuove acque accumulate, di ben 800.000 ettari di suolo, ora completamente arido (tale superficie è pari a circa il 25% del terreno fino ad oggi sfruttabile dall'agricoltura su tutto il territorio della RAU).

La piantina della fig. 1 mostra la posizione della diga di Saad el Aali e il bacino sotteso dalla stessa: il lago artificiale sarebbe venuto ad avere una lunghezza di 500 km e una larghezza oscillante tra i 10 e i 25 km. Se da una parte la grande opera avrebbe aperto all'economia egiziana nuove prospettive, dall'altra la RAU stessa e il mondo intero sarebbero stati privati di opere d'arte di inestimabile valore, nel caso non fossero stati presi provvedimenti per il loro salvataggio. Le acque del nuovo lago avrebbero infatti inesorabilmente sommerso una ventina tra antichi templi e tombe sparsi lungo i 500 km a monte della diga, monumenti testimoni ed eredità di una mezza dozzina di

\* della Ing. G. Rodio & C. S.p.A.

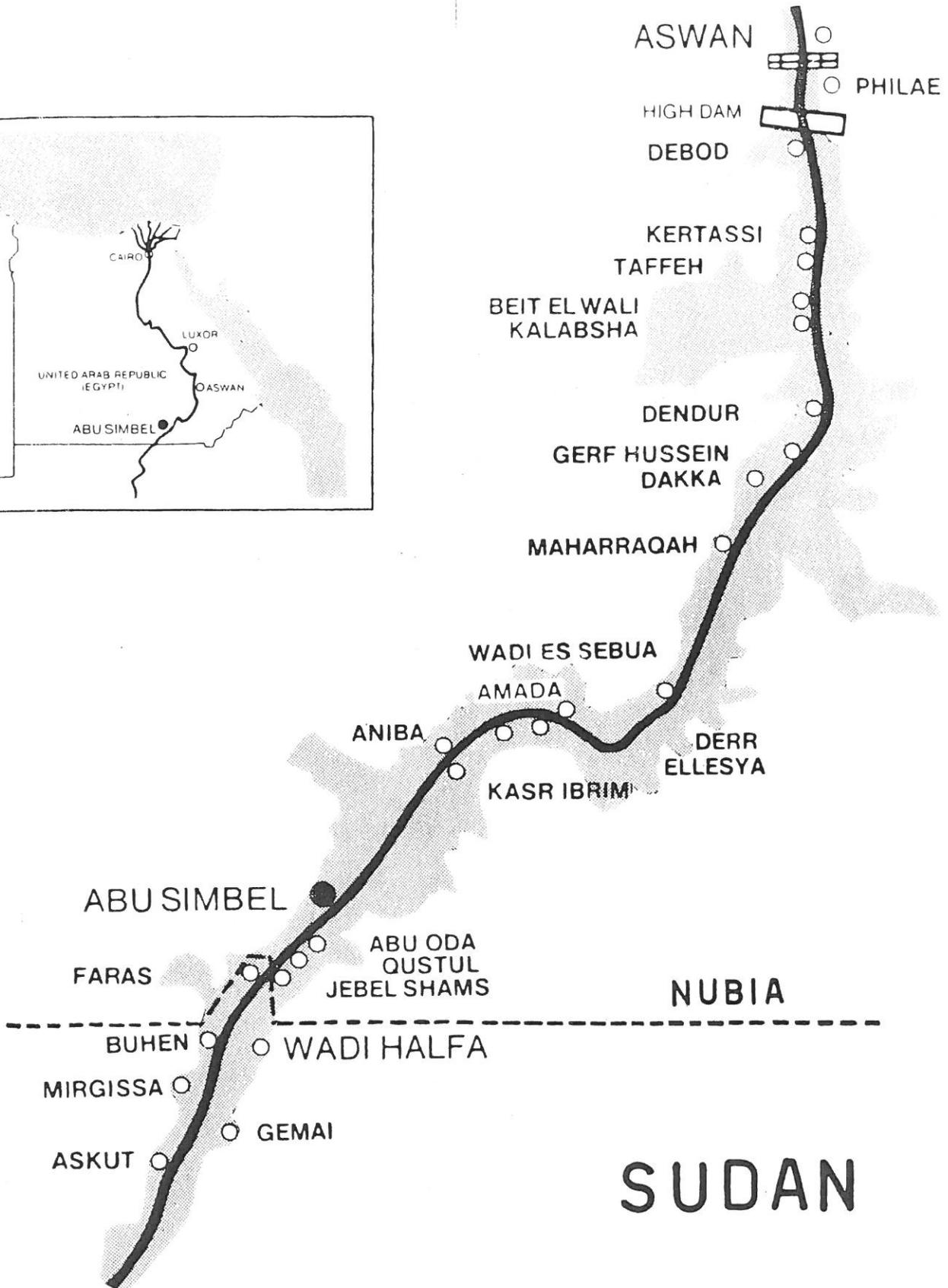
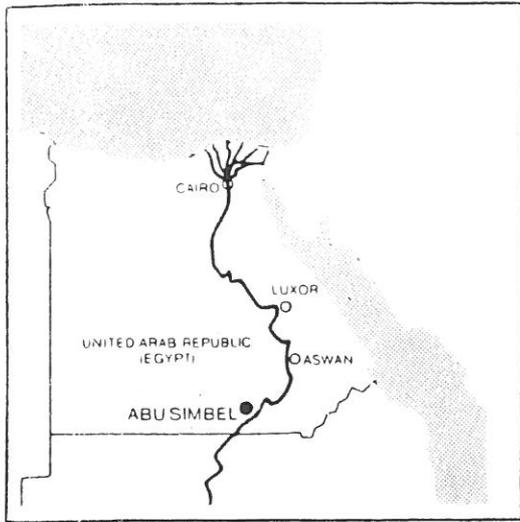


Fig. n. 1 - Piantina dell'Egitto e particolare della zona dei monumenti sulle rive del Nilo, a monte di Aswan.

culture e civiltà. Particolare di un certo interesse è che, sebbene la zona interessata dall'invaso fosse per gran parte desertica, sulle rive del Nilo vivevano ancora circa 150.000 nubiani; per alcuni di essi, scacciati dalle successive sovraelevazioni della vecchia diga di Aswan, quest'ultimo sarebbe stato il quarto esodo dall'inizio del secolo.

Da quanto sopra può ben capirsi la complessità dei problemi originati dalla realizzazione della grande diga, problemi che si venivano a sommare a quelli connessi con la costruzione stessa di un'opera di proporzioni così eccezionali. Appare altrettanto chiaro come la RAU con le sue sole forze fosse ben lungi dal poter affrontare e risolvere operazioni tanto complesse e costose.

Per questo l'Egitto rivolse un appello all'UNESCO, che in risposta si fece depositaria e organizzatrice di un'operazione internazionale di salvataggio. Un lungo e meticoloso lavoro di rimozione ebbe allora inizio. Il tempio di Kalabsha, costruito in elevazione, fu rimosso pietra per pietra e nuovamente eretto in vista della grande diga al di sopra del livello del futuro lago; il prezioso piccolo tempio di Amada con i suoi dipinti sulla superficie esterna, dopo essere stato sottofondato con una rigida platea, fu trascinato su rotaie per 2,6 km fino a un'altura soprastante il lago; per il tempio-isola di Philae, la *perla d'Egitto*, fu deciso di apprestare una protezione sul posto con rilevati e sbarramenti di sabbia. Altri monumenti di inestimabile valore archeologico furono oggetto di lavori simili ai precedenti. In fig. 1 è indicata la posizione di quelli di: Debod, Kertassi, Beit El Wali, Dendur, Dakka, Wadi Es Sebua, Jebel Shams, Buhen, Semna.

C'era un solo punto della Nubia dove, a tre anni dallo scoppio delle prime mine della diga di Aswan, i lavori non erano ancora iniziati e le discussioni sulla tecnica da adottare non avevano portato ancora ad alcuna conclusione pratica: Abu Simbel con i suoi due famosi templi scavati nella collina di arenaria rosata, 280 km a monte di Aswan.

### I templi di Abu Simbel e il progetto del loro salvataggio

Le fotografie n. 2 e n. 3 mostrano rispettivamente le facciate del grande e del piccolo tempio, gioielli dell'arte faraonica, fatti costruire sotto la XIX dinastia da Ramsete II. Tredici secoli

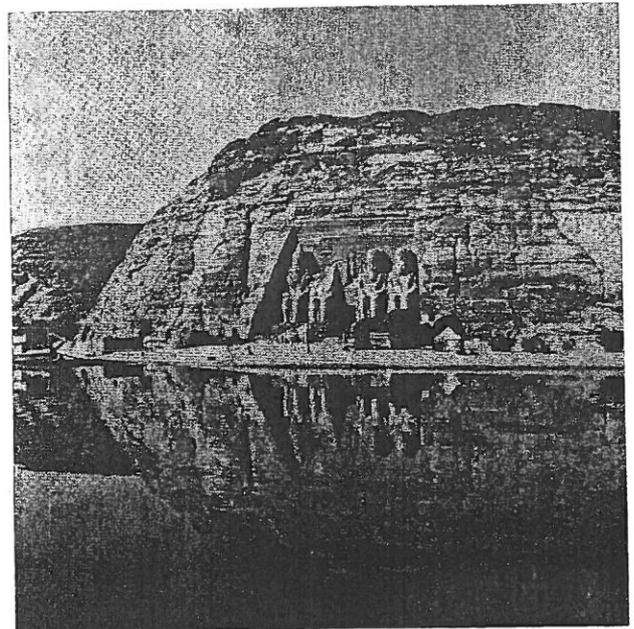


Fig. n. 2 - La facciata del grande tempio di Abu Simbel fatto costruire da Ramsete II della XIX dinastia, nel 1.250 a.C.. Fotografia eseguita prima dei lavori.

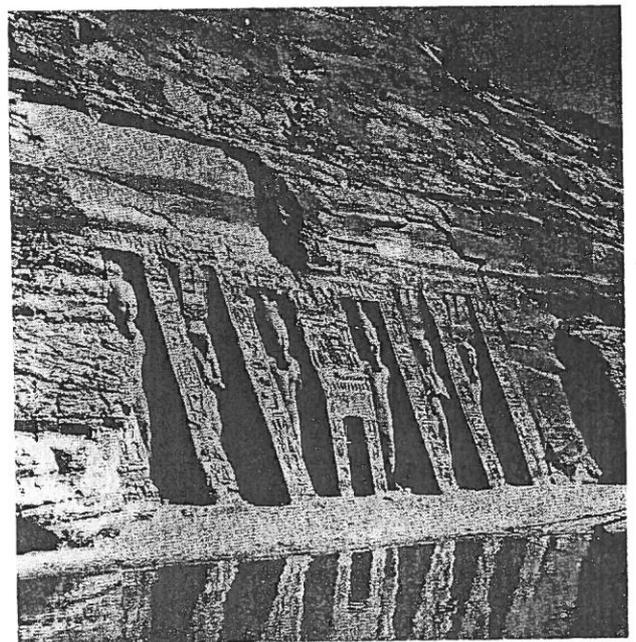


Fig. n. 3 - La facciata del piccolo tempio di Abu Simbel. Il tempio fu dedicato da Ramsete II alla propria sposa, regina Nefertari.

avanti Cristo furono ricavate nell'arenaria le enormi 4 statue della facciata del grande tempio dedicato dal faraone agli Dei dell'impero e alla propria immagine divinizzata e le 6 statue a guardia del piccolo tempio fatto erigere in onore della *grande sposa reale*, la regina Nefertari. Nell'interno della collina furono scavate numerose grandi sale, celle più piccole, furono ricavati grandi pilastri, intagliate statue; le pareti di roccia e i soffitti furono tutti ornati con bassorilievi e graffiti, spesso colorati, che rappresentavano episodi della vita di Ramsete II.

La fotografia n. 4, ad esempio, mostra il particolare di un bassorilievo della sala-corte del grande tempio: Ramsete II, calpestando un avversario, sta per trafiggere con la sua arma un altro guerriero. Nella foto n. 5 appare una delle statue ricavate all'interno del grande tempio: la figura fa corpo unico con un pilastro della sala-corte. La fotografia n. 6 mostra un particolare del pannello consacrato alla battaglia

di Kadesh (parete della sala-corte del grande tempio). Ramsete II, in statura eroica, riceve le visite degli altri dignitari.

Impossibile in questa sede fare una descrizione, sia pure breve, dei tesori racchiusi nei templi: rimandiamo in particolare al bel volume *Il Mondo salva Abu Simbel* scritto da Chr. Desroches-Noblecourt e Georg Gester, edito dalla A.F. Koska di Vienna-Berlino.

I motivi che avevano originato l'incertezza sulla soluzione da adottare o addirittura il dubbio che un intervento di salvataggio potesse avere pratica possibilità di riuscita in tempo utile, erano essenzialmente i seguenti:

- la situazione particolare dei due templi completamente scavati in una collina costituita da arenaria molto fragile
- le dimensioni eccezionali dei monumenti (75.000 m<sup>3</sup> il volume interno del grande tempio)
- il poco tempo a disposizione in quanto la costruzione della diga di Saad El Aali conti-

Fig. n. 4 - Particolare della decorazione di una parete della sala-corte del grande tempio. Ramsete II in battaglia.



nuava a ritmo serrato ed era previsto che le acque del Nilo, già nell'inverno del 1964/65, raggiungessero il livello 127,5 m e l'anno successivo 133 m sul livello del mare: la base del piccolo tempio di Abu Simbel era a 120,2 m sul livello del mare.

Grandi difficoltà tecniche e di ordine finanziario avevano originato fra ingegneri, archeologi ed enti finanziatori di tutto il mondo dissensi tali da far ritenere a un certo punto che la salvezza per i due capolavori dell'arte faraonica non vi sarebbe mai stata. Fra i progetti più disparati, quelli che maggiormente furono presi in considerazione furono i seguenti:

— il progetto *Coyne-Bellier* francese, che prevedeva la costruzione di uno sbarramento di roccia e sabbia, alto 80 m, tutt'attorno ai templi per isolarli dalle acque;

— il progetto italiano della *Italconsult* che, su suggerimento del Prof. P. Gazzola, proponeva il sollevamento di ciascuno dei due templi in un sol blocco, dopo averli isolati mediante trincee dalla collina che li conteneva. Il sollevamento per 65 m sarebbe stato realizzato mediante martinetti che avrebbero agito sotto una piattaforma in cemento armato precompresso costruita alla base di ciascun tempio. Era stato previsto l'impiego di 440 martinetti per il grande tempio (il cui peso era di 265.000 tonnellate) e 94 per il piccolo tempio (del peso di 55.000 tonnellate).

Ma anche questi due progetti non furono accettati: il primo per difficoltà di ottenere la tenuta perfetta della diga (indispensabile per evitare di imbibire e quindi degradare definitivamente l'arenaria fragile e porosa dei templi) ed anche per ragioni d'ordine estetico-paesaggistico; il secondo perché ritenuto troppo costoso (90 milioni di dollari).

— il progetto francese *A. Caquot* prevedeva che il sollevamento fosse ottenuto utilizzando l'aumento delle acque stesse del lago, facendo galleggiare i templi su enormi contenitori in calcestruzzo. Ma ormai mancava il tempo necessario per la messa a punto pratica di tale sistema.

Bisogna anche pensare che certe difficoltà avrebbero potuto essere superate in Europa, ben più difficilmente in Nubia dove influivano la

lontananza da centri di approvvigionamento (1.400 km dal Cairo), l'assenza di mezzi di trasporto (dovuta alla non esistenza di strade) e di manodopera specializzata.

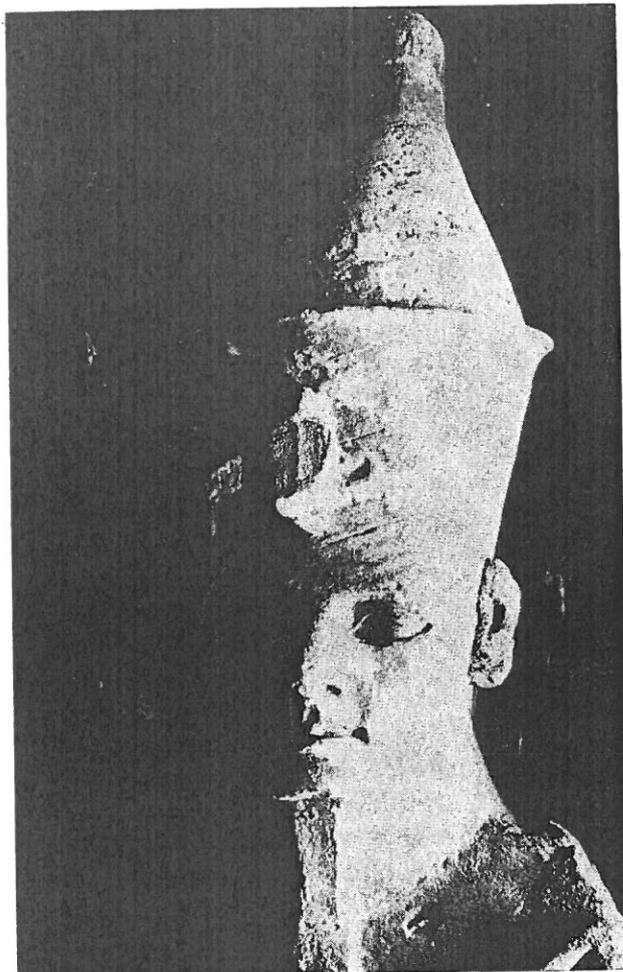
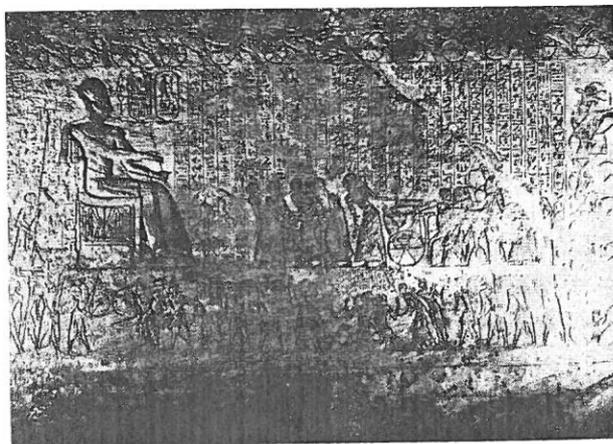


Fig. n. 5 - Una delle statue intagliate nella roccia, nell'interno del grande tempio.

Fig. n. 6 - Bassorilievo di parete. Apoteosi della battaglia di Kadesh.



Finalmente con senso assai realistico nel giugno del 1963 l'Egitto e l'UNESCO decisero di adottare un progetto più semplice e meno costoso (25 milioni di dollari) ideato dal ministero della cultura della RAU. Tale progetto comportava il sezionamento dei templi e delle pareti di roccia circostanti in blocchi più o meno grandi, fino ad un peso massimo di 30 t l'uno, che sarebbero stati sollevati per mezzo di gru e riassetati 65 m più in alto e 180 m circa più arretrati, verso la sommità della collina. La spesa dell'operazione sarebbe stata sopportata per un terzo dall'Egitto, un terzo dal governo americano, il rimanente terzo dagli altri stati membri dell'UNESCO. Il 16 novembre 1963 fu firmato il contratto con il gruppo di Imprese vincitrici del concorso internazionale che costituirono la *Joint-Venture Abu Simbel*.

Le imprese erano le seguenti:

— *Grands Travaux de Marseille* di Parigi - *Hochtief* di Essen - *Impregilo* di Milano - *Skanska e Sentab* di Stoccolma - *Atlas* del Cairo.

I lavori specializzati di rinforzo dell'arenaria, la posa in opera di barre di ancoraggio e sollevamento, i trattamenti superficiali della roccia, tutti eseguiti con resine sintetiche, lavori descritti qui di seguito in dettaglio, sono stati appaltati alla *Ing. Giovanni Rodio & C.* di Milano. Il progetto di tutto il complesso è stato eseguito e diretto da una società di consulenti svedese, la *Vattenbyggnadsbyran* di Stoccolma detta VBB.

Era necessario fare presto: le acque del Nilo, come più sopra riferito, avrebbero raggiunto presto la quota d'ingresso del piccolo tempio. A causa dei vari ritardi accumulati nella fase precedente alla stesura del progetto definitivo era dunque divenuta indispensabile la costruzione di uno sbarramento alto 25 m sopra il letto del Nilo, a difesa dei templi e di una zona attorno per lo svolgimento delle operazioni di smontaggio. La diga fu realizzata con una palancolata alta 24 m tipo Larssen; alle palancole infisse nella roccia di fondo fu addossata da una parte e dall'altra grande quantità di sabbia e di scaglie di roccia (96.000

m<sup>3</sup> di sabbia e 276.000 m<sup>3</sup> di pietra). Nella parte interna della diga fu necessario realizzare una rete fitta di cunicoli di drenaggio e di pozzi per impedire che la roccia dei templi potesse essere interessata da percolazioni o anche semplicemente umidità.

Il progetto VBB, oltre alla realizzazione della diga protettiva, prevedeva le seguenti operazioni: sostegno del soffitto dei templi mediante una serie di putrelle in ferro regolate per mezzo di verini idraulici tipo Freyssinet; asportazione della montagna sopra le camere interne dei templi fino ad 80 cm dall'intradosso dei plafoni, ciò che avrebbe portato alla rimozione di 300.000 t di arenaria; taglio in blocchi delle statue di facciata, dei soffitti e delle pareti dei templi; trasporto dei blocchi in una zona di deposito, sulla cima della collina; riedificazione dei templi mediante il riassetamento dei blocchi nella nuova posizione stabilita; costruzione di volte in cemento armato sopra le camere ricostruite dei templi; copertura di tali volte con scaglie di roccia e sabbia per ricreare artificialmente la collina che conteneva i templi.

Il numero dei blocchi da trasportare era così suddiviso:

Grande tempio	n. 870 blocchi
Piccolo tempio	n. 235 blocchi
Trattamento A	n. 1.010 blocchi
Trattamento B	n. 5.840 blocchi circa

Del trattamento A faceva parte tutta la zona superficiale dell'incorniciatura sovrastante le facciate dei templi; del trattamento B tutta una zona più al largo facente parte della collina attorno ai templi. L'intero lavoro fu completato in meno di 5 anni con pieno successo.

Riportiamo alcune delle date più importanti:

16 novembre 1963	firma del contratto;
novembre 1964	livello del Nilo a 2 m sotto la cresta della diga protettiva;
primavera 1965	ultimazione della diga protettiva;
21 maggio 1965	sollevamento del primo blocco;
12 agosto 1965	sollevamento del primo blocco del soffitto del grande tempio;
10 ottobre 1965	trasporto della grande testa di Ramses II;
gennaio 1966	inizio del rimontaggio dei templi;
16 aprile 1966	trasporto dell'ultimo blocco all'area di stazionamento;

fine agosto 1966	l'acqua del Nilo invade la zona dove erano i due templi, tracimando sopra la diga protettiva;
14 settembre 1966	ultimazione del rimontaggio di uno dei colossi di facciata;
dal gennaio al dicembre 1967	costituzione delle grandi volte in cemento armato sopra le camere dei templi;
metà 1968	completamento delle colline artificiali (18 mesi in anticipo sul termine stabilito).

### L'arenaria di Abu Simbel e la necessità d'impiego delle resine sintetiche

Si tratta di un'arenaria estremamente porosa, friabile e fessurata; le stratificazioni formate ciascuna dall'insieme di grani di differente pezzatura sono generalmente suborizzontali; la matrice legante i granelli è di natura silicea molto debole e spesso non riempie completamente i vuoti fra grano e grano tanto che in alcuni strati, soprattutto in quelli formati da elementi di granulometria più grossolana, si notano frequenti vespai. La sostanza legante è inoltre sensibilissima all'umidità che ne riduce di molto la resistenza. La resistenza media a compressione, misurata in laboratorio su cubetti staccati da una zona vicina ai templi, è risultata compresa fra gli 80 e i 40 kg/cm<sup>2</sup> a seconda che il carico venisse applicato normalmente ai piani di stratificazione o parallelamente ad essi. La rottura a compressione si riduceva a valori di 5 kg/cm<sup>2</sup> ed anche minori quando i cubetti di arenaria venivano fatti stazionare in una camera umida (con umidità ambiente pari al 100%).

I templi di Abu Simbel hanno potuto resistere quasi integri per 3.500 anni essenzialmente per due motivi:

- l'atmosfera nella zona dei templi è sempre stata piuttosto secca (piogge scarsissime)
- i templi sono stati per secoli e secoli quasi completamente insabbiati (fino al 1817); solamente le 3 grandi facce delle statue monumentali di facciata sono rimaste scoperte. Questo fatto ha ridotto il degrado della fragile arenaria per erosione eolica.

A causa della fragilità dell'arenaria si sarebbe

arrischiato, durante le operazioni di sollevamento dei blocchi (da 15 a 30 t di peso) per mezzo di due o quattro tiranti, di staccarne parti anche importanti secondo qualche piano di fessurazione o di rompere la roccia lungo i tiranti. Quest'aspetto del problema, a prima vista non di primaria importanza, ha comportato le operazioni più delicate e la riuscita del progetto non sarebbe stata possibile se non vi fosse stato l'apporto di tecniche moderne di iniezione e di sigillatura. Era infatti indispensabile trattare preventivamente le fessure della roccia e consolidare la roccia stessa nell'interno delle barre di sollevamento, vicino agli spigoli dei blocchi e lungo le superfici di taglio. Durante i primi esperimenti di laboratorio è subito apparso evidente che miscele consolidanti a base di un qualsiasi legante mescolato con acqua non sarebbero state assolutamente idonee allo scopo perché: le sospensioni di cemento (o altro legante) non avrebbero potuto penetrare a bassa pressione nell'interno della roccia e difficilmente nelle fessure, a causa delle piccole dimensioni dei meati di diffusione, mentre le alte pressioni avrebbero irrimediabilmente danneggiato la roccia; tutte le miscele a base di acqua inoltre avrebbero potuto disgregare l'arenaria (la matrice dei granelli sensibilissima alla sola umidità avrebbe perduto ogni potere legante a causa dell'acqua che l'avrebbe imbibita per effetto filtro). Ecco perché si è dovuto ricorrere alle resine precondensate sia per il riempimento delle fessure, sia per l'iniezione della roccia e la sigillatura delle barre di sollevamento.

La ricerca delle resine più adatte e la loro messa a punto hanno richiesto un lungo periodo di sperimentazione, soprattutto perché si sono dovuti adattare prodotti normalmente usati in climi temperati alle condizioni ambientali di Abu Simbel (temperature molto elevate, fino ad oltre 50° C).

Descriviamo qui di seguito in modo schematico, per ovvie ragioni di brevità, le principali prove eseguite nei laboratori della *Rodio* di Milano, della consociata *Solétanche* di Parigi, le prove eseguite da tecnici della *Rodio* ad Abu Simbel ed infine i lavori di cantiere.

### Prove di laboratorio e di cantiere

Sono state prima di tutto eseguite prove di selezione fra i molti prodotti offerti dal mercato nel campo delle resine. Le miscele utili per il lavoro di Abu Simbel dovevano rispondere ai seguenti requisiti principali:

#### a) *Miscela per iniezione della roccia*

- grande fluidità e quindi capacità di penetrazione
- buona resistenza dopo polimerizzazione
- flessibilità nella regolazione del tempo di indurimento in funzione della temperatura ambiente

#### b) *Miscela per trattamento delle fessure della roccia*

- buona resistenza e aderenza alle superfici rocciose
- possibilità di ottenere tempi di polimerizzazione brevi, per evitare disperdimenti in zone non interessanti

#### c) *Miscela per la sigillatura delle barre di sollevamento e di ancoraggio*

- ottima aderenza sia nei confronti delle barre sia della roccia
- assenza assoluta di fenomeni di ritiro anche dopo lunghi periodi di tempo (18 ÷ 20 mesi); bisognava infatti assicurare che il sollevamento dei blocchi potesse avvenire in condizioni di sicurezza anche durante l'ultima fase di rimontaggio dei templi
- possibilità di raggiungere la massima resistenza entro 24 ore dalla loro messa in opera (molti blocchi per ragioni di programma dovevano venire sollevati e trasportati non oltre una giornata dalla sigillatura delle barre). In qualche caso si è dovuto fare in modo che il sollevamento potesse avvenire 12 ore dopo la sigillatura.

#### d) *Miscela per i trattamenti superficiali*

- grande fluidità per consentire una buona penetrazione della roccia corticale
- trasparenza per non alterare l'originale colore dell'arenaria
- buona resistenza soprattutto agli urti anche di strati molto sottili di resina.

Come si può facilmente capire la molteplicità delle funzioni in gioco ha reso gli esperimenti particolarmente laboriosi; in più ognuna delle condizioni sopra esposte avrebbe dovuto essere rispettata ad una qualsiasi temperatura fra 0° C e 50° C, quale è l'escursione della temperatura nell'arco di un anno ad Abu Simbel. Fin dagli inizi dei lavori una società svedese, la *Hagconsult AB* di Stoccolma, aveva condotto alcuni esperimenti di laboratorio per conto della Direzione Lavori VBB. In questa fase sono state sperimentate principalmente 2 resine: una aminoplastica « Svedicoll A » e l'altra poliesteri « Svedicoll S ». Nei laboratori di Stoccolma la maggior parte delle prove è stata condotta su blocchi di roccia artificiale, appositamente costruita con caratteristiche granulometriche simili a quella di Abu Simbel. La relazione, assai curata, di questi primi esperimenti è datata Stoccolma 11 gennaio 1963. Le conclusioni principali cui sono giunti gli svedesi sono le seguenti:

- un completo riempimento delle fessure e delle zone di arenaria scarsamente cementata può essere raggiunto con l'utilizzo di speciali resine applicate secondo certe modalità
- la resistenza di queste parti deboli può essere migliorata tanto da superare quella della roccia sana
- non è possibile con le sole prove eseguite stabilire regole precise per l'intervento di cantiere; è indispensabile una fase di sperimentazione in luogo per affrontare tutte le difficoltà derivanti dalla situazione ambientale e dal lavoro su larga scala.

A titolo di esempio riportiamo la fotografia n. 7 riprodotte un blocco di arenaria artificiale iniettato con resina e la fotografia n. 8 che rappresenta un particolare del blocco precedente nella zona estrema raggiunta dall'iniezione; la diffusione della miscela in quel punto si è arrestata a causa dell'avvenuta polimerizzazione. Impossibile sarebbe in questa sede descrivere nei particolari tutte le prove eseguite in seguito dalla *Rodio* in collaborazione con la *Solétanche*. Preferiamo fare la cronistoria di questa fase preliminare e riferire le principali conclusioni raggiunte e qualche dato interessante riscontrato.

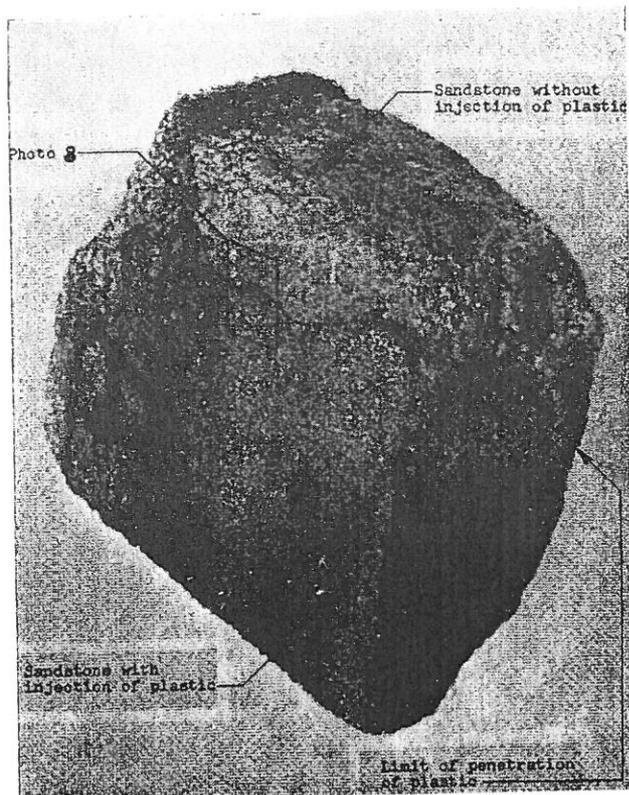
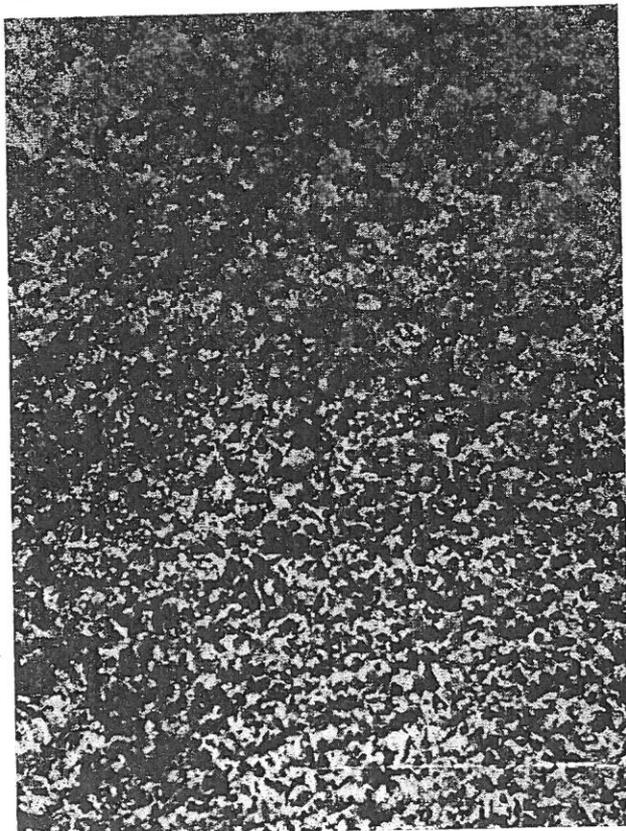


Fig. n. 7 - Prova di iniezione con resina d'arenaria artificiale, eseguita a Stoccolma agli inizi del 1963.

Fig. n. 8 - Particolare della foto n. 7. Si distingue la zona limite della diffusione della miscela nell'arenaria.



1) Durante i mesi di luglio e agosto 1964 sono state eseguite prove preliminari di laboratorio (in parte a Milano, in parte a Parigi) allo scopo di determinare le resine più adatte al lavoro di Abu Simbel. Ne è seguita la stesura del rapporto *Injection des grès et scellement des barres d'ancrage. Essais préliminaires de Laboratoire*, cc/sg 0269 Labo, 18 settembre 1964. Tali prove hanno fornito tutti i dati caratteristici delle resine da impiegarsi per le prove in sito.

2) Nei mesi di settembre, ottobre, novembre del 1964 sono state eseguite le prime prove ad Abu Simbel, a conclusione delle quali è stato elaborato il rapporto *Sandstone consolidation by injection and anchor bars placing* - rapporto n° 14.490 - Milano, dicembre 1964.

Il rapporto comprendeva i seguenti argomenti:

- descrizione del cantiere;
- prove di conservazione dei prodotti chimici sul cantiere e loro deterioramento nel tempo;
- prove di iniezione con:

resine aminoplastiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>} <i>Furesir</i></li> <li>} <i>Svedicoll A</i></li> </ul>
resine poliesteri	<ul style="list-style-type: none"> <li>} <i>Resiplats RP 20</i></li> <li>} <i>Sterpon NP 52</i></li> </ul>
resine epossidiche diluite	<ul style="list-style-type: none"> <li>} Vari tipi di</li> <li>} <i>Araldit</i> e relativi indurenti</li> </ul>

- iniezione e riempimento delle fessure;
- prove sulla sigillatura delle barre di ancoraggio;
- prove di trattamenti superficiali con resine, mediante pittura e spruzzatura;
- prove di aderenza;
- protezione degli affreschi e graffiti sempre mediante resine;
- conclusioni e appendice fotografica.

Queste prove hanno portato all'esclusione definitiva delle resine aminoplastiche per i lavori di sigillatura di barre e di consolidamento; hanno invece confermato la validità dell'impiego di *resine epossidiche* per la sigillatura delle barre di sollevamento e di ancoraggio e di *resine poliesteri* per l'impregnazione dell'arenaria.

3) Alcuni problemi particolari sono poi stati studiati più a fondo durante una seconda serie di prove in cantiere. Tali prove sono state eseguite tra il marzo e il luglio del 1965 e hanno portato alla stesura delle *Instructions*, una specie di capitolato con le specifiche definitive relative a ogni operazione da eseguirsi durante il lavoro.

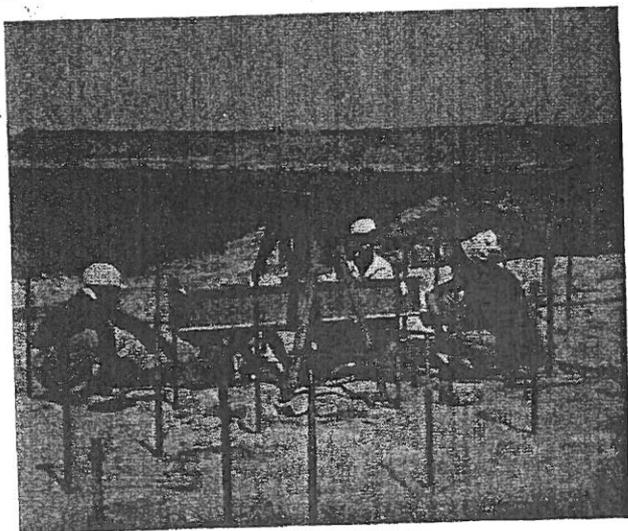
### Prove definitive sulle barre di sollevamento

Durante i mesi di aprile e maggio 1965 sono state eseguite in cantiere prove molto estese allo scopo di definire il miglior sistema e la composizione ottima della miscela per la sigillatura delle barre di sollevamento dei blocchi. Il resoconto degli esperimenti è riportato nel rapporto *Second series of tests executed at the site - Spring 1965. Test on lifting bars ABR/us/Casalmiocco*, giugno 1965.

Ai risultati di queste prove sono legate le *Instructions for the execution of lifting bars* elaborate dai tecnici Rodio in cantiere e datate: Abu Simbel, 13 maggio 1965. Per la sigillatura delle barre quando la temperatura ambiente è superiore a 20°C è stata scelta la resina epossidica «Araldit GY 250» e relativo indurente, di fabbricazione Ciba, caricata con sabbia di duna (nella proporzione in peso Resina + Indurente/Sabbia = 1/1,5).

E' stato chiarito che è possibile utilizzare anche la resina «Araldit GY 257» con lo stesso indurente e una carica di sabbia maggiore (1/2, perché la resina è più fluida); se il sollevamento del blocco deve essere eseguito entro 24 ore dalla sigillatura è però necessario nel caso della GY 257 aggiungere alla malta un accelerante chiamato «Deta» nelle proporzioni del 4% in peso. La fotografia n. 9 mostra la zona di prova

Fig. n. 9 - Prove ad Abu Simbel su barre di sollevamento. Si confrontano vari tipi di sigillatura e diverse lunghezze del tratto sigillato. Le barre provate hanno diametro di 25 mm e di 32 mm.



delle barre di sollevamento con il particolare del sistema utilizzato per stabilire lo sforzo massimo di aderenza. Durante queste prove spinte volutamente a temperature basse (tra 5 e 20°C) per tenere conto del periodo invernale, sono apparse evidenti alcune difficoltà d'applicazione delle resine epossidiche prescritte per le alte temperature.

Sono seguite allora altre prove condotte nel laboratorio Rodio. I risultati sono raccolti nel *Report on tests executed at Rodio Laboratory, Autumn 1965*; e nel *Resina epossidica da utilizzarsi quando la temperatura media dell'arenaria scende sotto i 20°C*. (Rapporto no. 14859 - ABR/us, novembre 1965).

A conclusione sono state scelte 2 resine da impiegarsi durante il periodo invernale: — la prima valevole per temperatura dell'arenaria (e quindi ambiente) tra 0°C e 12 ÷ 13°C; la composizione della malta è la seguente:

Araldit GY 250	100	parti	in	peso
Indurente X 157	18	»	»	»
Sabbia di duna	118	»	»	»

— la seconda valevole per temperature tra 12 ÷ 13°C e 20°C; la composizione della malta è la seguente:

Araldit GY 250	100	parti	in	peso
Indurente HY 830	60	»	»	»
Accelerante DY 830	5	»	»	»
Sabbia di duna	160	»	»	»

Le *instructions* per le pratiche operazioni di cantiere sono state così completate.

Precauzioni particolari dovevano essere adottate nella fase di messa in opera delle barre: prima di tutto i fori, da 36 mm di diametro per le barre da 25 mm e da 46 mm di diametro per le barre da 32 mm, dovevano essere eseguiti nel blocco da sollevare in funzione della posizione del baricentro, inoltre essi dovevano risultare perfettamente verticali ed essere liberati con la massima cura da eventuali residui di detriti di perforazione. Le barre, nella zona della sigillatura, dovevano essere pulite energeticamente con spazzola metallica prima della colatura della malta. Per fori poco profondi la malta veniva colata dall'alto; per fori più lunghi di 0,80 m la malta doveva essere introdotta al fondo del foro per mezzo di un tubo e fatta risalire fino all'altezza voluta. In tale

modo si eliminava il pericolo di racchiudere aria nella zona della sigillatura.

Le specifiche riguardanti le barre di sollevamento imponevano che il peso massimo da applicare a ciascuna barra fosse:

per barre corrugate  $\varnothing$  32 mm = 10 tonnellate;  
per barre corrugate  $\varnothing$  25 mm = 7 tonnellate.

Per cui lo sforzo di trazione massimo risultava di 1.243 kg/cm<sup>2</sup> per le barre  $\varnothing$  32 e 1.427 kg/cm<sup>2</sup> per le barre  $\varnothing$  25. Se assumiamo una lunghezza di sigillatura di 30 cm (come poi sarà costantemente adottato durante il lavoro) ne consegue che il massimo sforzo di aderenza durante il sollevamento dei blocchi risulta essere:

per barre  $\varnothing$  32 mm  $\frac{10.000 \text{ kg}}{303 \text{ cm}^2} = 33,1 \text{ kg/cm}^2$ ;

per barre  $\varnothing$  25 mm  $\frac{7.000 \text{ kg}}{236 \text{ cm}^2} = 29,6 \text{ kg/cm}^2$ .

Durante tutte le prove di laboratorio e di cantiere abbiamo sempre registrato, utilizzando le resine scelte con le modalità definite, valori di aderenza (a 24 ore dalla colatura della resina) superiori al doppio di quelli sopra riferiti, generalmente attorno ai 90 kg/cm<sup>2</sup>: coefficiente di sicurezza dunque in ogni condizione di temperatura superiore a 2 (frequentemente uguale a 3).

### Prove di iniezione, trattamento di fessure e prove di aderenza

Durante il periodo dal febbraio al luglio 1965 sono state completate le prove di cantiere secondo un programma (*Second series of tests*) stabilito di comune accordo con i rappresentanti della *Joint Venture Abu Simbel* e della Direzione Lavori. Tali prove sono state descritte nel rapporto n. 14.877 - ABR/ep Casalmiocco, 21 dicembre 1965. Alle conclusioni di queste prove sono legate le *Istruzioni per l'esecuzione dei lavori di consolidamento* dicembre 1965 - Rapporto n. 14.878 (ABR/ep - Casalmiocco 21 dicembre 1965) nelle quali sono raccolte le disposizioni pratiche per l'esecuzione di tutti i lavori di rinforzo dei blocchi. Riportiamo ora alcuni dettagli delle prove e qualche valore di resistenza ottenuto per le principali resine esaminate.

#### Resine poliesteri

Sono state eseguite prove d'iniezione con due tipi di poliesteri (Resiplast RP/20/23 e Ster-

pon NP/52) su una cinquantina di cubetti di arenaria di lato 10 cm circa. La diffusione della miscela attraverso la porosità della roccia è sempre apparsa ottima. Sono poi state eseguite su tutti i cubetti iniettati prove di rottura a compressione. Alla medesima prova sono pure stati sottoposti cubetti di malta formata da sabbia di duna e poliesteri.

I risultati sono stati i seguenti:

- carico medio di rottura a compressione della roccia non trattata 60 ÷ 70 kg/cm<sup>2</sup>
- carico medio di rottura a compressione dell'arenaria trattata con poliesteri superiore a 300 kg/cm<sup>2</sup>
- carico medio di rottura a compressione di cubetti di malta con RP 20/23 850 kg/cm<sup>2</sup>
- con NP/52 650 kg/cm<sup>2</sup>
- la temperatura ambiente non influisce sui valori dei carichi di rottura;
- è evidente che il carico di rottura dei cubetti di malta sia molto superiore a quello dell'arenaria iniettata; il fatto è dovuto al non completo riempimento dei vuoti dell'arenaria da parte della resina;
- durante l'esecuzione delle prove si è visto che il 70% della resistenza totale viene raggiunto entro 2 ore dalla preparazione della resina poliesteri.

Questo fatto ha assunto grande importanza durante i lavori.

In cantiere sono inoltre state eseguite prove di iniezione in arenaria tagliata in modo da simulare blocchi sia di parete che di soffitto, tutti di spessore di 80 cm. Anche in questo caso la diffusione dei poliesteri è sempre risultata regolare e facilmente controllabile mediante agenti acceleranti di presa.

Si è visto che:

- il tempo ottimo d'iniezione è di 20 minuti
- la viscosità della miscela più adatta per arenaria di media granulometria è di 100 centipoises
- il raggio d'azione (ossia il percorso della miscela) con tale tempo di iniezione è tale viscosità, sotto una pressione variabile dalle 0,5 alle 2 atmosfere, è di 30 cm (in un'arenaria di media granulometria)

#### Resine epossidiche

Sono state fatte prove su cubetti (10 cm di lato) di malta formata da sabbia di duna mescolata a resine epossidiche (tipo Araldit GY 250 e 257):

carico di rottura a compressione a 24 ore dalla formazione della malta 970 ÷ 1.100 kg/cm<sup>2</sup>.

Valore assai elevato che ha confermato ancora una volta la notevolissima capacità di resi-

stenza di queste resine scelte per il delicato lavoro di sigillatura delle barre.

Per quanto riguarda il consolidamento dell'arenaria mediante iniezioni è stata provata la più fluida delle epossidiche a disposizione: l'Araldit GY 257 che, diluita con tricloroetilene, viene ad avere una viscosità di 60 centipoises circa. La fotografia n. 10 mostra l'ottima diffusione di questa resina nell'arenaria: si tratta di un blocco di 80 cm di spessore simile ai blocchi delle pareti dei templi.

#### *Resine aminoplastiche*

Prove di iniezione sono state eseguite utilizzando lo Svedicoll A: si sono registrati risultati decisamente negativi. L'assorbimento si arrestava non appena il foro d'iniezione risultava pieno di resina: diffusione quindi praticamente nulla e inoltre penetrazione nella roccia di gran parte dell'acqua che a causa di effetto filtro si separava dalla resina.

#### *Trattamento delle fessure dei blocchi*

Erano considerati « fessure » tutti i distacchi con facce distanziate più di 0,2 mm. Le prove eseguite su blocchi appositamente sezionati secondo fessure di vario spessore hanno dimostrato come tutte le spaccature più larghe di

Fig. n. 10 - Prova di iniezione di resina epossidica fluida nell'arenaria di Abu Simbel: blocco iniettato e segato per controllare la diffusione della miscela consolidante.

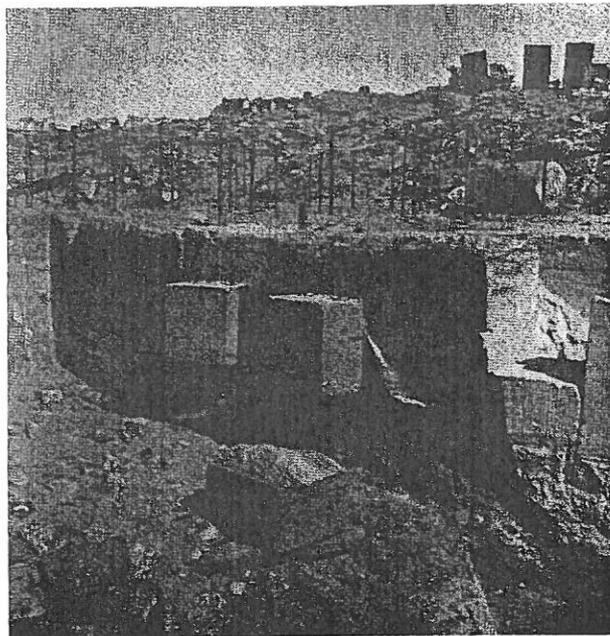
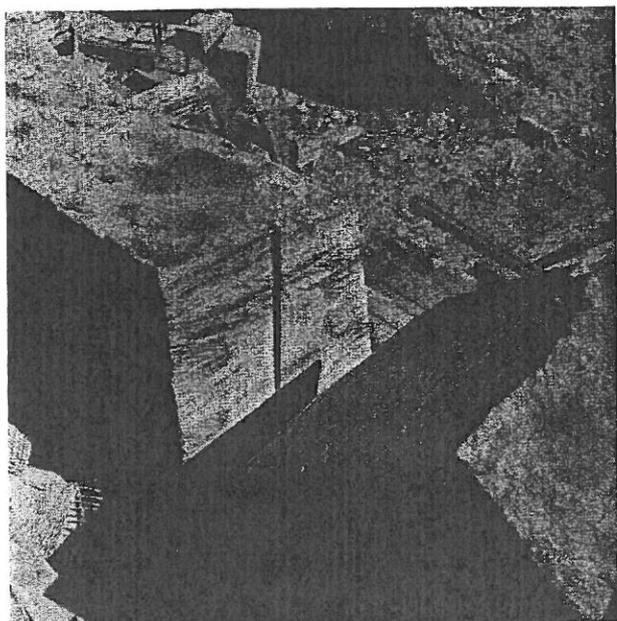


Fig. n. 11 - Prova di aderenza arenaria-calcestruzzo previa spalmatura sulla superficie di contatto di una resina epossidica.

0,2 mm potessero essere trattate e perfettamente riempite mediante colatura (attraverso appositi fori) di resine epossidiche o malte di resine epossidiche con viscosità regolata opportunamente.

Le viscosità potevano facilmente essere variate tra 60 e 14.000 centipoises, in funzione dei vuoti da riempire: si sono utilizzate due epossidiche GY 250 e 257, due tipi di indurenti HY 840 e HY 956, tricloroetilene come diluente oppure la solita sabbia di duna per raggiungere alti valori di viscosità.

#### *Prove di aderenza*

Nella fase di ricostruzione dei templi molta importanza avrebbe assunto l'ottenimento di una buona aderenza fra le superfici d'arenaria dei blocchi (superfici posteriori) e le superfici di calcestruzzo appartenenti alle strutture di sostegno dei blocchi stessi. Per stabilire i valori di quest'aderenza sono state eseguite delle prove utilizzando molti tipi di resine (epossidiche, poliesteri, aminoplastiche).

Si è giunti alle seguenti conclusioni:

— l'aderenza fra calcestruzzo e arenaria non migliora con l'applicazione preventiva sull'arenaria di una qualsiasi spalmatura di resina

— l'acqua del calcestruzzo, assorbita dall'arenaria, deteriora la zona di contatto  
 — è necessario impermeabilizzare l'arenaria; ciò può essere bene ottenuto mediante la spalmatura di resine sia poliesteri che epossidiche  
 — una buona aderenza si ottiene se il getto del calcestruzzo viene eseguito quando ancora la resina spalmata sull'arenaria non ha completato la polimerizzazione. La fotografia n. 11 mostra appunto l'esito di una prova eseguita in queste condizioni: con una sola spalmatura di Araldit GY 257 si è ottenuta, come si vede, un'ottima aderenza roccia-calcestruzzo tanto che durante la prova di trazione ha ceduto la roccia all'interno della zona di contatto;  
 — per ragioni pratiche di cantiere si stabilisce che una sicura aderenza non può essere raggiunta se non con l'applicazione di barre metalliche preventivamente sigillate con resine all'arenaria e poi annegate nel getto, eseguito dopo l'impermeabilizzazione della superficie di contatto.

#### Prove sull'impiego di corrente ad alta frequenza per accelerare la polimerizzazione dei poliesteri

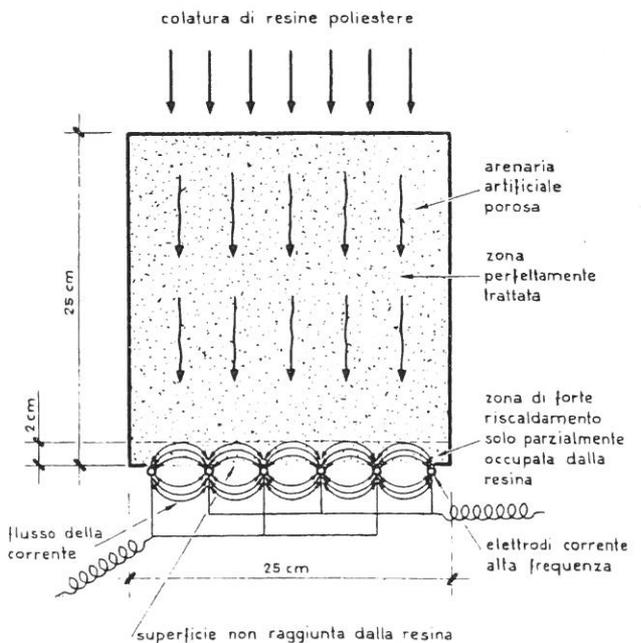
Sono state eseguite nel maggio del 1965 prove sull'impiego di corrente ad alta frequenza per provocare la polimerizzazione immediata dei poliesteri in prossimità delle facce in vista dei blocchi. Si era infatti dovuto affrontare il difficile problema di consolidare l'arenaria porosa dei blocchi senza che le miscele impiegate, in genere poliesteri di colore tendente al rosso, si diffondessero in modo da percolare all'esterno e venire così ad alterare i colori degli affreschi o semplicemente quello dell'arenaria naturale.

Il tempo di polimerizzazione dei poliesteri si accorcia con l'aumentare della temperatura: a temperature molto elevate la polimerizzazione è quasi immediata. Si è pensato di approfittare di questo fatto per *arrestare il cammino* di queste resine in prossimità delle facce a vista dei blocchi. Sono state allora eseguite molte prove su cubetti di arenaria artificiale e si è messa a punto una tecnica d'intervento.

I cubetti di prova di 25 cm di lato venivano posti sopra una griglia costituita da una serie

di elettrodi tubolari di rame (vedere figura numero 12) nei quali veniva fatta passare corrente elettrica, portata con trasformatore e oscillatore a una tensione di 2.000 Volt e frequenza di 50.000 Hertz. Il flusso laterale della corrente tra gli elettrodi provocava un istantaneo e violento riscaldamento di una zona di arenaria di spessore di 2 cm circa. La temperatura raggiungeva gli 80°C. A tale temperatura la resina poliestere utilizzata, che normalmente a 16°C polimerizza in 30 minuti, indurisce in 1 minuto e 20 secondi. Durante questo tempo la resina (che quando è molto calda diviene fluidissima) aveva modo tuttavia di attraversare i 2 cm vicini alla faccia da proteggere. Per l'ottenimento dello scopo è stato necessario allora ricorrere ad un preriscaldamento della roccia di 5 minuti circa: ossia, chiudendo il circuito della corrente 5 minuti prima della colatura della resina, il calore si diffondeva nell'arenaria dal basso verso l'alto per conduzione, conseguentemente aumentava lo spessore riscaldato tanto da fare arrestare il cammino della resina a qualche millimetro dalla faccia inferiore (senza che si registrasse perdita alcuna). Stabilito il sistema, la prova è stata ripetuta su molti campioni sempre con successo, ottenendo pure una buona diffusione

Fig. n. 12 - Schema d'applicazione di corrente ad alta frequenza per arrestare il cammino della resina all'interno delle facce a vista dei blocchi di arenaria.



della resina nell'arenaria in tutta la parte sovrastante la faccia da salvaguardare. Il rapporto n. 14.683 - ABR/us del 28 maggio 1965 descrive dettagliatamente queste prove.

### Il cantiere - fase esecutiva

Come si è visto la fase di sperimentazione sulle resine è stata laboriosa e lunga: tuttavia all'inizio del lavoro di sollevamento (primavera 1965) tutto era ormai stato definito sui tipi di resine da utilizzare e sulla tecnologia più idonea da seguire. Anche le varie attrezzature appositamente studiate per il lavoro di Abu Simbel erano a punto per svolgere nei tempi previsti il delicato lavoro di consolidamento e sollevamento dei blocchi. Durante la fase delle prove è sempre stato presente un ingegnere del laboratorio di Milano e saltuariamente un chimico della *Solétanche* di Parigi.

### Barre di sollevamento e rinforzo dei blocchi

Durante il sollevamento dei primi blocchi si è constatato che le condizioni della roccia molto spesso non erano tali da richiedere trattamenti mediante impregnazione di resine. La sigillatura delle barre di sollevamento veniva realizzata nella parte inferiore delle medesime per circa 30 cm: per cui i blocchi di facciata o di parete durante il sollevamento venivano sottoposti per la loro gran parte a sforzi di compressione (vedere la fotografia n. 13); la roccia per quanto incoerente (purché non fessurata) era sempre in grado di resistere a quelle limitate sollecitazioni di trazione che il sollevamento comportava.

Differente la situazione delle sollecitazioni dei blocchi appartenenti al soffitto dei templi; a causa della loro forma a piastra si verificavano, nella zona d'intradosso, sforzi di trazione di una certa importanza, tali da provocare la rottura del blocco nei casi di roccia debole. Salvo casi particolari, i lavori di rinforzo dei blocchi si sono ridotti ai seguenti trattamenti:

- 1) sigillatura o cucitura delle fessure e fissaggio delle parti staccate
- 2) rinforzo delle zone circostanti alle barre di sollevamento nei blocchi di soffitto.

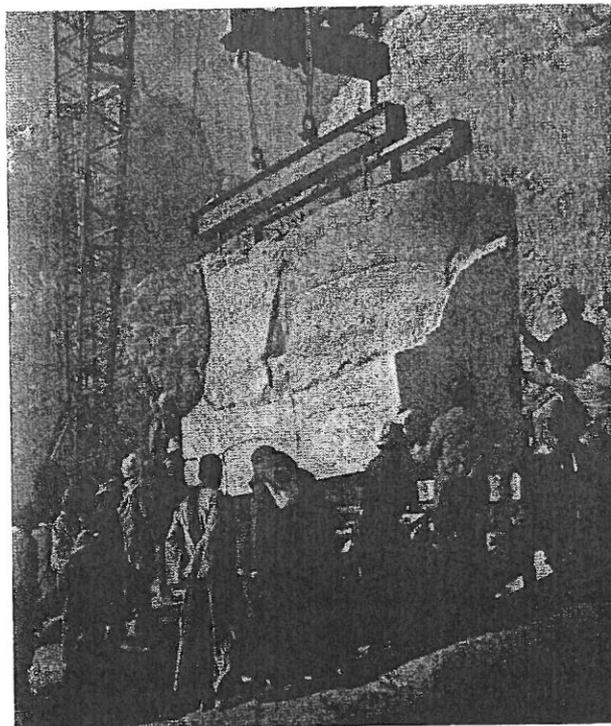


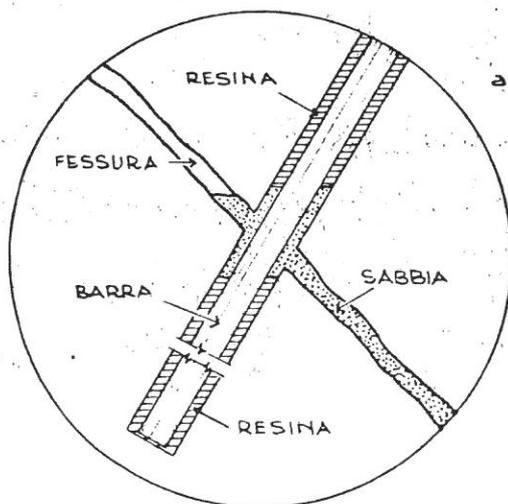
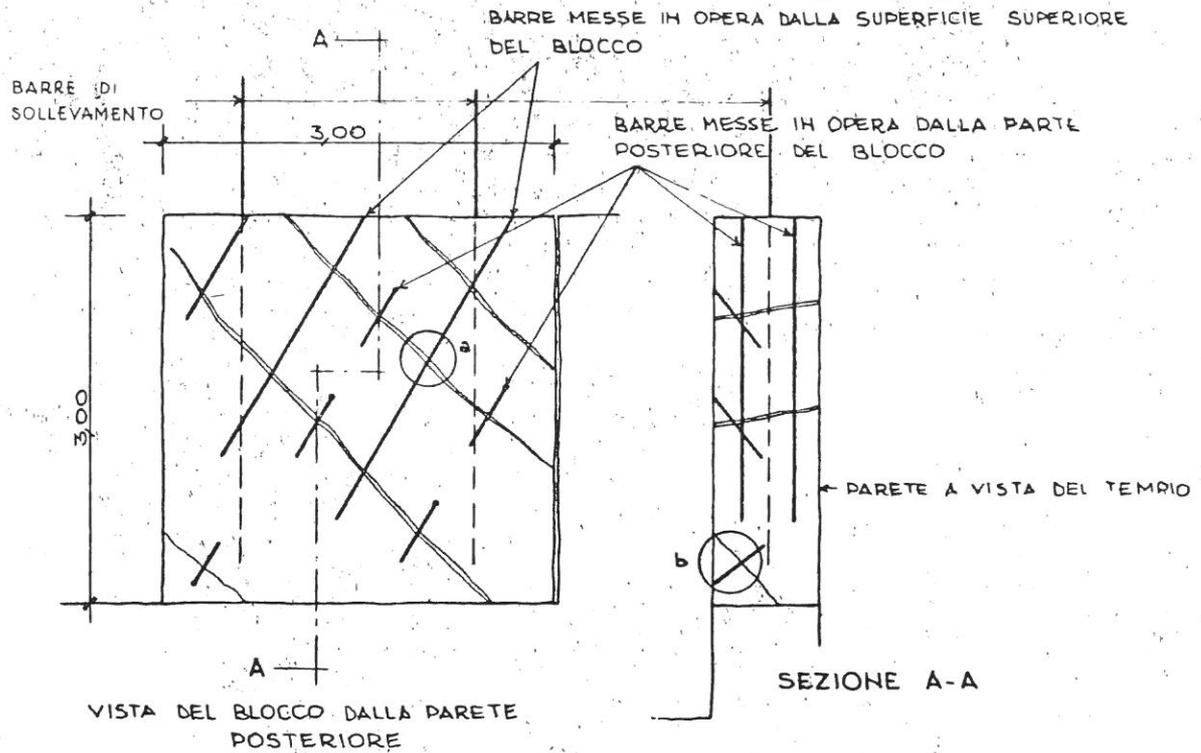
Fig. n. 13 - Sollevamento di un blocco del peso di poco inferiore a 40 t, sospeso a 4 barre di 32 mm di diametro, estese fin presso la base del blocco e sigillate nei loro 30 cm inferiori con malta di resina epossidica.

### Trattamento delle fessure

Tale trattamento poteva essere realizzato nei seguenti modi: sigillando le parti mediante riempimento con resina oppure ancorando le parti con barre di acciaio.

E' stata adottata generalmente la seconda soluzione essendosi dimostrata la più semplice ed economica. Uno schema di cucitura di fessure mediante barre è riportato nella figura n. 14. Nel caso di fessure molto aperte, attraverso le quali la resina avrebbe potuto facilmente uscire, si procedeva come indicato nel particolare della figura: il foro veniva riempito di sabbia in corrispondenza della fessura. Era infatti assolutamente necessario impedire la fuoriuscita della resina perché questa avrebbe potuto raggiungere le superfici di tagli già eseguiti fra i blocchi o le facce a vista: nel primo caso, data la durezza della resina, i blocchi non avrebbero potuto essere nuovamente disgiunti, nel secondo caso si sarebbero formate macchie difficili da asportare. La fotografia n. 15 mostra alcune fasi della posa di barre di rinforzo.

## ESEMPIO DI RINFORZO CON BARRE D'ACCIAIO DI UN BLOCCO DI PARETE FESSURATO



a - PARTICOLARE DELLA CEMENTAZIONE DELLA BARRA IN PRESENZA DI UNA FESSURA MOLTO APERTA DALLA QUALE LA RESINA PUO' USCIRE

b - PARTICOLARE DELLA MESSA IN OPERA DI UNA BARRA IN UN FORO VERSO L'ALTO

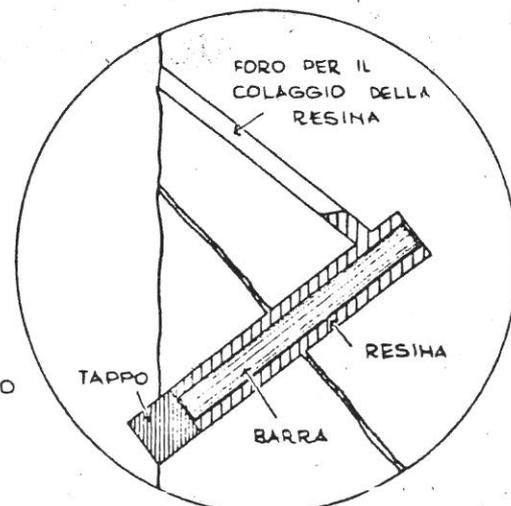


Fig. n. 14 - Schema di cucitura di fessure mediante barre sigillate con resine.

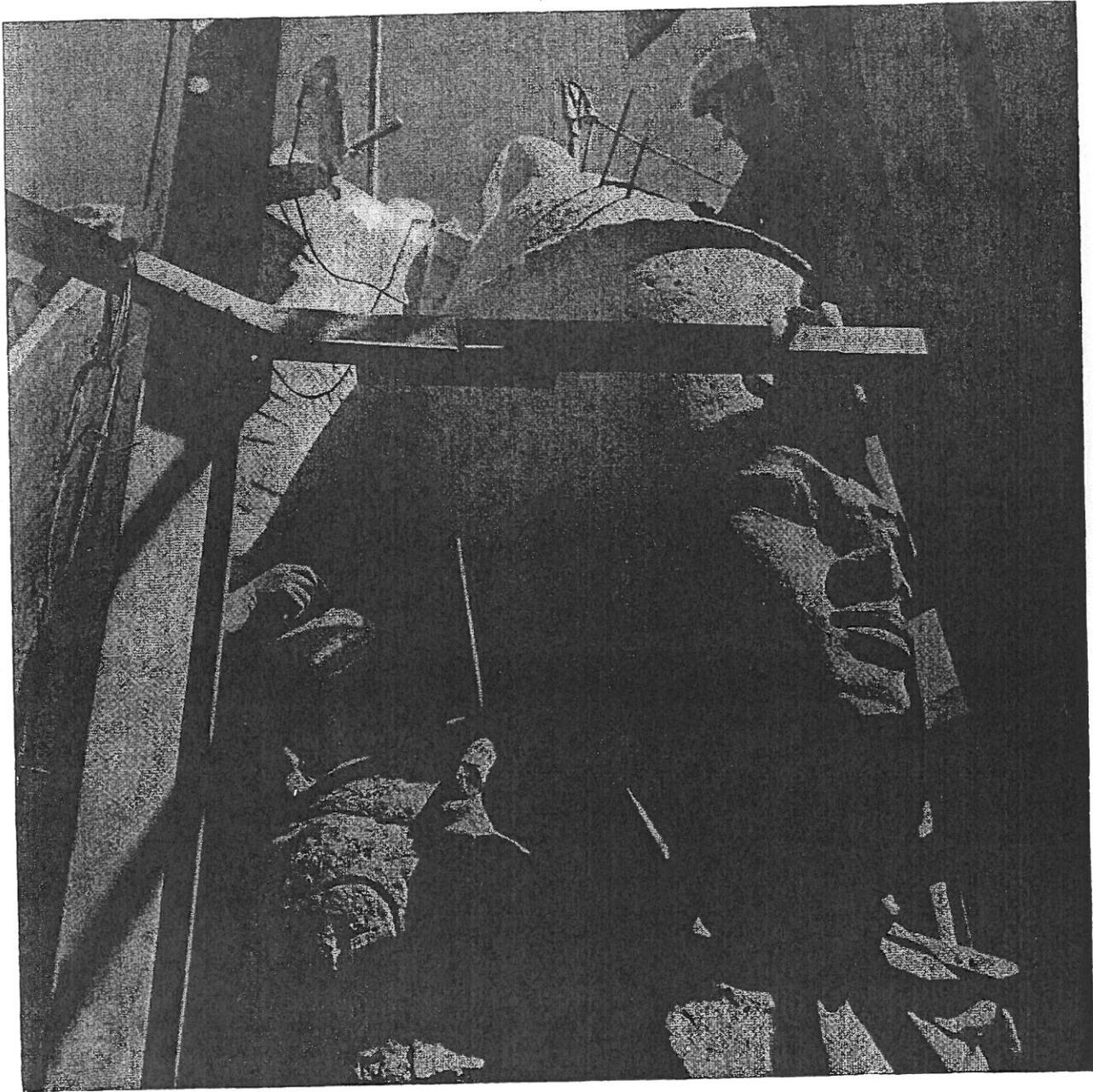


Fig. n. 15 - Posa delle barre di rinforzo, visibili in alto anche le barre di sollevamento.

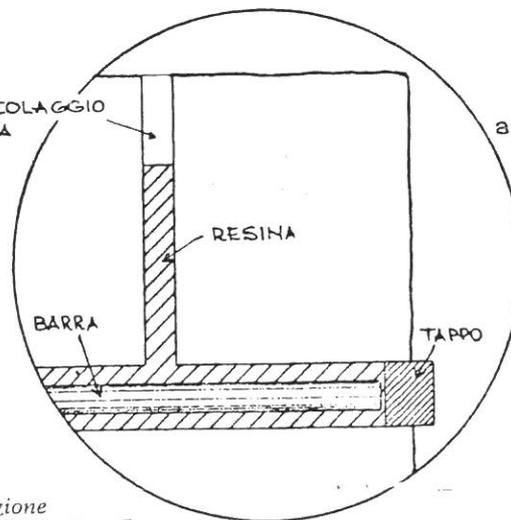
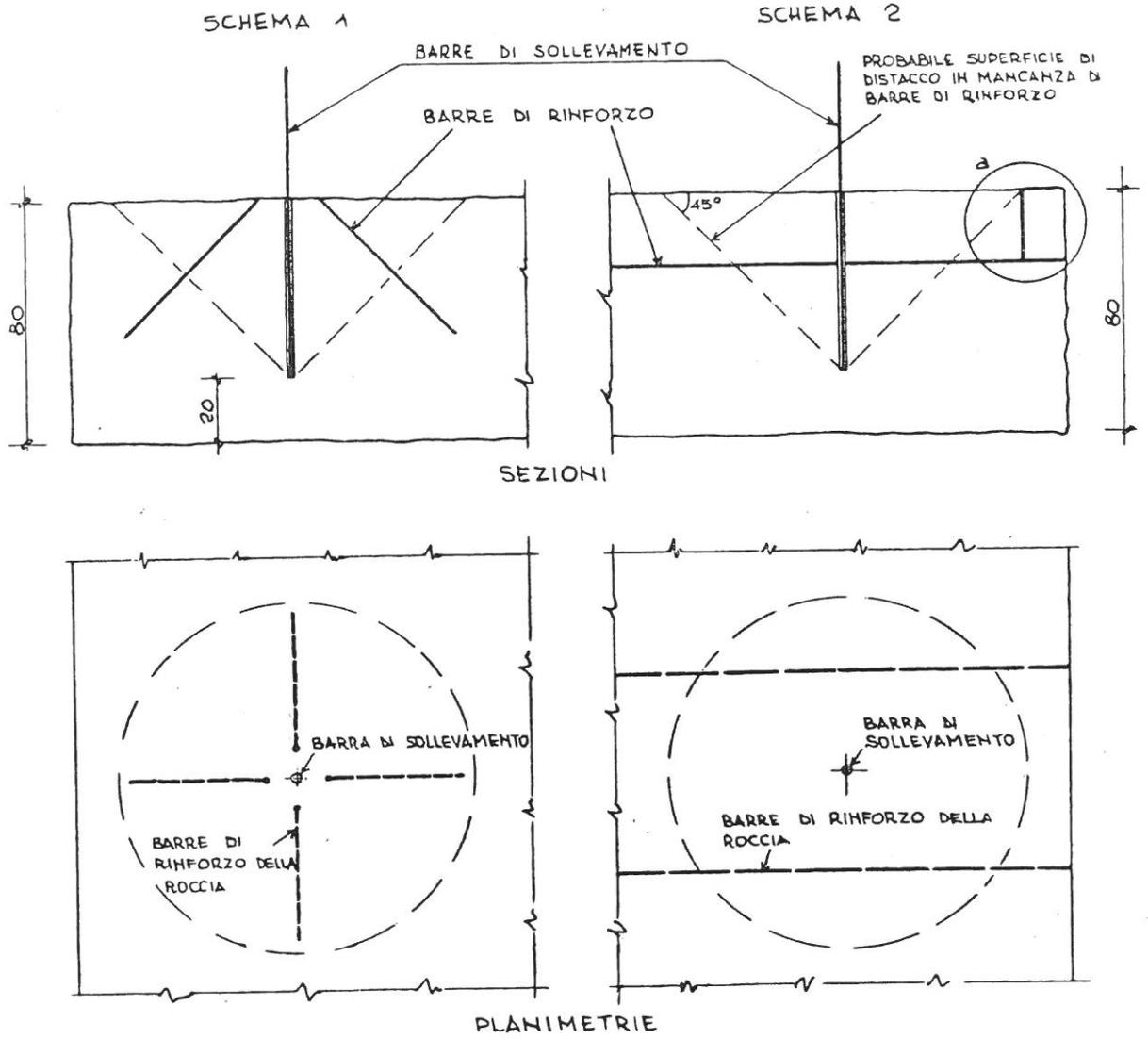
#### *Rinforzo dei blocchi del soffitto nella zona circostante le barre di sollevamento*

In un primo tempo si era pensato di eseguire questo trattamento iniettando attraverso i fori stessi delle barre di sollevamento delle resine poliesteri di bassa viscosità allo scopo di creare un bulbo di roccia consolidata nella zona dove si sarebbero sviluppati gli sforzi maggiori. In pratica poi si è constatato che il rinforzo del blocco in questa zona poteva essere realizzato più semplicemente mediante barre oppor-

tunamente disposte, sigillate con resine.

Nella figura n. 16 si riportano i due schemi di sistemazione delle barre adottati in cantiere: le barre di rinforzo, come si può notare, venivano installate sia secondo una inclinazione di 45° sia orizzontalmente, a seconda della situazione particolare di ciascun blocco. Il secondo schema ha incontrato maggior successo in quanto le barre poste orizzontalmente contribuivano al rinforzo di tutto il blocco (con le barre a 45° si otteneva un rinforzo limitato

**ESEMPIO DI RINFORZO DEI BLOCCHI DI SOFFITTO IN ROCCIA INCOERENTE, IN CORRISPONDENZA DELLE BARRE DI SOLLEVAMENTO.**



a- PARTICOLARE DELLA CEMENTAZIONE DI UNA BARRA IN UN FORO ORIZZONTALE

Fig. n. 16 - Schemi d'applicazione di barre di rinforzo per i blocchi di soffitto.

all'intorno della barra di sollevamento). Questi trattamenti venivano normalmente realizzati quando l'arenaria appariva debolmente cementata e interessata da strati porosi (a granulometria grossolana).

### Difficoltà particolari di esecuzione

La cucitura delle fessure ed il rinforzo dei blocchi mediante barre, pure essendo apparsi durante la fase preparatoria lavori abbastanza semplici, si sono dimostrati in pratica assai delicati ed impegnativi. Si trattava infatti di individuare fessure molto spesso minute, addirittura capillari, di prevederne l'andamento nell'interno del blocco e di sistemare convenientemente le barre tenendo conto, oltre che della geometria della spaccatura, anche dell'andamento delle tensioni che si sarebbero sviluppate durante il sollevamento ed il trasporto. I blocchi raramente erano accessibili da tutti i lati per cui era necessario intervenire da posizioni anche lontane dalle zone da consolidare.

Il blocco della fotografia n. 17 presenta una spaccatura ben visibile inclinata di 45° circa: intorno alla spaccatura si possono notare 5 fori (3 sopra e 2 sotto) attraverso i quali sono state messe in opera le barre di cucitura. Le sbayature di resina non interessano la faccia a vista del blocco.

Molte volte le barre dovevano essere cementate in fori orizzontali o inclinati verso l'alto: in questi casi la resina veniva colata attraverso uno o più fori che raggiungevano nel punto più alto il foro contenente la barra (vedere particolari sulle figure n. 14 e 16).

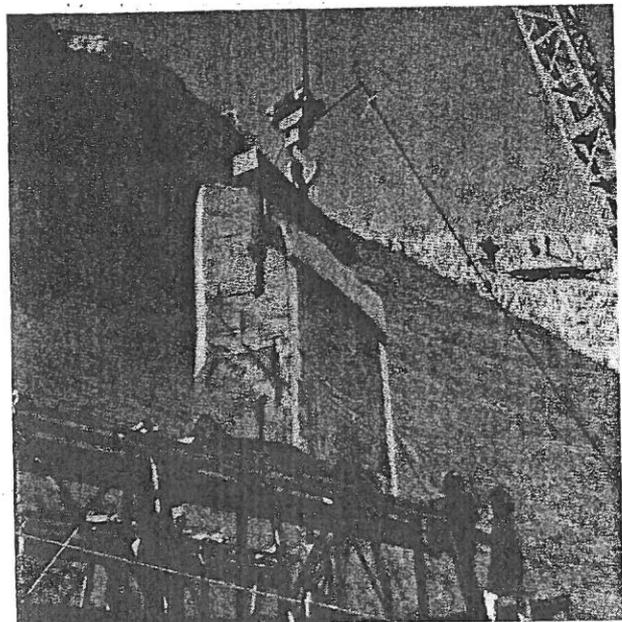
### Lo smontaggio dei templi

Dal 21 maggio 1965, data di sollevamento del primo blocco, le operazioni di smontaggio si sono susseguite con ritmo incalzante. I blocchi venivano sollevati l'uno dopo l'altro e trasportati con tutte le cautele per mezzo di grosse piattaforme automontate all'area di stazionamento situata sulla cima della collina.

Molti sono stati i momenti emozionanti, nei quali la salvezza di blocchi importanti era affidata alla precisione con cui venivano condotte operazioni differenti e tutte delicate. La fotografia n. 18 dà un'immagine della situazione dei lavori nell'ottobre del 1965: le figure della facciata del grande tempio riemergono dalla protezione di sabbia dopo la distruzione della collina e l'asportazione di tutti i fregi (babuini ecc.) loro sovrastanti. La foto n. 19 rappresenta la situazione pressapoco nello stesso periodo nella zona interna: la fotografia è scattata dall'interno dell'incavo creatosi dopo l'asportazione della collina. Si vedono sul fondo le parti posteriori dei colossi di facciata ormai isolati, al centro l'ultimazione della delicata fase di scavo sopra le camere interne dei templi, due blocchi di soffitto con le 4 barre di sollevamento e numerose barre di cucitura, in primo piano le camere più interne già scoperte e le operazioni di sollevamento di un blocco di parete.

La fotografia n. 20 dà un'idea del lavoro di taglio, per mezzo di fili elicoidali, dei blocchi superficiali della collina nell'intorno dei templi (trattamento B): questi blocchi saranno poi rimontati nella identica loro posizione rispetto alle facciate per la ricostituzione integrale dell'ambiente.

Fig. n. 17 - Esempio d'intervento di rinforzo mediante posa di barre di cucitura attraverso la fessura.



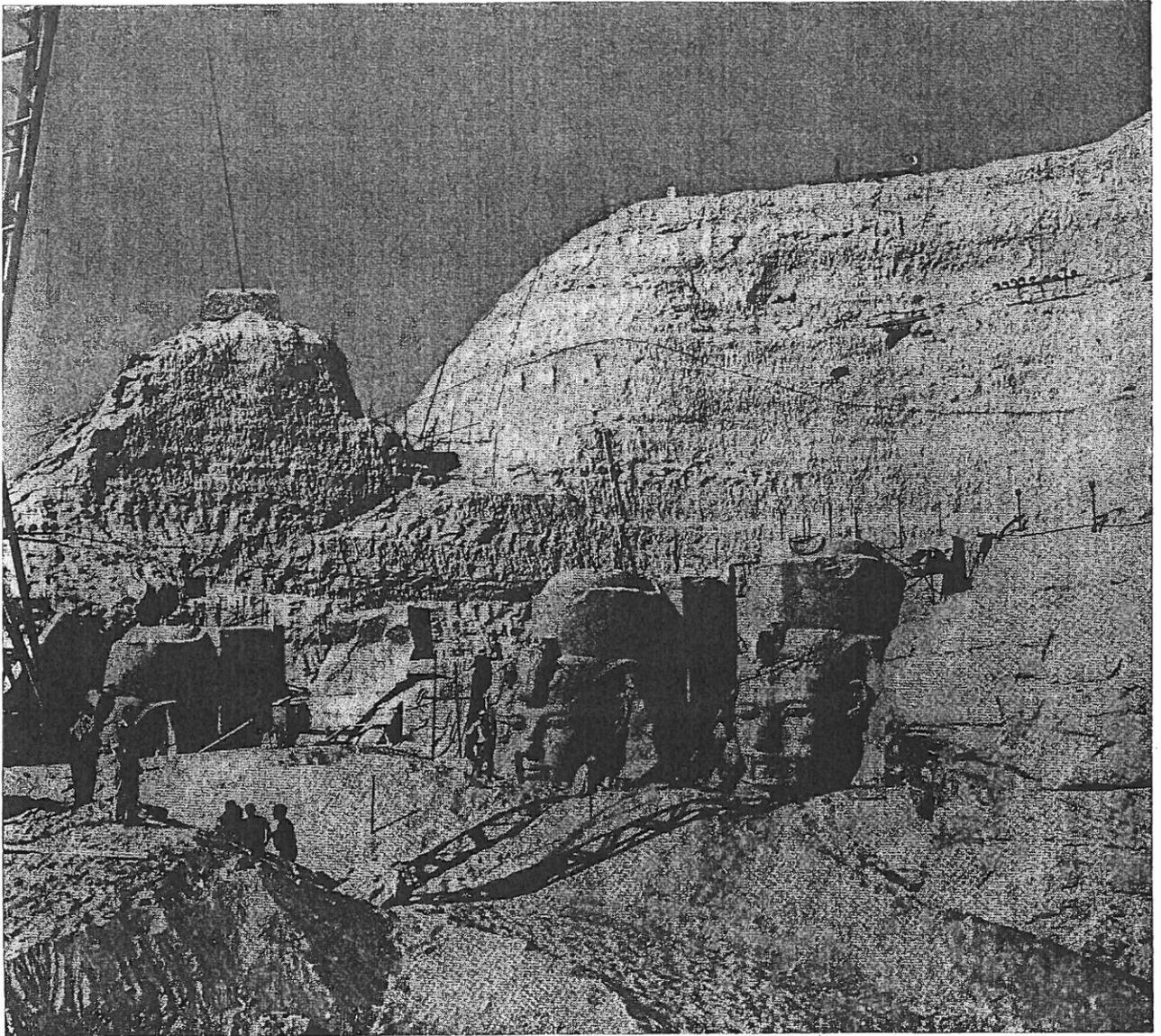


Fig. n. 18 - Durante i lavori di smontaggio le grandi figure della facciata del grande tempio riemergono dalla protezione di sabbia di duna, nell'ottobre 1965, dopo l'asportazione della collina sovrastante.

Come detto, i blocchi trasportati sono stati 1.105 appartenenti ai due templi, 1.010 al « trattamento A » e 5.840 circa al « trattamento B ». Le operazioni di smontaggio sono terminate nell'aprile del 1966.

### Il restauro

Malgrado tutte le cautele adottate nel trasporto, qualche rottura si è verificata soprattutto in prossimità degli spigoli dei blocchi. Nell'area di stoccaggio alcuni specialisti della Ro-

dio erano addetti al restauro delle parti lesionate: le operazioni qui svolte erano generalmente assai delicate (vedere fotografie n. 21 e 22). Spesso era necessario intervenire su facce in vista, si dovevano quindi aggiungere dei pigmenti per fare virare i colori delle resine in modo che, a operazioni ultimate, nulla apparisse di mutato rispetto al colore naturale.

### La ricostruzione

Quest'ultimo lavoro ha richiesto grande accuratezza ed attenzione; era necessario che i va-

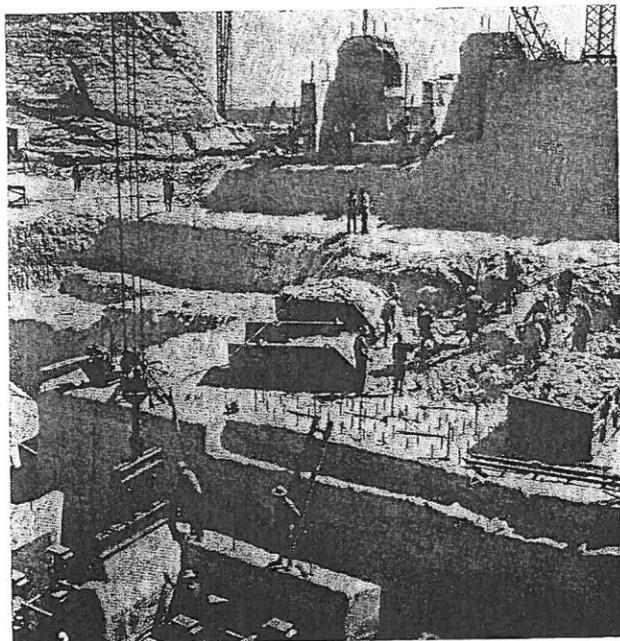
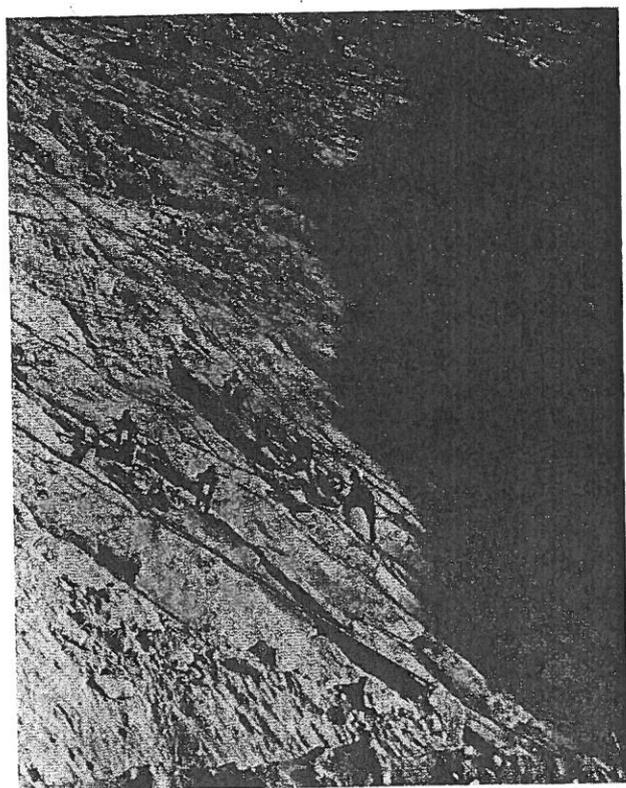


Fig. n. 19 - Situazione dei lavori di smontaggio alla fine del 1965.

Fig. n. 20 - Il taglio dei blocchi d'arenaria superficiali nella zona intorno alle facciate dei templi. Vengono usati fili elicoidali, gli stessi utilizzati a Carrara per il taglio del marmo. La collina potrà alla fine essere ricostruita integralmente e i templi saranno reinseriti nel loro ambiente di sempre.



ri blocchi venissero rimontati nella posizione reciproca precedente con precisione millimetrica perché la grande opera di mosaico potesse assumere alla fine l'aspetto monolitico d'un tempo.

La riuscita dell'operazione è dovuta soprattutto all'ottimo coordinamento tra l'equipe dei topografi tracciatori e il personale addetto agli

Fig. n. 21 - Particolari delle delicate operazioni di restauro eseguite nell'area di immagazzinamento.

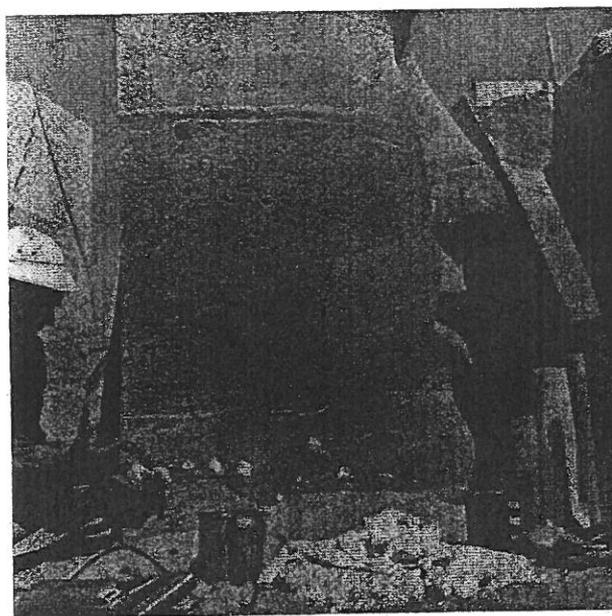


Fig. n. 22 - Operazione di restauro eseguita nell'area di immagazzinamento.



spostamenti dei blocchi. La fotografia n. 23 rappresenta un particolare del momento culminante dell'operazione d'unione di due blocchi. Il colore chiaro della roccia in prossimità del taglio è dovuto al procedimento che in certi casi si è adottato per la protezione della zona di contatto: sono stati applicati dei tessuti di garza mediante resine incolori. Le fotografie n. 24 e 25 mostrano l'operazione di reinserimento della grande testa di Ramsete II. Nella fotografia n. 26 la facciata del grande tempio appare ormai ricostruita: notare come i blocchi combaciano bene fra loro, le linee di taglio si notano appena.

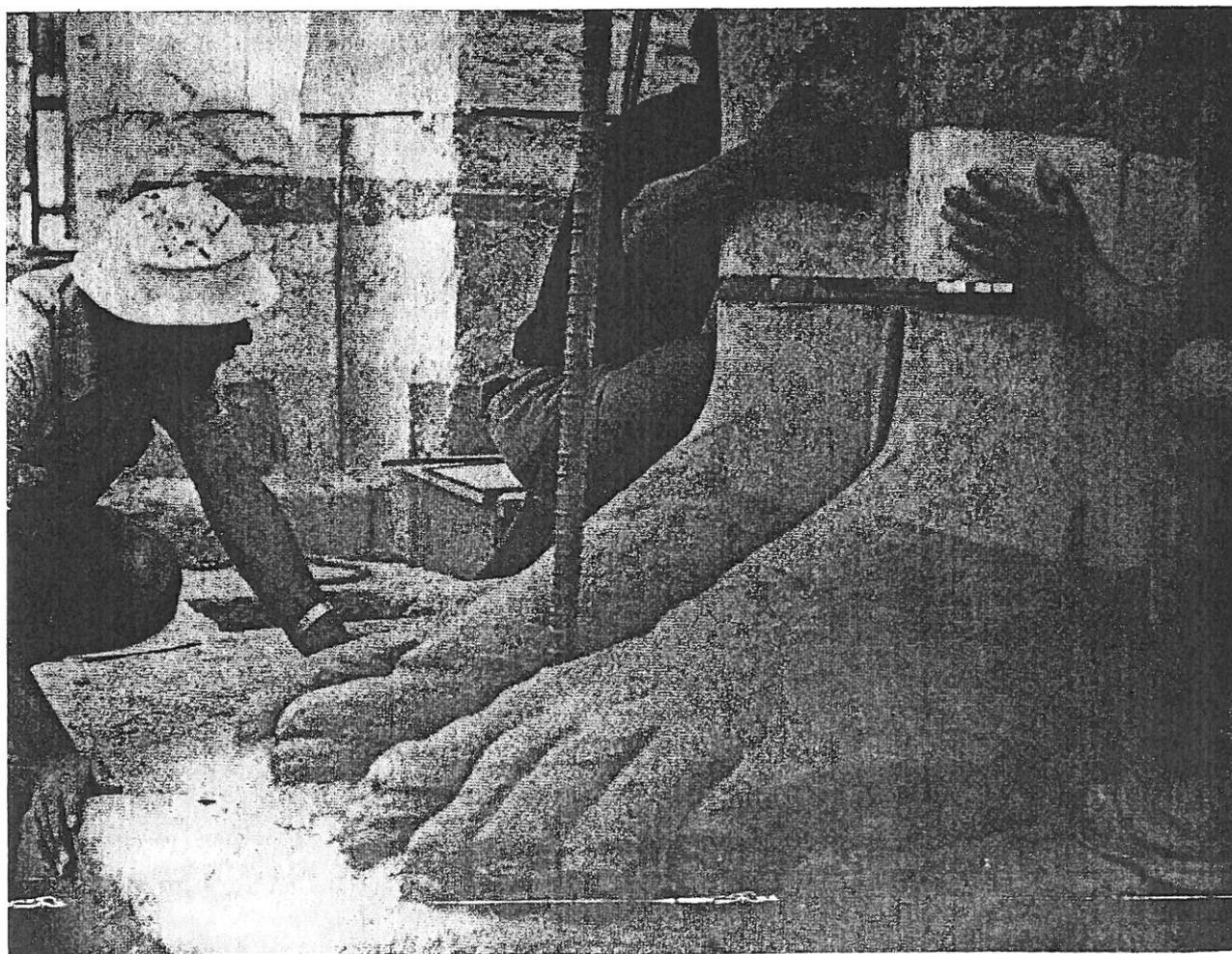
La fotografia n. 27 mostra altri particolari della fase di ricostruzione: si possono distinguere bene sia le strutture in cemento armato costruite per il sostegno dei blocchi nella parte

posteriore, sia le travi metalliche provvisorie necessarie per la ricostruzione dei soffitti delle camere interne dei templi. La foto n. 28 mostra la facciata del grande tempio e sullo sfondo il lavoro di costruzione (agli inizi) della grande cupola in cemento armato che racchiuderà le camere interne del tempio e sosterrà la collina artificiale. Si può anche notare, ai lati delle grandi figure, il lavoro di ricostruzione della collina d'arenaria contenente i templi.

Nella fase di ricostruzione le resine sono state impiegate principalmente per due motivi:

- impermeabilizzazione della roccia e quindi protezione dell'arenaria nei confronti dell'acqua contenuta sia nel calcestruzzo delle strutture di sostegno, sia nelle malte utilizzate per il riempimento delle fessure fra i blocchi
- ricostituzione della continuità della roccia

Fig. n. 23 - Fase di rimontaggio. Particolare della delicata operazione d'unione di due blocchi. Fasciature di garza, applicata con resina, proteggono la zona attorno ai tagli.



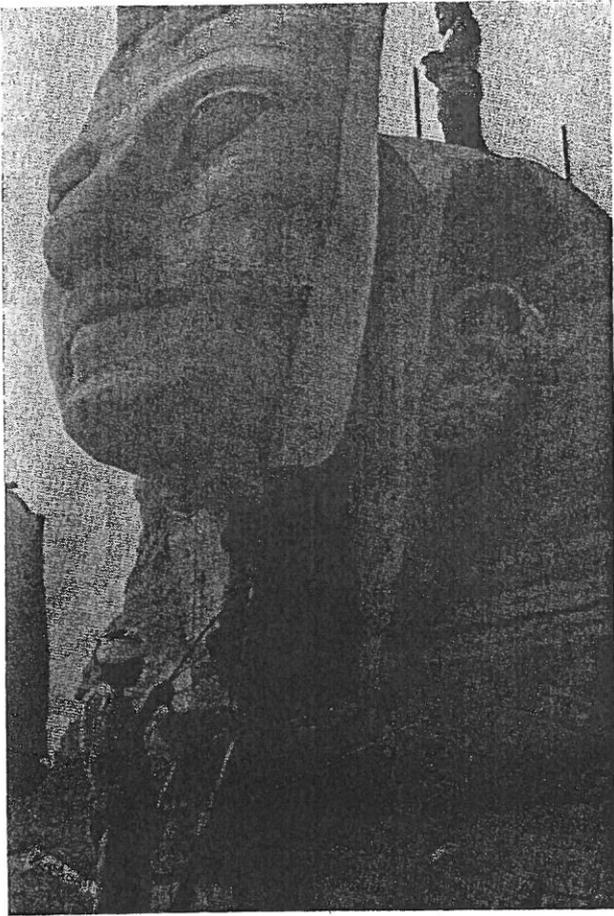


Fig. n. 24 - Particolare dell'operazione di reinserimento della faccia di uno dei colossi del grande tempio.

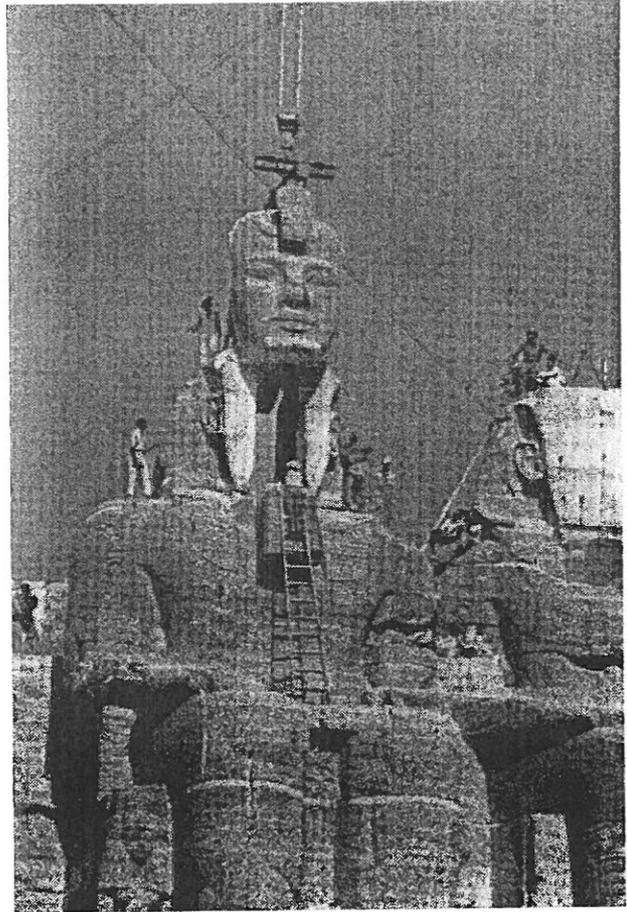


Fig. n. 25 - Rimontaggio della testa di Ramsete II.

Fig. n. 26 - Vista della facciata del grande tempio, quasi completamente rimontata.

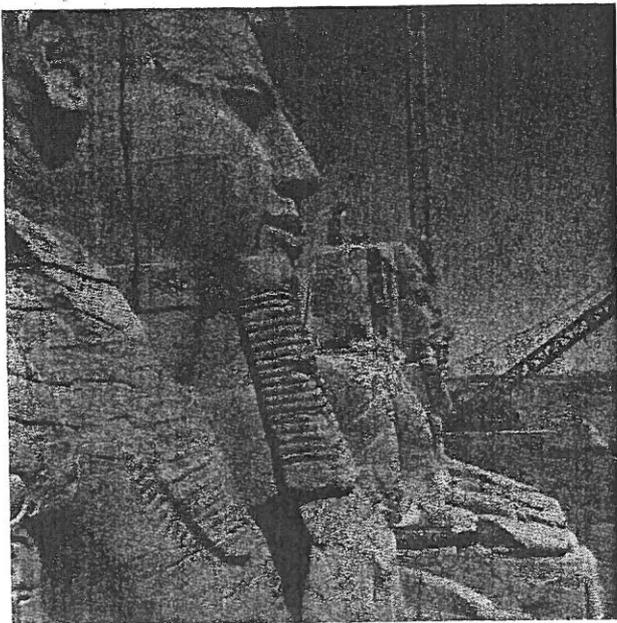
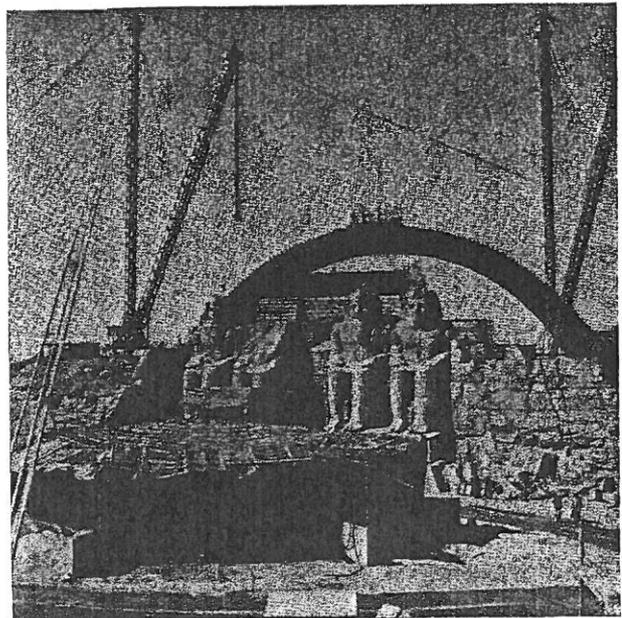


Fig. n. 28 - Vista della facciata del grande tempio a ricostruzione quasi ultimata.



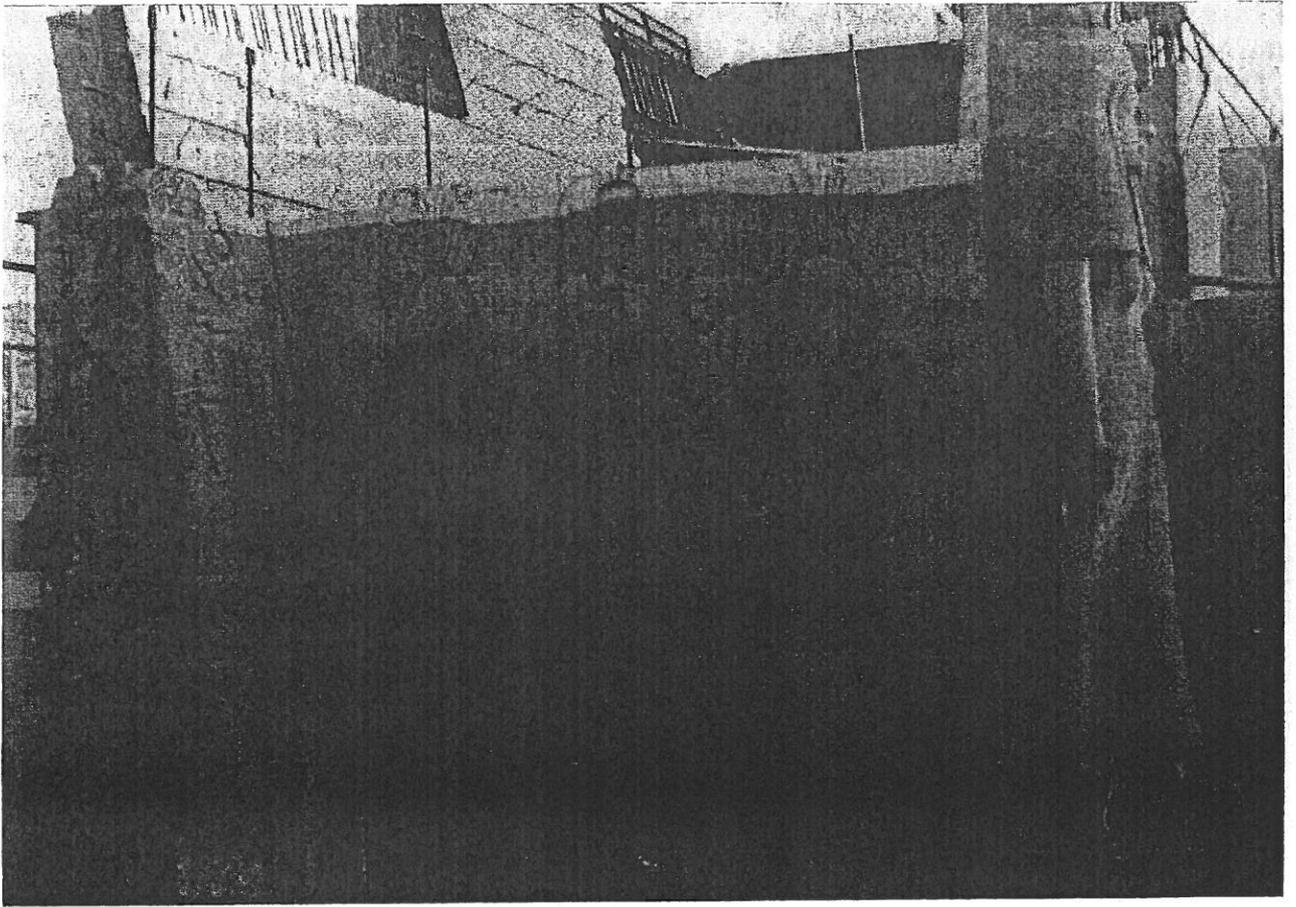
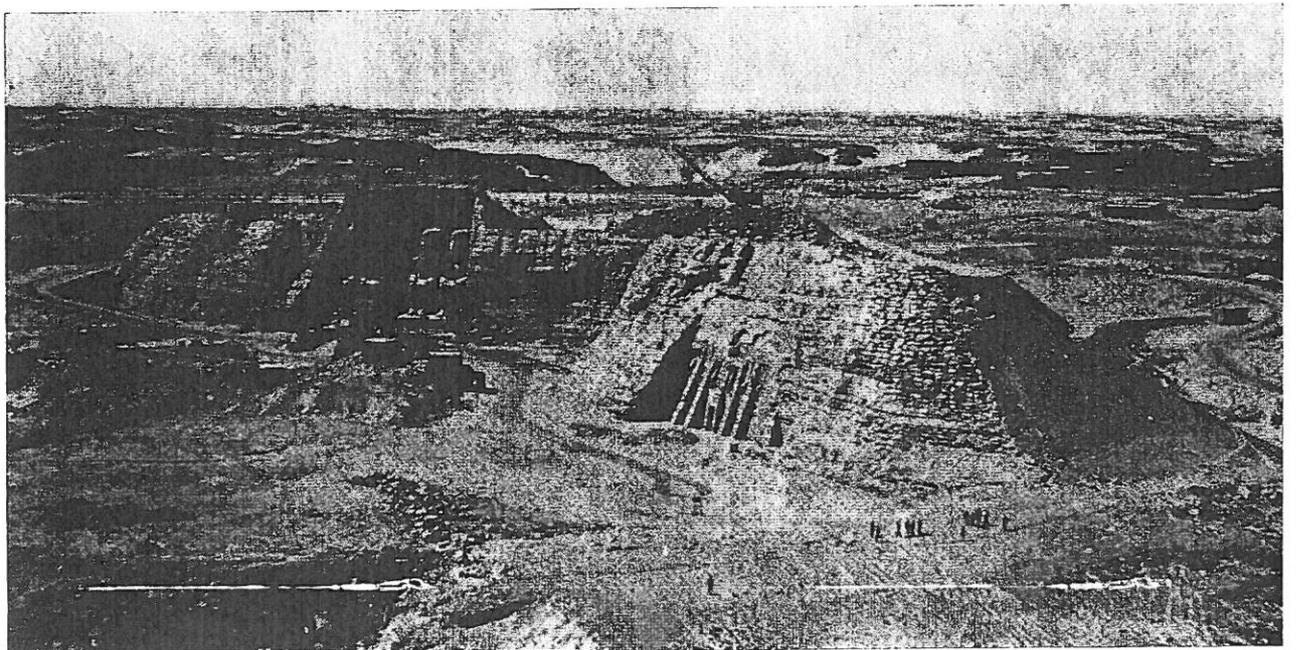


Fig. n. 27 - Particolare dell'ingresso del grande tempio. Notare l'accuratezza dell'operazione di unione dei vari blocchi.

Fig. n. 29 - Vista panoramica dei due templi ormai ricostruiti e della collina artificiale che li contiene quasi ultimata. Primavera 1968.



in corrispondenza di tutti i tagli sulle superfici a vista.

E' stato quest'ultimo un lavoro difficile condotto con maestria da personale egiziano specializzato sotto la guida di tecnici del Dipartimento Egiziano delle Antichità e la consulenza *Rodio* per quanto riguarda l'impiego delle resine.

La foto n. 29 è una panoramica dei templi ricostruiti e della collina artificiale che li contiene: è la primavera del 1968. Il raggio del sole nascente entrerà ancora, come ormai da millenni, due volte all'anno (in marzo e in settembre) nel sacrario interno del grande tempio e colpirà il viso di Ramsete II, quale ringraziamento del dio al grande Re per avergli dedicato il tempio.