



Sergio Di Tondo

Nasce ad Ancona il 21 febbraio del 1975, nel luglio del 2004 si laurea in architettura e nel 2008 consegue il titolo di Dottore di Ricerca in "Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente". Dal 2004 svolge attività di ricerca nell'ambito del disegno digitale e rilievo 3D. Dal 2008 è professore a contratto presso la Facoltà di Architettura di Firenze.



Elena Fabrizi

Laureata in Architettura presso l'Università di Firenze, ha svolto approfondite ricerche sul salvataggio dei templi di Abu Simbel, tema della tesi di laurea incentrata su applicazioni digitali per il rilievo dei monumenti. Continua ad interessarsi alla materia frequentando corsi e workshop in ambito internazionale.

Metodologie e tecniche di foto-modellazione a confronto: il caso del "Tempio Grande" di Abu Simbel

Comparing photo modeling methodologies and techniques: the instance of the Great Temple of Abu Simbel

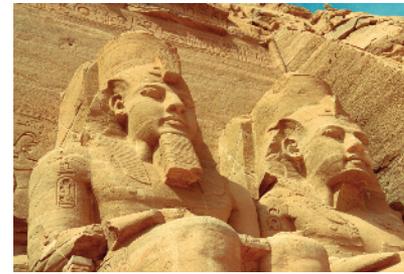
A cinquant'anni dal salvataggio dei templi di Abu Simbel è stato possibile sperimentare i contemporanei strumenti di foto-modellazione a partire dai dati originali del rilievo fotogrammetrico condotto negli anni '50 del XX secolo. Ciò ha innescato una riflessione sui metodi e le tecniche di modellazione "Image Based", confrontando sistemi di fotogrammetria digitale 3D rigorosa con gli attuali sistemi di "Structure From Motion" (SFM). I dati del rilievo topografico, le stereo-coppie fotogrammetriche originali, le coordinate dei punti e la loro relativa restituzione in curve di livello, hanno permesso di ottenere un modello del monumento nella configurazione precedente allo spostamento. L'impossibilità di eseguire un rilievo diretto ha condotto all'utilizzo di foto turistiche per la realizzazione di modelli SFM da impiegare per il confronto geometrico.

<http://disegnarecon.unibo.it>

After fifty years from the Salvage of the Abu Simbel Temples it, has been possible to experiment the contemporary photo-modeling tools beginning from the original data of the photogrammetrical survey carried out in the 1950s. This produced a reflection on "Image Based" methods and modeling techniques, comparing strict 3d digital photogrammetry with the latest Structure From Motion (SFM) systems. The topographic survey data, the original photogrammetric stereo couples, the points coordinates and their representation in contour lines, allowed to obtain a model of the monument in his configuration before the moving of the temples. The impossibility to carry out a direct survey led to touristic shots to create SFM models to use for geometric comparisons.

Parole chiave: Abu Simbel, fotogrammetria close range, tecniche di modellazione image based

Keywords: Abu Simbel, close range photogrammetry, image based modeling techniques



in senso orario da sinistra:

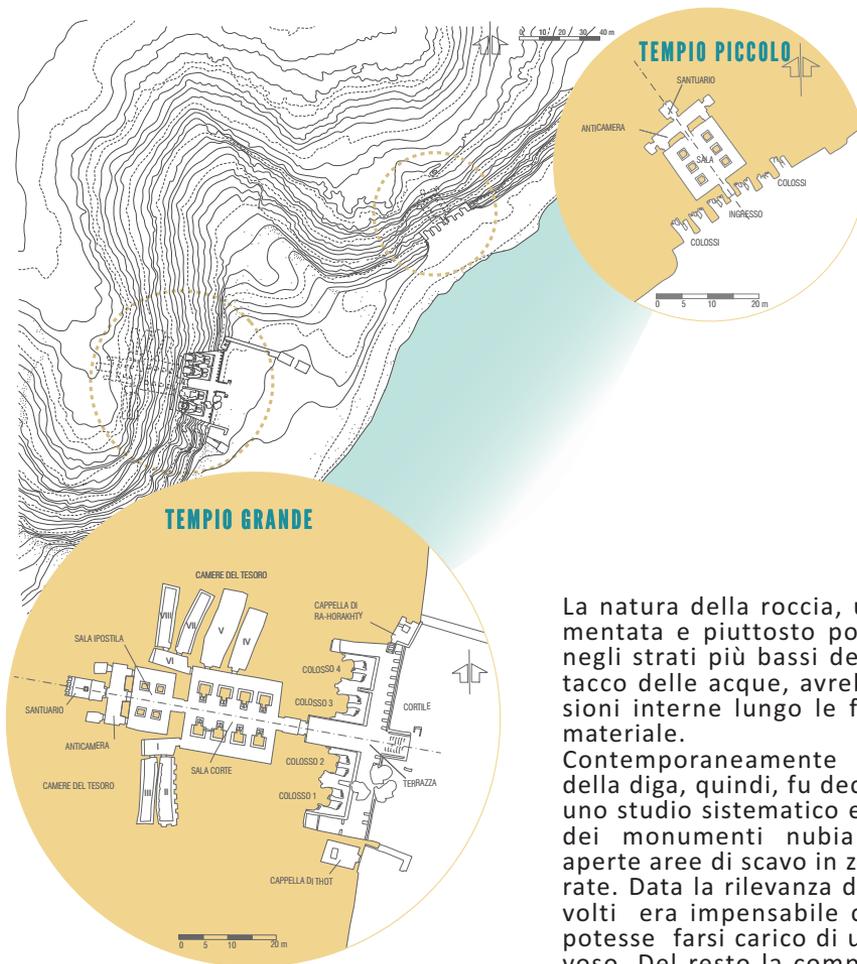
1. Facciata del Tempio Grande (foto E. Fabrizi)
2. Vista dei due templi di Abu Simbel (foto E. Fabrizi)
3. Terzo e quarto colosso (foto E. Fabrizi)

INTRODUZIONE

Nel periodo di regno di Ramses II, nel XIII secolo a.C., la Nubia era una terra di conquista, ricca d'oro, di diorite e di legname, corridoio e confine con l'Africa nera, dalla quale gli egiziani importavano legni, incensi e resine. Per incutere timore ai nemici, celebrare la magnificenza dell'imperatore, figlio del sole, e presidiare il territorio, il faraone fece realizzare nella regione templi e fortezze. La valle del Nilo, più stretta in Nubia che nel resto dell'Egitto, non permetteva l'edificazione di grandi complessi dedicati al culto essendo stretta tra massicci rocciosi ed i templi, allontanandosi dalla riva del fiume, arretravano fino a ricavare le proprie celle nella roccia, adattando il modello dei templi in muratura allo scavo nella montagna. I templi di Abu Simbel sono gli unici tra gli edifici nubiani ad essere interamente scavati nella roccia su due fronti del versante di una montagna. Il più grande, a sud, è dedicato ad

Amon e Ra-Horakhty ed il più piccolo, a nord, dedicato alla dea Hator. Il fronte scenografico del Tempio Grande, oggetto del nostro studio, è dominato da quattro colossi, alti 22 m, che rappresentano il faraone; questi, oltre a rendere immortale la figura del re hanno anche una valenza strutturale. Le figure scultoree, difatti, riducono la quantità di roccia da scavare e la loro massa funziona da contrafforte al fine di limitare il naturale fenomeno di sgretolamento dell'arenaria della facciata caratterizzata da una larghezza di 35 m alla base e 29 in sommità ed un'altezza di 32 m. La cornice a trapezio che circonda le parti scolpite è un evidente richiamo alla tipica forma del pilone egizio; lungo la cornice superiore del pilone sono scolpite le sagome di ventidue babbuini che, erette sulle zampe posteriori, alzano le mani all'altezza delle spalle per adorare il sole che sorge. Le quattro figure colossali raffiguranti il faraone sono accompagnate dalla rappresentazione

della corte (regine e principi) e, alcune tracce ancora presenti in situ, evidenziano che la facciata era originariamente ricoperta da uno strato di stucco e dipinta con colori elementari. Il Tempio Grande con le sue sculture colossali è uno dei monumenti archeologici più conosciuti e riconoscibili al mondo, riprodotto in repliche sin dalla sua riscoperta nel XIX secolo. I due templi di Abu Simbel, rimasti intatti per circa tre millenni, dopo poco più di un secolo dal loro ritorno alla luce, rischiarono di essere persi per sempre. La modernizzazione di un paese povero con una popolazione in forte crescita, portò alla decisione da parte del presidente Gamal Abdel Nasser di realizzare la Grande Diga di Assuan. L'Egitto avrebbe avuto energia elettrica a basso costo, le piene del Nilo sarebbero state così regimentate e si sarebbe creato un grande bacino di riserva idrica. Il lago in questione, invadendo le regioni nubiane sotto Assuan avrebbe compromesso irreversibilmente i monumenti.



4. Planimetria e singole piante dei Templi.

La natura della roccia, un'arenaria mal cementata e piuttosto porosa, sedimentata negli strati più bassi dei templi, sotto l'attacco delle acque, avrebbe liberato le tensioni interne lungo le fessure naturali del materiale.

Contemporaneamente alla realizzazione della diga, quindi, fu deciso di procedere ad uno studio sistematico ed al rilievo metrico dei monumenti nubiani, inoltre furono aperte aree di scavo in zone ancora inesplorate. Data la rilevanza dei monumenti coinvolti era impensabile che l'Egitto da solo potesse farsi carico di un compito così gravoso. Del resto la competenza della tutela dei monumenti, idea che prendeva vigore nel secondo dopoguerra, non era più "affare" di ogni singolo stato, ma si trattava di salvaguardare un interesse comune. L'Unesco, nata da poco, appena nel 1949, si fece carico di una campagna stampa per la sensibilizzazione e la raccolta dei fondi necessari al salvataggio dei beni nubiani. Dapprima,

nel 1954, una missione di archeologi si era stabilita in Nubia al fine di realizzare un rapporto, il quale stabiliva che fosse necessario che i monumenti dovessero essere fotografati, i siti più importanti misurati con riprese fotogrammetriche, l'architettura studiata e misurata da architetti, i fregi rilevati da disegnatori specializzati e i testi scolpiti sulle pareti ricopiati da egittologi e schedati in modo da essere accessibili.

I primi rilievi fotogrammetrici furono eseguiti nel 1956 a spese degli Affari Esteri Francesi e dell'Istituto Geografico Nazionale Francese (IGN). In seguito le missioni di rilievo furono prese in carico dall'Unesco, dagli Affari Esteri Francesi e dal Centro Nazionale di Ricerca Scientifica Francese (CNRS) e condotte parallelamente per i due templi. Le missioni dell'IGN furono quattro: 1956, 1957, 1961 e 1963. Le stereo-coppie fotogrammetriche furono impresse su lastre, la maggior parte in formato 13x18 cm e solo durante l'ultima missione in formato 19x19 cm. Il rilievo tridimensionale è stato restituito per mezzo di curve di livello caratterizzata da un passo di 5 centimetri.

L'8 marzo 1960 il direttore generale dell'Unesco Vittorio Veronesi proclamò l'appello che diede inizio alla Campagna di Nubia per il salvataggio dei templi. L'appello era stato preceduto nel febbraio da un viaggio al quale erano stati invitati una serie di giornalisti e diplomatici.

La campagna stampa ebbe un successo talmente ampio che produsse un'ondata di suggestioni in merito alle possibili soluzioni da adottare per il salvataggio dei templi.

Lo studio Coyne et Bellier[1] proponeva di costruire delle dighe a protezione di Abu Simbel mentre i geologi mostravano i pericoli dell'erosione chimica per capillarità delle fondazioni dei monumenti: era indispensabile impedire l'umidità alla base dei templi di Abu Simbel perché prima o poi avrebbe provocato il crollo degli edifici.

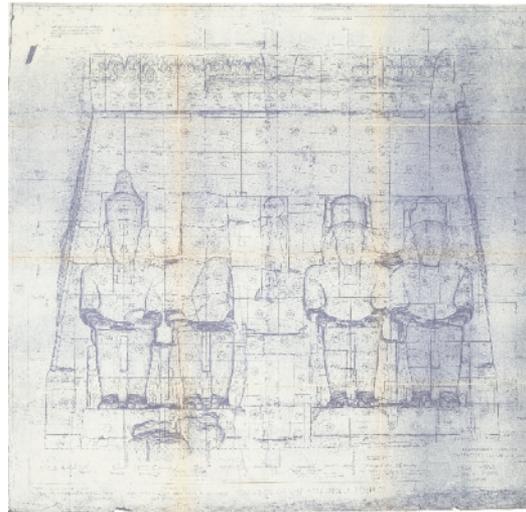
Il progetto Coyne et Bellier comportava l'installazione di un sistema di pompaggio costoso di cui non si conoscevano con esattezza i costi di manutenzione di cui si sarebbe dovuto far carico direttamente il governo egiziano. In tal senso una situazione di instabilità politica improvvisa avrebbe potuto compromettere le operazioni di salvaguardia dei templi. Pietro Gazzola[2], ingegnere ed architetto, esperto di salvaguardia dei beni culturali, co-redattore della carta di Venezia, raccomandava di non lasciare sul posto i templi dato che era possibile trasferirli ad un livello superiore.

La proposta sua e dell'ingegnere Riccardo Morandi proponeva di incassare i due templi in scatole di cemento armato, di sollevarli con martinetti idraulici e di portarli 65m più in alto al riparo dalle acque.

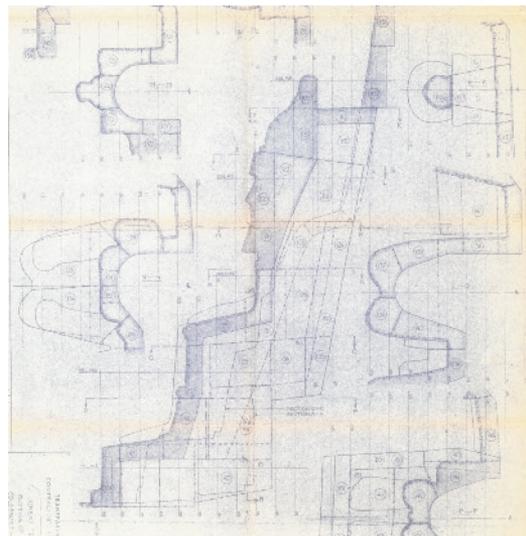
Il governo egiziano scelse il progetto italiano, ma a causa degli alti costi di realizzazione e alla mancanza di fondi, nel 1963 ancora non si era proceduto ad iniziare i lavori. Occorreva un progetto che fosse in grado di convincere l'opinione pubblica scegliendo in definitiva tra due modelli possibili: conservare il monumento trascurando l'ambiente originale o preservare l'unità di monumento e ambiente. Si scelse la prima soluzione.

In questo ambito si colloca il progetto di taglio dei templi, inizialmente chiamato "Progetto Carrara"[3] poiché, nato dall'idea di due scultori di Carrara, e misteriosamente passato come "Egizio-Svedese", prevedeva il taglio in blocchi dei templi, e la loro ricostruzione in un luogo lontano dalle acque. Si dice che gli autori del progetto, avvezzi al taglio della montagna avessero mutuato l'idea propria attraverso la massiccia campagna stampa promossa dall'Unesco.

Il "Corriere della Sera" continuava a pubblicare appelli per il salvataggio, mentre "Topolino" pubblicò nel 1961 il fumetto "Paperino ed il Colosso del Nilo" nel quale il Colosso veniva tagliato in blocchi proprio come si



5. Progetto di taglio "Egizio-Svedese". Prospetto frontale.



6. Progetto di taglio "Egizio-Svedese". Sezione del primo Colosso.

usava fare nelle cave di marmo[4].

Il progetto di taglio si distinse subito per concretezza ed economicità, fu adottato il 10 giugno 1963, ed in tempi brevissimi si procedette alla raccolta dei fondi necessari.

I rilievi, eseguiti in precedenza dall'IGN, furono indispensabili per l'elaborazione del piano di taglio (vd. figg. 5 e 6).

Il progetto prevedeva la rimozione dei templi in blocchi, il loro spostamento e la ricostruzione degli edifici e delle colline circostanti in copie non fedeli che ne avrebbero dato memoria. I lavori furono affidati ad una Joint Venture internazionale composta da società di costruzioni provenienti da Germania, Italia, Francia, Svezia ed Egitto.

La scansione dei lavori prevedeva:

- la realizzazione di una diga temporanea a protezione dei templi dalla salita dell'acqua,
- una serie di operazioni preparatorie al taglio (sostegno delle parti interne e protezione delle facciate con sabbia e roccia durante il taglio delle colline sovrastanti),
- taglio in blocchi,
- ricostruzione dei templi
- sistemazione dell'ambiente circostante.

La joint venture, inoltre, si confrontò con diversi problemi di ordine tecnico:

- la realizzazione della diga temporanea in tempi rapidissimi,
- il taglio dell'arenaria che non era mai stato condotto su manufatti archeologici,
- l'assemblaggio dei blocchi che richiedeva un alto livello di precisione (occorrevano incastri di cemento armato e giunti di resine appositamente studiate),
- la delicata sistemazione paesaggistica e la realizzazione di cupole di cemento armato (per le dimensioni e per la posizione geografica del sito che rendeva difficoltosi gli approvvigionamenti di materiale)[5].

Il salvataggio dei templi fu eseguito tra il 1963 ed il 1968, in tempi rapidi, considerata la dimensione dell'impresa, con pochi intoppi e attraverso una mobilitazione di carattere internazionale.

INTRODUZIONE ALLA RICERCA

A quasi cinquant'anni dalla nuova collocazione del monumento è sembrato doveroso approfondire i cambiamenti che hanno coinvolto i due templi, ripercorrendo non solo le vicende storiche, ma anche recuperando le informazioni del rilievo metrico e analizzandole attraverso i contemporanei strumenti informatici di elaborazione dei dati[6].

I dati originali del rilievo del monumento, acquisiti prima dello smantellamento, sono stati opportunamente digitalizzati e confrontati con i modelli relativi alla nuova configurazione dei templi. (vd. Fig 7).

La sperimentazione è stata condotta seguendo due differenti direzioni. Da una parte si è proceduto all'integrazione dei dati del rilievo IGN avvalendosi dei contemporanei strumenti informatici per la fotogrammetria digitale tridimensionale. Dall'altra si è prevista la realizzazione di modelli tridimensionali dello stato di fatto adatti al confronto geometrico.

L'occasione di cimentarsi con la documentazione del manufatto, prima e dopo lo spostamento, ha avviato una riflessione in merito alle prestazioni offerte dagli strumenti digitali dedicati alla fotogrammetria close range applicati ad una mole eterogenea di dati (sia di archivio che di recente produzione), non sempre realizzati con la finalità di misurare. La sperimentazione ha riguardato una porzione della facciata del Tempio Grande, nello specifico il terzo colosso, ovvero il primo alla destra dell'ingresso.



7. Modello a curve di livello del fronte del Tempio Grande.

MATERIALE DEL RILIEVO IGN

PUNTI
SISTEMA DI RIFERIMENTO IN PIANTA
PUNTI BATTUTI PROiettATI IN PIANTA
PUNTI BATTUTI - COORDINATE IN XYZ

FOTO METRICHE
DOPPIE STEREOCORRELAZIONI CON PUNTI BATTUTI
CORRELAZIONE IN 3D CON I PUNTI BATTUTI - ANALISI DEL RILIEVO

CURVE DI LIVELLO
RESTITUZIONE IN CURVE DI LIVELLO, EQUIDISTANZA PIANI 5 CM

PROCEDIMENTO

DIGITALIZZAZIONE DEL MATERIALE CARTACEO

POSIZIONAMENTO DEI PUNTI DEL SISTEMA IGN SU AUTOCAD

DIGITALIZZAZIONE DELLE IMMAGINI CARTACEE AD ALTA RISOLUZIONE (3200 dpi)

CALIBRAZIONE DELLE FOTO SECONDO I PUNTI BATTUTI

MISURAZIONI E VERIFICA DELLA PERCENTUALE DI ERRORE

FOTOMODELLAZIONE

EOS SYSTEMS PHOTOMODELER SCANNER

DIGITALIZZAZIONE DELLE COPIE CARTACEE

VETTORIALIZZAZIONE MANUALE DELLE CURVE DI LIVELLO

ORIENTAMENTO DELLE CURVE NEL SISTEMA DI RIFERIMENTO IGN

POSIZIONAMENTO DELLE CURVE DI LIVELLO IN 3D DI UN COLOSSO

ESTRAZIONE DELLA NUVOLO DI PUNTI

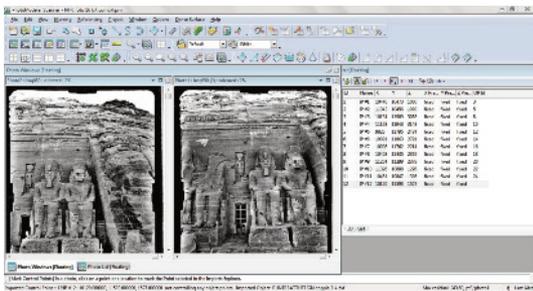
ELABORAZIONE ED INTEGRAZIONE DEI DATI PROVENIENTI DAL RILIEVO IGN

La ricerca è stata avviata a partire dal reperimento di parte del materiale di rilievo condotto dall'IGN tra il 1956 e il 1963 e giunto in nostro possesso grazie al fondo A. Pericoli dell'Istituto Papirologico dell'Università di Firenze[7]. Purtroppo non è stato possibile acquisire direttamente le lastre negative originali, bensì le copie cartacee delle foto metriche, originariamente stampate a contatto, e le coordinate dei punti d'appoggio acquisiti mediante rilievo topografico.

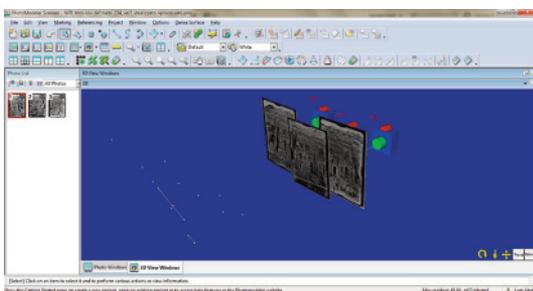
In corrispondenza di ciascun punto battuto, le foto presentano un foro contrassegnato da un numero progressivo annotato sulla parte retrostante dell'immagine fotografica. I tre fotogrammi relativi alla facciata del Tempio Grande, sono stati digitalizzati mediante scansione ad alta risoluzione; i piccoli fori a cui corrispondono i punti del rilievo topografico sono stati individuati direttamente nelle copie digitali delle foto. La letteratura a disposizione non fa alcun riferimento al modello di fotocamera metrica utilizzata, di conseguenza non è stato possibile risalire direttamente ai parametri interni di calibrazione[8]. La procedura di orientamento dei fotogrammi ha previsto l'utilizzo di un numero di punti d'appoggio tale da soddisfare tutte le incognite delle equazioni di collinearità in mancanza di informazioni sui parametri interni della camera.

Il test è stato condotto utilizzando PhotoModeler Scanner di EOS. All'interno dell'applicazione sono state inserite le coordinate dei punti d'appoggio, opportunamente digitalizzate e convertite direttamente in formato dxf, e mediante il riconoscimento manuale dei punti omologhi all'interno delle immagini - quelli individuati dai fori - si è proceduto ad orientare i fotogrammi (*inverse camera o camera resectioning*).

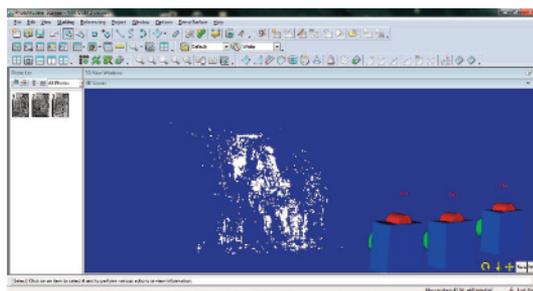
8. Elaborazione del materiale proveniente dal rilievo IGN.



9. Individuazione dei punti topografici in corrispondenza dei "fori" presenti nei fotogrammi.

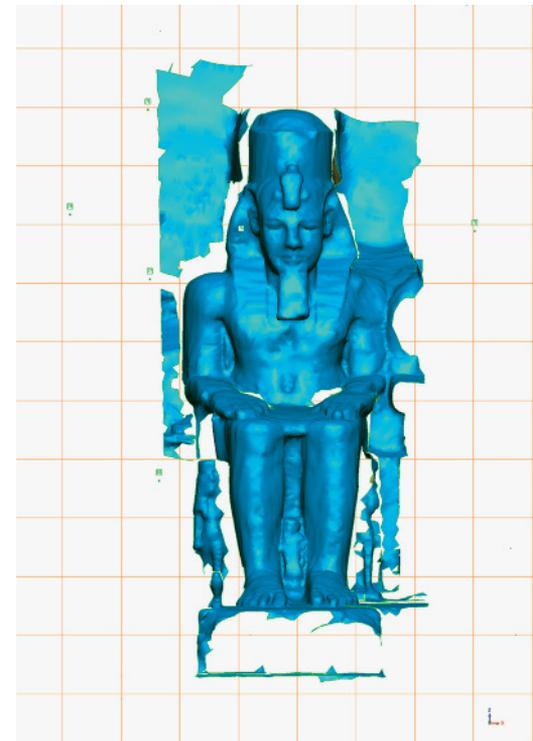


10. Allineamento dei punti oggetto, immagine e camera.



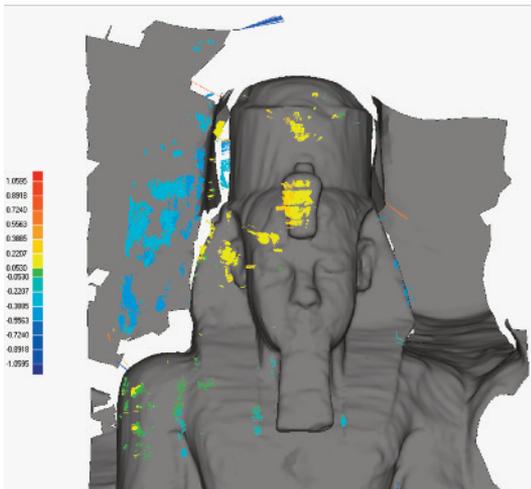
11. Generazione della nuvola di punti densa all'interno di Photo Modeler Scanner.

Questo metodo ha permesso di risolvere i parametri interni ed esterni della camera, ripristinando quindi la condizione di collinearità tra i punti dell'oggetto, i punti dell'immagine e l'originaria posizione dell'apparecchio fotografico[9] (v.d figg. 9,10,11). Contestualmente si è provveduto a digitalizzare il rilievo "a curve di livello" realizzato dall' IGF; le curve sono state disposte spazialmente alla distanza di 5 cm l'una dall'altra. Al fine di poter utilizzare questo elaborato come termine di confronto valido per tutte le analisi successive, l'intero modello *wireframe* è stato roto-traslato nel sistema di riferimento comune, quello cioè definito dal rilievo topografico IGN. I punti appartenenti alle curve sono stati ulteriormente impiegati nella realizzazione di un modello superficie poligonale triangolare, ottenuto automaticamente applicando gli appositi algoritmi di triangolazione[10] (vd. Fig. 12). La sperimentazione condotta necessitava di una serie di verifiche intermedie di congruenza adatte ad appurare il livello di qualità del metodo utilizzato. Difatti l'impossibilità di risalire al modello di camera metrica utilizzata per le riprese e la scelta di impiegare, come dati di partenza, la digitalizzazione delle lastre fotogrammetriche originali non garantiva a priori un alto standard qualitativo. In questa fase la validità del processo è stata verificata confrontando le distanze reciproche tra i punti del modello 3D, realizzato mediante digitalizzazione del rilievo IGN (e che per comodità chiameremo modello di riferimento), e i corrispondenti punti individuati direttamente nelle immagini orientate. Lo scarto quadratico medio riscontrato per un campione utile di rilevazioni era di circa due centimetri. La qualità soddisfacente del risultato ottenuto ha permesso di integrare i dati del rilievo IGN con i punti omologhi ricavati manualmente dal set di immagini orientate. In questo senso è stato possibile incrementare la nuvola principalmente in corrispondenza delle porzioni di dettaglio scultoreo del tem-



12. Modello a superficie poligonale triangolare orientato rispetto al sistema di riferimento topografico ottenuto mediante triangolazione dei punti appartenenti alle curve di livello.

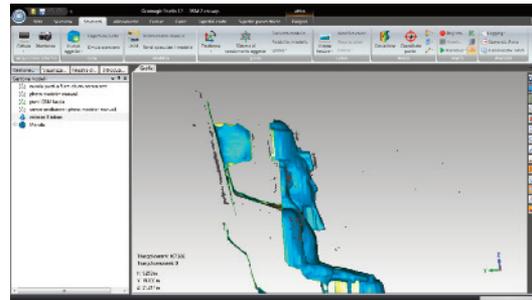
pio. La volontà di testare le capacità prestazionali degli strumenti applicati al caso di studio ha guidato la fase successiva dedicata alla generazione automatica di una nuvola di punti densa (*Dense Surface Modeler*) a partire dalle coppie di fotogrammi. Tuttavia la nuvola di punti densa generata automaticamente, confrontata con il modello di riferimento, ha mostrato livelli di scostamento metrico inaccettabili tanto da renderla inutilizzabile (vd. figg. 13-14-15-16).



13. Confronto geometrico del modello di riferimento e nuvola di punti densa. Grafico delle deviazioni, vista frontale.



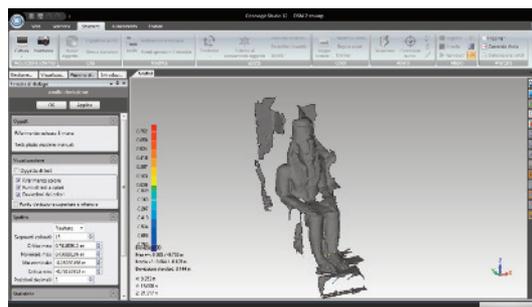
14. Confronto geometrico del modello di riferimento e nuvola di punti densa. Grafico delle deviazioni, vista laterale.



15. Confronto geometrico del modello di riferimento e nuvola di punti densa.



16. Confronto geometrico del modello di riferimento e nuvola di punti densa.



17. Confronto geometrico del modello di riferimento e punti presi manualmente.

LA REALIZZAZIONE DEI MODELLI 3D ATTRAVERSO APPLICAZIONI *STRUCTURE FROM MOTION* E CONFRONTI METRICI

L'impossibilità di programmare una missione in Egitto a causa dell'instabile condizione politica, non ha consentito di effettuare direttamente una nuova campagna di rilevamento sul campo. In questo senso il gruppo di ricerca, per documentare lo stato attuale del monumento, si è mosso verso sperimentazioni ancora in corso che si avvalgono delle foto turistiche per realizzare modelli tridimensionali dell'oggetto di studio[11]. In questo caso sono state impiegate le foto scattate da uno degli autori della ricerca e dai suoi compagni di viaggio. Per questo tipo di applicazione il test è stato condotto mediante l'utilizzo di due differenti *software* che si avvalgono della strategia *structure from motion* che consente di orientare automaticamente un set, anche molto grande, di immagini[12] e di generare in forma automatica una nuvola di punti densa dell'oggetto documentato. Questi sistemi nascono dalla convergenza di discipline differenti, da una parte la *Computer Vision* che ha come obiettivo l'automatismo nella generazione di modelli 3D, dall'altra invece la fotogrammetria che si pone come finalità la documentazione misurabile dell'oggetto[13]. Lo sviluppo odierno di queste applicazioni consente di mantenere sia un alto livello di automatismo sia di precisione a patto che le procedure di acquisizione dei dati vengano rispettate rigidamente. Nell'ambito dei beni culturali questi strumenti vengono sempre più utilizzati per integrare i dati prodotti attraverso *laser scanner* terrestre; la trasportabilità di un dispositivo fotografico e la possibilità di montare la macchina su drone (sistemi *UAV*, *Unmanned Aerial Vehicle*) permette di colmare tutte le zone d'ombra naturalmente generate dalle stazioni *laser scanner* eseguite da terra (coperture, aggetti dei cornicioni, sottosquadri, ecc.).

L'omogeneità dei dati prodotti dalla strumentazione laser e dalle tecniche *structure from motion* consente di lavorare la mole di informazioni all'interno del medesimo spazio di lavoro 3D.

Naturalmente il rigore metodologico di acquisizione dei dati è più che mai necessario al fine orientare correttamente i modelli 3D rispetto al medesimo sistema di riferimento[14].

Nel nostro caso, trattandosi di foto turistiche, non era possibile garantire un rigore nell'acquisizione dei dati, in tal senso le verifiche di congruenza sono state condotte mediante confronto geometrico tra i singoli modelli prodotti e con il c.d. modello di riferimento. I test sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di Photoscan di Agisoft e 123D Catch di Autodesk. (vd. figg. 18-26)

In entrambi i casi sono stati utilizzati set con un numero variabile di immagini (da 40 a 80 fotogrammi) relativi all'intera facciata del Tempio Grande. Mediante il riconoscimento manuale di punti omologhi tra immagini ed il rilievo topografico, i modelli sono stati riportati in scala e orientati rispetto il sistema di riferimento comune.

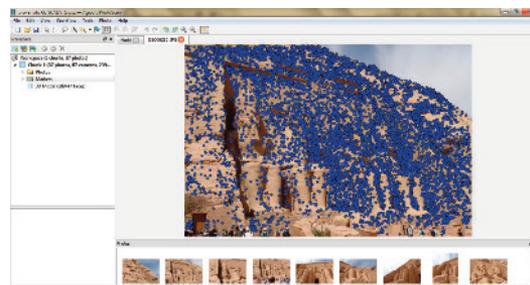
Le immagini successive evidenziano i valori di deviazione rilevati durante il confronto geometrico (processo generalmente denominato "Qualify") tra i modelli prodotti mediante le due applicazioni *structure from motion* (vd. figura 31) e tra questi e il modello di riferimento (vd. figg. 27-30).

Il contributo sviluppato mediante l'utilizzo del materiale a disposizione, di fatto non risponde a pieno agli obiettivi primari a cui tendeva la ricerca, e cioè ad una valutazione plausibile di difformità tra l'originale conformazione del tempio e quella acquisita dopo lo spostamento.

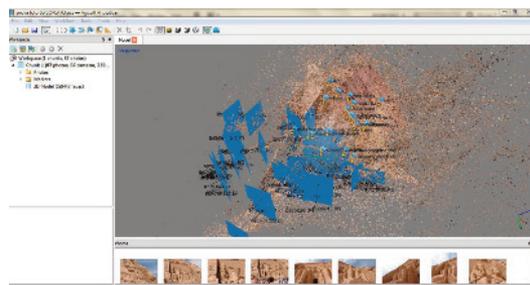
Si pone quindi come uno step intermedio di studio adatto a testare le capacità offerte dagli strumenti informatici dedicati alla fotogrammetria, non solo in presenza di dati acquisiti "ad hoc", secondo una metodologia



18. Posizionamento dei marker sui punti comuni (Agisoft Photoscan).



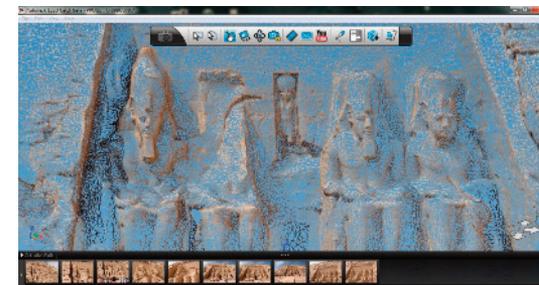
19. Riconoscimento automatico dei pixel omologhi (Agisoft Photoscan).



20. Posizionamento delle immagini e generazione della nuvola di punti densa (Agisoft Photoscan).

nota e consolidata, ma anche per l'elaborazione di dati d'archivio (rilievo IGN).

La gratificante verifica di compatibilità tra i contemporanei strumenti informatici e i dati acquisiti dall'IGN negli anni cinquanta del secolo scorso rinnova certamente il valore del rilievo svolto dai tecnici francesi; da "statico" report documentativo a "dinamico" strumento per la ricerca contemporanea nell'ambito dei beni culturali.



21. Modello wireframe (Autodesk 123D Catch).



22. Eventuale riconoscimento dei punti comuni su foto non posizionate rispetto a foto già collocate nello spazio (Autodesk 123D Catch).



23. Modelli realizzati mediante applicazioni che implementano soluzioni *structure from motion*. Modello generato con Agisoft Photoscan.



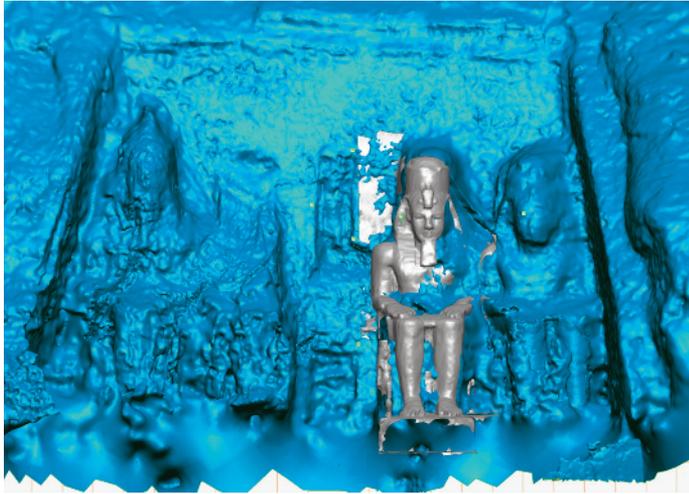
25. Modelli realizzati mediante applicazioni che implementano soluzioni *structure from motion*. Modello generato con 123D Catch di Autodesk.



24. Modelli realizzati mediante applicazioni che implementano soluzioni *structure from motion*. Modello generato con Agisoft Photoscan, particolare.



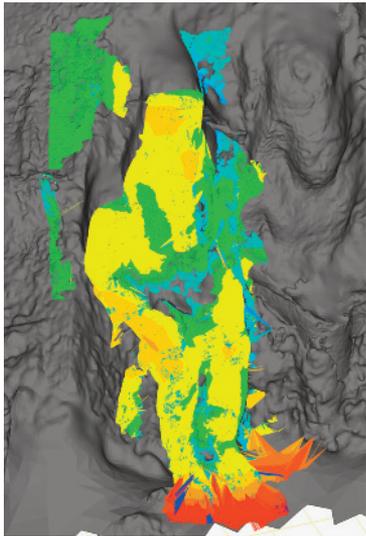
26. Modelli realizzati mediante applicazioni che implementano soluzioni *structure from motion*. Modello generato con 123D Catch di Autodesk.



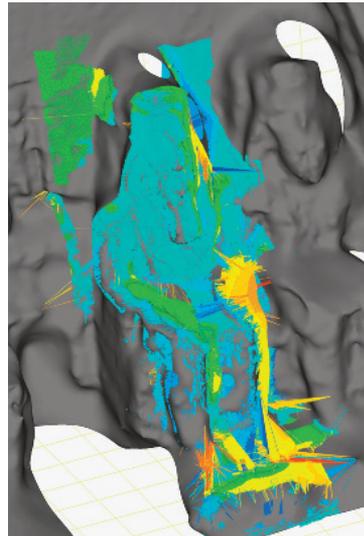
27. Confronto geometrico (*qualify*) tra il modello di riferimento ed il modello prodotto mediante Photoscan di Agisoft.



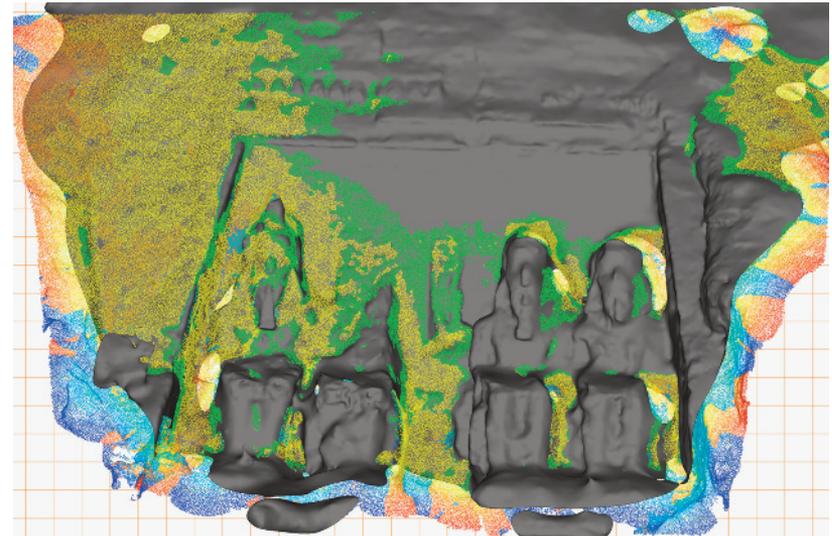
28. Confronto geometrico (*qualify*) tra il modello di riferimento ed il modello prodotto mediante 123D Catch di Ato-desk



29. Confronto geometrico (*qualify*) tra il modello di riferimento ed il modello di Photoscan.



30. Confronto geometrico (*qualify*) tra il modello di riferimento ed il modello di 123D Catch.



31. Confronto geometrico (*qualify*) tra i modelli prodotti mediante le due applicazioni structure from motion. Photoscan e 123D Catch.

NOTE

[1] Save-Soderbergh, Torgny , (1992), "Victoire en Nubie", Unesco, Paris; Desroches-Noblecourt, Christiane , Gerster, Georg (1968) "Il mondo salva Abu Simbel", Vienna/Berlino, Verlag A. F. Koska; Bureau d'études André Coyne et Jean Bellier, "Avant-projet des ouvrages de protection des temples d'Abou Simbel", Paris 1960

[2] Save-Soderbergh, Torgny , (1992), "Victoire en Nubie", Unesco, Paris; Desroches-Noblecourt, Christiane , Gerster, Georg (1968) "Il mondo salva Abu Simbel"

[3] Il "Progetto Carrara" nacque dall'idea di due scultori, Carlo Andrei e Nardo Dunchi. Esso prevedeva il taglio dell'arenaria in blocchi di circa 200 tonnellate, come avveniva per il marmo bianco, da realizzare con vari utensili tra cui il filo elicoidale. Il progetto, ancora in fase iniziale non teneva conto di diversi fattori tecnici che furono successivamente messi a punto dal progetto Egizio-Svedese, come la dimensione dei blocchi, che venne portata a 20 tonnellate. La vicenda del progetto dalla proposta ufficiale fatta all'Unesco dal Comune di Carrara, fino all'apertura delle indagini da parte dell'Interpol, è documentata dagli articoli apparsi sulla cronaca locale de "Il Telegrafo", tra il 9 gennaio ed il 23 agosto 1963.

[4] Scarpa, Romano (1961) "Paperino e il colosso del Nilo - parte 1" in "Topolino" n° 292, 2 luglio; Scarpa, Romano (1961) "Paperino e il colosso del Nilo - parte 2" in "Topolino" n° 293, 9 luglio

[5] *Arab Republic of Egypt, Ministry of culture, (1971) "The salvage of the Abu Simbel Temples, concluding report", Vattenbyggnadsbyrå (VBB), Stockholm, Sweden, december*

[6] Fabrizi Elena, Abu Simbel: una rilettura dopo cinquant'anni, tesi di laurea in Architettura, Università degli Studi di Firenze, A.A. 2011-2012, relatore: Giorgio Verdiani, correlatori: Giovanni Anzani, Sergio Di Tondo

[7] Angelo Pericoli, topografo dell'Istituto Geografico Militare, partecipò alla fase di ricostruzione dei templi, ciascun blocco era dotato di tre mire ed i geografi dovevano ricollocarlo tramite teodolite. L'Istituto Geographique National Français, tramite la società Grands Travaux di Marsiglia gli inviò 250 copie su carta delle riprese fotogrammetriche e un elenco dei punti con coordinate e quota rilevati tra il 1956 ed il 1963. Le foto, i relativi punti e le piante dei Templi sono conservati presso l'Istituto Papirologico dell'Università degli Studi di Firenze.

[8] Le ipotesi sul tipo di fotocamera utilizzata fanno pensare che si possa trattare di una "Zeiss SMK 120"

[9] Guidi, Gabriele (2010) Michele Russo, Jean-Angelo Beraldin "Acquisizione 3D e modellazione poligonale" McGraw-Hill, Milano

[10] Il metodo di triangolazione (meshing) in questo caso, si avvale dell'algoritmo di Delaunay. I punti 3D vengono proiettati sul piano e, individuati quelli a distanza minima, vengono tracciati i reciproci collegamenti; una volta determinati i triangoli i punti vengono riconsiderati nello spazio 3D mantenendo valide le connessioni a meno di una soglia angolare tra poligoni adiacenti o una massima lunghezza dei lati dei poligoni.

[11] Si fa riferimento all'esperienza condotta dall' *Institute of Geodesy and Photogrammetry ETH* di Zurigo sui Buddha di Ba-

miyan in Afghanistan. Vd. Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L.,(2002), " *The reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afganistan. Icomos International Symposium*, Madrid, .; Remondino, Fabio, (2011) "Rilievo e modellazione 3D di siti e architetture complesse" *Disegnarecon*, Vol. 4, n. 8 - Tecnologie per la comunicazione del patrimonio culturale, a cura di E. Ippoliti e A. Meschini. Si fa inoltre riferimento al progetto realizzato dal *GRAIL Lab della Washington University* denominato *Building Rome in a day*.

[12] Mauro Lo Brutto, Maria Grazia Spera Sperimentazione di procedure automatiche in fotogrammetria *close-range* per il rilievo di Beni Culturali, in Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA - Reggio di Colorno 15-18 novembre 2011.

[13] Remondino F., El-Hakim S. (2006), "Image-based 3D modeling: a review", *Photogrammetric Record*, 21(115): 269-291.

[14] Balletti, Caterina, Adami, Andrea, Guerra, Francesco, Vernier, Paolo, (2012) "Dal rilievo alla maquette: il caso di San Michele in Isola" in *Archeomatica* n°2 Giugno 2012.

BIBLIOGRAFIA

Arab Republic of Egypt, Ministry of culture, (1971) The salvage of the Abu Simbel Temples, concluding report, Vattenbyggnadsbyrå (VBB), Stockholm, Sweden

Balletti, Caterina, Adami, Andrea, Guerra, Francesco, Vernier, Paolo, (2012) Dal rilievo alla maquette: il caso di San Michele in Isola in *Archeomatica* n°2 Giugno 2012.

Christophe, Louis, (1970), Abu Simbel, l'epopea di una scoperta archeologica, Einaudi, Torino

Curto, Silvio, (1965), Nubia, storia di una civiltà favolosa, Istituto Geografico De Agostini, Novara

Desroches-Noblecourt, Christiane, Kuentz, Charles (1968) *Le petit temple d'Abou Simbel*, Ministère de la Culture, Centre de documentation et d'étude sur l'ancienne Egypte, Le Caire

Desroches-Noblecourt, Christiane, Gerster, Georg, (1968) *Il mondo salva Abu Simbel*, Vienna/Berlino, Verlag A.F. Koska

Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L.,(2002), *The reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afganistan. Icomos International Symposium*, Madrid

Guidi, Gabriele, Michele Russo, Jean-Angelo Beraldin "Acquisizione 3D e modellazione poligonale" McGraw-Hill, Milano

Remondino, Fabio, (2011) Rilievo e modellazione 3D di siti e architetture complesse *Disegnarecon*, Vol. 4, n. 8 - Tecnologie per la comunicazione del patrimonio culturale, a cura di E. Ippoliti e A. Meschini

Rodriguez Navarro, Pablo, *Automated Digital Photogrammetry versus the systems based on active 3D sensors*. La Fotogrammetria Digital Automatizzata frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. in EGA n°20, 2012.

Scarpa, Romano, (1961) Paperino e il colosso del Nilo, parte 1, in *TOPO-LINO* 292, 2, luglio 1961, Mondadori, Milano

Scarpa, Romano, (1961) Paperino e il colosso del Nilo, parte 2, in *TOPO-LINO* 293, 9 luglio 1961, Mondadori, Milano

Save-Soderbergh, Torgny (1992) *Victoire en Nubie*, Unesco, Paris

Van Der Haagen, Jan, (1962) *Ramesses' mysterious encounter at dawn*, in *The Unesco Courier*, Unesco Paris, n° 10, october 1962, pp. 10-15

National Geographic, vol. 129, n°5, may 1966

The Unesco Courier, october 1962, Unesco, Paris