Achille Balossi Restelli

SALVATAGGIO DEI TEMPLI DI ABU SIMBEL

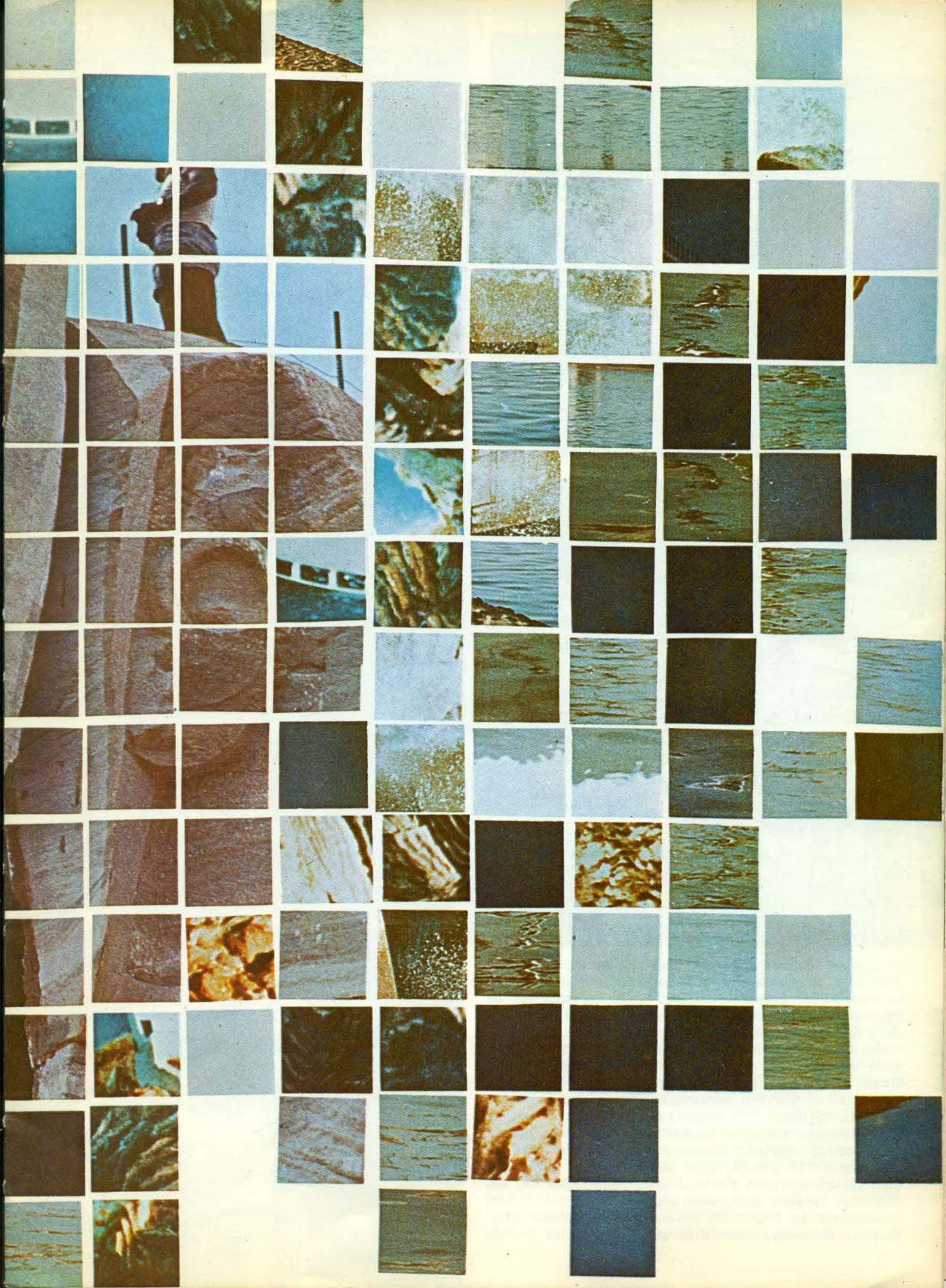
Applicazioni speciali di resine sintetiche che hanno consentito la rimozione dei Templi

Omaggio della

RODIO

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

ESTRATTO DALLA RIVISTA TECNICA DELL'ANCE « L'INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI » MAGGIO-GIUGNO 1970



2

La facciata del grande tempio di Abu Simbel fatto costruire da Ramsete II della XIX dinastia, nel 1250 a.C. - Fotografia eseguita prima dei lavori

La facciata del piccolo tempio di Abu Simbel. Questo tempio è stato dedicato da Ramsete II alla sua sposa, regina Nefertari

3

Una delle statue intagliate nella roccia, nell'interno del grande tempio

4b

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 R.A.U.).

La piantina della fig. a pag. 47 mostra la posizione della diga di Saad el Aali ed il bacino sotteso dalla stessa: il lago artificiale sarebbe venuto ad avere una lunghezza di 500 Km ed una larghezza oscillante tra i 10 ed i 25 Km.

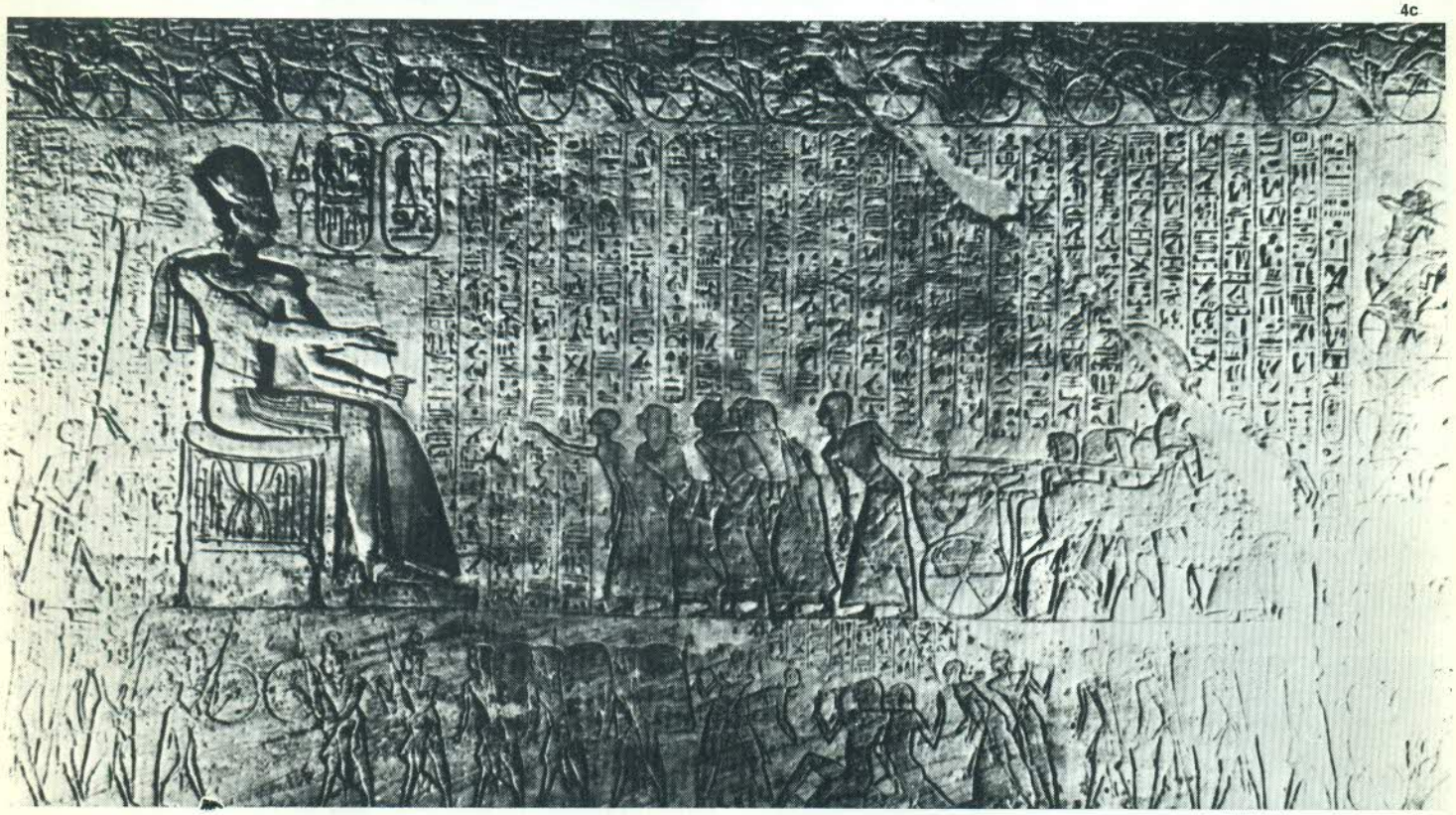
Se da una parte la grande opera avrebbe aperto all'economia egiziana nuove prospettive, da un'altra parte la R.A.U. stessa ed il mondo intero sarebbero stati privati di opere d'arte di inestimabile valore, nel caso non fossero stati presi provvedimenti per il loro salvataggio. Le acque del nuovo lago avrebbero infatti inesorabilmente sommerso una ventina tra antichi

4a

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

Bassorilievo di parete. Apoteosi della battaglia di Kadesh.

4c



templi e tombe sparsi lungo i 500 Km a monte della diga, monumenti testimoni ed eredità di una mezza dozzina di culture e civiltà.

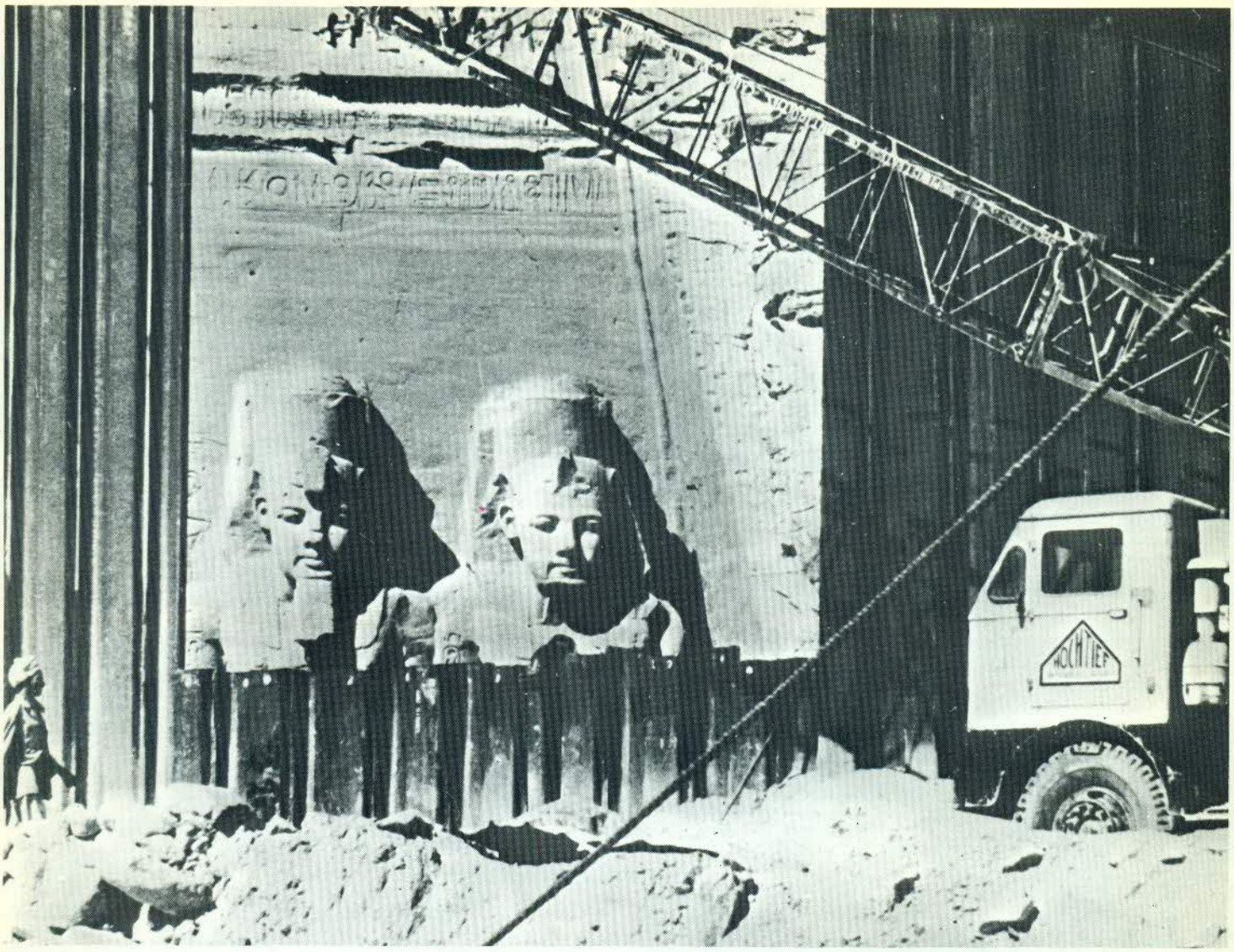
Particolare di un certo interesse è che, sebbene la zona interessata dall'invaso fosse per la sua gran parte desertica, sulle rive del Nilo vivevano ancora circa 150.000 nubiani; per alcuni di essi, scacciati dalle successive sovraelevazioni della vecchia diga di Aswan, quest'ultimo sarebbe stato il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

Da quanto accennato sopra si può capire 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.

Apparve altrettanto chiaro come la R.A.U. 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: in risposta l'Unesco si fece depositaria ed 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 ad 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 si-



Il livello delle acque del Nilo sta già aumentando: la diga di protezione dei templi viene costruita a ritmo vertiginoso. Si vedono qui le palancole metalliche che formano il nucleo dello sbarramento ed, attraverso lo squarcio, 2 figure della facciata del grande tempio

mili ai precedenti. Ecco alcuni nomi la cui posizione è mostrata nella piantina a pag. 47:

— 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 ED IL PROGETTO DEL LORO SALVATAGGIO

Le fotografie a pag. 50 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 avanti Cristo furono ricavate nell'arenaria le enormi 4 statue della facciata del grande tempio dedicato dal faraone agli Dei dell'impero ed 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 ed i soffitti furono tutti ornati con bassorilievi e graffiti, spesso colorati, che rappresentavano episodi della vita di Ramsete II.

La fotografia n. 4a 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.

La fotografia n. 4b riporta una delle statue ricavate all'interno del grande tempio: la figura fa corpo unico con un pilastro della sala-corte.

La fotografia n. 4c 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 alti dignitari.

Impossibile in questa sede fare una descrizione, sia pur 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^3 il volume interno del grande tempio)

6

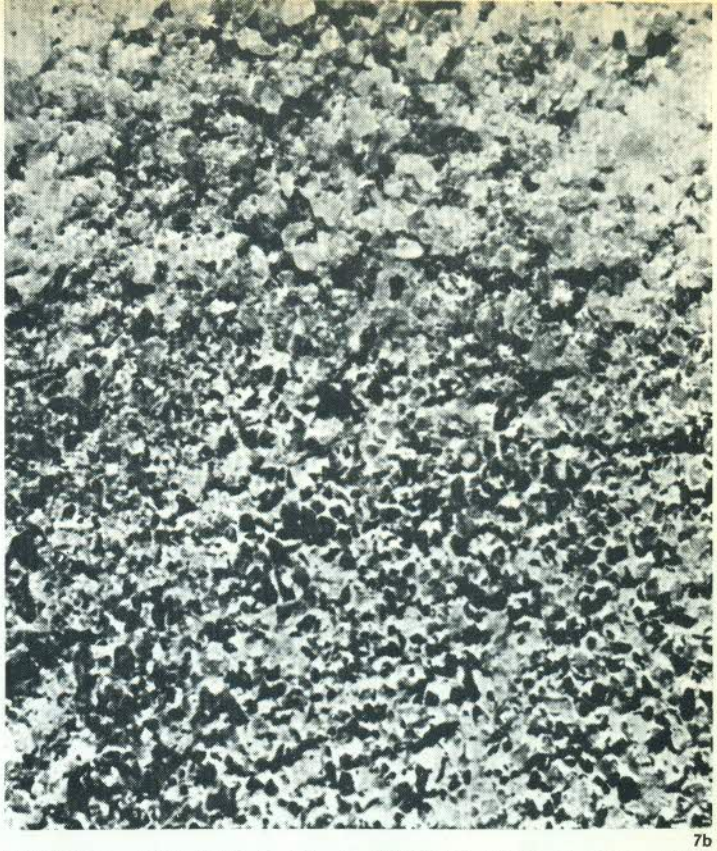
— il poco tempo a disposizione in quanto la costruzione della diga di Saad El Aali continuava a ritmo serrato ed era previsto che le acque del Nilo già nell'inverno del 1964/65 raggiungessero il livello 127,5 m, mentre l'anno dopo 133 m sul livello del mare: la base del piccolo tempio di Abu Simbel era 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 ad 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).



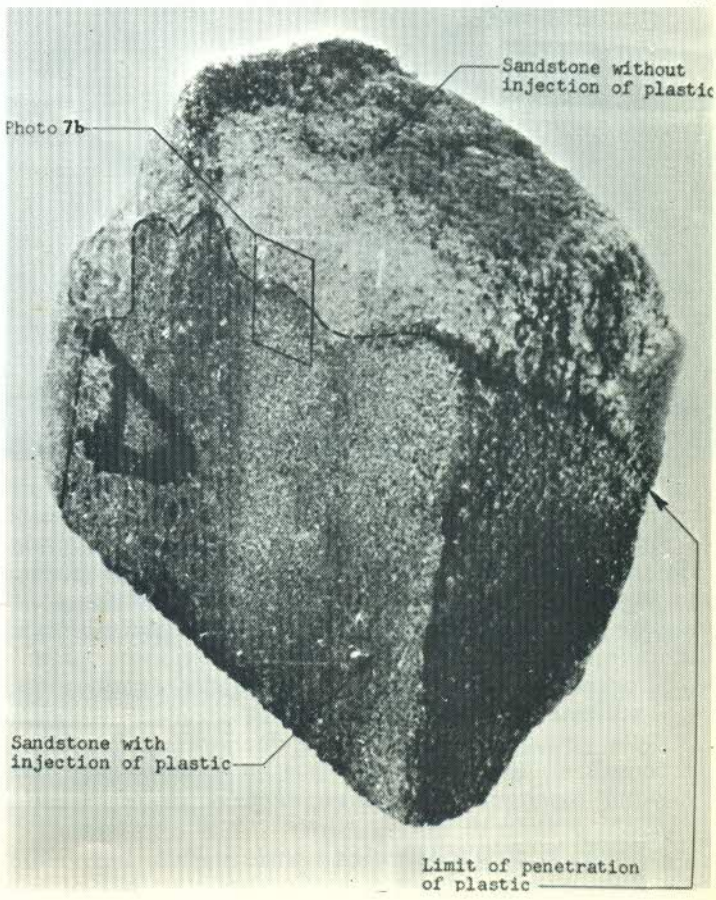
7b

Particolare della foto n. 7a. Si distingue bene la zona limite della diffusione della miscela nell'arenaria

Potenti bulldozers equipaggiati con grossi denti di acciaio (rippers) scavano la collina sopra le camere interne dei templi. La collina veniva in questo modo distrutta fino ad una distanza di 8 m sopra l'intradosso dei soffitti: poi entravano in funzione i martelli pneumatici. Le vibrazioni indotte da tale sistema di scavo venivano controllate per mezzo di sismografi registratori

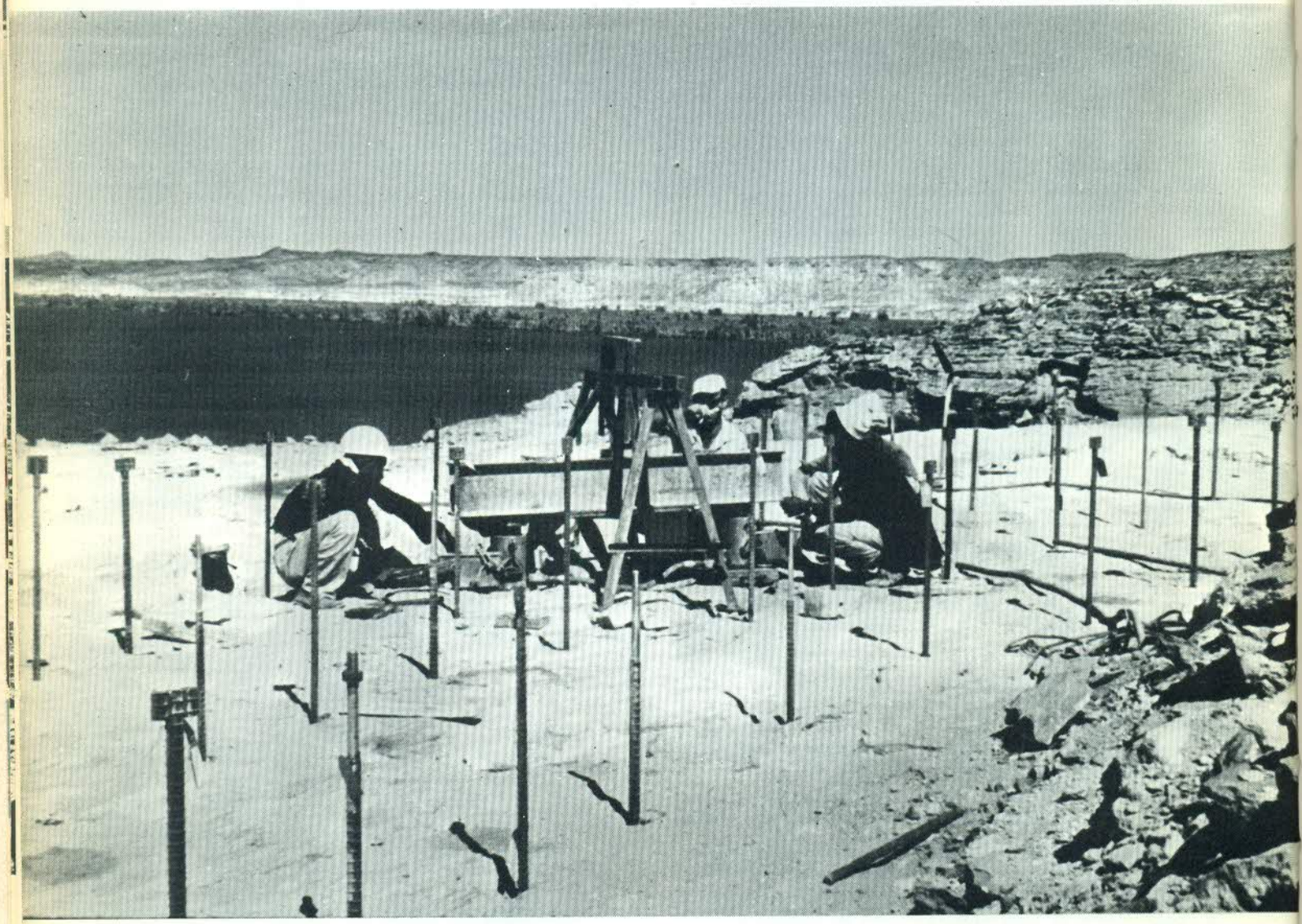
Prova di iniezione con resina d'arenaria artificiale, eseguita a Stoccolma agli inizi del 1963

7a



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

8a



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).

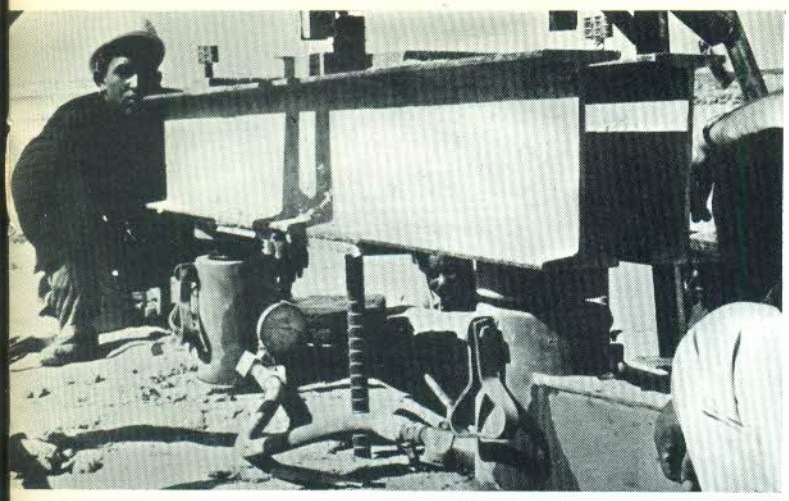
— il progetto del francese A. Caquot prevedeva che il sollevamento fosse ottenuto utilizzando l'aumento delle acque stesse del lago, facendo galleggiare i templi su enormi contenitori in calcestruzzo. Ma ormai mancava il tempo necessario per la messa a punto pratica di tale sistema.

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.

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 R.A.U.

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 riassestati 65 m più in alto e 180 m circa più all'indietro, verso la sommità della collina. La spesa della operazione sarebbe stata sopportata per un terzo dall'Egitto,

8b



Particolare del sistema utilizzato per la prova di strappamento delle barre. Martinetti idraulici in fase di lavoro per stabilire lo sforzo massimo di aderenza tra la resina di sigillatura e la barra di sollevamento

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 svedesi, la Vattenbyggnadsbyran di Stoccolma detta « VBB ».

Era necessario fare presto: le acque del Nilo, come più sopra riferito, avrebbero raggiunto quota 127,5 m sul livello del mare già l'inverno successivo (1964/65) ed i 133 m alla fine del 1965 e la quota d'ingresso del piccolo tempio era 120,2 m sul mare. 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^3 di sabbia e 276.000 m^3 di pietra) (fig. 5).

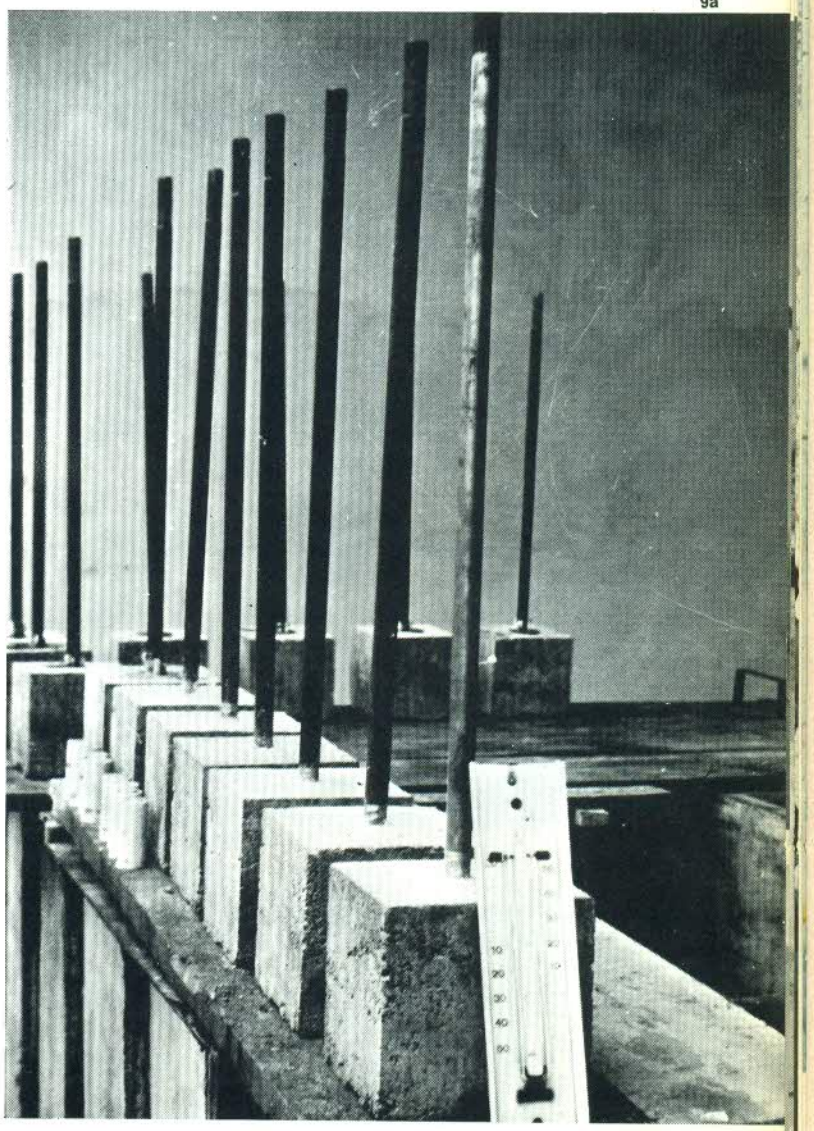
Nella parte interna della diga fu necessario realizzare una rete fitta di cunicoli di drenaggio e di pozzi per impedire che la roccia dei templi potesse essere interessata da percolazioni ed anche semplicemente da umidità.

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 verrini idraulici tipo Freyssinet
— asportazione della montagna sopra le camere interne dei templi fino ad 80 cm dall'intradosso dei plafoni; ciò avrebbe portato alla rimozione di 300.000 t di arenaria (fig. n. 6)
— 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

Sigillatura delle barre di sollevamento: prova di aderenza alle barre della malta di resina epossidica atta a polimerizzare a temperature inferiori a 10° C (minime invernali ad Abu Simbel). Barre, sigillate entro cubetti di calcestruzzo forati, durante la fase di polimerizzazione della resina di sigillatura

9a



— riedificazione dei templi mediante il riassestamento 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	»
Trattamento A	n. 1010	»
Trattamento B	n. 5840	» (circa)

Del trattamento A faceva parte tutta la zona superficiale della incorniciatura sovrastante le facciate

9b
Prova di aderenza alla barra della malta di resina epossidica atta a polimerizzare a temperatura inferiore a 10° C. Apparecchiatura di prova con martinetto e dinamometro cavo

10a
Esame del comportamento della sigillatura di resina attorno alla barra. La prova di trazione si conclude con la rottura del cubetto in corrispondenza ad uno sforzo di aderenza barra-resina superiore a 120 kg/cm²

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 successo. Riportiamo alcune delle date più salienti:

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 Ramsete 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 NECESSITA' 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 ed i 40 kg/cm² 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/cm² ed anche più bassi, 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; le alte pressioni avrebbero irrimediabilmente danneggiato la roccia;
— tutte le miscele a base di acqua avrebbero potuto disgregare la 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 molte elevate, fino ad oltre 50° C).

Descriviamo qui di seguito, per ovvie ragioni di brevità in modo schematico, 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) Miscele 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) Miscele per trattamento delle fessure della roccia
— buona resistenza ed aderenza alle superfici rocciose
— possibilità di ottenere tempi di polimerizzazione brevi, per evitare disperdimenti in zone non interessanti;

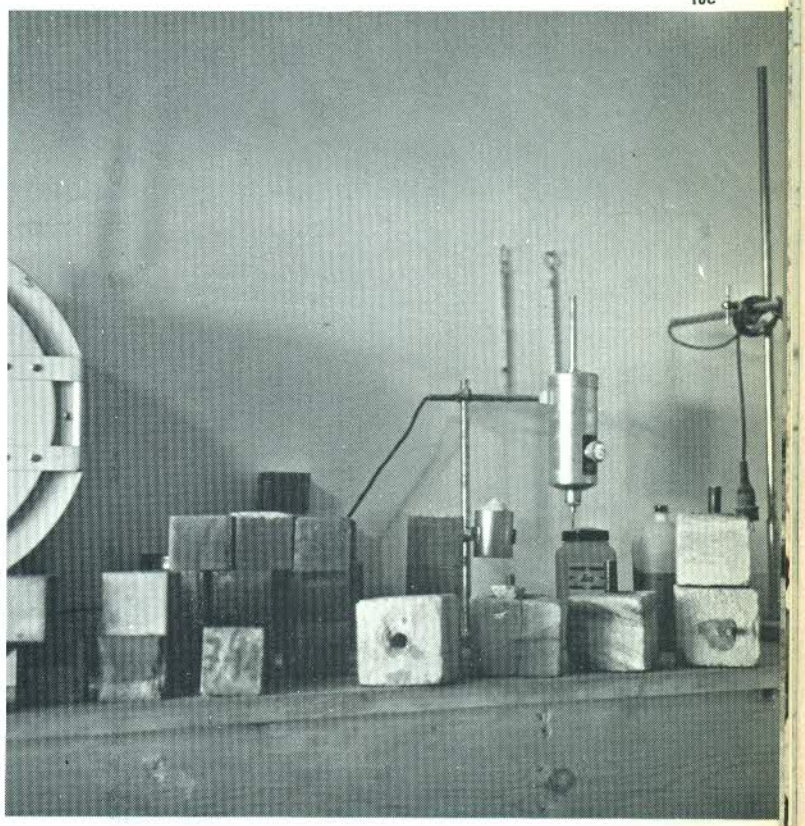
c) Miscele per la sigillatura delle barre di sollevamento e di ancoraggio
— ottima aderenza sia nei confronti delle barre sia della roccia
— assenza assoluta di fenomeni di ritiro anche dopo lunghi periodi di tempo (18-20 mesi); bisognava infatti assicurare che il sollevamento dei blocchi potesse avvenire 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.

Preparazione di cubetti di malta di resina per prove di compressione e di cubetti di roccia per prove di iniezione nel laboratorio « Rodio » ad Abu Simbel

Prove di compressione su cubetti di malte di resine poliesteri ed epossidiche ad Abu Simbel

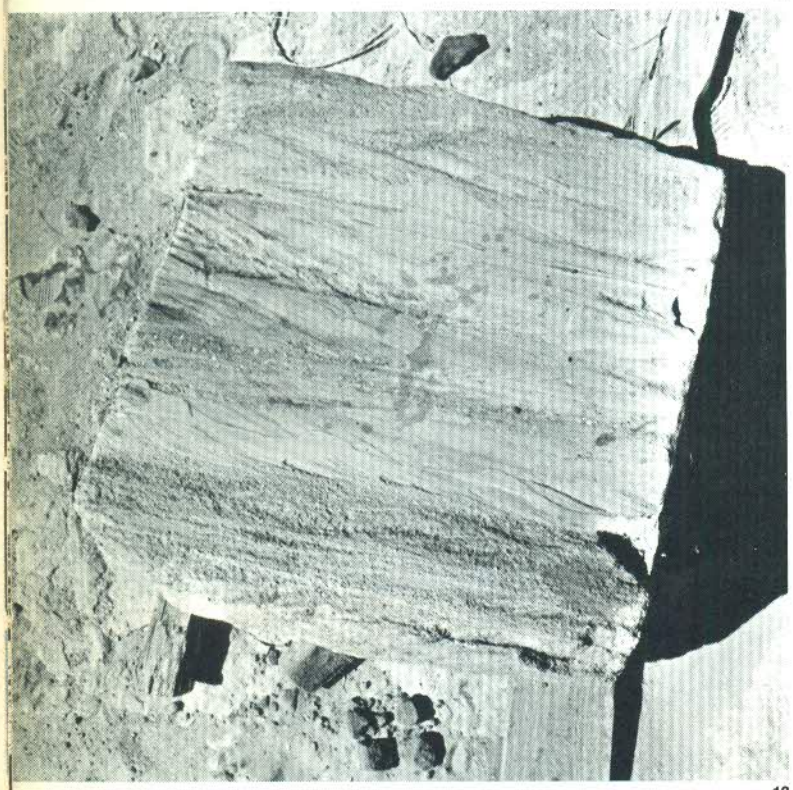
10c



10b

11

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



12

Trattamento di fessure dell'arenaria con resine epossidiche: blocco segato dopo la prova di colaggio della resina nelle due fessure ben visibili nella foto

d) Miscele 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 poliestere « 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. 7a) riproducente un blocco di arenaria artificiale iniettato con resina e la fotografia n. 7b) 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.

1) Durante i mesi di Luglio ed 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 ».

Tali prove hanno fornito tutti i dati caratteristici delle resine da impiegarsi per le prove in sito.

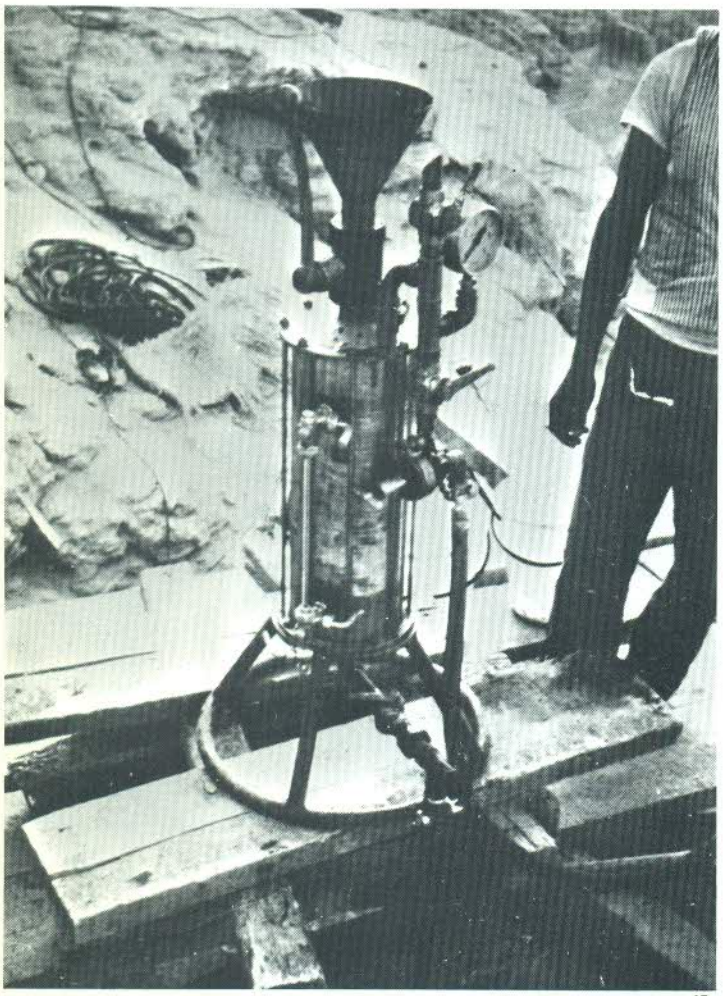
2) Nei mesi di Settembre, Ottobre, Novembre del 1964 sono state eseguite le prime prove ad Abu Simbel, a conclusione delle quali è stato elaborato il rapporto « Sandstone consolidation by injection and anchor bars placing ».

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:

Prova di aderenza arenaria-calcestruzzo previa spalmatura sulla superficie di contatto di una resina epossidica

resine aminoplastiche	Svedicoll A Furesir
resine poliesteri	Resiplast RP 20 Sterpon NP 52
resine epossidiche diluite	Vari tipi di Araldit e relativi indurenti

— Iniezione e riempimento delle fessure
— Prove sulla sigillatura delle barre di ancoraggio



15a
Pompa ad aria utilizzata per l'iniezione delle resine poliesteri

— Prove di trattamenti superficiali con resine, mediante pittura e spruzzatura
— Prove di aderenza
— Protezione degli affreschi e graffiti sempre mediante resine
— Conclusioni ed appendice fotografica.

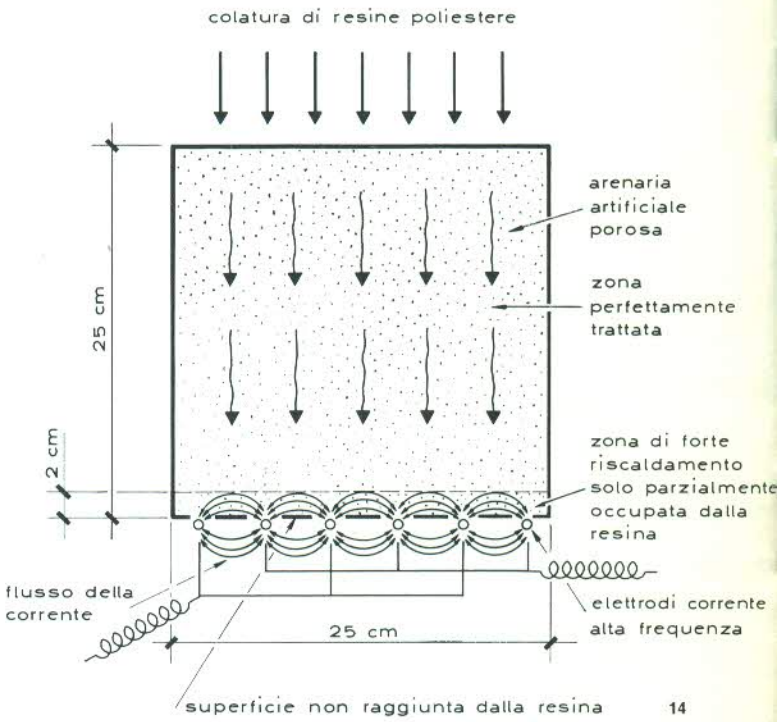
Queste prove hanno portato all'esclusione definitiva delle resine aminoplastiche per i lavori di sigillatura di barre e di consolidamento; hanno invece confermato la validità dell'impiego di *resine epossidiche* per la sigillatura delle barre di sollevamento e di ancoraggio e di *resine poliesteri* per 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 ed il Luglio del 1965 ed hanno portato alla stesura delle « Instructions », una specie di capitolato con le specifiche definitive relative ad ogni operazione da eseguirsi durante il lavoro.

a) **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 test executed at the site - Spring 1965. Test on lifting bars ».

Ai risultati di queste prove sono legate le « Instructions for the execution of lifting bars » elaborate in cantiere dai tecnici della Rodio.



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

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, caricata con sabbia di duna (nella proporzione in peso Resina + Indurente/Sabbia = 1/1,5).

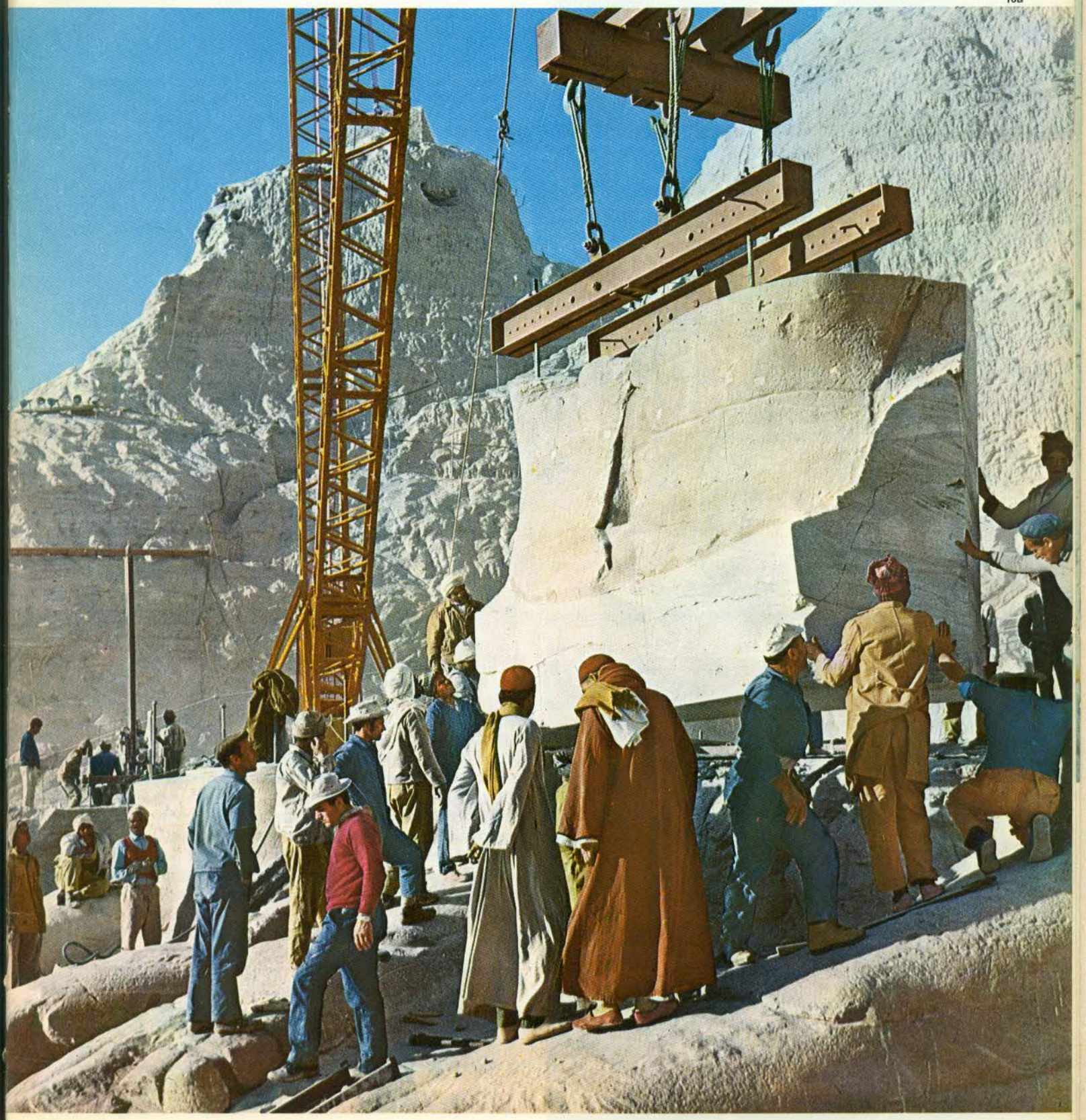
E' stato chiarito che è possibile utilizzare anche la resina Araldit GY 257 con lo stesso indurente ed una carica di sabbia maggiore (1/2, perché la resina è più fluida); se il sollevamento del blocco deve essere eseguito entro 24 ore dalla sigillatura è però necessario nel caso della GY 257 aggiungere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

La fotografia n. 8a mostra la zona di prova delle barre di sollevamento e la n. 8b un 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 difficol-

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

16a

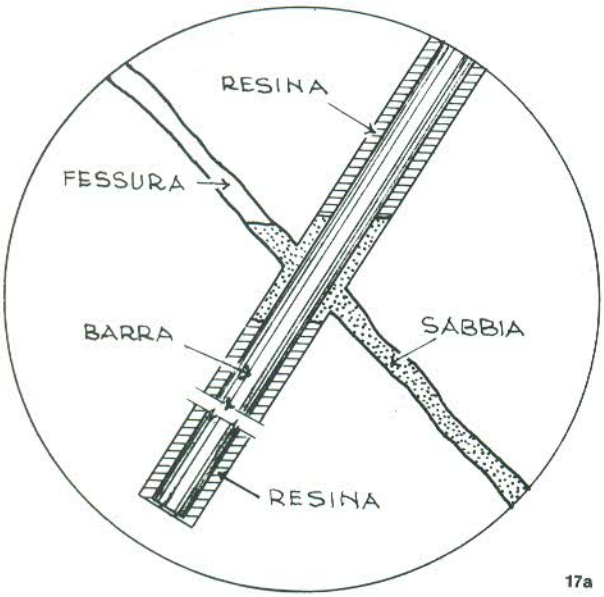


16b

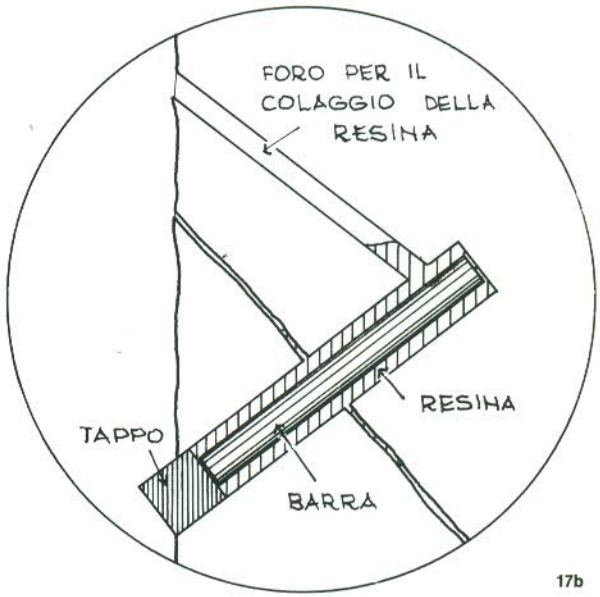
Blocco durante il sollevamento; non si notano trattamenti particolari di rinforzo. Sullo sfondo la grande cavità creatasi dopo l'asportazione della collina sopra il grande tempio

a - Particolare della cementazione della barra in presenza di una fessura molto aperta dalla quale la resina può uscire

b - Particolare della messa in opera di una barra in un foro verso l'alto



17a



17b

Particolare per la posa di una barra di rinforzo in una statua appartenente alla facciata del tempio

18a

tà d'applicazione delle resine epossidiche prescritte per le alte temperature.

Sono seguite allora altre prove condotte nel laboratorio Rodio (vedere foto nn. 9a - 9b - 10a). I risultati sono raccolti nel « Report on tests executed at Rodio Laboratory Autumn 1965 » « Resina epossidica da utilizzarsi quando la temperatura media dell'arenaria scende sotto i 20°C ».

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:

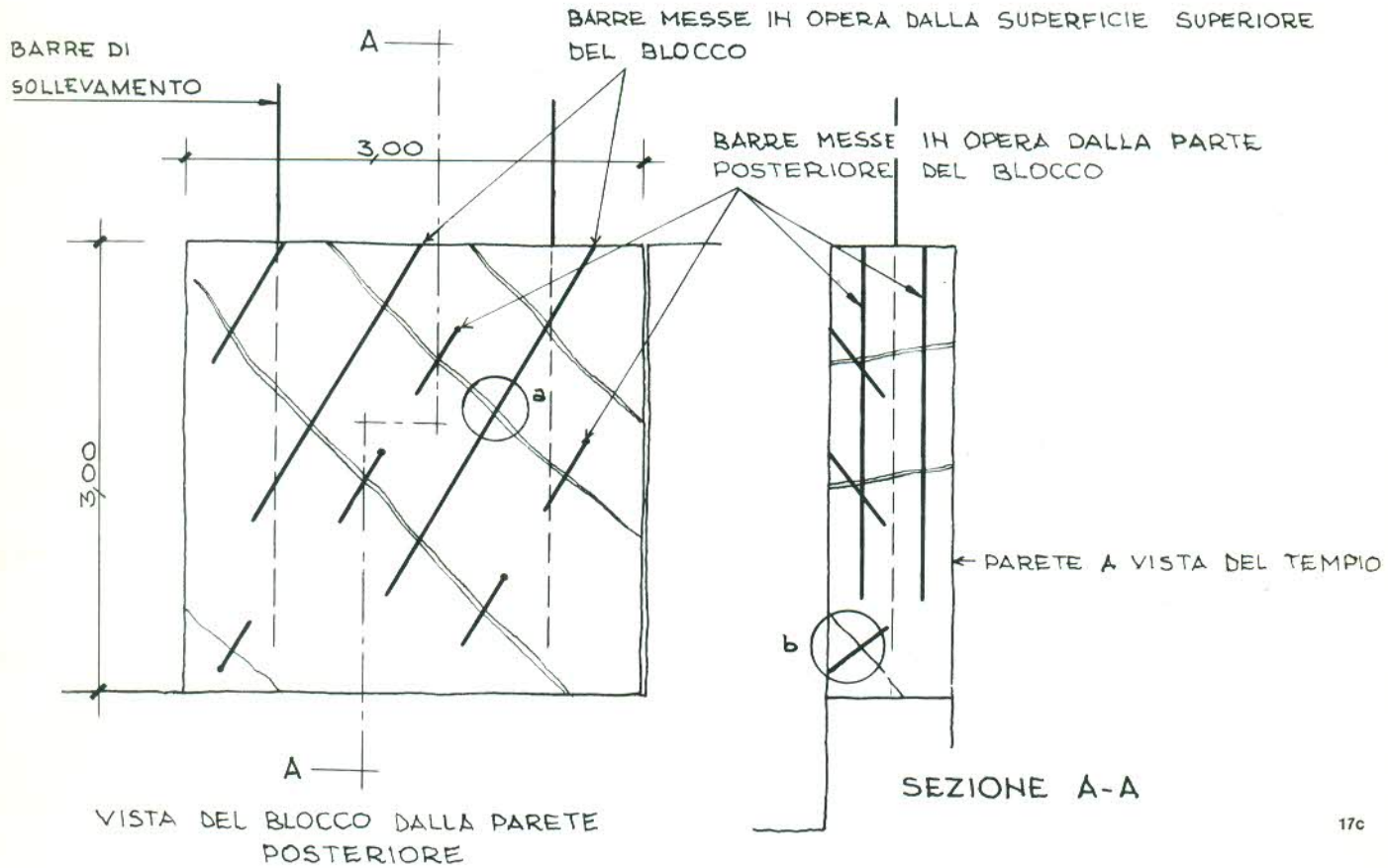
Araldit GY 250	100 parti in peso
Indurente X 157	18 parti in peso
Sabbia di duna	118 parti in peso

— 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 parti in peso
Accelerante DY 830	5 parti in peso
Sabbia di duna	160 parti in peso

Le « Instructions » per le pratiche operazioni di cantiere sono state così completate.

Esempio di rinforzo con barre d'acciaio di un blocco di parete fessurato



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 energicamente 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 ∅ 32 mm = 10 tonnellate
per barre corrugate ∅ 25 mm = 7 tonnellate.

Per cui lo sforzo di trazione massimo risultava di 1243 kg/cm² per le barre ∅ 32 e 1427 kg/cm² per le barre ∅ 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:

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

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

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 agli 80 ÷ 90 kg/cm²: coefficiente di sicurezza dunque in ogni condizione di temperatura superiore a 2.

b) **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

18b

Posa delle barre di rinforzo, visibili in alto anche le barre di sollevamento

programma (« Second series of tests ») stabilito di comune accordo con i rappresentanti della Joint Venture Abu Simbel e della Direzione Lavori.

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 poliestere (Resiplast RP/20/23 e Sterpon 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.

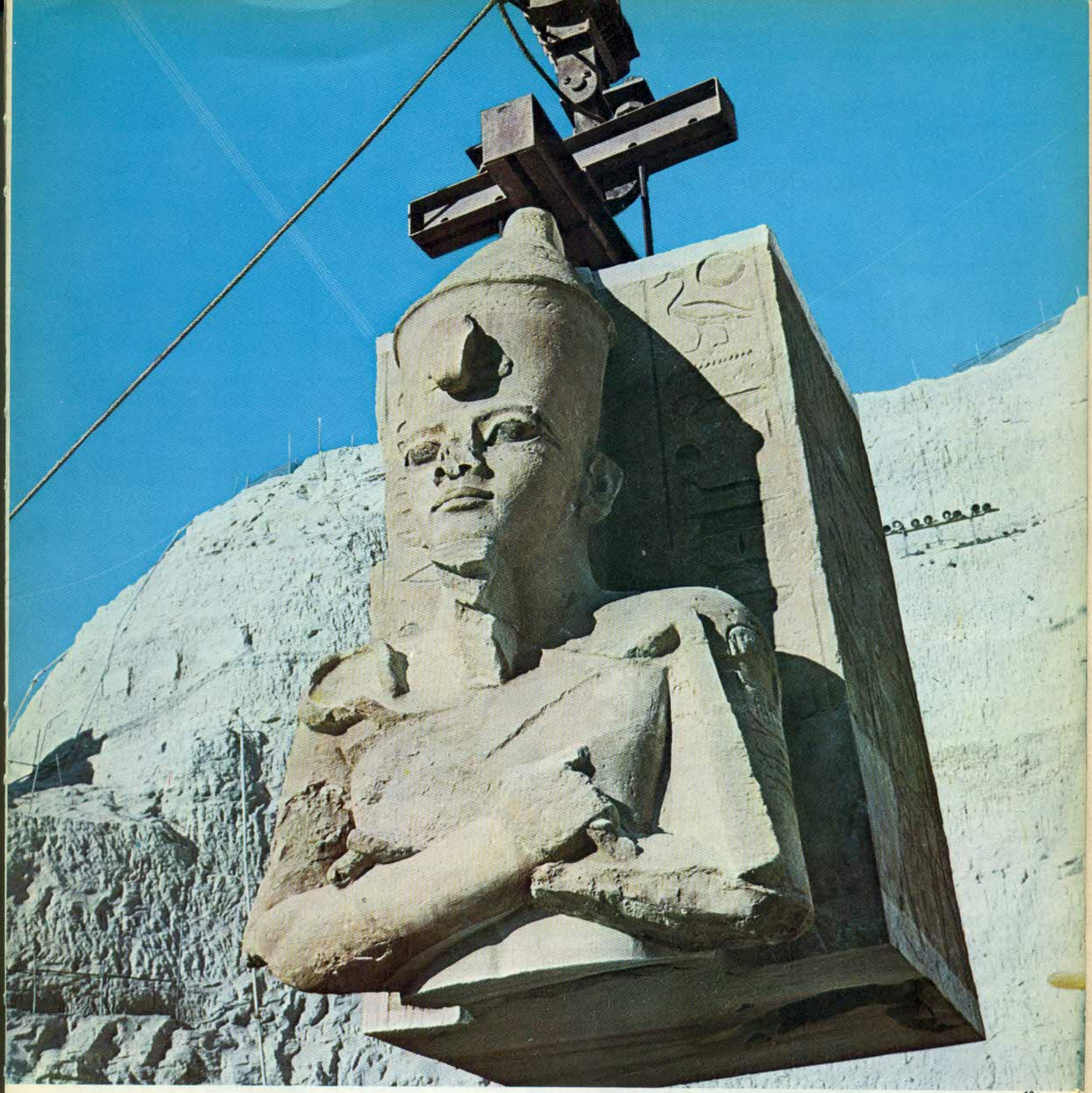
Sono poi state eseguite su tutti i cubetti iniettati prove di rottura a compressione.

Alla medesima prova sono pure stati sottoposti cubetti di malta formata da sabbia di duna e poliestere.

Le fotografie nn. 10c e b mostrano l'apparecchiatura usata in cantiere per le prove di iniezione e di rottura dei cubetti. I risultati sono i seguenti:

— carico medio di rottura a compressione della roccia non trattata 60 ÷ 70 kg/cm²

— carico medio di rottura a compressione dell'arenaria trattata con poliesteri superiore a 300 kg/cm²



Blocco durante il sollevamento

— carico medio di rottura a compressione di cubetti di malta

con RP 20/23	850 kg/cm²
con NP/52	650 kg/cm²

— 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 poliestere.

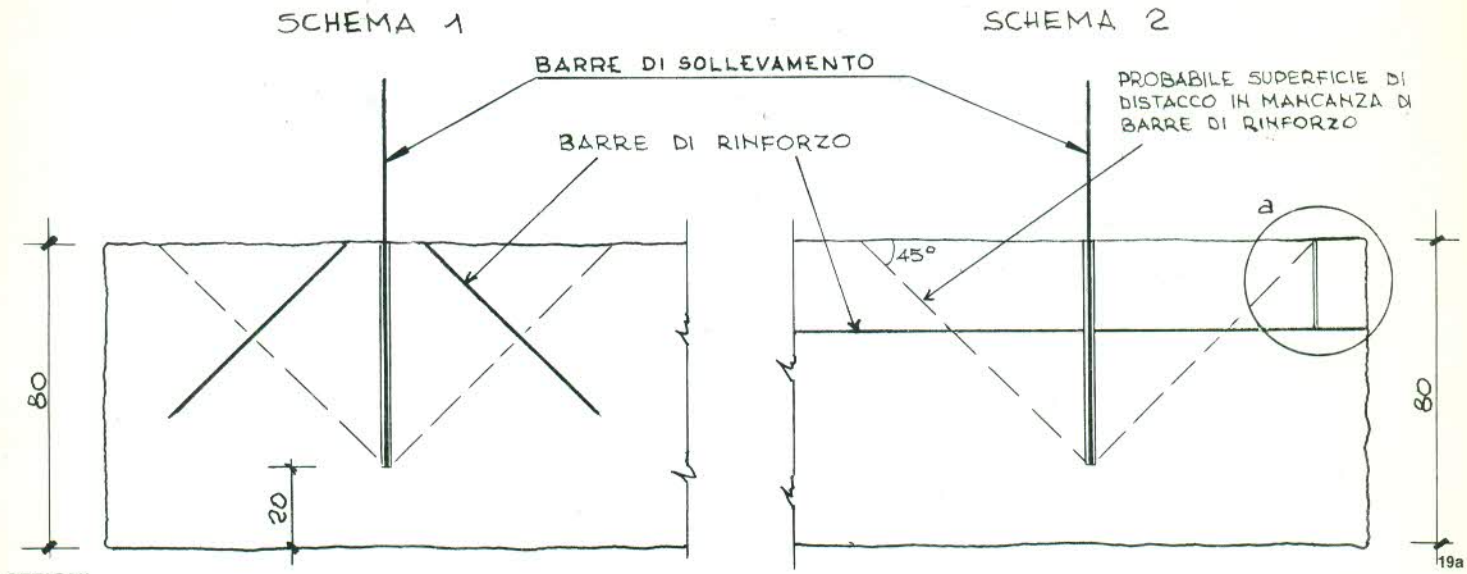
Questo fatto ha assunto grande importanza durante i lavori.

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 cm 80. 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

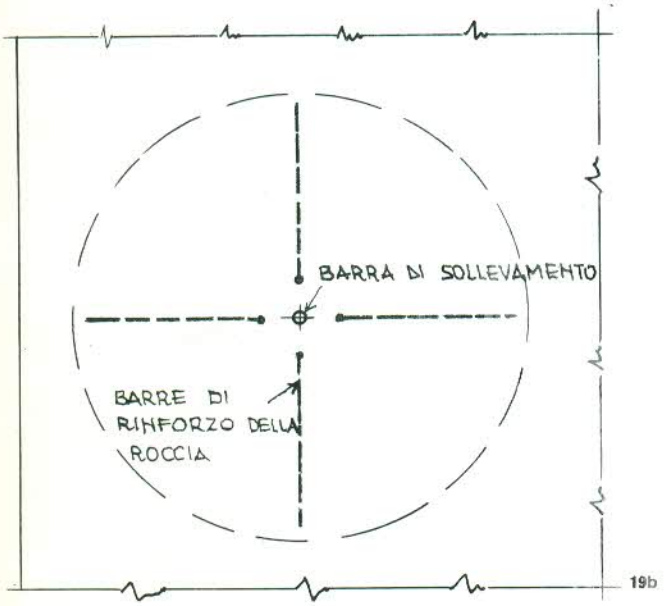
— la viscosità della miscela più adatta per arenaria di media granulometria è di 100 centipoises

Esempi di rinforzo dei blocchi di soffitto in roccia incoerente in corrispondenza delle barre di sollevamento



19a

SEZIONI



19b

PLANIMETRIE

19c

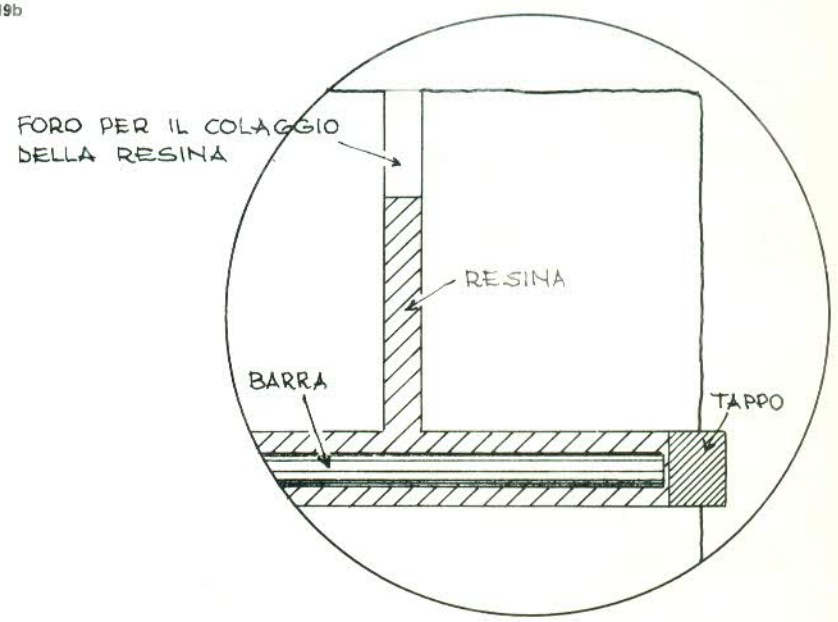
— il raggio d'azione (ossia il percorso della miscela) con tale tempo di iniezione e tale viscosità, sotto una pressione variabile dalle 0,5 alle 2 atmosfere, è di 30 cm (in un'arenaria di media granulometria)

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 $970 \div 1100\ kg/cm^2$

a - Particolare della cementazione di una barra in un foro orizzontale



Schemi d'applicazione di barre di rinforzo per i blocchi di soffitto

Valore assai elevato che ha confermato ancora una volta la notevolissima capacità di resistenza 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.

Riportiamo la fotografia n. 11 che 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 ed 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 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 induranti HY 840 e HY 956, tricloroetilene come diluente oppure la solita sabbia di duna per raggiungere alti valori di viscosità.

La fotografia n. 12 mostra un blocco sezionato dopo il riempimento di due fessure; quella in basso, di 4 mm di spessore, è stata interessata con malta di Araldit GY 250, quella superiore, di 2 mm di spessore, è stata iniettata con resina pura senza aggiunte di sabbia. Si può notare l'ottima diffusione della miscela.

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 ed arenaria non migliora con l'applicazione preventiva sull'arenaria di una qualsiasi spalmatura di resina;

— d'altra parte l'acqua del calcestruzzo, assorbita dall'arenaria, deteriora la zona di contatto;

— necessario dunque 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. 13 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.

— ad ogni modo, per ragioni pratiche di cantiere, si stabilisce che una sicura aderenza non può essere raggiunta se non con la applicazione di barre metalliche preventivamente sigillate con resine all'arenaria e poi annegate nel getto, eseguito dopo la impermeabilizzazione della superficie di contatto.

c) 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.

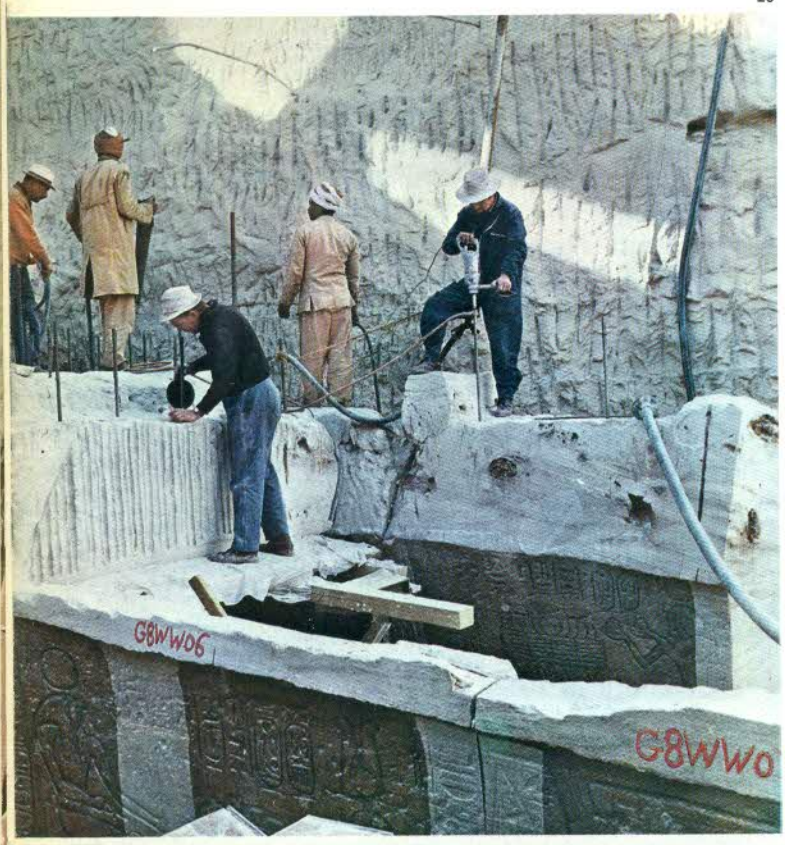
Si era infatti dovuto affrontare il difficile problema di consolidare l'arenaria porosa dei blocchi senza che le miscele impiegate, in genere poliesteri di colore tendente al rosso, si diffondessero in modo da percolare all'esterno e venire così ad alterare i colori degli affreschi o semplicemente quello 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.

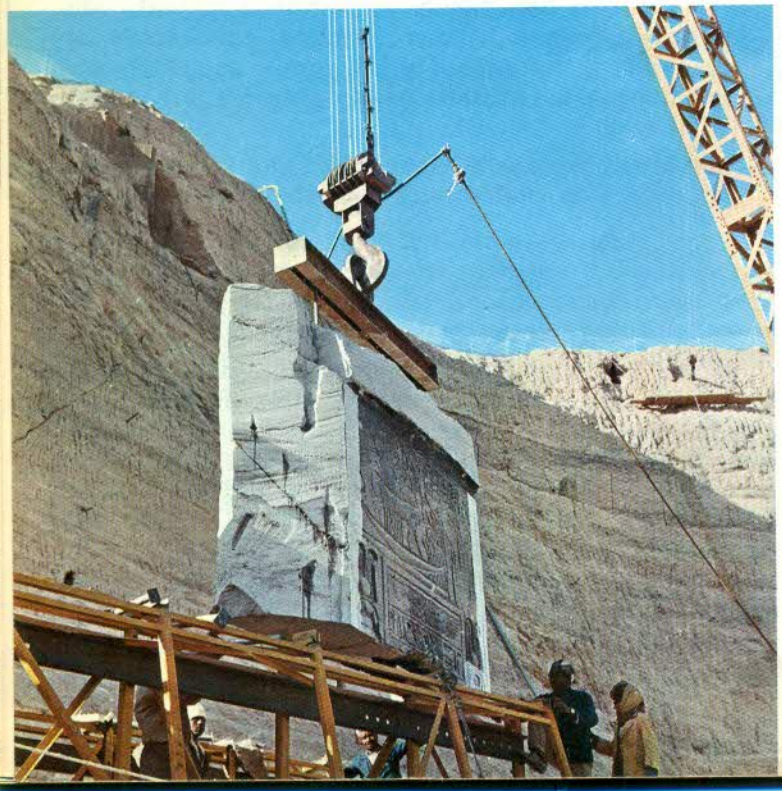
Blocchi di pareti appartenenti ad una delle camere del tempio dopo l'asportazione di una parte del soffitto. Posa di barre di rinforzo in un blocco di soffitto

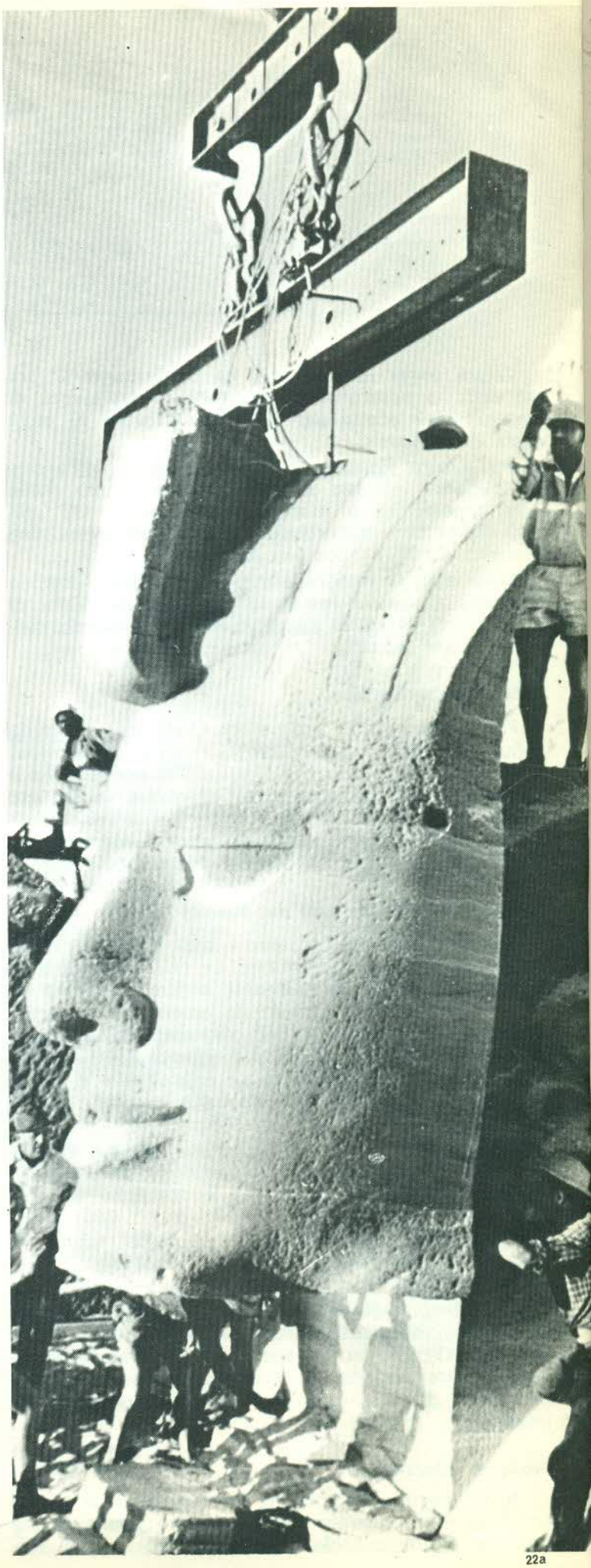
Esempio d'intervento di rinforzo mediante posa di barre di cucitura attraverso la fessura

20



21

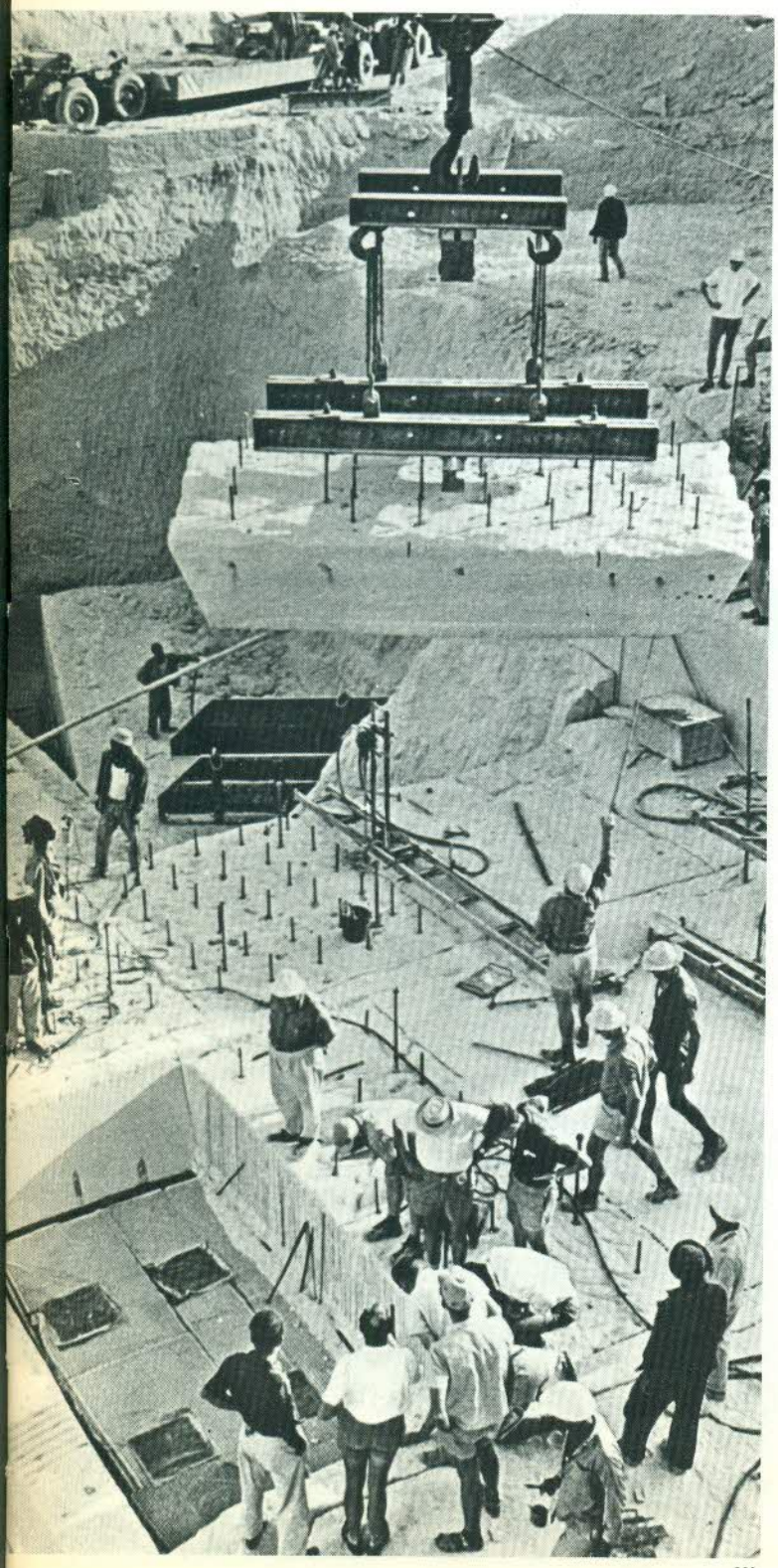




22a

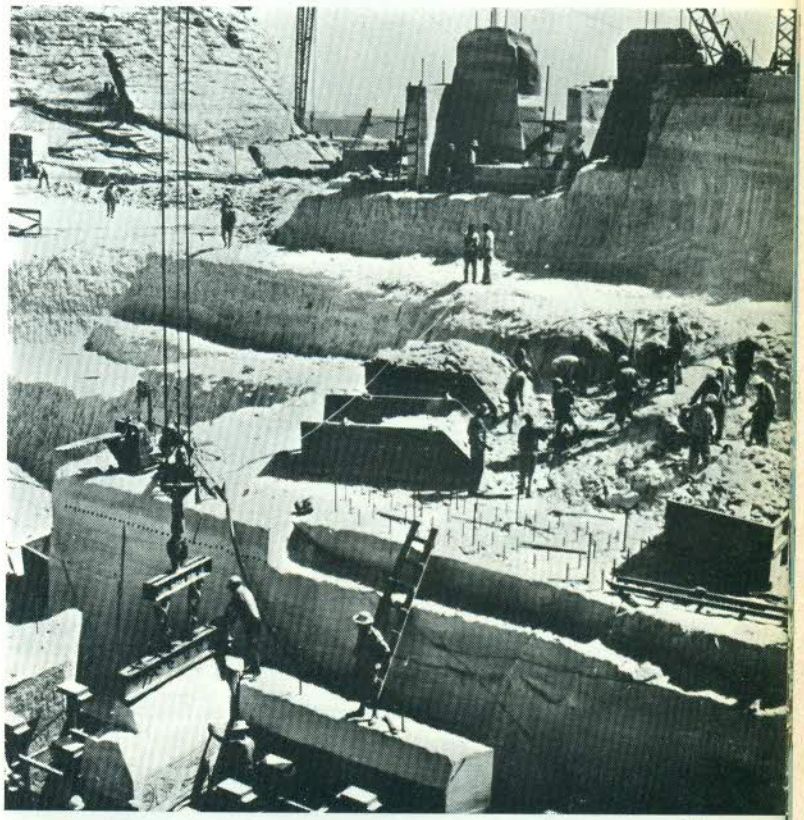
Fase iniziale del sollevamento della grande testa di Ramsete II (peso 30 t)

Viene sollevato il primo blocco del soffitto. L'apertura rivela i supporti ed il materiale di protezione delle superfici intradossali



22b

Situazione dei lavori di smontaggio alla fine del 1965



22c

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.

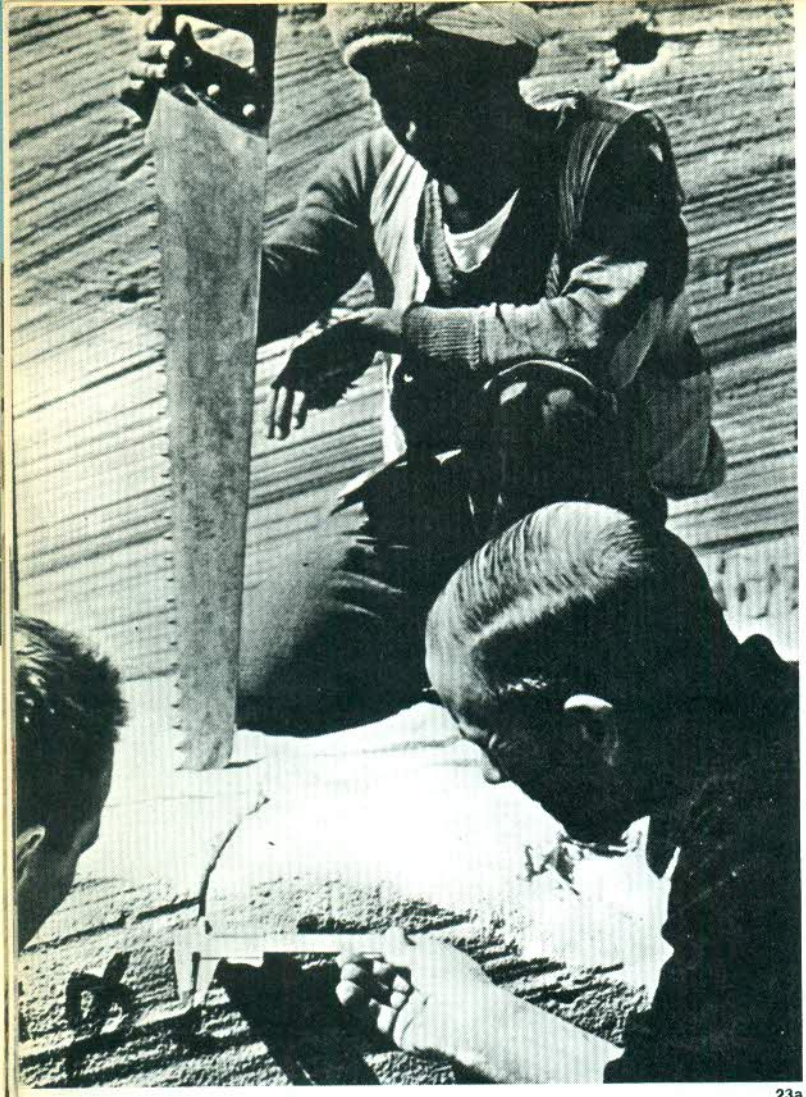
I cubetti di prova di 25 cm di lato venivano posti sopra una griglia costituita da una serie di elettrodi tubolari di rame (vedere figura n. 14) nei quali veniva fatta passare corrente elettrica, portata con trasformatore ed oscillatore ad una tensione di 2000 Volt e frequenza di 50.000 Hertz.

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

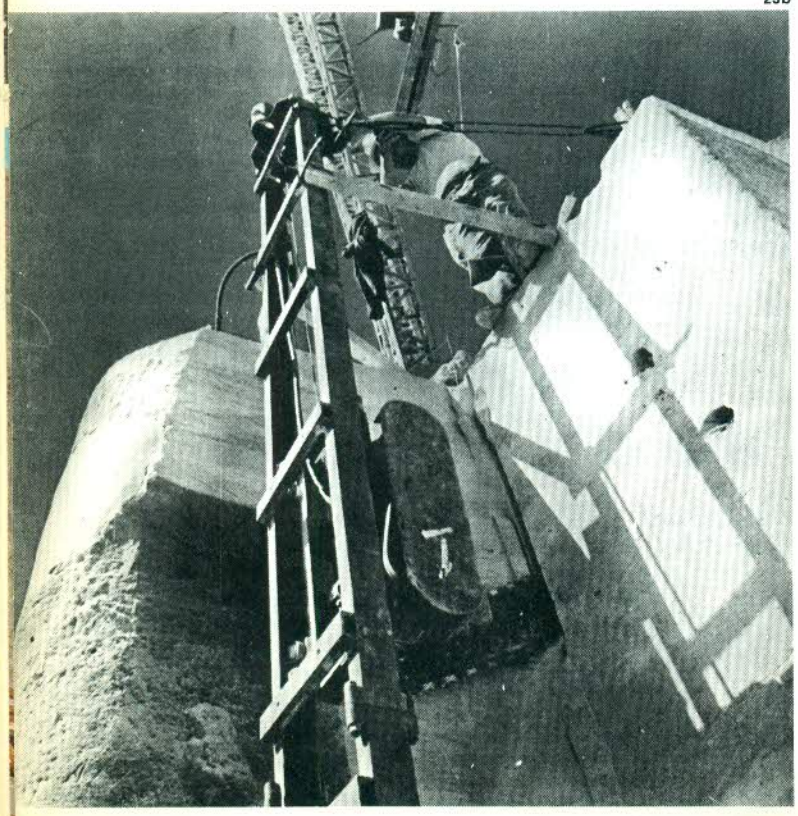


23a

Tagli di precisione sono condizione indispensabile per la buona riuscita della grande impresa. L'ampiezza dell'impronta della sega non deve normalmente essere superiore a 2 mm. Si comprende il ruolo eccezionale assunto in questo lavoro dall'opera del tagliapietra

Un tipo particolare di sega a catena, mobile verticalmente e guidata da telai metallici

23b



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 della resina nell'arenaria in tutta la parte sovrastante la faccia da salvaguardare.

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.

Segnaliamo fra queste:

— la pompa ad aria per iniezioni di poliesteri (fotografia n. 15a)
— 5 trapani elettrici leggeri tipo Impex ES 30 per fori fino a 22 mm, da sostenersi a mano
— 2 perforatori elettrici di tipo medio Impex ES 40, per fori fino a 28 mm, da sostenersi a mano
— 2 trapani elettrici Siemens per fori da 45 e 65 mm, montati su slitta
— speciali microbatterie di perforazione a rotazione e relativi microtturatori ad espansione per l'iniezione, del diametro di 14 mm
— attrezzatura completa da laboratorio per la preparazione delle resine.

Il personale Rodio in cantiere era costituito da:

1 direttore di cantiere
1 capo cantiere
1 perito chimico
1 capo specialista
7 specialisti

La manovalanza necessaria era fornita dalla J.V.A.S.

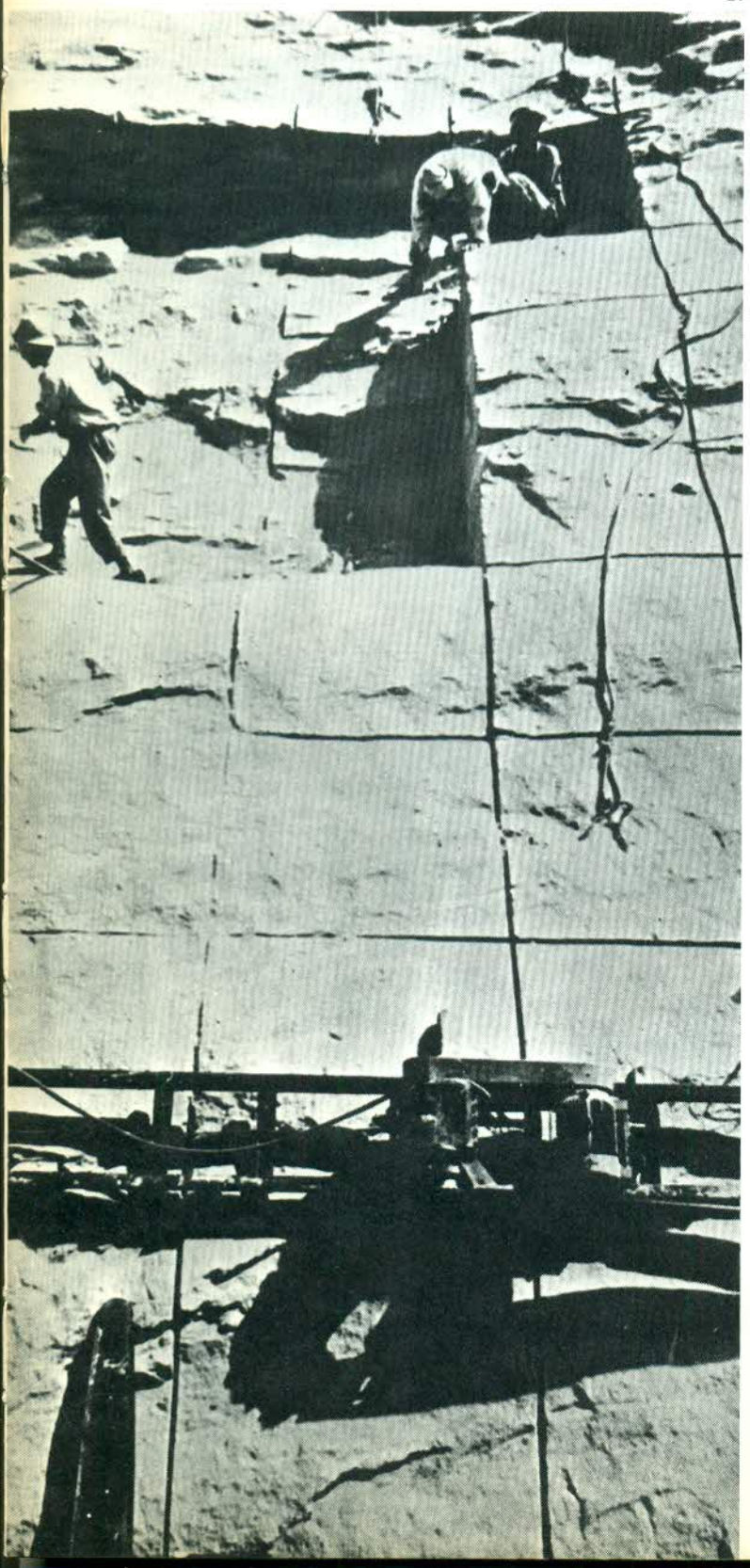
Durante la fase delle prove è sempre stato presente un ingegnere del laboratorio di Milano e saltuariamente un chimico della Solétanche di Parigi.

Barre di sollevamento e rinforzo dei blocchi

Si è già parlato delle resine impiegate per il fissaggio delle barre (vedere fotografia n. 16a). Diamo

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 ed i templi saranno reinseriti nel loro ambiente di sempre

24



ora qualche notizia particolare sul lavoro effettuato.

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 resina. 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. 16b) 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.

1) *Trattamento delle fessure*

Tale trattamento poteva essere realizzato nei seguenti modi:

a) sigillando le parti mediante riempimento con resina
b) 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. 17 (a, b e c).

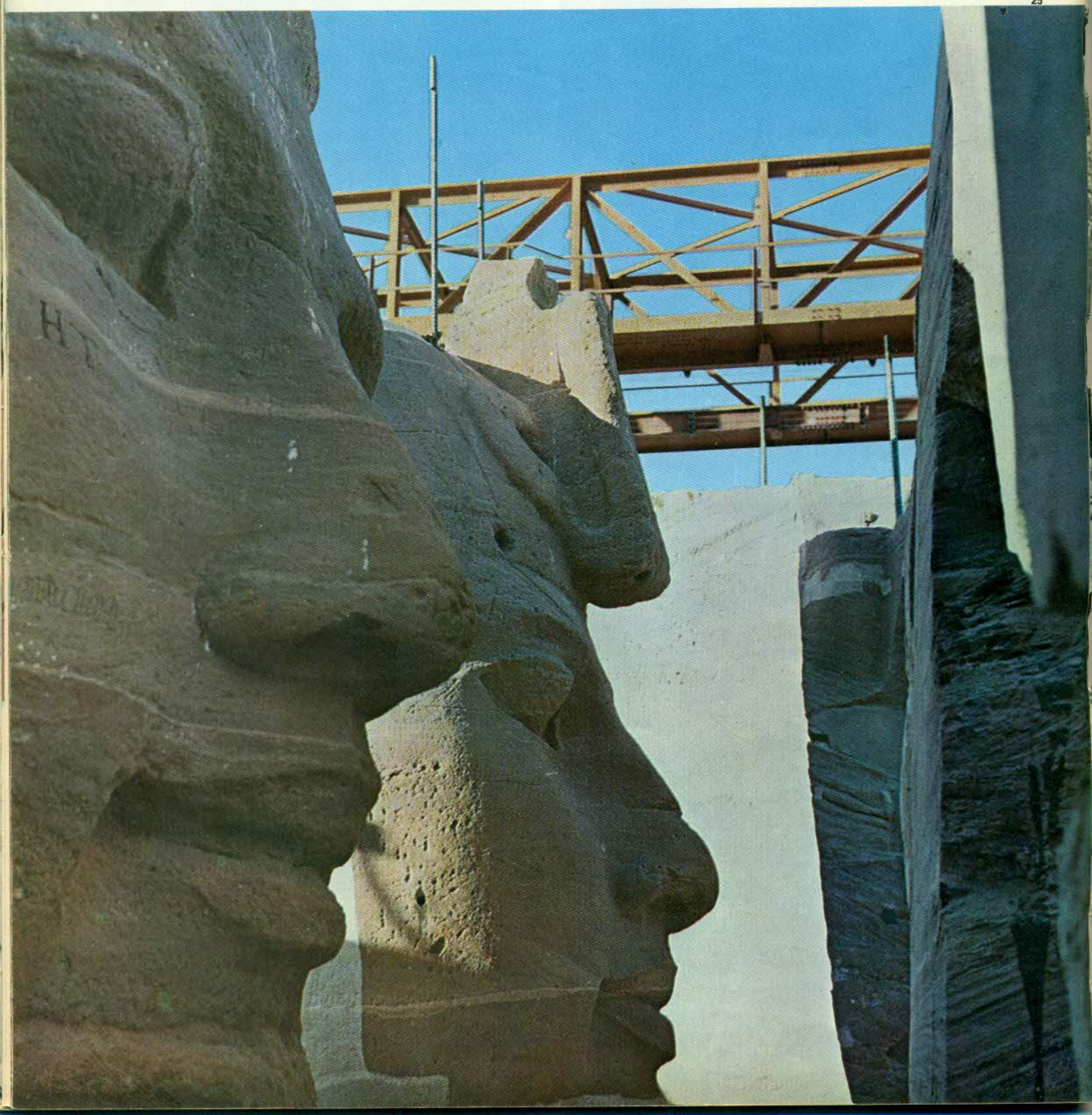
Nel caso di fessure molto aperte, attraverso le quali la resina avrebbe potuto facilmente uscire, si procedeva come indicato nel particolare della figura: il foro veniva riempito di sabbia in corrispondenza della fessura. Era infatti assolutamente necessario impedire la fuoriuscita della resina perché 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.

Le figure 18a e b mostrano alcune fasi della posa di barre di rinforzo. La fotografia 18c mostra come il blocco rinforzato (foto 18b) venga sollevato senza danno alcuno.

2) *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 del-

Le grandi figure dopo l'asportazione della facciata del grande tempio, attendono nell'aria di stoccaggio di essere rimontate



le 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 opportunamente disposte, sigillate con resine.

Nella figura 19a 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 all'intorno della barra di sollevamento). Questi trattamenti venivano normalmente realizzati quando l'arenaria appariva debolmente cementata ed interessata da strati porosi (a granulometria grossolana). La foto 20 mostra specialisti al lavoro durante il consolidamento di un blocco di soffitto.

Difficoltà particolari di esecuzione

La cucitura delle fessure ed il rinforzo dei blocchi mediante barre, pur 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 foto 21 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 sbavature 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. 17 e n. 19).

LO SMONTAGGIO DEI TEMPLI

Dal 21 maggio 1965, data di sollevamento del primo blocco, le operazioni di smontaggio si sono susseguite con ritmo incalzante.

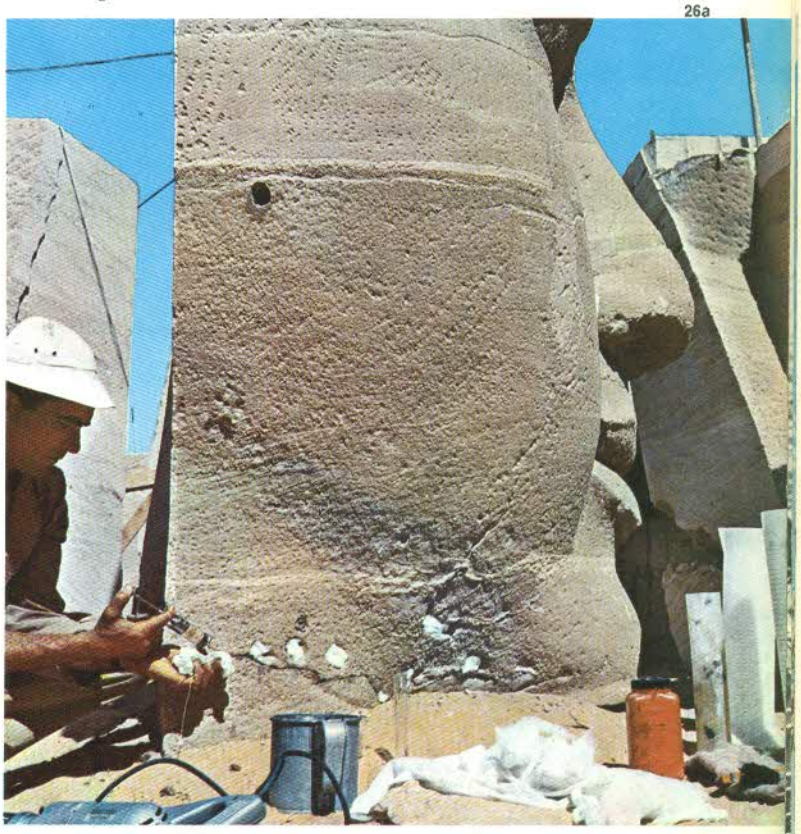
I blocchi venivano sollevati l'uno dopo l'altro e trasportati con tutte le cautele per mezzo di grosse piattaforme automontate all'area di stazionamento situata sulla cima della collina.

Molti sono stati i momenti emozionanti, nei quali la salvezza dei blocchi importanti era affidata alla precisione con cui venivano condotte operazioni differenti e tutte delicate.

La fotografia n. 22a riproduce l'attimo del distacco della grande testa di Ramsete II; la n. 22b mostra il sollevamento del primo blocco del soffitto.

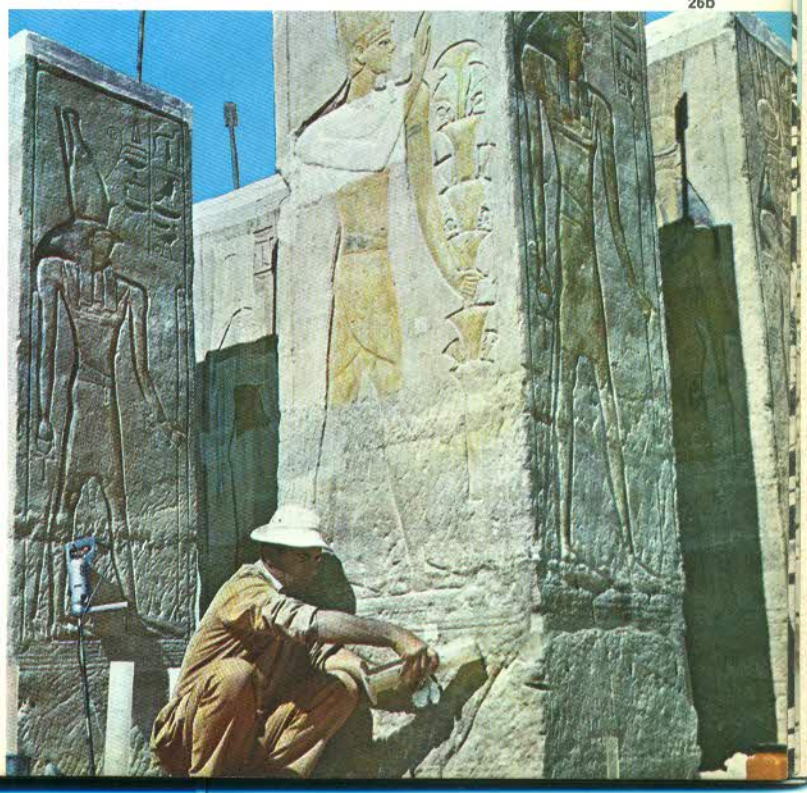
Particolari delle delicate operazioni di restauro eseguite nell'area di immagazzinamento

26a



Operazione di restauro eseguita nell'area di immagazzinamento

26b



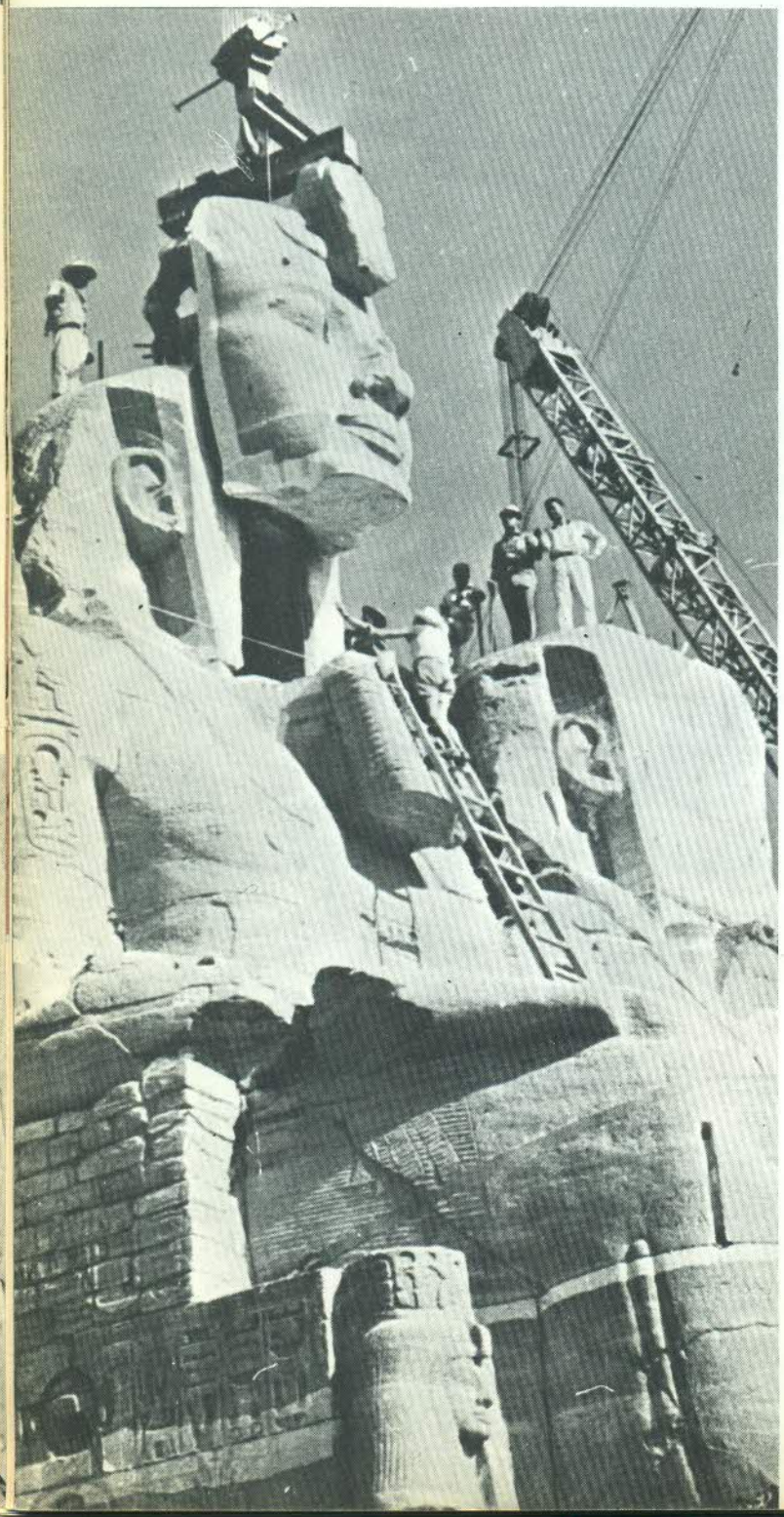
27a

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

La testa di uno dei colossi sta per ricevere la sua faccia: la foto riproduce uno dei momenti più emozionanti dell'intero lavoro

L'ingresso del grande tempio in fase di ricostruzione. Notare le strutture in cemento armato erette a sostegno dei blocchi e le intelaiature metalliche per la posa dei blocchi di soffitto

28



27b

La foto n. 22c 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 scoperchiate e le operazioni di sollevamento di un blocco di parete.

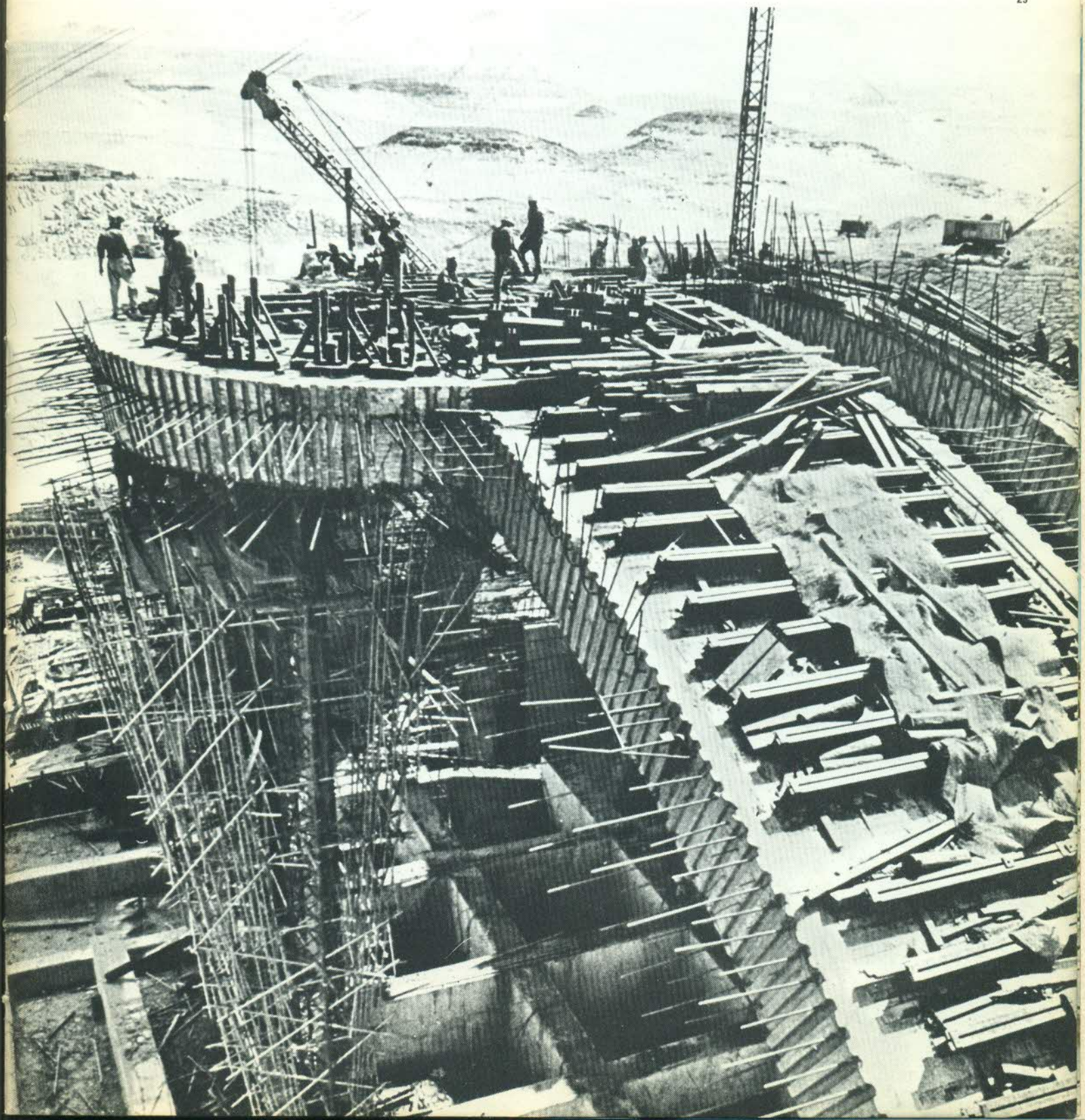
Le fotografie nn. 23a, b, mostrano con quale cura dovessero essere affrontati i tagli relativi ai blocchi dei templi.

La fotografia n. 24 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.

Come già detto, i blocchi trasportati sono stati 1105 appartenenti ai due templi, 1010 al « trattamento A » e 5840 circa al « trattamento B ». Le operazioni di smontaggio sono terminate nell'Aprile del 1966.

IL RESTAURO

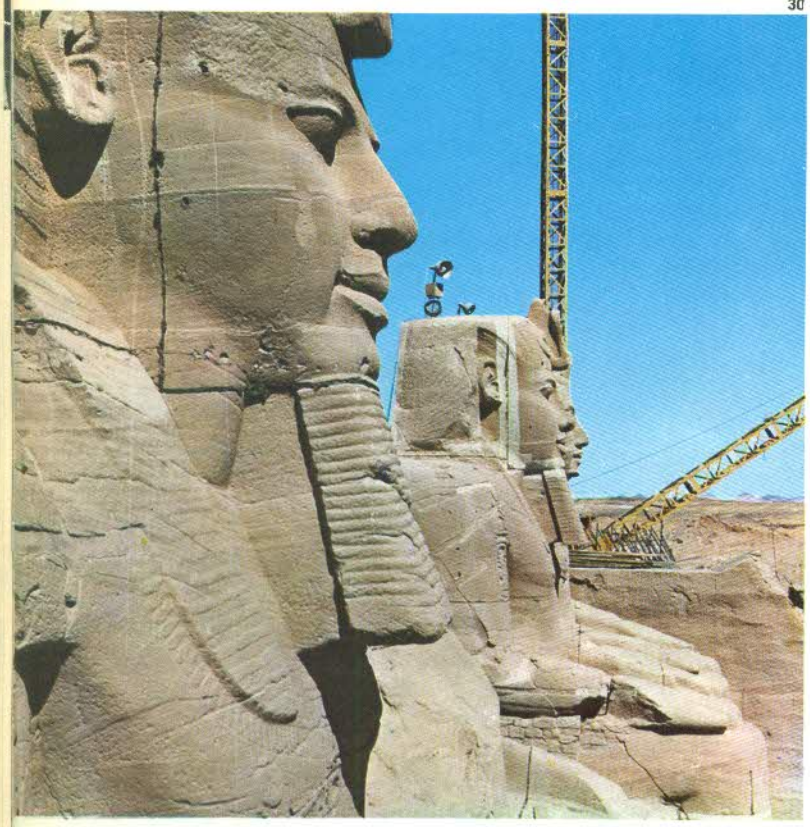
Malgrado tutte le cautele del trasporto, qualche rottura si è verificata soprattutto in prossimità degli spigoli dei blocchi.



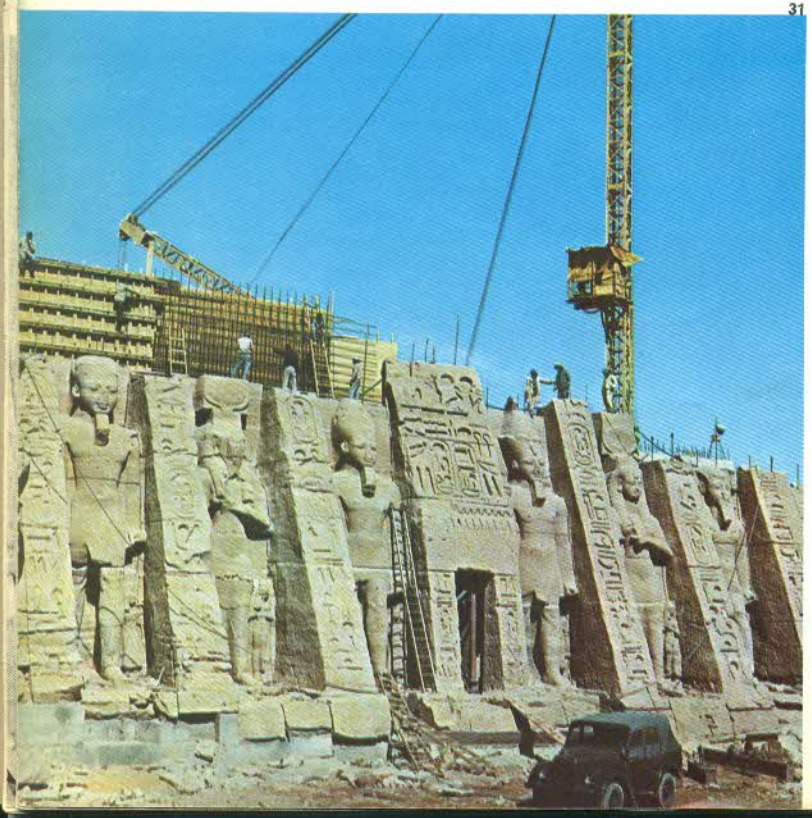
Vista della facciata del grande tempio, quasi completamente rimontata

Vista della facciata del piccolo tempio a ricostruzione quasi ultimata

30



31



Nell'area di stoccaggio (vedi fotografia n. 25) alcuni specialisti della Rodio erano addetti al restauro delle parti lesionate: le operazioni qui svolte erano generalmente assai delicate (vedere fotografie nn. 26a, b).

Spesso era necessario intervenire su facce in vista, si dovevano quindi aggiungere dei pigmenti per fare virare i colori delle resine in modo che, ad operazioni ultimate, nulla apparisse di mutato rispetto al colore naturale.

LA RICOSTRUZIONE

Lavoro quest'ultimo che ha richiesto grande accuratezza ed attenzione; era necessario che i vari 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 ed il personale addetto agli spostamenti dei blocchi.

La fotografia n. 27a 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.

La foto 27b mostra l'operazione di reinserimento della grande testa di Ramsete II.

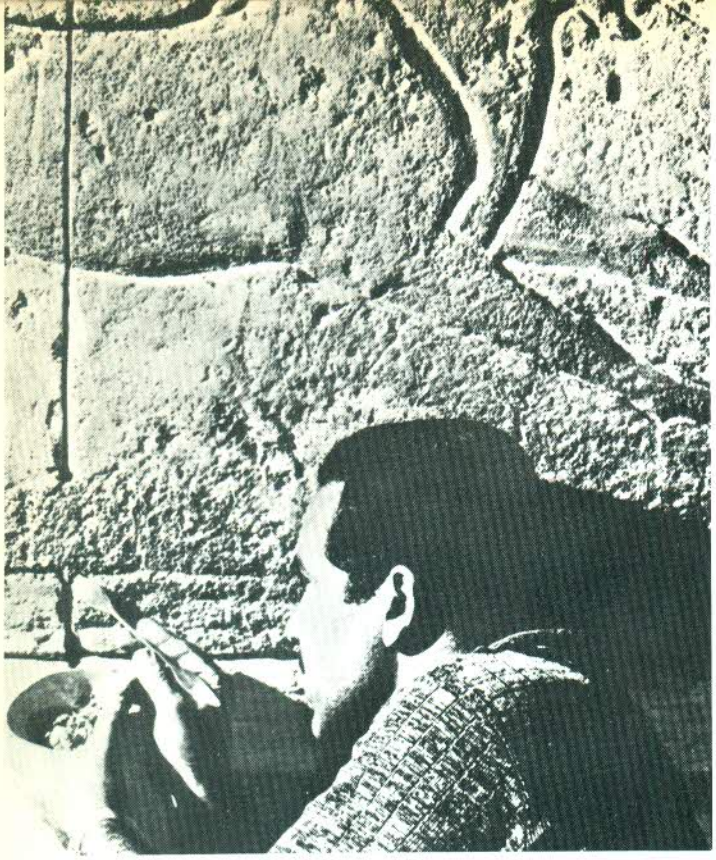
Mentre nella fotografia 30 la facciata del grande tempio appare ormai ricostruita: notare come i blocchi combaciano bene fra loro, le linee di taglio si notano appena.

La foto n. 28 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.

Sulla foto n. 31 è riprodotta la facciata del piccolo tempio quasi completamente rimontata; la n. 31a mostra la facciata del grande tempio e sullo sfondo il lavoro di costruzione (agli inizi) della grande cupola in cemento armato (fig. 29) che avrebbe racchiuso le camere interne del tempio e sostenuto la collina artificiale. Si può anche notare, ai lati delle grandi figure, il lavoro di ricostruzione della collina d'arenaria contenente i templi.

La facciata del grande tempio; la ricostruzione della collina attorno al tempio. Sullo sfondo uno degli archi appartenente alla grande cupola in cemento armato costruita per sostenere la collina artificiale (sopra le camere interne dei templi)

31a



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

— impermeabilizzazione della roccia e quindi protezione della 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

— ricostruzione della continuità della roccia 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 (fig. n. 32).

Il raggio del sole nascente entrerà ancora, come ormai da millenni, due volte all'anno (in Marzo ed 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.

Lavoro di restauro lungo la linea di taglio, dopo il rimontaggio. Così come in questo muro, migliaia di metri di giacitura sono stati riempiti con malta di resina di colore simile a quello della roccia circostante. Come si può notare si è trattato di un lavoro assai delicato, eseguito interamente a mano

Dans l'article qui suit, il a été procédé à la description des oeuvres réalisées par un consortium international d'entreprises de construction, dans le but de sauver les temples de Abu Simbel, menacés par les eaux du Nil suite à la construction de la digue de Sadd El Aali.

La solution technique choisie a été celle visant à couper en blocs les temples et à les reconstruire à une altitude sure, avec les mêmes orientations d'origine.

Un ouvrage de protection (cofferdam) a été construite autour des temples pour assurer que tous les travaux se deroulassent à sec.

Après avoir illustré les caractéristiques et la construction du cofferdam, l'auter procède à la description de la méthodologie adoptée pour exécuter cette oeuvre grandiose et délicate.

Une description est faite du travail préliminaire concernant les levées topographiques et architecturales, ainsi que les opérations de taille, de transport et de reconstruction, pour laquelle deux coupoles de béton (destinées à soutenir le matériau des collines artificielles) ont été construites.

La description de ces operations est très détaillée, avec références particulières aux moyens techniques adoptés et aux equipements employés.

The article describes the works that were carried out by an international consortium of contractors for the purpose of saving the temples of Abu Simbel menaced by the waters of the Nile as a result of the construction of the dam at Sadd El Aali.

The technical solution chosen was that of cutting the temples into blocks and reconstructing them at a safe level, while retaining the orientations they had in their original position. Protective works in the form of a cofferdam were constructed around the temples, and these guaranteed that the entire work could be carried out in the dry.

The author, after describing the characteristics and the construction of the cofferdam, passes on to a description of the methodology adopted for performing this imposing and delicate operation. He describes the preliminary work consisting of topographical and architectural surveys, as well as the subsequent operations of cutting, transporting and reconstructing; in connection with this last operation two reinforced concrete cupolas were constructed for the purpose of retaining the materials of the artificial hills.

All the operations are described in minute detail, and particular reference is made to the technical precautions adopted and the site equipment that was used.

In diesem Artikel werden die Arbeiten beschrieben, die von einem internationalen Unternehmerkonsortium durchgeführt worden sind, um die Tempel von Abu Sinbel zu retten, die nach dem Bau des Dammes von Sadd El Aali vom Wasser des Nils bedroht worden sind.

Die ausgewählte Technik war jene des Zerschneidens der Tempel in Blöcke und des Wiederaufbaus auf einer sicheren Höhenlage und mit der gleichen Ausrichtung wie der ursprünglichen. Um die Tempel herum ist ein Schutzwall (Cofferdam) errichtet worden, der die Durchführung der Arbeiten in vollständiger Trockenheit garantieren konnte.

Nach einer Beschreibung der Merkmale und des Baus des Cofferdams folgt eine Beschreibung der Methoden der Durchführung dieser riesigen und heiklen Arbeiten. Es werden zuerst die Vorarbeiten mit den topographischen und architektonischen Erhebungen, dann die Schnitt-, Transport- und Rekonstruktionsoperationen behandelt. Für die letzteren Arbeiten wurden zwei Stahlbetonkuppeln gebaut, die das Material der künstlichen Hügel abstützen sollen.

Alle Operationen sind sehr detailliert beschrieben, und insbesondere wird auf die angewandten technischen Massnahmen und auf die auf den Baustellen eingesetzten Maschinen und Einrichtungen verwiesen.

En el artículo se describen las obras efectuadas por un consorcio internacional de empresas para salvar los templos de Abu Sinbel, amenazados por las aguas del Nilo, después de la construcción del dique de Sadd El Aali.

La solución técnica escogida ha sido la de cortar a los templos en bloques y reconstruirlos después a una altura más segura según los mismos criterios que poseian en su origen. Alrededor de los templos ha sido construída una obra de protección (cofferdam) que ha garantizado la completa realización de las obras en seco.

El autor, luego de haber describido las carácteristicas y la construcción del cofferdam, pasa a la descripción de la metodología adoptada para realizar el imponente y delicado trabajo. Se describe el trabajo preliminar referente a los relieves topográficos y arquitectónicos, seguido por las operaciones de corte, transporte y por último de reconstrucción, para las cuales fueron construídas dos cúpulas de cemento armado destinadas a sostener el material de las colinas artificiales.

Todas las operaciones se describen muy detalladamente y se habla especialmente de los dispositivos técnicos adoptados y de las instalaciones de obra empleadas.