

In copertina:



**Politecnico
di Torino**

Dipartimento di Architettura e Design
Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico
A.A. 2025/2026

Ricostruzione 3D, 3DGS e VR: Cappella Rupestre di Ellesiya

Relatrice:

Prof.ssa Roberta Spallone

Candidato:

Fabio Fasano s330004

Correlatori:

Prof. Fabrizio Lamberti

Dott. Johannes Auenmüller

In collaborazione con il
Museo Egizio Di Torino



Ringrazio la professoressa Roberta Spallone, il professore Fabrizio Lamberti e il curatore del Museo Egizio di Torino, il Dott. Johannes Auenmüller, per la bellissima occasione che mi hanno dato con questo progetto e per il supporto e la guida offerti in questo percorso di tesi.

Ringrazio il Laboratorio di ricerca GRAINS interno a VR@POLITO e al Dipartimento DAUIN del Politecnico, in particolare il tutor Federico De Lorenzis, per la disponibilità e per il supporto alla parte tecnica del lavoro.

INDICE

ABSTRACT	1
01 INTRODUZIONE.....	4
02 COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO	7
2.1 Il supporto istituzionale.....	10
2.2 Il Projection Mapping.....	13
2.3 Il Gaussian Splatting.....	14
2.4 Casi Studio.....	16
03 ELABORAZIONE DEI CONTENUTI.....	20
3.1 Ambito di lavoro.....	20
3.2 Conservazione e trasparenza dei dati.....	21
3.3 Obiettivo	24
3.4 La valle del Nilo e la Diga di Assuan.....	25
3.5 Il Grande Salvataggio (The Nubian Campaign)	27
3.5.1 I quattro templi trasferiti all'estero	32
3.6 Il caso studio: Lo speos di Ellesiya	41
3.7 Metodi di lavoro, ricerca e ricostruzione 3D.....	49
3.8 La creazione dei Gaussian Splats (3DGS)	63
04 PROGETTO APPLICAZIONE.....	69
4.1 Storyboard applicazione	70
4.2 3DGS in Unity	73
4.3 Programmazione in C#	77
05 CONCLUSIONI.....	81
06 RIFERIMENTI	84
6.1 Bibliografia.....	84
6.2 Sitografia.....	91

ABSTRACT

Questo lavoro mira a offrire ai visitatori del Museo Egizio di Torino un'esperienza di visita virtuale dello speos di Ellesiya, "salvato" nel 1965 dall'inondazione del Lago Nasser e ricostruito con modello 3D, dal vero per il solo monumento e in base ai rilievi aerofotogrammetrici e fotografici risalenti alla fase immediatamente precedente l'inondazione, per il contesto.

Sono stati esaminati, da una parte, lo stato dell'arte nelle tecnologie digitali utilizzate nei musei come nuove modalità di fruizione, mirate ad ampliare e diversificare l'utenza e abbattere le barriere di natura sociale, culturale o psicologica che possano ostacolare la fruizione dei beni culturali e l'apprendimento e, dall'altra, l'origine del monumento e le vicende che lo hanno portato nel Museo Egizio di Torino e legittimano pienamente sia l'appartenenza allo Stato italiano che la sua collocazione.

Secondo l'attuale stato dell'arte, il modello 3D è stato inserito in un'applicazione di realtà virtuale fruibile sia su schermo che con visore, realizzata con la tecnologia 3D Gaussian splatting (3DGS) di tipo sintetico, per consentire la fruizione virtuale e interattiva del monumento nel contesto originale con il massimo della qualità visiva.

This work aims to offer visitors to the Egyptian Museum of Turin a virtual tour experience of the speos of Ellesiya, "rescued" in 1965 from the flooding of Lake Nasser and reconstructed with a 3D model, from the actual monument itself, and based on aerophotogrammetric and photographic surveys dating back to the period immediately preceding the flooding, for the surrounding context.

On one hand, the state of the art in digital technologies used in museums as new modes of engagement were examined, aimed at broadening and diversifying the audience and breaking down social, cultural, or psychological barriers that may hinder access to cultural heritage and learning. On the other hand, the origins of the monument and the events that brought it to the Egyptian Museum of Turin were explored, fully legitimising both its belonging to the Italian State and its current placement.

In accordance with the current state of the art, the 3D model has been integrated into a virtual reality application accessible both on screen and via headset, developed using synthetic 3D Gaussian Splatting (3DGS) technology, to enable virtual and interactive enjoyment of the monument within its original context at the highest visual quality.

01

INTRODUZIONE

01 INTRODUZIONE

A Torino è presente un tempio rupestre egizio di circa 3.500 anni, il primo della sua tipologia. Questa presenza non è frutto di spoliazione coloniale, ma del lavoro dell'ingegneria civile e degli egittologi italiani che, negli anni Sessanta del Novecento, furono tra i protagonisti principali del salvataggio internazionale dei monumenti prossimi ad essere coperti dalle acque per effetto della diga sul Nilo voluta dal giovane stato egiziano indipendente, per lo sviluppo dell'economia.

Il Museo Egizio custodisce, oltre alle proprie collezioni, la cappella rupestre di Ellessiya, testimonianza irripetibile di millenni di storia della Nubia e dell'Egitto, con i segni del passaggio dei secoli e delle religioni, che è anche testimonianza di una bella storia di italiani, motivo del dono all'Italia da parte dell'Egitto.

Tutto questo in ambienti molto stretti, ricavati in una pietra sedimentaria facilmente deteriorabile, in un contesto del tutto diverso dall'originale.

È una situazione che richiede importanti precauzioni e limitazioni per la visita diretta del monumento, tempi brevi e l'impossibilità di vedere il contesto originario: un caso in cui un'esperienza di realtà virtuale (VR) di alta qualità tutela il monumento dall'usura di troppe visite, ne permette la fruizione nel contesto ricostruito e aumenta sensibilmente il coinvolgimento del pubblico.

Nel progetto di ricerca generale è stata posta particolare attenzione alla conservazione e trasparenza dei dati, ottemperando ai principi delle Carte di Londra e Siviglia sull'implementazione di dati con i risultati di studi futuri e sul coinvolgimento e condivisione per mezzo dell'esperienza interattiva VR.

L'esperienza VR mira a offrire un tour virtuale dello speos di Ellesiya, spiegando le letture dei bassorilievi originali e la storia di come sia stato modificato e vissuto il luogo in epoche successive, con un alto livello di qualità visiva grazie all'utilizzo della tecnologia 3DGS.

Il software Unity è stato utilizzato per programmare l'esperienza di interazione del visitatore, che è stata sviluppata per il visore VR Meta Quest 2, ma è compatibile anche con altri dispositivi.

Gli utenti potranno così esplorare la ricostruzione digitale muovendosi liberamente o attraverso il menu interattivo, mentre una voce narrante fornirà informazioni aggiuntive su alcuni aspetti della cappella rupestre, della sua storia e del contesto.

02

COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO

02 COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO

In questo nuovo millennio, gli spazi espositivi sono andati avvalendosi sempre più delle tecnologie digitali, proiezioni, video, tavoli multimediali, con nuove modalità di fruizione, anche interattive, in grado di raggiungere un pubblico più vasto e più coinvolto attivamente¹.

Gli studi di audience development, ovvero di “sviluppo del pubblico”, sono mirati a definire le condizioni per ampliare e diversificare l’utenza dei musei, abbattendo le barriere di natura sociale, culturale o psicologica, per coinvolgere tutti.

Si è intensificato il dibattito sulle relazioni che si possono e si devono instaurare tra il museo e gli ambienti digitali, tra il museo e la nuova utenza e tra il museo in, *“per una moderna e attrattiva funzione educativa e secondo adeguate forme di audience development e di audience engagement (Bodo, Mascheroni, Panigada 2016; Luigini, Pancioli 2018)”*².

Il coinvolgimento viene rafforzato quanto più gli oggetti esposti riescono a parlare a tutti, superando la loro condizione di separazione rispetto al contesto originario.

I musei, da sempre centri di disseminazione culturale, nelle varie fasi storiche che hanno attraversato si sono adeguati ai cambiamenti della società e dei loro fruitori, sempre più numerosi ed eterogenei con l’allargarsi delle opportunità di istruzione. Oggi stanno diventando *“luoghi di sperimentazione con le tecnologie digitali, finalizzate a migliorare l’esperienza del visitatore all’interno e all’esterno del museo”* guadagnando un ruolo di

1 CHRISTILLIN E., GRECO C., *Le memorie del futuro. Musei e ricerca*, Einaudi, Torino, 2021, p. 88.

2 BONACINI E., *Storytelling culturale e piattaforme digitali. Manuale pratico con case study e best practice internazionali*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2023, p.10.

istruzione informale più attivo e diffuso e anche una *“funzione educativa e comunicativa”*³ .

Nell’ambito della conservazione del patrimonio culturale, in particolare di quello andato perduto o di cui rimangono solo alcuni resti fuori contesto, la realtà virtuale gioca un ruolo fondamentale nella comunicazione. Mediante la ricostruzione tridimensionale di manufatti e architetture e l’uso dei visori, i visitatori possono immergersi interamente all’interno dell’esperienza, viaggiare nel tempo e nello spazio e vivere ambientazioni ormai perdute, conservandone così la memoria, tanto più quanto più accurata sia la renderizzazione del modello e naturale il movimento dello sguardo e del corpo.

La qualità comunicativa e didattica delle esperienze digitali nei musei è stata oggetto di indagini interdisciplinari.

“I musei, quali custodi della memoria collettiva, devono pretendere un ruolo sempre maggiore nella formazione delle future generazioni. La frequentazione delle sale espositive non dovrebbe essere occasionale, relegata a una visita didattica una volta all’anno. La cultura materiale, questa enciclopedia di oggetti che si è conservata dal passato, dovrebbe essere consultata regolarmente e costituire il materiale di studio che accompagna i ragazzi dalla prima età scolare fino al completamento della formazione universitaria di terzo livello”.⁴

Le affordance delle esperienze, riferite alle *“opportunità motorie che l’ambiente offre all’organismo, indicando che particolari caratteristiche di un oggetto possono*

3 SPALLONE R., LAMBERTI F., OLIVIERI L.M., FRANCESCA RONCO F., AND LOMBARDI L. - *Augmented Reality and Avatars for Museum Heritage Storytelling*, in GIORDANO A., RUSSO M., SPALLONE R. curatori, *Beyond Digital Representation Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*, Milano, Springer 2024, p-243.

4 CHRISTILLIN E., GRECO C., *Le memorie del futuro. Musei e ricerca*, Einaudi, Torino, 2021, p. 100.

attivare in modo automatico le azioni”⁵, risultano specificamente rilevanti nella realtà virtuale, condizionando l’effettivo coinvolgimento del fruitore e quindi l’apprendimento.

Il Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL), modello teorico, basato sulla ricerca, di apprendimento nella realtà virtuale immersiva (IVR), identifica la presence, ovvero la sensazione di essere effettivamente presenti nel contesto virtuale, e la agency, sensazione di poter fare accadere le cose, come generale affordance psicologica dell’apprendimento in IVR.

*“CAMIL provides a theory of change that describes how it is not the medium of IVR that causes more or less learning, but rather that the instructional method used in an IVR lesson will be specifically effective if it facilitates the unique affordances of the medium. That is, interaction and immersion are limited with lessons presented on a video or PowerPoint but are greater with IVR or other existing/future immersive technologies. So, students’ presence and agency, which are psychological constructs that arise from immersion and interaction, will generally be higher in immersive media. This means that instructional methods that enrich learning through higher presence or agency will specifically increase learning through immersive technology”.*⁶

La trasformazione digitale dei musei può ora compiere un ulteriore passo avanti sfruttando le tecnologie emergenti per offrire esperienze personalizzate e interattive ai propri visitatori. *“Un esempio è la startup israeliana di Shani Ziv, Wandering, che utilizza una piattaforma web per l’apprendimento esperienziale con dispositivi mobili, consentendo ai visitatori di scegliere specifici oggetti di interesse e interagire con i relativi*

⁵<http://laral.istc.cnr.it/borghi/simposio-affordances06.htm> Ultima consultazione il 27/05/2026.

⁶ MAKRANSKY G., PETERSEN G.B. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. Educ Psychol Rev 33, 937–958 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>: 940.

manufatti all'interno del museo. Un'applicazione di questo tipo, Muse.run (<https://muse.run/wandering/>), fornisce mappe interattive e giochi digitali, permettendo ai curatori dei musei di progettare esperienze coinvolgenti per un pubblico eterogeneo".⁷

I musei combinano così strumenti tecnologici come smartphone, app, interattività e gamification con il loro spazio fisico, per creare una "nuova era della visita museale".

Senza dimenticare che "L'essenza della trasformazione digitale non risiede solo nella digitalizzazione dei beni, ma nel ripensare e riprogettare l'esperienza museale per avventure di apprendimento personalizzate e condivisibili".⁸

2.1 Il supporto istituzionale

Il "Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei" pubblicato il 23 agosto 2019 dalla Direzione generale Musei del MIBACT "risponde all'esigenza di fornire agli aderenti al nuovo Sistema Museale Nazionale un quadro di riferimento organico, affidabile e condiviso per adottare strumenti e processi digitali che concorrano agli obiettivi di tutela e valorizzazione del patrimonio culturale in un orizzonte di breve e medio periodo. La tecnologia va intesa come straordinario elemento abilitante la trasformazione complessiva. Il contributo in termini di miglioramento dell'efficienza, di rinforzo della sicurezza, di garanzia di autonomia di indirizzo e di accessibilità rese possibili dagli strumenti digitali è da considerarsi ormai consolidato".⁹

7 HUTSON, J. (2024). Digital Cultural Heritage Preservation. In: Art and Culture in the Multiverse of Metaverses. Springer Series on Cultural Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66320-8_4.

8 Ivi: 112.

9 <https://musei.cultura.gov.it/wp-content/uploads/2019/08/Abstract-Piano-Triennale-per-la->

“Il 3 luglio 2024 è stata presentata anche “Musei italiani”, l’app ufficiale del Sistema Museale Nazionale, collegata alla relativa piattaforma.

Il Piano mette a disposizione dei musei italiani “Strumenti di racconto evoluto e narrazione condivisa”, ponendo alle modalità con cui avviene la narrazione culturale in spazi digitali, affermando che “la capacità di attivare un rapporto efficace con i visitatori dei musei passa anche attraverso l’adozione di forme di narrazione evoluta, più coinvolgenti ed allargate agli stessi visitatori, per esempio tramite l’adozione di pratiche di narrazione condivisa ed approcci di content curation”. “Il Piano invita a creare esperienze interattive in cui l’attivazione dei contenuti può essere avviata tramite la manipolazione e l’interazione fisica con oggetti del patrimonio o loro repliche o attraverso sistemi di sensoristica e di rilevamento dei visitatori nello spazio; in tal senso, la Direzione Generale Musei intende realizzare un Vademecum orientato a supportare la progettazione delle esperienze interattive fornendo indicazioni sulle scelte delle tecnologie e a fornire indicazioni utili ad azioni di prototipazione”.¹⁰ Il PNRR Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, approvato il 13 luglio 2021, dedica un’intera misura agli investimenti in digitalizzazione del patrimonio culturale.

«Negli ultimi vent’anni, si sono sviluppati innumerevoli progetti di ricerca dedicati a ricostituire i *disiecta*

[Digitalizzazione-e-l’Innovazione-dei-Musei.pdf](#) Ultima consultazione 28 maggio 2026.

10 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MACERATA CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN FORMAZIONE, PATRIMONIO CULTURALE E TERRITORI CICLO XXXVII TITOLO DELLA TESI NUOVI PARADIGMI DIGITALI PER LE ESPERIENZE CULTURALI COMPLESSE MODELLI APPLICATIVI PER PIANI STRATEGICI DIGITALI PER I MUSEI: DALLA CONSERVAZIONE, FRUIZIONE E COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO, ALLO SVILUPPO SOSTENIBILE – SUPERVISORE Prof.ssa Patrizia Dragoni COORDINATORE Prof.ssa Anna Ascenzi ANNO 2025 DOTTORANDA Dott.ssa Elena Capodaglio.

membra, corredi e parti di monumenti separati e conservati in diverse istituzioni a seguito di vicende legate al collezionismo e alla modalità di acquisizione. Si può ricordare, fra gli altri, il Digital Giza Project, condotto dall'Harvard University, che ha raccolto materiale iconografico, documenti di archivio, informazioni, risultati di scavo e ha poi sviluppato modelli tridimensionali per assemblare digitalmente i monumenti di uno dei siti archeologici più importanti al mondo: le piramidi di Giza e le strutture funerarie che le circondavano. Così, via via, si sono andate costituendo delle banche dati e si sono sviluppati dei siti web che rappresentano dei veri e propri musei virtuali. In questo modo si restituisce il contesto e si fa rivivere il reperto nella sua dimensione storica. [...] Quello che potremo raggiungere in un futuro ormai prossimo è non solo la ricomposizione del contesto originario, ma la possibilità di vivere un'esperienza immersiva che ci permetta di essere trasportati fisicamente in un paesaggio storico e di attraversarlo nella sua stratificazione".¹¹

In quanto forma di apprendimento integrato con la tecnologia, l'uso della realtà virtuale (VR) è destinato a favorire lo sviluppo delle competenze del XXI secolo e a incoraggiare gli studenti a diventare apprendenti attivi. Tale approccio si allinea al concetto di apprendimento incentrato sullo studente, consentendo agli allievi di costruire la propria conoscenza.

¹¹ CHRISTILLIN E., GRECO C., *Le memorie del futuro. Musei e ricerca*, Einaudi, Torino 2021, pp. 89-90.

2.2 Il Projection Mapping

Con il Projection mapping (PM) si sovrappongono, mediante proiettori, immagini generate dal computer su superfici fisiche, non solo piatte ma anche generiche, non planari, dotate di texture, creando un particolare ambiente di realtà aumentata (AR) dove i mondi reale e virtuale si fondono senza soluzione di continuità.¹²

È un metodo che è stato largamente utilizzato per restituire la policromia originale, accertata mediante l'analisi dei residui di pigmento, sulle superfici di monumenti dell'antichità.

Il projection mapping comprende vari metodi classificati "basic" e "advanced" Viene ottenuta la corrispondenza fra oggetti reali come facciate, bassorilievi e sculture, e modelli virtuali in base a fattori come la complessità dell'oggetto e il Livello di Dettaglio (LOD).

Il procedimento prevede la ricostruzione 3D o 2D delle superfici dell'oggetto su cui saranno applicate le proiezioni video, a differenza della realtà aumentata (AR) che prevede la sovrapposizione di un'immagine reale e una virtuale su uno schermo.¹³

¹² Projection mapping technologies: A review of current trends and future directions, Iwai, Daisuke – Proceedings of the Japan Academy, Series B – 10.2183/pjab.100.012, 2024/03/11: 234.

¹³ Digital methods and techniques for reconstructing and visualizing ancient 3D polychromy – An overview Eliana Siotto, Paolo Cignoni, Journal of Cultural Heritage, Volume 68, 2024, Pages 59–85, ISSN 1296–2074.

2.3 Il Gaussian Splatting

Il metodo 3DGS (Gaussian Splatting 3D) è stato presentato inizialmente nel 2023.

Nel paper di Kerbl, Bernhard e Kopanas, Georgios e Leimkühler, Thomas e Drettakis, George, "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering", il nuovo metodo di renderizzazione continua in tempo reale è basato sull'uso, al posto dei triangoli delle mesh, di "3D Gaussian", ovvero superfici generate dalla rotazione sul suo asse di una curva di Gauss, come primitive.

Il metodo è descritto come una sequenza di operazioni: inserimento di un insieme di immagini di una scena statica, con le corrispondenti telecamere calibrate, che producono una nuvola di punti come effetto collaterale. Da questi punti viene creato un insieme di Gaussiane 3D, definite da una posizione (media), una matrice di covarianza e l'opacità α , che consentono un regime di ottimizzazione molto flessibile. Da questo si ricava una rappresentazione ragionevolmente compatta della scena 3D, *"in parte perché è possibile utilizzare splat volumetrici altamente anisotropi per rappresentare in modo compatto le strutture fini"*.¹⁴

La componente direzionale dell'aspetto (colore) del campo di radianza è rappresentata tramite armoniche sferiche. L'algoritmo procede alla creazione della rappresentazione del campo di radianza attraverso una sequenza di passaggi di ottimizzazione dei parametri gaussiani 3D: posizione, covarianza, coefficienti α e SH,

¹⁴ Kerbl, Bernhard and Kopanas, Georgios and Leimkühler, Thomas and Drettakis, George, "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering", su "ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH Conference Proceedings)", n.4 - Luglio 2023.

intervallati da operazioni di controllo adattivo della densità gaussiana. Il rasterizzatore basato su tile consente la fusione α di splat anisotropi, rispettando l'ordine di visibilità grazie all'ordinamento veloce.

Il metodo di rendering in tempo reale è quindi basato su molteplici immagini 2D dell'oggetto da renderizzare, che possono essere semplicemente fotografie (3DGS reale) per oggetti esistenti, oppure immagini ricavate da un modello 3D di oggetti non più o non ancora esistenti, in tutto o in parte (3DGS sintetico).

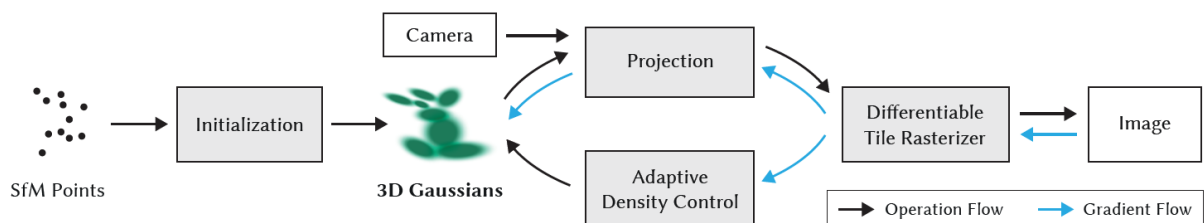


Fig. 2.3_01 Come funziona il processo di rendering dei Gaussian Splat.

Ottenere rendering in tempo reale senza i “costi computazionali” troppo elevati tipici dei sistemi neurali (Neural Radiance Fields NeRF) rende molto più utilizzabile la VR basata su 3DGS nei contesti museali.

Lo sviluppo del 3D Gaussian Splatting, una tecnica innovativa di sintesi di nuove viste (branca della computer vision), ha permesso progressi significativi nella resa di immagini in tempo reale di alta qualità.¹⁵

¹⁵ M. -Y. Chen, I. -C. Chang, J. -W. Chen, B. -H. Yang and C. -F. Wun, "An Immersive 3D Navigation System Using 3D Gaussian Splatting," *2024 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)*, Taichung, Taiwan, 2024, pp. 735-736, doi: 10.1109/ICCE-Taiwan62264.2024.10674556.

2.4 Casi Studio

Uno studio del marzo 2023 descrive l'uso della tecnologia di Virtual Reality (VR) all'interno dello Youth Pledge Museum in Indonesia e Virtual Tour (VT) come risorsa per l'insegnamento della Storia. L'articolo conclude che «come forma di apprendimento integrato con la tecnologia, si prevede che l'uso della VR potrà accompagnare lo sviluppo delle competenze del XXI secolo e incoraggerà gli studenti all'apprendimento attivo»¹⁶

Nel 2025, lo studio "Realistic and Interactive Virtual Museum Representation Using 3D Gaussian Splatting" di Ohyang Kwon e Jeongmin Yu del Dept. of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo, South Korea.¹⁷

Presenta lo sviluppo di un museo virtuale utilizzando il 3D Gaussian Splatting (3DGS) e ne valuta qualità esperienziale ed efficacia nel confronto con il sistema convenzionale basato su immagine panoramica a 360 gradi.

I due metodi sono stati implementati sul medesimo contenuto espositivo ed è stata condotta una completa

16 MAGHFUR M.A., AUDILLA R S., FATKHURROHMAN S., PRIYANIDYA Y T., "Pemanfaatan Museum Sumpah Pemuda sebagai Sumber Belajar melalui Teknologi Virtual Reality", Jurnal Dinamika, vol. 4, n.1, 2023, pp. 13-32. Link: <http://dx.doi.org/10.18326/dinamika.v4i1.13-32>. Ultima consultazione 28/05/2026.

17 ISPRS-Annals ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ISPRS-Annals ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2194-9050 Copernicus Publications Göttingen, Germany 10.5194/isprs-annals-X-M-2-2025-185-2025 Realistic and Interactive Virtual Museum Representation Using 3D Gaussian Splatting Kwon Ohyang 1 Yu Jeongmin 11 Dept. of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo, South Korea 23 09 2025 X-M-2-2025 185 192 Copyright: © 2025 Ohyang Kwon 2025.

valutazione delle reazioni degli utenti, sia con metodi quantitativi che qualitativi.

È risultato, dalle misurazioni fatte tramite Igroup Presence Questionnaire (IPQ), che il sistema basato su 3DGS ottiene punteggi statisticamente più alti in tutti gli item IPQ. Inoltre, i partecipanti riferiscono maggiore soddisfazione, intenzione di ripetere l'esperienza, preferenza per un uso generalizzato del sistema e motivazione ad altre visite. Malgrado piccole limitazioni nella nitidezza dell'immagine e leggibilità del testo, gli utenti generalmente percepiscono che la qualità visiva del sistema 3DGS sia accettabile e talvolta anche di maggiore effetto e mostrano una chiara preferenza per le sue caratteristiche di interattività e coinvolgimento.

Le immagini convenzionali a 360 gradi offrono vantaggi come chiarezza visiva e facilità di implementazione, ma sono intrinsecamente limitate in termini di mobilità e interazione, risultando povere di potenziale immersivo.

Al contrario, il sistema 3DGS rende possibile una robusta ricostruzione della scena anche in ambienti di esposizione complessi, supportando navigazione libera e interazione.

"Several participants note that its spatial configuration, viewing flexibility, and multi-user functionality contribute to a realistic and emotionally engaging museum experience. The system's ability to integrate spatial realism with experiential depth suggests a new direction beyond the conventional trade-off between visual fidelity and interactivity.

Overall, this study underscores the need for virtual museum systems that not only engage users through immersion, interactivity, and social presence, but also convey a convincing sense of realism. 3DGS provides a

promising foundation for the next generation of virtual museum environments”.¹⁸

Lo studio conclude che i risultati suggeriscono che il nuovo approccio, con ulteriori avanzamenti nella qualità di rendering e ottimizzazione, presenta un forte potenziale come alternativa praticabile per future applicazioni museali. È risultato promettente per realizzare esperienze virtuali immersive.

18 ISPRS-Annals ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ISPRS-Annals ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2194-9050 Copernicus Publications Göttingen, Germany 10.5194/isprs-annals-X-M-2-2025-185-2025 Realistic and Interactive Virtual Museum Representation Using 3D Gaussian Splatting Kwon: 191 Ohyang Yu Jeongmin 1 Dept. of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo, South Korea 23 09 2025 X-M-2-2025 185 192 Copyright: © 2025 Ohyang Kwon 2025.

03

ELABORAZIONE DEI CONTENUTI

03 ELABORAZIONE DEI CONTENUTI

3.1 Ambito di lavoro

La finalità principale del progetto è offrire ai visitatori del Museo Egizio di Torino un'esperienza di visita virtuale (VR e desktop) dello speos di Ellesiya, oggi custodito nel museo, inserito nella ricostruzione del suo contesto originale, raccontandone i contenuti e la storia. L'ambiente è stato ricostruito anche in base a tesi e studi precedenti, che hanno fatto riferimento ai rilievi aerofotogrammetrici e fotografici realizzati poco prima dell'inondazione avvenuta in seguito alla costruzione della diga di Assuan.

Lo speos e la storia del suo spostamento nel Museo Egizio sono descritti più diffusamente nel capitolo 3.6.

Al fine di ottenere il miglior risultato visivo possibile è stata utilizzata la tecnica del Gaussian Splatting ottenuto da rendering raytracing effettuato offline in Blender Cycles.

Successivamente attraverso un componente dedicato, il 3DGS ottenuto è renderizzato in real time in Unity con ottime prestazioni nonostante la complessità del modello 3D di partenza.

La ricerca è multidisciplinare: coinvolge, con l'Archeologia e in particolare l'Egittologia, la Rappresentazione e la Grafica Computerizzata.

Nel progetto di ricerca generale è stata posta particolare attenzione alla conservazione e trasparenza dei dati, ottemperando ai principi delle Carte di Londra e Siviglia sull'implementazione di dati con i risultati di studi futuri e sul coinvolgimento e condivisione per mezzo dell'esperienza interattiva VR.

3.2 Conservazione e trasparenza dei dati

La visualizzazione computer-based, in quanto nuova disciplina, ha avuto bisogno della formazione di principi accettati universalmente come proprio fondamento scientifico.

La Carta di Londra per la Visualizzazione del Patrimonio Culturale Basata sul Computer fu concepita nel 2006, come «mezzo per assicurare il rigore metodologico della visualizzazione computer based quale mezzo di ricerca e di comunicazione del patrimonio culturale»¹⁹.

Si articola in sei principi, così sintetizzati:²⁰

PRINCIPIO 1 – IMPLEMENTAZIONE

I principi della Carta di Londra sono validi ovunque la visualizzazione basata sul computer sia applicata alla ricerca e disseminazione del patrimonio culturale.

PRINCIPIO 2 – FINALITÀ E METODI

Un metodo di visualizzazione basata sul computer dovrebbe normalmente essere usato solo quando sia il più appropriato allo scopo.

PRINCIPIO 3 – FONTI DI RICERCA

Per assicurare l'integrità intellettuale dei metodi e prodotti, le fonti di ricerca rilevanti dovrebbero essere identificate e valutate in modo strutturato e documentato.

¹⁹ <https://londoncharter.org/introduction.html>. Ultima consultazione 28 maggio 2026.

²⁰ <https://londoncharter.org/principles.html>. Ultima consultazione 09 28 maggio 2026.

PRINCIPIO 4 – DOCUMENTAZIONE

Dovrebbero essere documentate e disseminate Informazioni sufficienti per consentire che metodi e prodotti della visualizzazione basata su computer siano compresi e valutati in relazione ai contesti e scopi per cui sono messi in campo.

PRINCIPIO 5 – SOSTENIBILITA'

Dovrebbero essere pianificate e implementate strategie per assicurare la sostenibilità a lungo termine di prodotti e documentazione della visualizzazione basata su computer, al fine di evitare perdite di questa parte crescente del patrimonio umano intellettuale, sociale, economico e culturale.

PRINCIPIO 6 – ACCESSO

La creazione e disseminazione di visualizzazione basata su computer dovrebbe essere pianificata in modo tale da assicurare che siano ottenuti i massimi possibili benefici per lo studio, la comprensione, l'interpretazione, la preservazione e la gestione del patrimonio culturale.

La Carta di Londra è stata recepita nel 2009 dalla «Carta di Siviglia, giunta nel 2011 alla sua versione finale, che ha la finalità di rendere attuativi i contenuti della Carta di Londra»²¹.

La Carta di Londra, come implementata nella Carta di Siviglia, costituisce un momento importante per gli sviluppi futuri della visualizzazione basata su computer.

²¹ https://www.glowarp.com/1_la_carta_di_londra.html. Ultima consultazione 27 maggio 2026.

Da un lato ne traccia le linee guida per le generazioni a venire e dall'altro ne individua temi di riflessione sullo stato dell'arte. Questo il testo sintetico del Principio n.7: «Tutti i sistemi di visualizzazione basata su computer devono essere essenzialmente trasparenti, ad esempio verificabili da altri ricercatori o professionisti, dato che la validità - e quindi la finalità - delle conclusioni prodotte da tali visualizzazioni dipenderà in gran parte dalla capacità degli altri di confermare o rifiutare i risultati ottenuti»²².

«I Principi di Siviglia hanno il valore di una carta, che non definisce un sistema di norme, di leggi, ma gli orientamenti di una vasta comunità scientifica che si propone di dare impulso all'archeologia virtuale come disciplina matura, la quale viva nel rispetto di queste regole e si fondi su metodi scientificamente validi ed ampiamente condivisi. Se gli enunciati della Carta di Venezia del 1964 affermarono che «il restauro deve fermarsi dove ha inizio l'ipotesi», potremmo sostenere che l'archeologia virtuale inizia quando finisce il restauro»²³.

Entrambe le discipline in effetti, intendono «dare voce a quella spinta creativa, che sulla scorta di uno studio preliminare, dia luogo ad interpretazioni utili a formulare ipotesi ricostruttive»²⁴.

Nel restauro è assolutamente prioritaria e prevalente, sia pure da tempi relativamente recenti, l'esigenza di frenare l'atto creativo a favore della pura conservazione.

22 GABELLONE F., *La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia*, SCientific RESearch and Information Technology, vol. 2, n. 2, 2012, pp. 99-124. Link: <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v2n2p99>. Ultima consultazione 28 giugno 2026.

23 *Ibidem*, p. 99.

24 *Ivi*.

Nella visualizzazione basata su computer, le ipotesi ricostruttive scientificamente fondate possono invece essere “costruite” virtualmente ed essere offerte alla ricerca degli studiosi e diffuse in modo da favorire la conoscenza e comprensione del bene culturale da parte del pubblico.

3.3 Obiettivo

La presente tesi ha pertanto come obiettivo la ricostruzione in modello digitale e successivamente 3DGS, da rendere fruibile in un’esperienza di realtà virtuale (VR) e desktop, della cappella rupestre di Ellesiya. Con un focus sui bassorilievi originali che sono presenti all’interno dello spazio e ai graffiti di epoche successive, nonché alla narrazione della storia del sito e le sue trasformazioni: La creazione per volere del faraone Thurmose III (Circa 1450 a.C.), la distruzione delle figure religiose durante l’epoca di Akhenaton (circa 1350 a.C.), il restauro e le modifiche al naos dell’epoca di Ramesse II (1279-1213 a.C.), il riutilizzo durante il periodo Copto come chiesa cristiana, l’abbandono del sito ed infine il salvataggio (1965-1966, The Nubian Campaign, UNESCO) e lo spostamento a Torino, nel Museo Egizio, nel 1970, in seguito alla costruzione della diga di Assuan e la formazione del lago Nasser (che ha sommerso di decine di metri la zona).

Nel progetto di ricerca generale è stata posta particolare attenzione alla conservazione e trasparenza dei dati, ottemperando ai principi delle Carte di Londra e Siviglia sull’implementazione di dati con i risultati di studi futuri e sul coinvolgimento e condivisione per mezzo dell’esperienza interattiva VR e desktop, fruibile anche da casa o, come possibile scenario futuro, tramite web app.

3.4 La valle del Nilo e la Diga di Assuan

Il progetto per la costruzione della diga di Assuan fu uno dei maggiori successi del governo egiziano che seguì la rivoluzione del 1952.

Sarebbe stato impossibile per l'Egitto soddisfare la domanda di acqua, energia e terre coltivabili senza la diga, che si dimostrò essenziale anche per proteggere l'Egitto durante i periodi di siccità che colpiscono l'Africa nel decennio successivo alla sua costruzione e protesse l'Egitto dei pericoli delle inondazioni anomale che avrebbero colpito nel 1964, 1975 e 1977.

Il Nilo fa arrivare fino al Mediterraneo l'enorme portata di acqua che proviene da lontani affluenti in Etiopia e nell'Africa equatoriale, con le forti piene dovute alla stagione delle piogge equatoriali.

L'Egitto è sempre stato dipendente dal Nilo per la sua prosperità. La coltivazione di cereali iniziò circa 7.000 anni fa, nella parte inferiore e settentrionale del bacino del fiume, sfruttando ingegnosamente l'irrigazione e la fertilizzazione offerte annualmente dalle piene del fiume.

Tentativi di moderare e controllare il flusso del Nilo furono fatti fin dall'epoca della dodicesima dinastia (1991 – 1786 AC), in particolare per controllare il flusso dell'acqua in ingresso e uscita dal lago della Depressione del Fayum.

I Tolomei costruirono una diga in terra che crollò in seguito alle straordinarie piene del fiume all'epoca degli imperatori Claudio (41 – 54 DC) e Nerone (54 – 68 DC). Dall'analisi dei resti di cinque muri della diga, lunga 8 chilometri, risulta che la maggiore delle ricostruzioni fu realizzata sotto il dominio dei Romani, nel secondo e

primo secolo AC, con un cuore di calcestruzzo e rivestimento in pietra calcarea.²⁵

La storia della diga attuale iniziò con un primo tentativo nel 1889. La diga fu sopraelevata nel 1912 e poi nuovamente nel 1933, senza comunque riuscire a trattenere le acque del Nilo durante la grande piena del 1946.²⁶

Nel 1960 fu posata la fondazione della Grande Diga, inaugurata il 15 gennaio 1971, alta 111 m sul livello del Nilo.

Fu così possibile ottenere un aumento dell'accesso all'acqua per tutto l'Egitto, il miglioramento della navigabilità del fiume, una superficie irrigata di oltre 4.130 kmq, con aumento della terre coltivabili da 24.360 a 31.080 kmq e la possibilità di due raccolti l'anno nell'80% delle terre coltivate e tre raccolti l'anno nel restante 20%, una produzione di 40.000 tonnellate di pesce/anno dal lago Nasser creato dalla diga e soprattutto una produzione di energia elettrica decisiva per la modernizzazione e l'industrializzazione del paese.

Gli anni della costruzione della diga non erano, in Medio Oriente, meno difficili di quelli che viviamo oggi. Nel 1952 un colpo di stato militare aveva posto fine alla monarchia. Nel 1954, mentre l'Egitto riusciva ad allontanare i militari inglesi dal Canale di Suez, sull'onda delle lotte contro l'egemonia occidentale in tutta l'area, chiese un prestito alla Banca Mondiale che, dopo un'iniziale disponibilità, lo rifiutò.

25 GARBRECHT, G. The Sadd el Kafara, the world's oldest dam. In *Proceedings of the Special Session on History of Irrigation*, 12th ICID Congress, Fort Collins, CO, USA, 28 May–2 June 1984. Citato in *The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod*, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, 2022.

26 HASSAN, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. *Afr Archaeol Rev* 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

Si inserì così un'offerta da parte dell'Unione Sovietica, che fu accettata dall'Egitto, complicando ulteriormente la situazione politica.²⁷

3.5 Il Grande Salvataggio (The Nubian Campaign)

I gravi rischi di guerra non dissuasero gli egiziani, non solo dalla costruzione della diga, individuata come priorità assoluta per lo sviluppo economico e sociale del paese, ma anche dalla volontà di salvare i monumenti di straordinario valore storico e artistico, famosi in tutto il mondo, che sarebbero stati sommersi dal lago artificiale. Decisivo per tale salvaguardia fu il supporto dell'UNESCO, che poté operare con grande efficacia come agenzia multilaterale, per una campagna che "fu senza precedenti nello scopo, nelle dimensioni e nel livello di cooperazione internazionale"²⁸, per il salvataggio dei monumenti e siti archeologici che sarebbero stati sommersi dal lago,

Rilevanti pubblicazioni e report ufficiali UNESCO documentano l'intera campagna.²⁹

L'impresa mai tentata, di rimuovere e ricollocare i templi di Abu Simbel e altri resti archeologici, fu circondata dalla fortissima fiducia nelle conquiste della tecnica che caratterizzava quegli anni, come nella competizione fra

27 HUSSEIN, F. (1981). Dams, people, and development: The aswan high dam case. New York: Pergamon Press. Citato in Hassan, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. *Afr Archaeol Rev* 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

28 HASSAN, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. *Afr Archaeol Rev* 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

29 (UNESCO/CUA 103, 106, 107, 109, 113, 118, 127 and UNESCO Nubia/1ff) citati in Hassan, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. *Afr Archaeol Rev* 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

Stati Uniti e Unione Sovietica per la conquista della Luna e, come quella conquista, fu ampiamente seguita e documentata dalla stampa illustrata di tutto il mondo, fino ad arrivare nei fumetti.³⁰

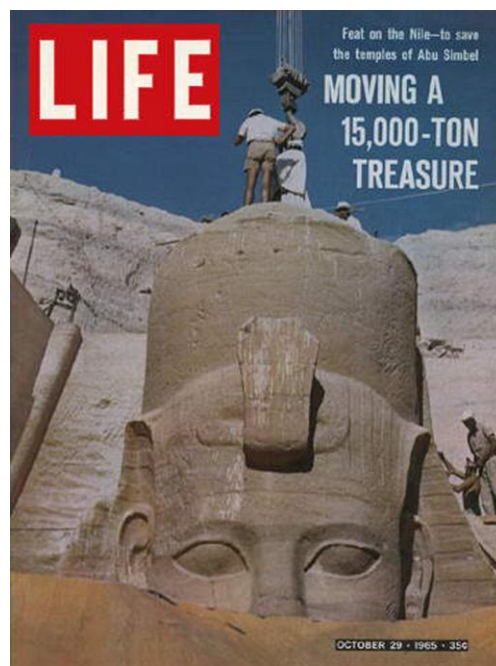


Fig. 3.5_01 Foto d'epoca e copertina della rivista LIFE raffiguranti lo spostamento del tempio di Abu Simbel.

*“In poco più di tre anni i due templi, pesanti rispettivamente 265.000 e 55.000 tonnellate, sono stati spostati 280 metri più all'interno e 65 metri più in alto rispetto alla loro sede originaria, trovando riparo in un luogo sicuro, lontano dal rischio di un'inondazione del Nilo”.*³¹

In Italia l'impresa fu particolarmente seguita per la presenza di Salini Impregilo fra le sei imprese internazionali che realizzarono il salvataggio dei templi di Abu Simbel e per il salvataggio del tempio di Ellesiya

30 Nubiana: the great undertaking that saved the temples of Abu Simbel, Museo Egizio di Torino (Italy), Scalabrini, Cristina [editor], Milan: Rizzoli, 2019.

31 <https://www.webuildvalue.com/it/reportage/salvataggio-di-abu-simbel-in-ricordo-della-grande-impresa.html>, Ultima consultazione 21 maggio 2026.

coordinato dal Museo Egizio, con il sostegno finanziario del Comune di Torino, impresa celebrata nel cinquantenario del 2018, presso il Museo Egizio e con la pubblicazione del volume "Nubiana".³²

Va notato che la rimozione e ricollocazione di beni storici e artistici, anche nei pressi del sito originale, era già stata condannata all'epoca dalla cultura del restauro e considerata come sinonimo di distruzione.

Secondo Leonardo Crespi, la ricollocazione "interrompe la continuità formale fra il monumento e il suo ambiente [...] ed è il sé un serio errore concettuale"³³ che, secondo Cesare Brandi³⁴ rende l'opera un "falso".

La Carta Italiana del Restauro del 1932 non aveva preso in considerazione il tema della ricollocazione dei monumenti, neanche per condannarla.³⁵

L'inedito salvataggio, con ricollocazione massiva di monumenti e strutture archeologiche, ebbe un impatto nei successivi documenti internazionali sulla protezione del patrimonio culturale, che dovettero affrontare il tema per la prima volta.

Nella redazione della Carta del Restauro di Venezia del 1964, un ruolo guida fu svolto da Piero Gazzola, Professore di Restauro all'Università di Milano e Sovrintendente ai

32 Nubiana: the great undertaking that saved the temples of Abu Simbel, Museo Egizio di Torino (Italy), Scalabrini, Cristina [editor], Milan: Rizzoli, 2019.

33 CRESPI, L. 1955 *Problemi di restauro*. Milano. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, 2022.

34 BRANDI, C. 1963 *Teoria del restauro*. Torino. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, 2022.

35 Carta Italiana del restauro, 1932 Consiglio Superiore Per Le Antichità e Belle Arti. Norme per il restauro dei monumenti.

Monumenti per il Veneto Occidentale, che aveva partecipato all'attività di consulenza scientifica richiesta dall'UNESCO sui criteri da rispettare nelle modalità di rimozione e ricollocazione dei monumenti nubiani.³⁶ L'articolo 7 della Carta, in particolare, sembra richiamare le discussioni nel Comitato di Esperti che si recò in Nubia: "Il monumento non può essere separato dalla storia della quale è testimone, né dall'ambiente in cui si trova. Lo spostamento di una parte o di tutto il monumento non può quindi essere accettato se non quando la sua salvaguardia lo esiga o quando ciò sia significato da cause di eccezionale interesse nazionale o internazionale."³⁷

Veniva così implicitamente riconosciuta l'accettabilità dello spostamento dei monumenti nubiani, vista l'assoluta necessità di salvaguardia dalla sommersione nel lago Nasser e in presenza di straordinari interessi nazionali e internazionali.

Fin dall'inizio dell'organizzazione del salvataggio con il coordinamento dell'UNESCO, fu suggerito che *"while the member state requesting international cooperation should be under no obligation, part of the Nubian and Egyptian cultural heritage would be offered in return for assistance to countries cooperating in the rescue. This quid pro quo would consist of archaeological concessions in Egypt, fifty per cent of the finds from excavations in Nubia, the donation of artefacts from*

36 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, 2022.

37 Carta del Restauro di Venezia 1964 - Testo approvato dal II congresso Internazionale degli architetti e dei tecnici dei monumenti storici riunitosi a Venezia dal 25 al 31 maggio 1964. Ad esso si giunse partendo dalla proposta formulata dai proff. Roberto Pane e P. Gazzola.

Egyptian stores and reserves, and the gift of five Nubian temples".³⁸

La scelta di cinque templi, a cura di un comitato di membri dell'Egyptian Supreme Council of Antiquities e di docenti dell'Università del Cairo, cadde su quelli di Debod, Taffa, Dendur, Ellesiya e Derr. Quest'ultimo fu poi escluso per l'eccessiva difficoltà del salvataggio, a causa delle condizioni della roccia.

Non mancarono le critiche a questi trasferimenti, che riportavano alle vecchie pratiche imperiali di spoliazione del patrimonio culturale; Gazzola fu contrario a questo uso dei monumenti e alla rimozione dal paese d'origine, giudicandole pratiche fortunatamente sorpassate, e sperava che nessun governo le avrebbe sostenute.

D'altra parte, il presidente della Commissione, davanti alle critiche, chiarì che: *"the donation of certain monuments or objects from Egypt should not be interpreted as a dissociation from the Egyptian cultural heritage, but rather as a new extension of its influence"*.³⁹

Infine, Silvio Curto commentò così l'arrivo a Torino del monumento destinato all'Italia: *"Se adunque il Tempio di Ellessija ha perso quel significato che gli veniva dal sito – sul quale ormai gravano le acque del Lago Nasser – se ha lasciato persino il suo ambiente geografico, ha trovato un nuovo contesto storico – formato non meno da monumenti coevi che da recente fervore di studi – donde esso trae, ci sembra, non minore celebrazione"*.⁴⁰

38 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 203.

39 ALLAIS, L. 2013: 203 2012 "The Design of the Nubian Desert: Monuments, Mobility, and the Space of Global Culture", in: Aggregate (group): *Governing by Desing: Architecture, Economy and Politics in the Twentieth Century*, Pittsburgh: 179–205.

40 CURTO 1970: 2.

3.5.1 I quattro templi trasferiti all'estero

I templi donati ad altrettanti paesi decisivi per la Nubian Campaign, come altri trasferiti in altre circostanze fuori dalla regione, sono stati ricostruiti in musei e, solo a Madrid, in un parco pubblico.

Si tratta dei templi di Dendur, Debod, Taffa e della cappella rupestre di Ellesiya, della quale si tratterà diffusamente nel capitolo 3.6.

*“Thus both new landscapes and new monuments were constructed, far away from the original river banks and set in different spatial relationships. In some cases, the orientation of the building changed, resulting in a different play of light and shadow, while several temples were removed from the region completely. Six are now inside roofed areas, three in The National Museum of Sudan in Khartoum, and three in the museums of Leiden, Turin and New York (see Fig. 6 and Table 1) and one more has been rebuilt in a public park in Madrid”.*⁴¹

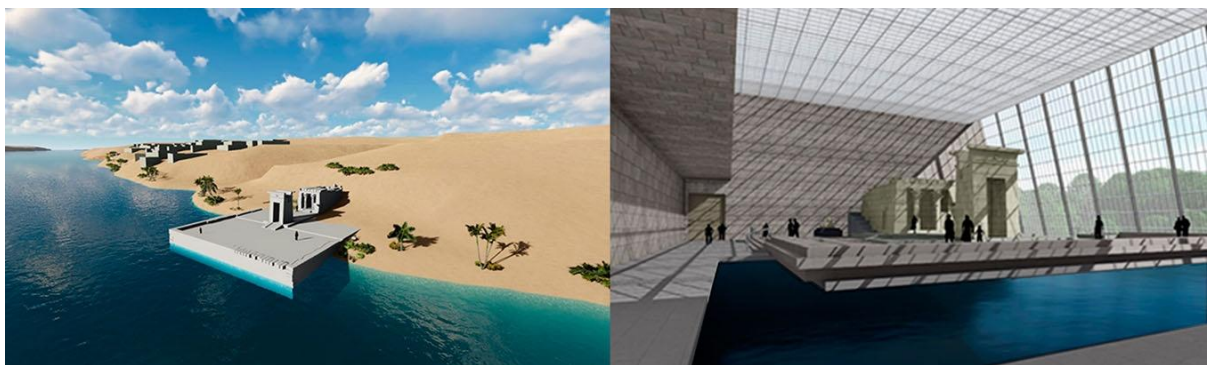


Fig. 3.5.1_01 Ricostruzione in 3DVR del tempio di Dendur nel contesto nubiano (a sinistra) ed il tempio rilocato nel Metropolitan Museum of Art di NewYork (a destra). Rendering a cura di Andrea Cocco, Cristian Blangetti, Volodymyr Dutka, Deborah Rosso, Federico Rossi). Digital Nubia: Cultural Heritage in Context, POLITO_UCLA, 2017.

41 ROSA TAMBORRINO & WILLEKE WENDRICH (2017) Cultural heritage in context: the temples of Nubia, digital technologies and the future of conservation, Journal of the Institute of Conservation, 40:2, 168-182, DOI: 10.1080/19455224.2017.1321562: 176.

Table 1 Nubian temples transferred during the UNESCO Nubian Campaign.

Name	Present location	Period	Features
Philae Temple Complex	Agilkia Island	Greco-Roman Period	12 temples, including the large Isis Temple
Temple of Debod	Cuartel de la Montaña Park Madrid, Spain	Greco-Roman Period	
Temple of Taffeh	Museum of Antiquities, Leiden, The Netherlands	Greco-Roman Period	
Kiosk of Qertassi	Rebuilt just south of the Aswan High Dam	Greco-Roman Period	
Temple of Kalabsha	Rebuilt just south of the Aswan High Dam	Greco-Roman Period	Built by Augustus and dedicated to local god Mandulis
Temple of Beit el-Wali	Rebuilt just south of the Aswan High Dam	New Kingdom Period (Ramesses II)	Originally near Kalabsha
Temple of Dendur	Metropolitan Museum New York, USA	Roman period	Built by Augustus
Temple of Gerf Hussein	Outside pillared court rebuilt near new Kalabsha, rock cut temple submerged	New Kingdom Period (Ramesses II)	Rock cut temple with pillared court outside
Temple of Dakka	Rebuilt near the former site of Wadi el-Sebua on higher ground	Ptolemaic Period	
Temple of Maharaqqa	Rebuilt near the former site of Wadi el-Sebua on higher ground	Roman Period	
Temple of Wadi el-Sebua	Rebuilt near the former site of Wadi el-Sebua on higher ground	New Kingdom Period (Ramesses II)	
Temple of Amada	Rebuilt near the former site of Amada on higher ground	New Kingdom Period (Thutmose III and Amenhotep II)	
Temple of el-Derr	Rebuilt near the former site of Amada on higher ground	New Kingdom Period (Ramesses II)	On the East Bank of the Nile
Tomb of Pennut	Rebuilt near the former site of Amada on higher ground	New Kingdom Period (Ramesses IV)	Originally near Aniba
Temple of Elissiya	Museo Egizio in Turin, Italy	New Kingdom Period (Thutmose III)	Rock cut temple
Temples of Abu Simbel	Rebuilt in an artificial mountain about 60m above their original location	New Kingdom Period (Ramesses II)	
Temple of Aksha	National Museum of Sudan, Khartum	New Kingdom Period (Ramesses II)	
Fortress of Buhen	The Temple of Buhen was transported to the National Museum of Sudan, Khartum	New Kingdom Period (Hatshepsut)	Only the New Kingdom temple was moved to Khartum. The mud-brick fortress is submerged
Fortress of Semna East	The Temple of Semna East was transported to the National Museum of Sudan, Khartum	New Kingdom Period (Hatshepsut)	Only the New Kingdom temple was moved to Khartum. The mud-brick fortress is submerged
Fortress of Semna West	The Temple of Semna West was transported to the National Museum of Sudan, Khartum	New Kingdom Period (Hatshepsut)	Only the New Kingdom temple was moved to Khartum. The mud-brick fortress is submerged

Fig. 3.5.1_02 La tabella con la lista dei templi nubiani trasferiti durante la campagna internazionale UNESCO. (ROSA TAMBORRINO & WILLEKE WENDRICH, 2017)

Il Tempio di Dendur

(Metropolitan Museum of Art. New York, United States of America)

Il tempio di Dendur, di età augustea (27 AC – 14 DC) era un piccolo santuario a 80 km da Assuan, dedicato alla dea Isis di Philae e a due persone deificate. Davanti al tempio c'era un'ampia terrazza che sporgeva verso il fiume e un ingresso al recinto. Il tempio consiste di un vestibolo, una sala per le offerte e il santuario, in cui è dipinta una scena di offerta sul muro posteriore.⁴²

Negli Stati Uniti l'assegnazione del tempio fu disputata fra molte città e istituzioni. "But most of them proposed open-air solutions, based on the climatic conditions of the proposed site or the recreation of a riverside setting reminiscent of the Nile".⁴³

Altre istituzioni proposero soluzioni al chiuso, come la Southern Illinois University che offrì di ricostruire il tempio sotto una cupola geodetica e il Metropolitan Museum of Art di New York che propose di costruire una gigantesca "vetrina" con clima controllato per ospitarlo.

La soluzione al coperto e il controllo climatico avrebbero permesso di evitare il consolidamento e la protezione della delicata pietra arenaria con impregnanti che ne avrebbero alterato la composizione chimica, indispensabili in caso di esposizione all'aperto.

Alla fine, fu questo innegabile vantaggio a fare scegliere la proposta del Metropolitan Museum of Art di New York.

42 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 212, 213.

43 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 214.

Nella sala - vetrina che ospita il tempio è visibile il tentativo di ricostruire il rapporto fra il monumento e le acque del Nilo,⁴⁴ senza per questo esporlo all'aria aperta lungo un fiume.



Fig. 3.5.1_03 Il tempio di Dendur nel Metropolitan Museum of Art, New York, 2018.

44 ROSA TAMBORRINO & WILLEKE WENDRICH (2017) Cultural heritage in context: the temples of Nubia, digital technologies and the future of conservation, *Journal of the Institute of Conservation*, 40:2, 168-182, DOI: 10.1080/19455224.2017.1321562: 176.

Il Tempio di Debod

(Parque del Oeste. Madrid, Spain)

Il tempio di Debod sorgeva 20 km a Sud di Assuan, nel villaggio di Ta Hut.

Il primo nucleo del tempio fu costruito durante una ribellione contro i Tolomei (206-186 AC) e fu dedicato dal Re di Meroe ad Amun di Debod e alla dea Iside. Repressa la ribellione, Tolomeo VI Philopator ingrandì la struttura per formare un tempio con cappelle, vestiboli, una terrazza e un pilone. Una strada rialzata collegava il tempio a una terrazza sul Nilo. Fino al tempo di Augusto (27 a.C. - 14 d.C.), il tempio fu modificato e arricchito di decorazioni e nuovi piloni; al tempo di Tiberio (14 - 37 d.C.) risalgono gli ultimi interventi documentati. L'abbandono definitivo dovette essere prima della chiusura dei santuari di Philae nel 536 d.C.⁴⁵

Alla fine del XIX secolo, il saccheggio di conci da riutilizzare nelle costruzioni, la pratica tradizionale di estrarre dai siti archeologici il "sabakh" - terriccio ricco di nitrati usato come fertilizzante - e anche la ricerca di possibili "tesori" avevano seriamente indebolito la struttura, causando estesi crolli.

Con la vecchia diga di Assuan, dal 1898 il tempio era stato circondato dall'acqua che si infiltrava nel sottosuolo e indeboliva le fondazioni. Nel 1906, l'Antiquity Service documentò fotograficamente lo stato del tempio e lo

45 MARTÍN FLORES, A. 1994 "Templo de Debod. Estado de conservación y propuestas de actuación", *Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas* 9: 117-128. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptología*, n.13 2022: 218.

giudicò *“il più in pericolo e il più difficile da proteggere di tutti i templi in Nubia”*.⁴⁶

Come per gli altri templi nubiani donati, le autorità egiziane avevano richiesto alla Spagna, paese destinatario della donazione, che il tempio di Debod fosse conservato al coperto. Le autorità spagnole avevano lasciato cadere la richiesta, ma in qualche modo la partenza dei blocchi fu autorizzata.

La città prescelta fu la capitale Madrid, preferita ad altre due, ma le tre richieste pervenute proponevano tutte sistemazioni all'aperto e la valutazione non fu *“based on an installation project or on a scientific and independent assessment of the best conditions for the conservation of the temple”*.⁴⁷

In effetti, benché le altre due città, quanto meno, avessero proposto la collocazione in adiacenza ai loro fiumi, Madrid, che aveva proposto di sistemare il tempio semplicemente in un nuovo parco cittadino, prevalse per il suo status di capitale.

Furono ignorate le sollecitazioni dell'Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione delle Opere d'Arte, di procedere a uno studio approfondito per la migliore conservazione del monumento.

Il tempio fu riassemblato, dopo un trattamento consolidante della pietra (quello che negli USA era stato evitato) su un basamento in calcestruzzo armato

46 MASPERO, G. 1911 *“Rapport préliminaire sur l'état actuel des temples de la Nubie et sur les réparations qu'il convient d'y faire pour les protéger contre les effets de l'immersion”*, in: G. MASPERO: *Les temples immergés de la Nubie. Rapports relatifs à la consolidation des temples*, Le Caire: 2–44. Citato in *The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod*, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 218.

47 *The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod*, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 224, 225.

destinato a contenere le pompe per il giardino, con la terrazza circondata da due stagni. Tempio e giardino furono pronti per l'inaugurazione in sessanta giorni.⁴⁸

È quasi superfluo notare che nei decenni successivi questo tempio è stato l'unico dei quattro donati e ricollocati ad avere seri problemi di conservazione e a richiedere periodici interventi di ripristino.

Fig. 3.5.1_04 Vista aerea del tempio di Debod ricostruito con i giardini, 1971, Debod Temple Archive.



Fig. 3.5.1_05 Tempio di Debod, 1971.



48 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 226 – 228.

Il Tempio di Taffa

(Rijksmuseum Van Oudheden. Leida, Paesi Bassi)

A Taffa, antica Taphis, a 50 km da Assuan, c'erano due piccoli templi. Dei due solo il più piccolo, conosciuto come "Tempio Nord" arrivò integro fino al ventesimo secolo. Fu anche consolidato da Alexandre Barsanti nel 1907/8, ma questo non evitò il collasso dopo 50 anni e fu il primo ad essere smantellato quando iniziò la Campagna di Nubia, nel luglio 1960.

Il tempio maggiore era stato probabilmente dedicato a Iside di Philae.

Entrambe le strutture, senza iscrizioni, furono realizzate durante l'impero di Augusto. Il tempio Nord, ad aula singola con due pilastri circondati da semicolonne sul fronte e una nicchia nel muro di fondo, potrebbe essere stato un *mammisi*⁴⁹ collegato al santuario principale.

Nel 1966 il tempio fu richiesto formalmente come dono dai Paesi Bassi; in seguito ai pareri favorevoli, nel 1969 l'Egitto formalizzò il dono al paese richiedente, auspicando che il tempio fosse installato nel National Museum of Antiquities di Leida, già sede di una delle più importanti collezioni di reperti egizi in Europa, dove effettivamente arriverà nel 1971.

Il tempio è stato collocato nell'ingresso del museo, dove accoglie i visitatori.

49 "mammisi" is a modern creation by J. F. Champollion, derived from Coptic *ma* "place," *N*"of," and *mise/misi* "to bear," *Nma misi* = *maM_misi* meaning "place of giving birth" (Daumas 1958: 15))
Daumas, François 1958 *Les mammisis des temples égyptiens*. Paris: Société d'édition "Les Belles Lettres" in
https://archive.org/stream/Daumas1958/Daumas%2C%20Fran%C3%A7ois%20-%20Les%20mammisis%20des%20temples%20%C3%A9gyptiens%20281958%29%20LR_djvu.txt.



Fig. 3.5.1_06 Il tempio di Taffa nel museo a Leida.

3.6 Il caso studio: Lo speos di Ellesiya

Nel 1962, l'UNESCO chiese alla Soprintendenza e Museo per le Antichità Egizie di Torino di recuperare uno dei "piccoli templi" della Nubia. In cambio della collaborazione, il governo egiziano offrì in dono il monumento all'Italia. La Soprintendenza, con il sostegno finanziario del Comune di Torino, accettò l'incarico e scelse la cappella rupestre (speos) di Ellesiya. Il progetto fu approvato dal Comitato consultivo UNESCO per la salvaguardia dei siti e dei monumenti nubiani nella sua riunione del 4 e 5 dicembre 1963. Così i tecnici e gli operai egiziani lavorarono sotto la supervisione italiana.⁵⁰

Il tempio di Ellesiya fu letteralmente tagliato in blocchi (66 casse) e smontato tra il 1964 e il 1968, per poi essere sollevato, ricostruito e donato all'Italia nel 1966 come ringraziamento per il fondamentale contributo tecnico fornito dagli ingegneri italiani nel salvataggio dei monumenti nubiani. Dal 1970 è ospitato ed è possibile visitarlo all'interno del Museo Egizio di Torino.

Fig. 3.6_01 La cappella rupestre di Ellesiya all'interno del Museo Egizio di Torino dopo il restauro del 2024, con il projection mapping realizzato sulla facciata.



50 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Tafta, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 207.

Ellesiya è il più antico dei quattro templi donati, dedicato nel 1430 a.C. circa dal faraone Thutmose III (XVIII dinastia) alle divinità locali Horus di Miam e Satet, oltre che a sé stesso divinizzato, per riaffermare il controllo egizio sulla regione nubiana. La statua assisa nella nicchia del santuario corrisponde al dio Amun, ma appare modificata in un secondo tempo, così come le iscrizioni e la presenza della dea Satis nella stele di dedica del tempio hanno supportato l'ipotesi di una dedica iniziale di Thutmose III a questa dea e poi di una nuova dedica ad Amun di Tebe all'epoca di Ramesse II.⁵¹

Fig. 3.6_02 La cappella di Ellesiya nel suo contesto originale. Fotografia della campagna di salvataggio degli anni '60.



Infatti, il sito ha vissuto diverse fasi: dopo la creazione nel 1430 a.C. circa, la cappella viene sfregiata nei bassorilievi delle figure religiose durante l'Eresia Armaniana sotto il regno di Akhenaton (circa 1350 a.C.). Viene ordinata la cancellazione sistematica di tutti i riferimenti ad Amon e ad altre divinità tradizionali, in favore del solo dio solare Aton, vengono deturpati i rilievi e cancellato il nome del dio Amon per cancellarne la memoria.

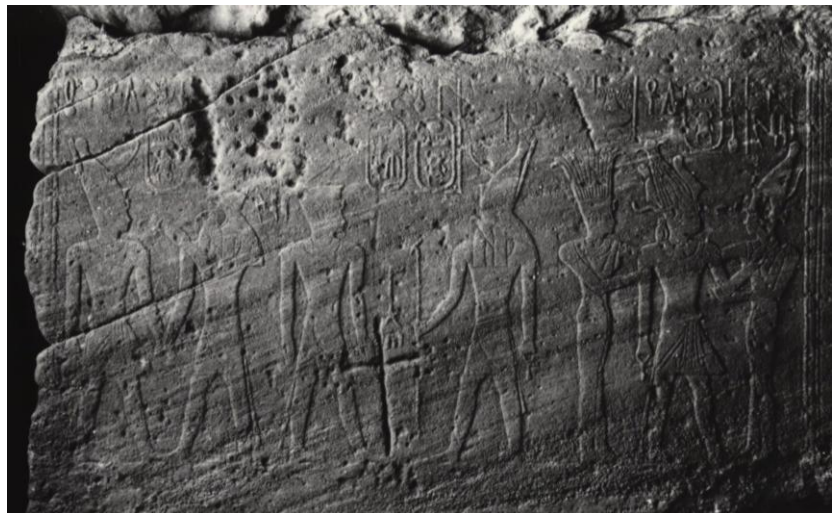
51 CURTO 1970: 33; 2010: 52.

Con la fine dell'epoca amarniana e l'ascesa della XIX dinastia (circa 1250 a.C.), l'Egitto torna al politeismo. Ramesse II avvia un massiccio programma di restauri in tutto il Paese per riparare i danni dell'eresia di Akhenaton e, al contempo, fare propaganda alla propria figura.

Ordina il restauro della cappella. I rilievi danneggiati vengono ripristinati e integrati, ma non si limita a riparare il tempio: vi aggiunge le proprie iscrizioni celebrative, inserendo cartigli con il suo nome e scene in cui lui stesso offre doni agli dèi, appropriandosi in parte della paternità monumentale del luogo.

Intorno al VI secolo d.C. la cappella ha vissuto anche un riutilizzo cristiano, diventando una chiesa rupestre. Le antiche divinità egizie subiscono una nuova distruzione visiva: vengono stuccate, scalpellate o coperte per neutralizzare i simboli pagani. Sulle pareti vengono incise croci copte e nuove iscrizioni religiose.

Fig. 3.6_03 Alcuni bassorilievi all'interno della cappella su cui si possono notare i colpi di scalpello ed una croce di epoca copta. Fotografia della campagna di salvataggio degli anni '60.



In seguito all'islamizzazione della regione e allo spostamento delle comunità locali, la chiesa ed in generale il sito viene abbandonato.

Fino ad arrivare alla campagna di salvataggio degli anni '60, quando la costruzione della Grande Diga di Assuan

crea il Lago Nasser, minacciando di sommergere per sempre la cappella di Ellesiya.

Interamente scavato alla base di un'alta falesia di arenaria sul lato orientale del Nilo, 225 km a Sud di Assuan e 45 km a Nord di Abu Simbel, con misure di 8 x 8 x 3 m di altezza, il tempio di Ellesiya è in effetti una cappella rupestre (speos). Fu il primo caso in cui venne applicata a una struttura destinata al culto la tecnica dello scavo nella roccia, in precedenza usata solo per sepolture.

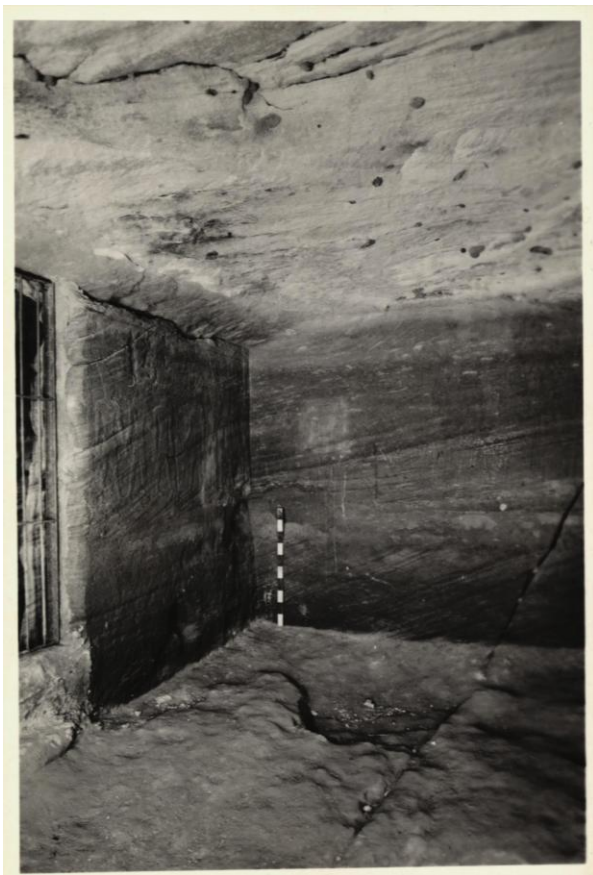


Fig. 3.6_04 L'interno della cappella. Fotografie della campagna di salvataggio degli anni '60.

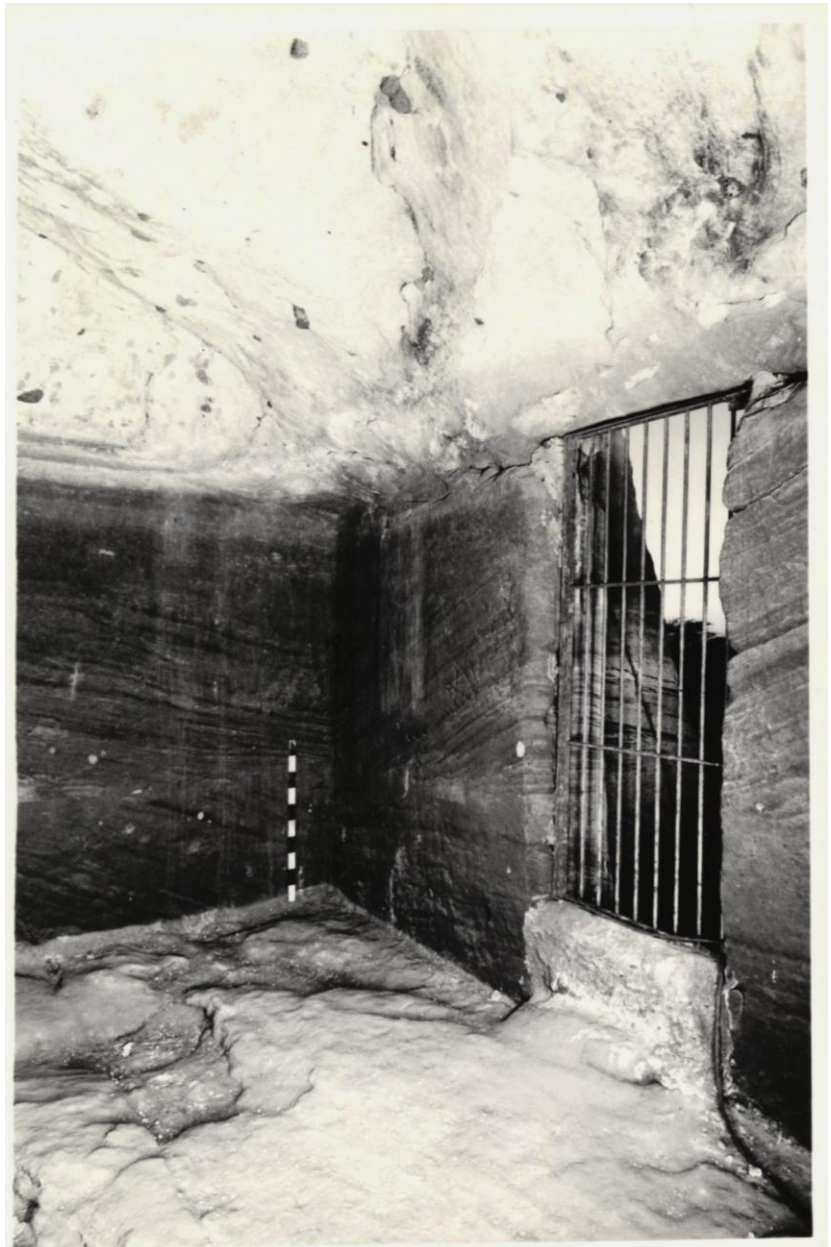
Una modalità costruttiva che fu poi ripetuta in altri templi, fino ai più imponenti di Abu Simbel.

La porta d'entrata si apriva alla base e pressappoco al centro di un tratto di altopiano arabico lungo circa 8 km che scende a precipizio sul Nilo e aveva ai lati grandi stele con iscrizioni di epoche successive, in particolare del regno di Ramesse II.

Al momento del salvataggio, l'ingresso era parzialmente occluso da materiali di crollo che avevano interessato anche i soffitti, sagomati come volte molto ribassate, caso rimasto unico nei templi egizi rupestri, normalmente con soffitti piani, come i templi costruiti all'aperto.

"La pianta del tempio era disegnata secondo lo schema generale della parte intima di tutti i templi egizi del tipo a penetrale, cioè cruciforme, con un'entrata, un vestibolo rettangolare e una cella. La realizzazione di tale pianta non era stata però molto precisa; per conseguenza

Fig. 3.6_05 L'interno della cappella. Fotografia della campagna di salvataggio degli anni '60.



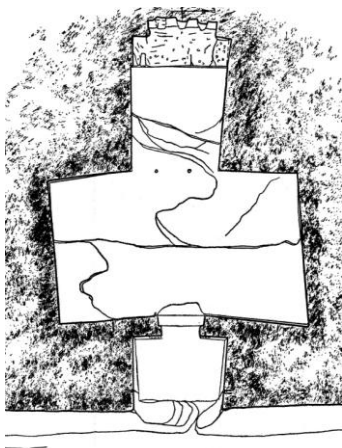
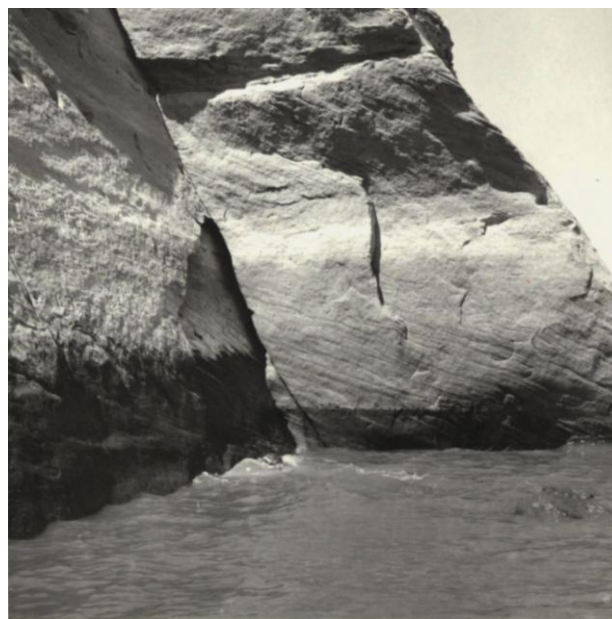
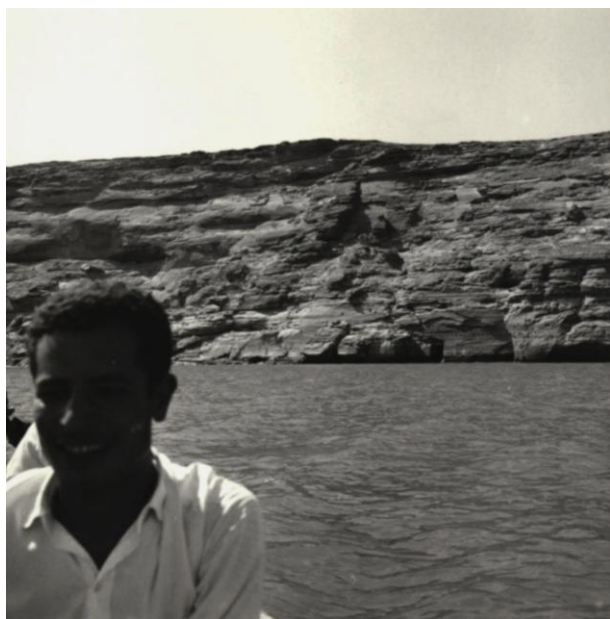


Fig. 3.6_06 Il disegno della planimetria della cappella di Ellesiya, con la caratteristica forma a T rovesciata.

Fig. 3.6_07 L'esterno con l'acqua alta. Fotografie della campagna di salvataggio degli anni '60.



*parallelismo e ortogonalità delle pareti risultano alquanto trascurati*⁵².

*"Altrettanto interessante quanto l'architettura era l'ornamentazione del tempio: le pareti del vestibolo e le laterali della cella recavano una fascia a bassorilievo continua, alta m. 1 e lunga in totale m. 18 circa: essa rappresentava una serie di scene dove Thutmosis III compare nell'atto di rendere omaggio a diverse divinità egizie importate nella Nubia"*⁵³.

Il tempio non era stato raggiunto dall'acqua dopo la costruzione della prima diga di Assuan, ma dal 1930, dopo i successivi innalzamenti della diga, il suo ingresso fu sommerso con danni alla stele e ai graffiti incisi sulla facciata. All'interno, l'acqua cancellò le tracce di colore dai rilievi, dalle iscrizioni e dalle tre statue nella nicchia retrostante.⁵⁴

52 VOLPIANO C. Il tempio di Ellessija, Edizioni Pininfarina, Torino, 1970: 4,5.

53 VOLPIANO C. Il tempio di Ellessija, Edizioni Pininfarina, Torino, 1970: 5.

54 The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, n.13 2022: 207.

Nel 1966, l'Egitto dona ufficialmente il tempio all'Italia come ringraziamento per il supporto economico e scientifico nella campagna di salvataggio dei monumenti nubiani. La cappella viene ricomposta fedelmente all'interno del Museo Egizio di Torino, la cappella viene inaugurata nel 1970. Il prezzo da pagare per un così delicato trasporto sono i blocchi, alcuni dei quali sono arrivati a destinazione danneggiati o direttamente in frantumi.

Fig. 3.6_08 La prima ricostruzione del tempio di Ellesiya al Museo Egizio di Torino, 1970.

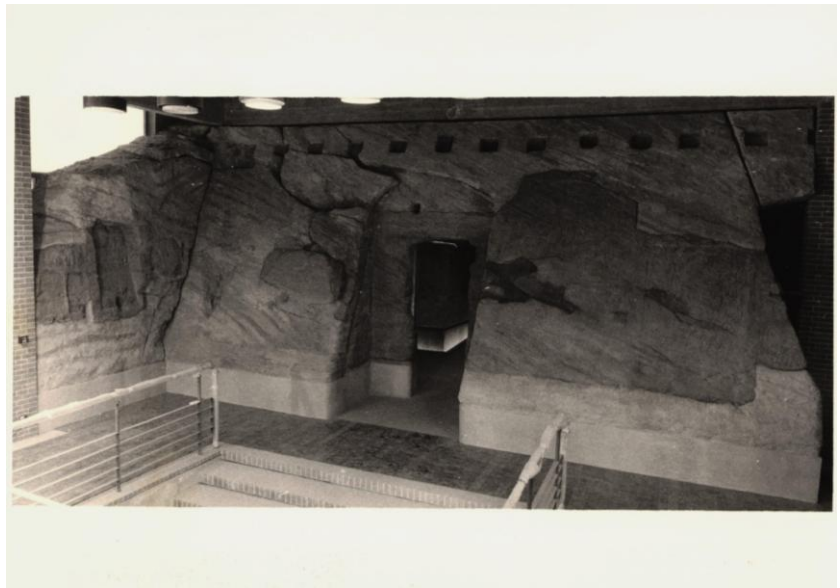


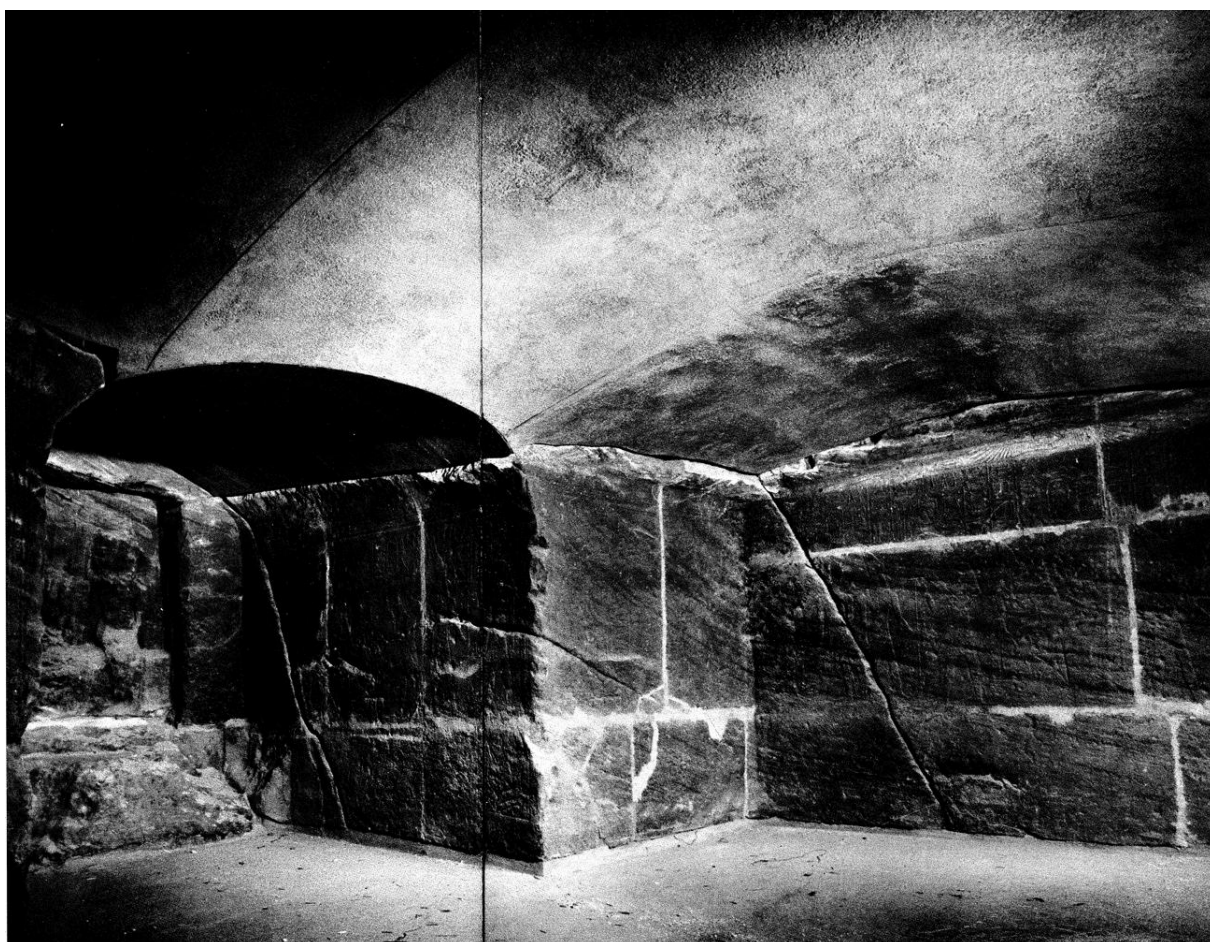
Fig. 3.6_09 Uno dei blocchi arrivato a destinazione in frantumi.



Fig. 3.6_10 I tecnici della Pininfarina durante la preparazione dei modelli delle volte. La copertura è stata poi realizzata in lamiera di lega leggera presso l'officina del Centro Studi Pininfarina. (VOLPIANO, 1970)



Fig. 3.6_11 La copertura montata all'interno della cappella. (VOLPIANO, 1970)



3.7 Metodi di lavoro, ricerca e ricostruzione 3D

La ricostruzione 3D dello scenario della cappella rupestre di Ellesiya è stata realizzata con il software open-source Blender e renderizzata con il motore di rendering raytracing Cycles, più informazioni a riguardo nel prossimo capitolo.

Le fonti fornite dal Museo Egizio sono state molteplici; in particolare, sono state preziose le fotografie ed i rilievi della Campagna Internazionale UNESCO degli anni '60 ed il lavoro svolto in più fasi ed in diversi progetti e tesi.

Per il terreno è stato fornito un file SketchUp (.skp) pubblicato sul sito Sketchfab dall'autore Quinten Van Severen⁵⁵ nel 2018 che, per il corso di Storia Digitale del Politecnico di Torino, ha modellato il terreno georeferenziato dell'area di Ellesiya in Nubia.

Per l'interno e parte della facciata della cappella invece è stata fornita una scansione fotogrammetrica ad alta risoluzione effettuata dal Centro Conservazione Restauro "La Venaria Reale".⁵⁶

A partire da queste basi è stata creata una scena su Blender importando il file .skp del terreno (utilizzando l'estensione SketchUp Importer di RedHalo Studio⁵⁷) e il file .obj della fotogrammetria (vedi Fig. 1_01 e Fig. 3.7_02 alla pagina seguente).

Per ottenere la corretta scala degli elementi ed il corretto posizionamento dello speos all'interno del terreno è stato

55 <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/b0d55276-8be8-4dlc-b1c1-5880c7702a2c/Ellesiya-Temple> Ultima consultazione 28 giugno 2026.

56 <https://sketchfab.com/3d-models/temple-of-ellesiya-fb688f4077754a7ca0b637ee429098b6> Ultima consultazione 28 giugno 2026

57 https://github.com/RedHaloStudio/Sketchup_Importer/releases Ultima consultazione 28 giugno 2026

fatto riferimento ai rilievi effettuati in situ negli anni '60 e pubblicati in due "cahier" nel 1968 dal CEDAE (Centro di Documentazione e Studi sulla Storia dell'Arte e della Civiltà dell'Antico Egitto), guidato da Desroches Noblecourt⁵⁸ (vedi Fig.3.7_03 alla pagina seguente).

Fig. 3.7_01 Il terreno importato in Blender.

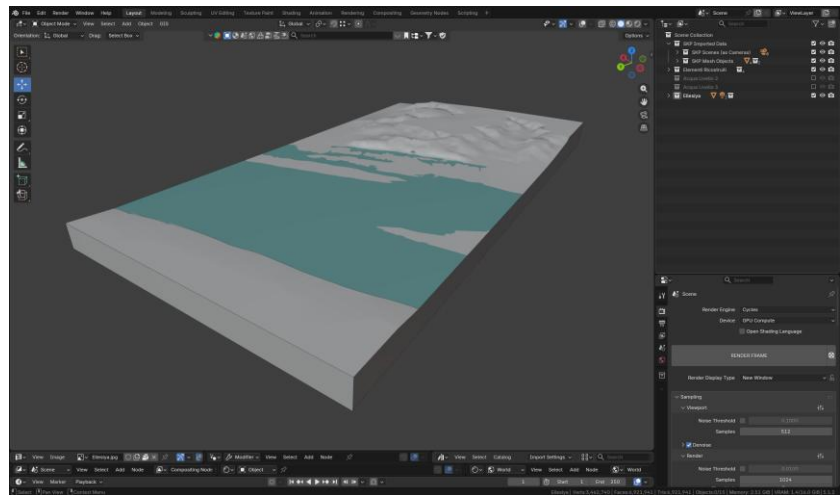
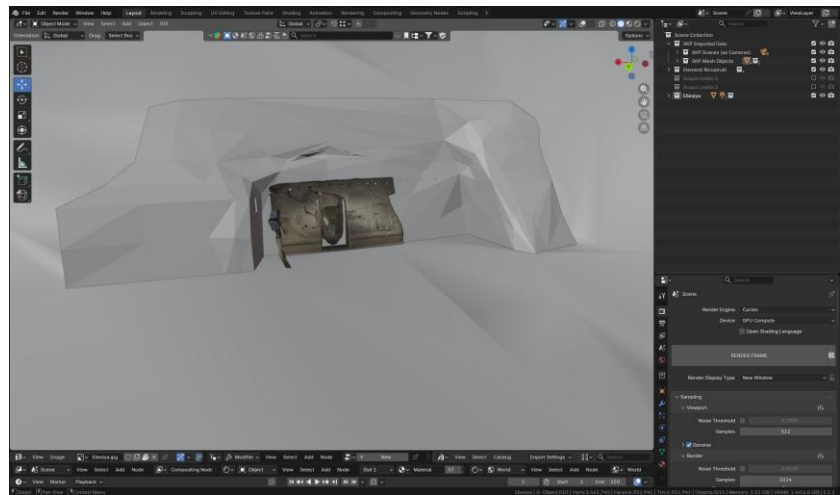


Fig. 3.7_02 La fotogrammetria della cappella di Ellesiya importata e posizionata nel modello.



Il modello a questo punto è pronto per iniziare il lavoro, al fine di ottenere un buon risultato è stato ricostituito il terreno, ripartendo dalle curve di livello, in quanto un remesh avrebbe generato una mesh imprecisa.

58 DESROCHES-NOBLECOURT, C., DONADONI, S., JAMAL AL-DIN MUKHTAR, M., EL-ACHIERY, H., & DEWACHTER, M., "Le Spéos d'El-Lessiya", Centre de documentation et d'études sur l'ancienne Égypte, Le Caire, 1968.

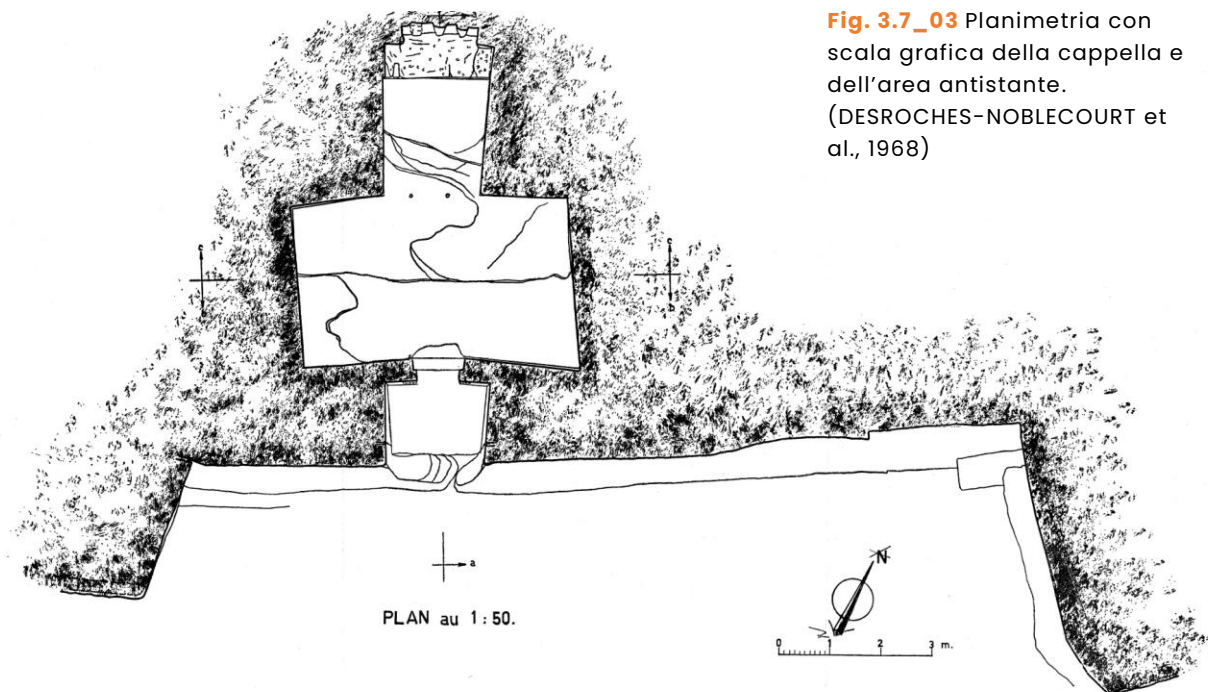


Fig. 3.7_03 Planimetria con scala grafica della cappella e dell'area antistante.
(DESROCHES-NOBLECOURT et al., 1968)

Per ottenere le curve di livello a partire dal modello a disposizione è stato utilizzato un gruppo di Geometry Nodes in Blender, "Mesh Contours" del pacchetto "Higgsas Geometry Nodes Toolset".⁵⁹ (vedi Fig. 3.7_04)

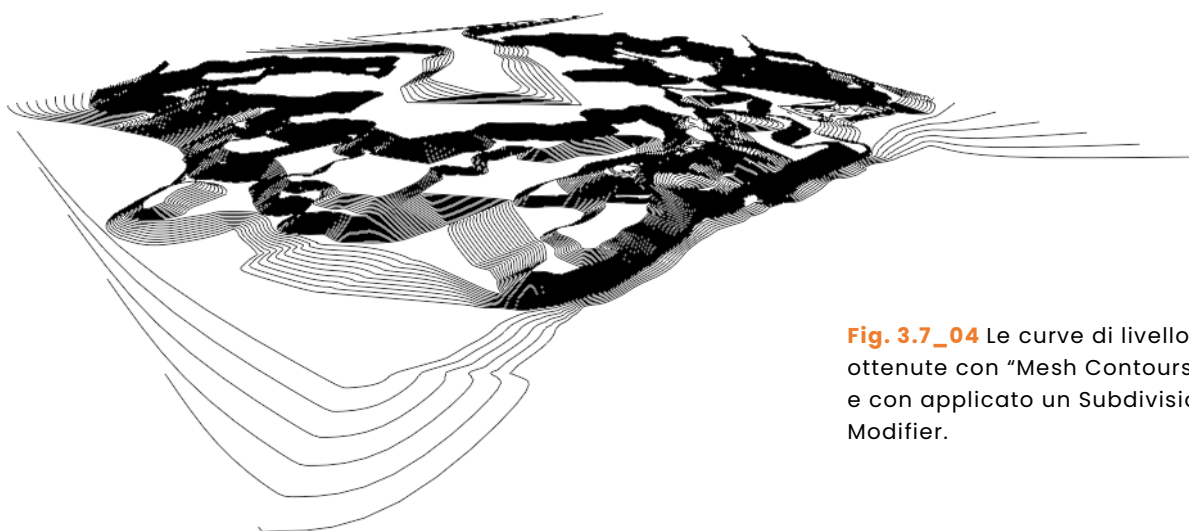


Fig. 3.7_04 Le curve di livello ottenute con "Mesh Contours" e con applicato un Subdivision Modifier.

Una volta ottenute le curve di livello sono state trattate con un Subdivision Modifier, in quanto ancora abbastanza spigolose per via della bassa risoluzione

⁵⁹ <https://superhivemarket.com/products/geometry-nodes-groups> Ultima consultazione 29 giugno 2026

della mesh di partenza, e tramutate da curve in mesh, così da poter utilizzare la funzione di triangolazione Mesh Delaunay di BlenderGIS. Questo ha permesso di ottenere un terreno il più preciso possibile in base al materiale di partenza ed a risoluzione maggiore, adeguata all'utilizzo di displacement e ad un rendering a più alta qualità.

Fig. 3.7_05 Render dal modello in Blender dell'area di Ellesiya durante il normale corso del Nilo.

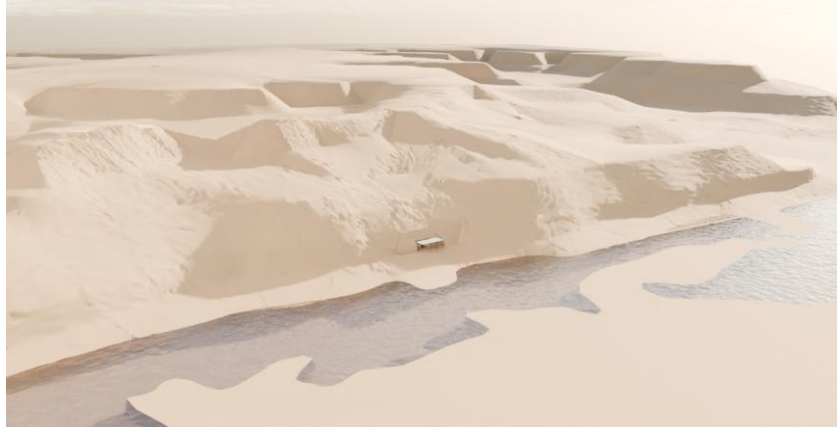


Fig. 3.7_06 Render dal modello in Blender dell'area di Ellesiya durante l'esondazione del Nilo.

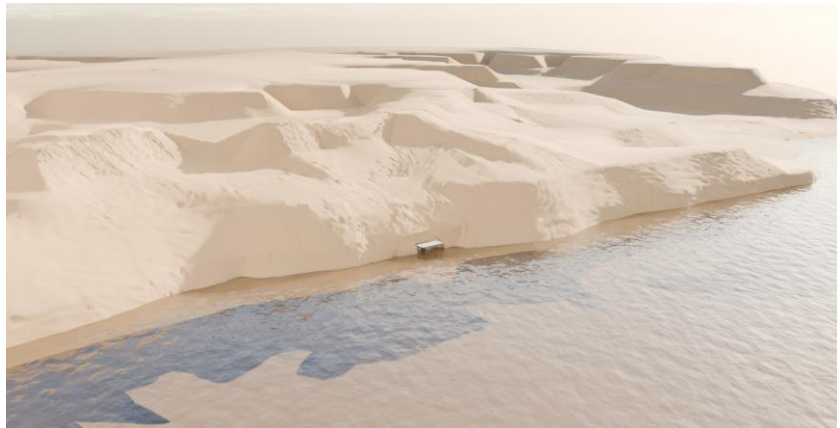


Fig. 3.7_07 Render dal modello in Blender dell'area di Ellesiya dopo la costruzione della diga di Assuan e la formazione del lago Nasser.



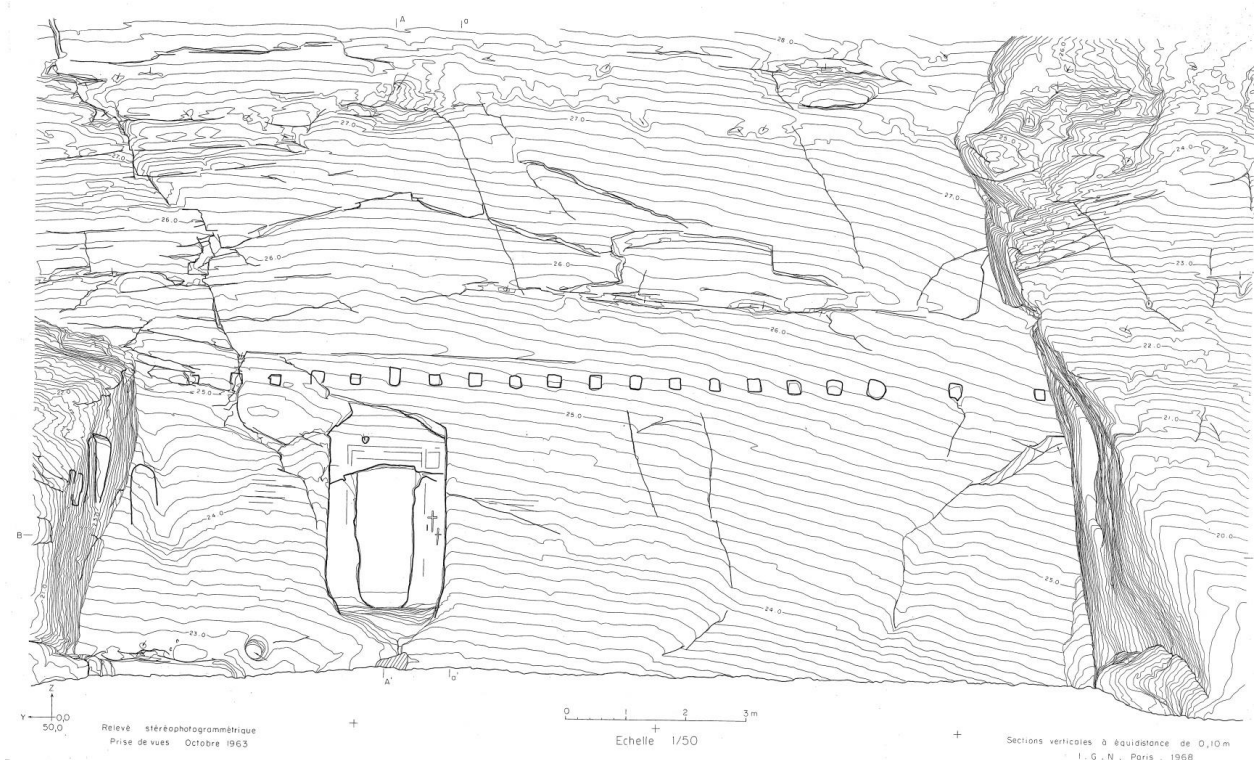
Una volta rifinito il terreno sono stati applicati i materiali in Blender ed è stata ricreata una illuminazione naturale compatibile con la posizione geografica.

Anche sulla facciata è stato svolto un lavoro di rimodellazione, al fine di integrare al meglio la scansione fotogrammetrica, ed è stata ricreata un'ipotesi della struttura lignea che doveva trovarsi nell'area antistante la cappella, come suggerito dai fori presenti nella parte superiore della facciata. (vedi Fig. 3.7_08).

Fig. 3.7_08 Render dal modello in Blender della facciata con un'ipotesi di struttura lignea.



Fig. 3.7_09 Rilievo delle curve di livello della facciata. (DESROCHES-NOBLECOURT et al., 1968)



A partire dal rilievo di curve di livello svolto sulla facciata negli anni '60 (DESROCHES-NOBLECOURT et al., 1968), è stata creata una versione vettoriale del disegno, ma a causa dell'alta complessità del lavoro da svolgere alla fine si è optato per una modellazione manuale a partire dalle foto e dal modello ricevuto.

Il focus si è poi spostato all'interno della cappella e dunque alla scansione fotogrammetrica, in particolare è stato creato lo shader a partire dalla texture fornita e sono stati rimossi alcuni pezzi di mesh non collegati al resto, probabilmente rimasti per via di po' rumore nella nuvola di punti da cui è stata generata.

Dato l'interesse del curatore del Museo Egizio nel raccontare nel modo migliore possibile le fasi che hanno caratterizzato la cappella di Ellesiya, con un occhio di riguardo ai bassorilievi originali e ai graffiti successivi, sono stati posizionati all'interno dello spazio i vettoriali dei disegni (vedi Fig. 3.7_10).

Fig. 3.7_10 Render dal modello in Blender dell'interno della cappella con lo shader applicato ed i vettoriali dei bassorilievi



In Blender per visualizzare al meglio i disegni vettoriali è stato creato un gruppo di Geometry Nodes ad-hoc, che permette di ottenere un'animazione di completamento del disegno ed è stata aggiunta anche la possibilità di avere una didascalia dedicata, con possibilità di scegliere la lingua (Vedi Fig. 3.7_11, Fig. 3.7_12 e Fig. 3.7_13, Fig. 3.7_14 alla pagina seguente).



Fig. 3.7_11 Le fasi dell'animazione di uno dei vettoriali, con completamento graduale e didascalia con apparizione lettera per lettera con effetto "macchina da scrivere".

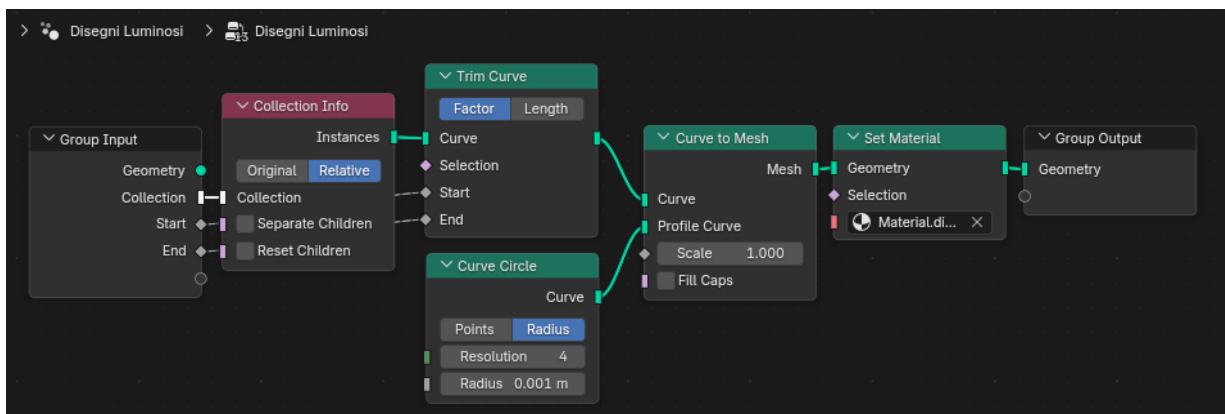


Fig. 3.7_12 I Geometry Nodes in Blender che permettono l'animazione con completamento graduale dei vettoriali. Infine, viene applicato un materiale emissivo.

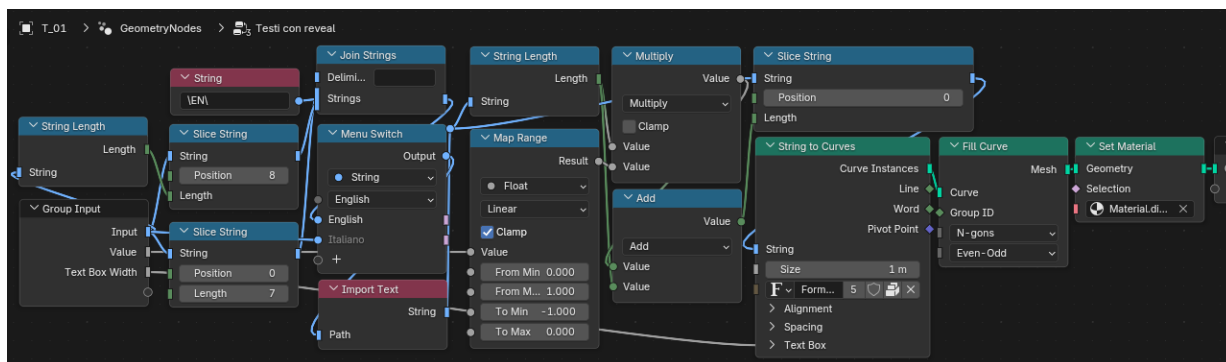


Fig. 3.7_13 I Geometry Nodes in Blender che permettono l'animazione con apparizione lettera per lettera con effetto "macchina da scrivere" dei testi delle didascalie e la selezione della lingua.

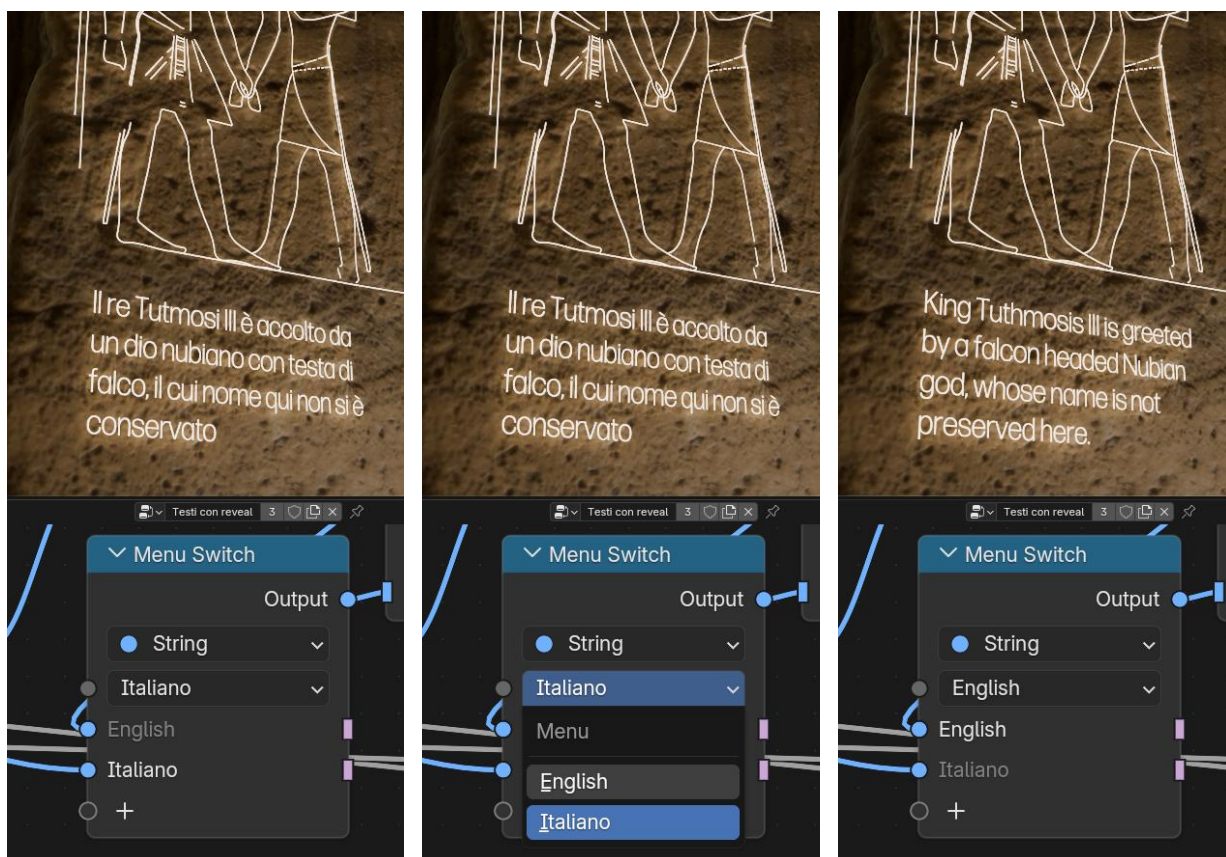


Fig. 3.7_14 Il selettore all'interno dei Geometry Nodes in Blender che permette lo switch della lingua andando a cambiare la directory della fonte dei testi.

Grazie ad un driver l'animazione è comandata da un unico slider animabile. Così facendo si ottiene una scena pronta per essere animata con una gestione procedurale della geometria, dei testi, che possono essere integrati in qualsiasi lingua avendone il database, e delle animazioni.

I bassorilievi originali sono stati forniti in vettoriale e con didascalie dal Museo Egizio, gli altri graffiti invece, cronologicamente successivi, sono stati recuperati dai rilievi della campagna di salvataggio e vettorializzati.

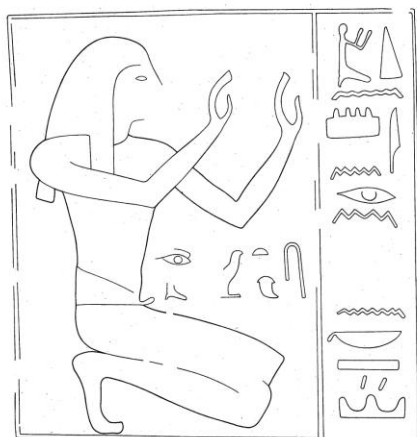


Fig. 3.7_15 Panorama equirettangolare (o sferico) renderizzato dal modello di Blender con tutti i disegni vettoriali posizionati e allineati, con i Geometry Nodes visti in precedenza attivati.



Sethaou adora Horus de Miam, au Sud

E 14

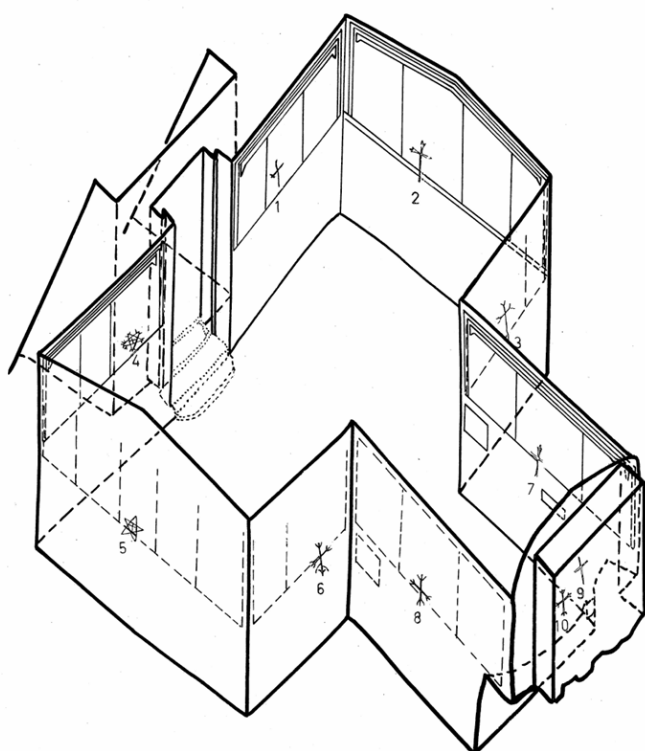


Sethaou adora Amon, au Nord

E 13

Durante il regno di Akhenaton (il "faraone eretico"), le immagini delle divinità tradizionali vennero scalpellate e vandalizzate. Durante la XIX dinastia, Ramesse II avviò un vasto programma di propaganda ed espansione monumentale in Nubia (di cui Abu Simbel è l'esempio più celebre). Nel quadro di queste operazioni, il faraone ordinò il restauro e la parziale rifondazione ideologica della cappella di Ellesiya e tra le altre cose fece restaurare le decorazioni parietali che erano state danneggiate durante il periodo di Amarna.

Fig. 3.7_16 "Sethaou adora Horus, a Sud" e "Sethaou adora Amon, a Nord". I due disegni di epoca Ramesside che sono stati aggiunti ai bassorilievi originali all'interno della cappella.



Lo stesso lavoro di vettorializzazione è stato svolto anche con le croci e le stelle di Epoca Cristiana.

Secoli dopo la fine della civiltà faraonica, il tempio perse la sua funzione originaria e fu trasformato in una chiesa copta. I cristiani coperti scolpirono croci e simboli cristiani sopra i rilievi faraonici, lasciando una traccia indelebile dell'evoluzione culturale del sito.

Dunque, anche questo ulteriore livello della storia della cappella è stato rilevato (vedi Fig. 3.7_17) e ricostruito.

Fig. 3.7_17 Posizione delle aggiunte Copte. (DESROCHES-NOBLECOURT et al., 1968)

A prima vista, l'interno della cappella appare oggi dominato dal colore naturale della pietra arenaria. Tuttavia, l'occhio umano è ingannato: i secoli trascorsi in Nubia, l'esposizione agli agenti atmosferici e le successive trasformazioni hanno consumato lo strato pittorico superficiale.

Grazie all'utilizzo del microscopio ottico portatile e di tecniche di indagine non invasive (come la fluorescenza indotta da radiazione ultravioletta o visibile), i restauratori hanno individuato tantissime micro-tracce di colore intrappolate nelle porosità della roccia, invisibili a occhio nudo.

Recenti studi del Museo Egizio di Torino (2024) hanno portato alla ricostruzione delle parti mancanti dei disegni presenti su 4 delle pareti dello speos di Ellesiya. Conducendo un ampio lavoro i ricercatori del Museo

Egizio hanno cercato di ricostruire e ricolorare al meglio i rilievi presenti all'interno della Cappella di Ellesiya. Sono partiti dai disegni svolti negli anni '60 che poi all'interno del museo sono stati digitalizzati.

Tramite lo studio delle forme dei geroglifici e figure, attraverso libri, fonti diverse e i disegni originali si è riusciti, con l'utilizzo dell'illustrazione, a completare e ricostruire le pareti. Inoltre, hanno studiato e disegnato i dettagli dei vari personaggi andando a comprendere anche il significato di ogni divinità e del suo aspetto (vedi Fig. 3.7_18).

Oltre a questo, è stata anche proposta una possibile ricostruzione delle policromie. La cappella di Ellesiya risale alla diciottesima dinastia e quindi tramite lo studio libri, documenti, di altri templi risalenti in quel periodo e in luoghi circostanti alla cappella, hanno stimato una palette colori adeguata che potesse rappresentare al meglio l'aspetto originale di queste pareti (vedi Fig. 3.7_19, Fig. 3.7_20 e Fig. 3.7_21 alle pagine seguenti).



Fig. 3.7_18 Il lavoro di ricostruzione dei disegni svolto dal Museo Egizio di Torino. In rosso sono evidenziate le parti ricostruite.

Fig. 3.7_19

La ricostruzione delle policromie effettuata dal Museo Egizio di Torino.

(a destra) Bassorilievi D_1-3.

(al centro) Bassorilievi D_4-7.



Fig. 3.7_20

La ricostruzione delle policromie effettuata dal Museo Egizio di Torino.

Bassorilievi D_8-9.



Fig. 3.7_21 La ricostruzione delle policromie effettuata dal Museo Egizio di Torino.
Bassorilievi D_13-17.

Con questo materiale a disposizione è stato possibile creare uno shader apposito in Blender per andare a visualizzare, in modo inedito, i disegni sulle pareti della cappella in maniera realistica (vedi Fig. 3.7_22 e Fig. 3.7_23).

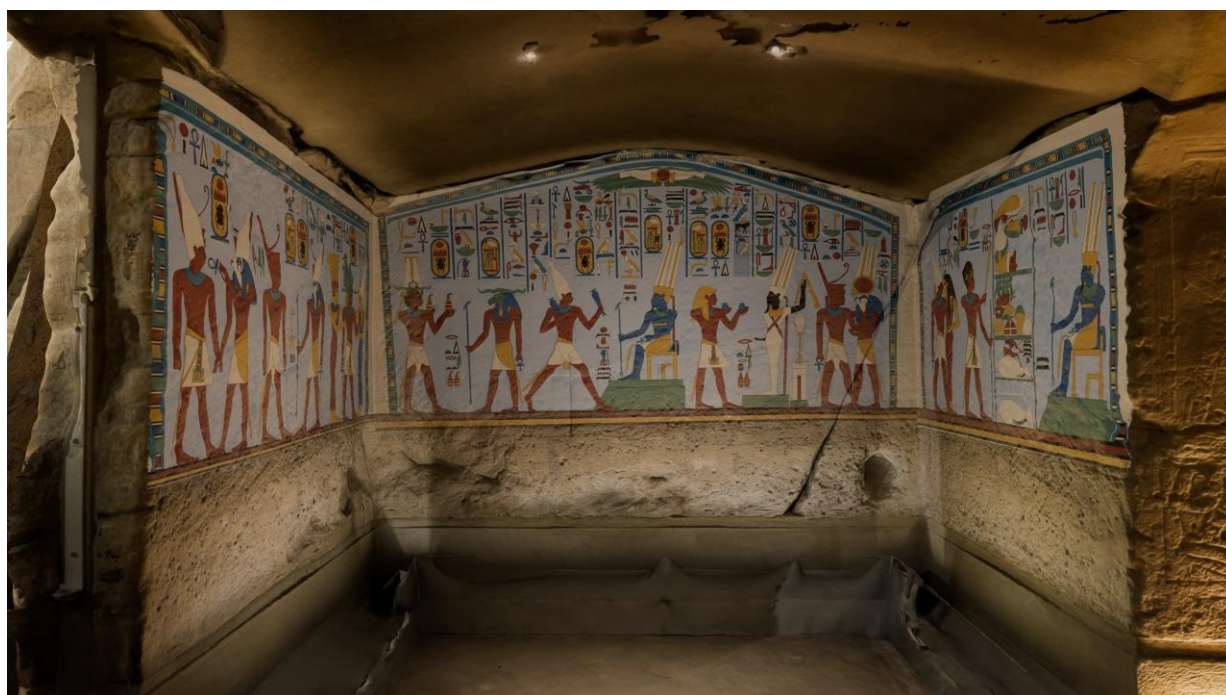


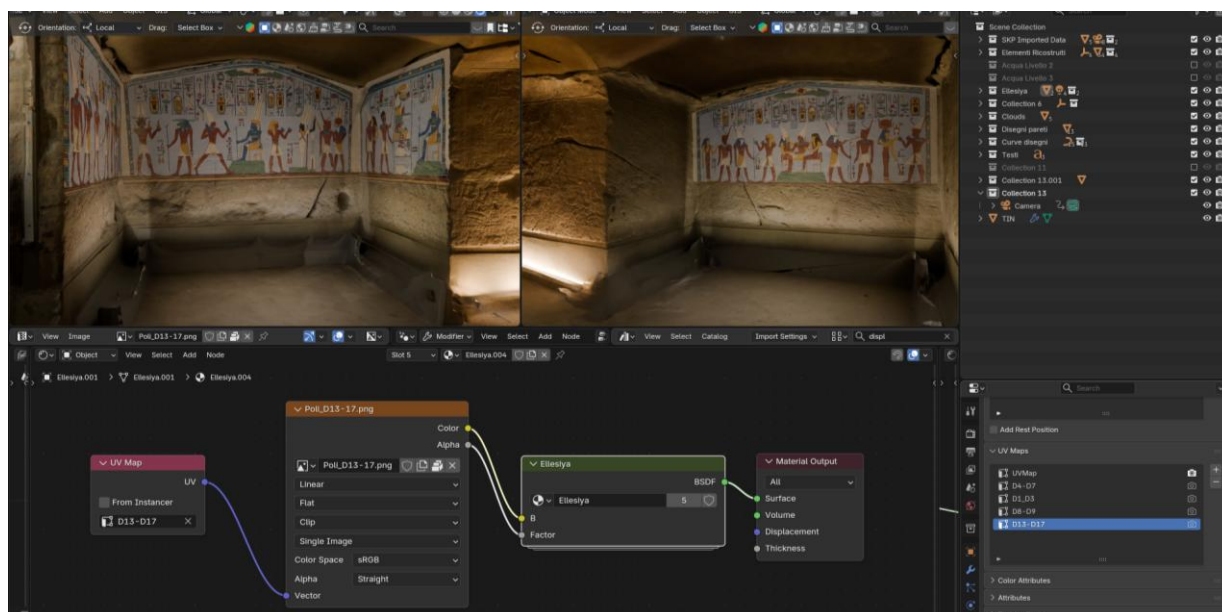
Fig. 3.7_22 Render dal modello in Blender delle pareti con applicate le policromie.
Bassorilievi D_1-3, D_4-7, D_8-9.



Fig. 3.7_23 Render dal modello in Blender delle pareti con applicate le policromie.
Bassorilievi D_13-17.

Fig. 3.7_24 La schermata di Blender in cui si può vedere lo Shader Editor e le quattro nuove mappe UV applicate alla mesh (in basso a destra).

Per andare ad ottenere questo effetto sulle pareti senza andare ad intaccare la complessa mappatura UV derivante dalla fotogrammetria è stato necessario creare varie mappe UV, una per ogni immagine, lasciando invece la mappatura originale per la texture di base (vedi Fig. 3.7_24).



3.8 La creazione dei Gaussian Splats (3DGS)

Ottenuto il modello finale in Blender, si è optato per l'utilizzo della tecnologia del Gaussian Splatting al fine di ottenere un risultato di visualizzazione ottimo con prestazioni di fruizione real-time.

In particolare, questa tecnologia, normalmente usata per la cattura dal vero (si possono trovare diversi esempi sul sito SuperSplat ⁶⁰), rende in questo caso possibile renderizzare in Blender con Cycles ottenendo un'illuminazione il più realistica possibile e non dovendosi preoccupare di classiche limitazioni date dai Game Engine come Unity. Infatti, il dettaglio che si può rappresentare senza perdere prestazioni è quasi illimitato, quello che con una normale mesh richiederebbe l'aggiunta di milioni di vertici (come, ad esempio, una folta vegetazione), viene visualizzato nel Gaussian Splat in modo quasi gratuito.

Si evitano così i bake delle luci e le ottimizzazioni delle geometrie: in questo caso la scena risultante, creata con finalità di render offline, ha oltre 16 milioni di poligoni e utilizza shader procedurali e mappature UV multiple che avrebbero richiesto un importante lavoro di baking e ottimizzazione per essere esportate.

Per ottenere quindi il Gaussian Splat a partire da Blender si è optato per un metodo che segue le regole della cattura dal vivo, ovvero andando a far ricostruire ai software dedicati le caratteristiche della scena a partire da un video 2D. Per questo scopo è stata creata in Blender una Camera con impostazioni ottimali (lunghezza focale, no motion blur, etc...) ed è stata animata in un percorso che simula quasi una camminata con un Laser Scanner SLAM.

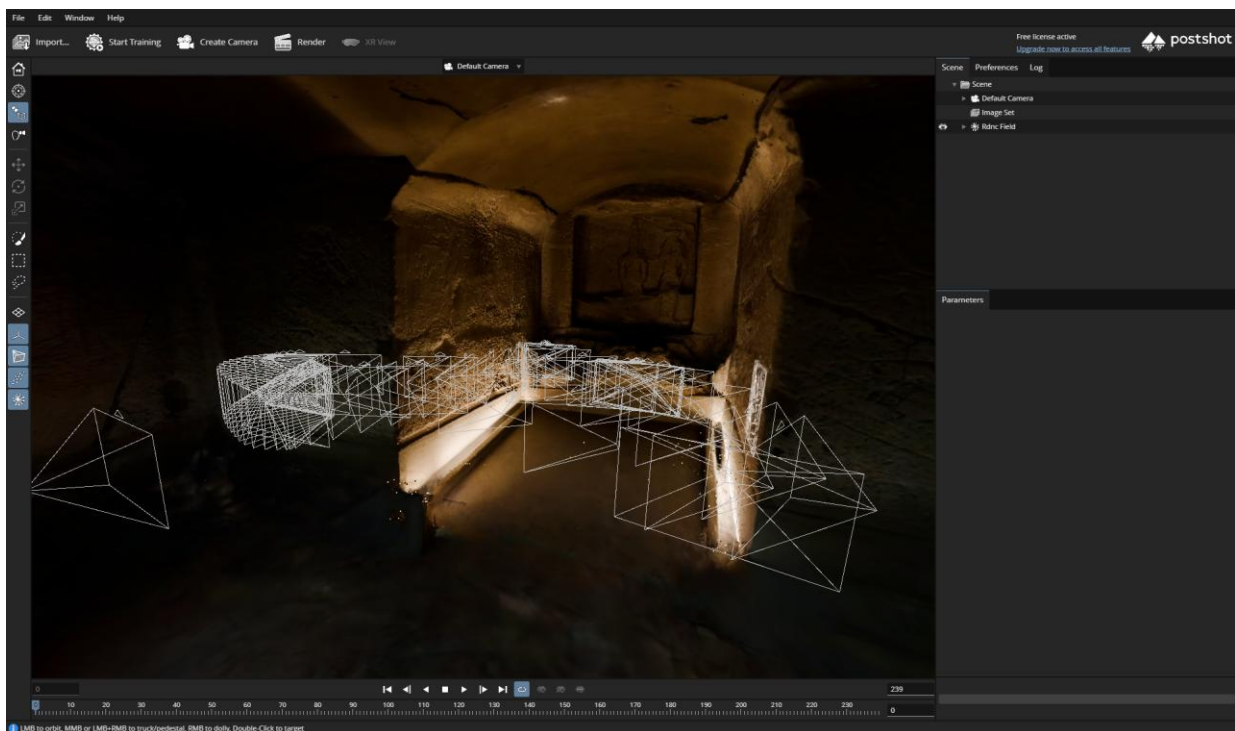
60 <https://supersplat/> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

Più ci si muove meglio è, non bisogna mai girarsi senza spostare la camera e così via.⁶¹

Una volta ottenuta l'animazione della camera all'interno del modello è sufficiente renderizzare l'animazione in Cycles, in questo caso è stata esportata una sequenza di 150 file .png in FullHD, che ha richiesto un tempo di rendering di circa 13 minuti grazie a delle impostazioni di rendering ottimizzate per il tipo di scena.

In un primo momento l'elaborazione del Gaussian Splatting è stata effettuata utilizzando il software proprietario Jawset PostShot ⁶², che offre un'ottima velocità di computazione e rappresenta una soluzione "all-in-one", andando ad effettuare tramite tecnologie di computer vision sia la ricostruzione della nuvola di punti della scena sia il training della Radiance Field.

Fig. 3.8_01 La schermata di Jawset PostShot in cui si può vedere una prima prova di training del 3DGS e la ricostruzione del percorso effettuato dalla camera.



61

<https://www.jawset.com/docs/d/Postshot+User+Guide/Interface/Scene+Tree/Camera> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

62 <https://www.jawset.com/> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

Il training in Jawset Postshot ha richiesto in questo caso circa 25 minuti, molto più veloce delle soluzioni che vedremo successivamente; tuttavia, per la tesi si è optato per un approccio totalmente a sorgente aperta.

In questo caso le opzioni scelte sono state COLMAP⁶³ per la parte di ricostruzione (Structure-from-Motion (SfM)) e BRUSH⁶⁴ per il training del Gaussian Splat (vedi Fig. 3.8_02 e Fig. 3.8_03 alla pagina seguente).

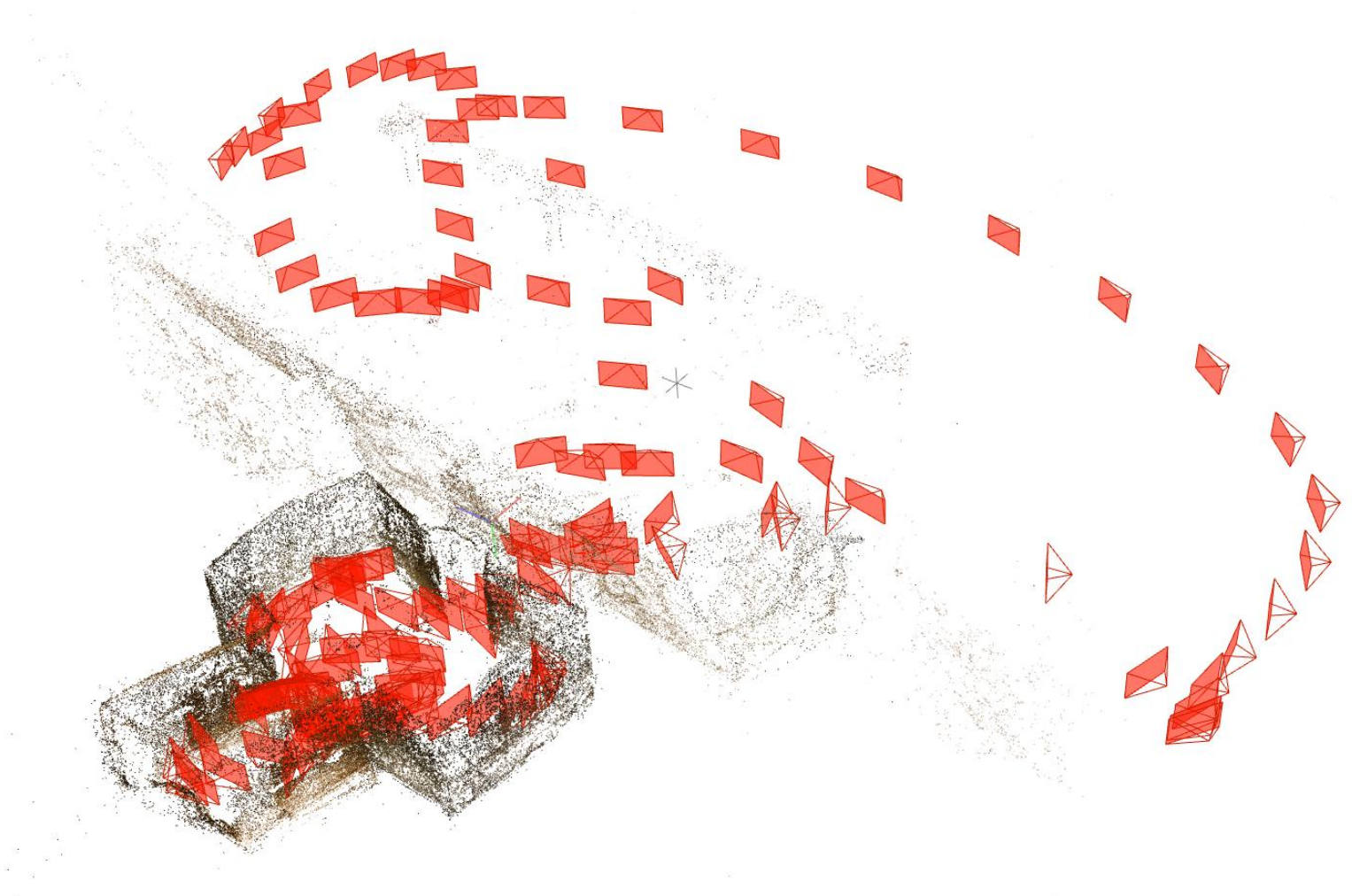


Fig. 3.8_02 La ricostruzione delle caratteristiche (feature extraction) della scena effettuata in COLMAP, con la ricostruzione del percorso effettuato dalla camera.

63 <https://github.com/colmap/colmap> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

64 <https://github.com/ArthurBrussee/brush> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

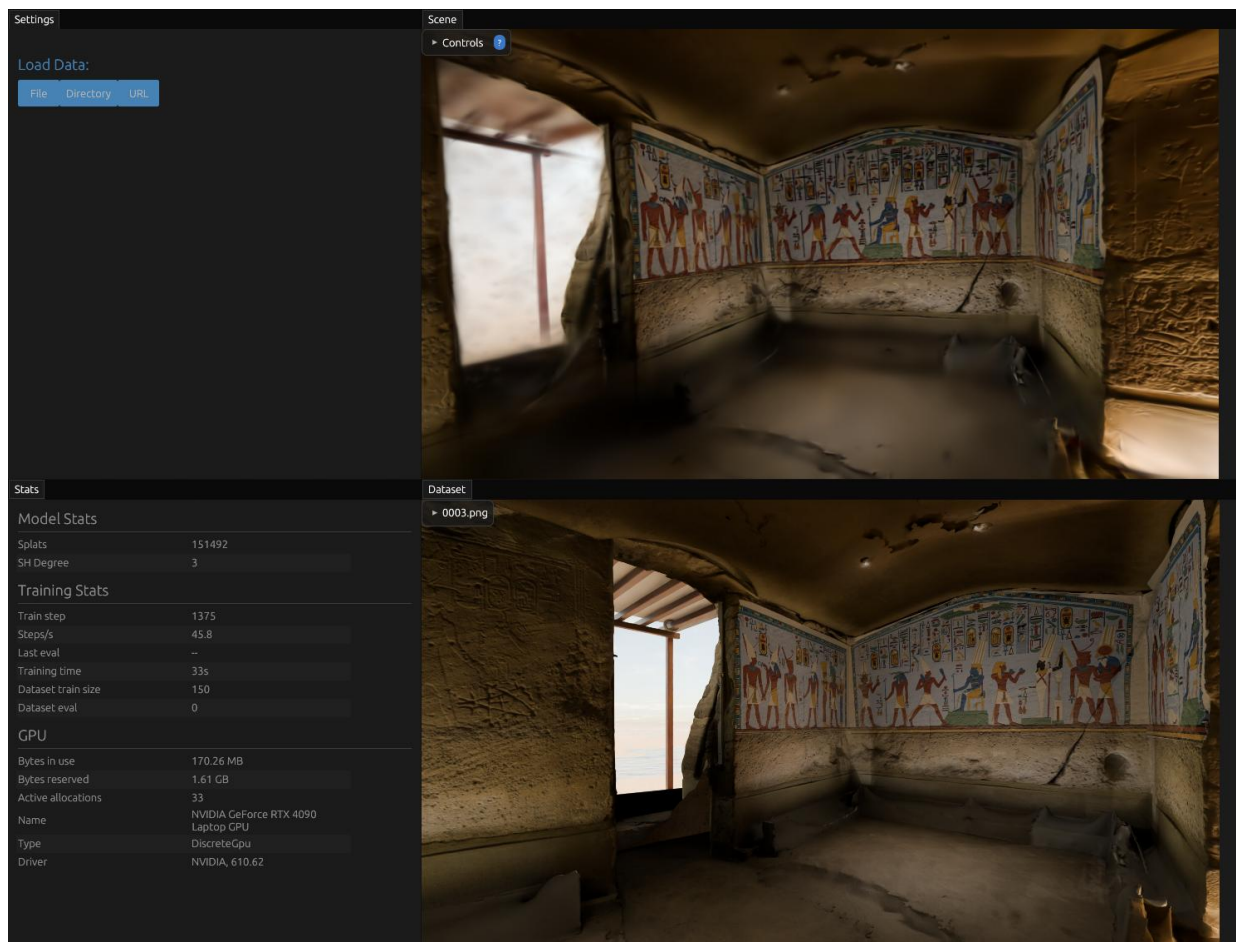


Fig. 3.8_03 La schermata del software BRUSH in cui si può vedere quello che succede durante il training, in basso si può vedere il frame dell'animazione che sta usando come Dataset ed in alto si vede live la creazione del Gaussian Splat vero e proprio.

Il software BRUSH utilizza infatti il database esportato da COLMAP, che può essere aperto selezionando nell'interfaccia "Load Data:/ Directory" e selezionando la cartella desiderata (vedi Fig. 3.8_03).

L'operazione di creazione dei 3DGS con questo metodo è un po' più lenta, in particolare la ricostruzione in COLMAP ha richiesto almeno 2 ore (andando però a creare sia uno "sparse model" sia un "dense model" della scena), mentre l'elaborazione in BRUSH rimane piuttosto veloce.

Proprio per questo, quando si è deciso di creare anche la versione con policromia della cappella, è stato sfruttato lo stesso database di COLMAP anche per il secondo Gaussian Splat, andando a renderizzare in Blender l'animazione della camera identica alla precedente e sostituendo solo i frame delle immagini all'interno del

database. Non essendoci modifiche nella geometria, ma solo nelle texture, questo trucco (possibile solo in ambiente sintetico come in questo caso) ha permesso di risparmiare molta potenza di calcolo e tempo.

Alla fine dei training, in questo caso sono stati effettuati 80000 training steps, BRUSH esporta nella cartella selezionata i file .ply, pronti per essere visualizzati ed utilizzati.

Grazie al web tool SuperSplat Editor⁶⁵ è poi possibile effettuare una pulizia degli Splat qualora ce ne fosse bisogno (vedi Fig. 3.8_04 e Fig. 3.8_05).

Fig. 3.8_04 La schermata del 3DGS esportato ed aperto nel web tool SuperSplat Editor.

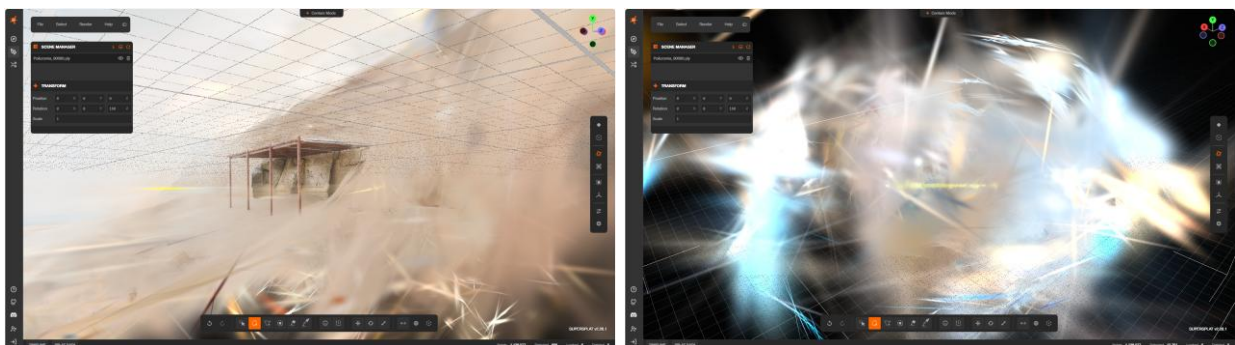


Fig. 3.8_05 La schermata del 3DGS esportato ed aperto nel web tool SuperSplat Editor. Si può notare quello che succede nel Gaussian Splat allontanandosi dalle viste di training fornite.

⁶⁵ <https://supersplat.at/editor> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

04

PROGETTO APPLICAZIONE

04 PROGETTO APPLICAZIONE

Una volta ricostruito e validato il modello 3D ottenuto in Blender ed aver esportato i Gaussian Splat, il lavoro si è trasferito sul software Unity, molto utilizzato nella creazione di applicazioni e videogiochi.

La versione utilizzata è Unity 6.3 LTS (6000.3.19f1), ovvero la più recente release LTS (*Long Term Support*), cioè con supporto a lungo termine, questo per ottenere la maggiore stabilità possibile.

Sono stati importati i file .ply dei Gaussian Splats grazie ad un componente aggiuntivo e sono stati allineati con una mesh semplificata della cappella rupestre (invisibile), che funge da collider per il player.

È stato poi elaborato uno storyboard per definire il comportamento dell'applicazione e l'interazione dell'utente con il modello digitale.

Sono state sondate diverse possibilità per l'applicazione e la tecnologia da utilizzare, la scelta è ricaduta sulla Virtual Reality, con l'utilizzo del visore Meta Quest 3 o simili, con la possibilità di fruire l'esperienza anche via Desktop in caso di mancanza del visore.

L'esperienza, infatti, è stata progettata per non essere necessariamente vissuta all'interno dell'edificio museale e non necessita di ambienti aperti e navigabili.

L'utente è in grado di muoversi all'interno della ricostruzione digitale, con tastiera, tramite i tasti WASD, o con il visore, sempre guidato da un menu dedicato che lo accompagna nella visita.

Non c'è necessariamente un ordine prestabilito, l'utente può selezionare dal menu i contenuti che lo interessano e verrà teletrasportato nel luogo scelto.

4.1 Storyboard applicazione

01

L'esperienza ha inizio con un menu di avvio, che permette all'utente di selezionare la modalità dell'applicazione tra VR (tipo Oculus) o Desktop (con mouse e tastiera) attraverso un dropdown menu.

Premendo il tasto "START" una transizione *fade in/fade out* teletrasporta il visitatore all'entrata della cappella rupestre di Ellesiya.



02

Lo *spawn* avviene subito fuori dalla cappella rupestre ed una voce narrante invita il visitatore ad esplorare lo spazio antistante lo *speos* e ad entrare all'interno. Alcuni suoni ambientali accompagnano la visita.



03

MODALITÀ TOUR

Una volta all'interno dello *speos* l'utente può selezionare dalle pareti i disegni di cui ascoltare la lettura e spiegazione. Una mini-mappa con i punti di interesse permette di teletrasportare l'utente e indica il percorso consigliato per la visita.



04

MODALITÀ TOUR

Un selettore presente sul menu interattivo permette di attivare o disattivare la visualizzazione della policromia.



05

MODALITÀ STORIA: "AKHENATON"

Viene riprodotto un audio relativo alla distruzione delle figure religiose durante il regno del faraone eretico Akhenaton.



06

MODALITÀ STORIA: "RAMESSE II"

Viene riprodotto un audio relativo alla ricostruzione avvenuta durante il regno del faraone Ramesse II. Vengono evidenziati alcuni nuovi disegni.



07

MODALITÀ STORIA: "COPTI"

Viene riprodotto un audio relativo al periodo del cristianesimo copto in cui vennero incise croci copte e pentacoli sui muri.



08

MODALITÀ STORIA: "GRAFFITI"

Viene riprodotto un audio relativo ad alcuni graffiti, di epoche successive, lasciati nel tempo dai visitatori.



09

Dal menu posizionato sulla mano sinistra l'utente può sempre bloccare la riproduzione degli audio, teletrasportarsi nei luoghi di interesse a scelta, aprire la mini-mappa o terminare l'esperienza premendo EXIT.





Fig. 4.2_01 Attuale logo di Unity.

4.2 3DGS in Unity

Unity è un motore grafico multiplatforma sviluppato da Unity Technologies che consente lo sviluppo di videogiochi e altri contenuti 3D interattivi in tempo reale.

Esso dispone di tre *Render Pipelines* integrate, ovvero delle modalità di visualizzazione che, a seconda delle necessità, offrono diversi rapporti qualità-prestazioni:

- *Built-in Render Pipeline* è la *Render Pipeline* di default. Si tratta di una Pipeline generica che ha però poche opzioni di personalizzazione.
- URP – *Universal Render Pipeline* è una *Scriptable Render Pipeline*, è cioè personalizzabile tramite programmazione e può creare grafica ottimizzata per una vasta gamma di dispositivi.
- HDRP – *High Definition Render Pipeline* è anch'essa una *Scriptable Render Pipeline*, ma è indirizzata alla creazione di grafica ad alta qualità per dispositivi ad alte prestazioni.

In Unity è altresì possibile creare la propria *Scriptable Render Pipeline* personalizzata a seconda delle necessità.

Installando l'applicativo Unity Hub vengono gestite le installazioni del software Unity e la creazione di nuovi progetti in base a template precostituiti o anche partendo da zero.

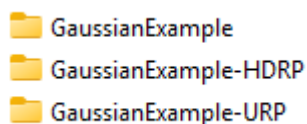


Fig. 4.2_02 I template all'interno del pacchetto UnityGaussianSplatting

In questo caso, data la necessità di renderizzare dei Gaussian Splats, che non sono nativamente supportati da Unity, è stato utilizzato il pacchetto "UnityGaussianSplatting"⁶⁶, che mette a disposizione tre progetti di partenza, uno per ogni *Render Pipeline*.

66 <https://github.com/aras-p/UnityGaussianSplatting> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

Per l'applicazione si è scelto di utilizzare URP, ovvero la *Pipeline* con grafica ottimizzata per una vasta gamma di dispositivi, questo poiché la qualità visiva del modello in questo caso dipende solo dai Gaussian Splats, in Unity verranno renderizzate nativamente solo le grafiche relative alla UI.

Fig. 4.2_03 (in basso)
Schermata al primo avvio
del template
GaussianExample-URP in
Unity.

Il visualizzatore di UnityGaussianSplatting, in sviluppo dal 2023, è compatibile anche con il VR, a partire da novembre 2024.

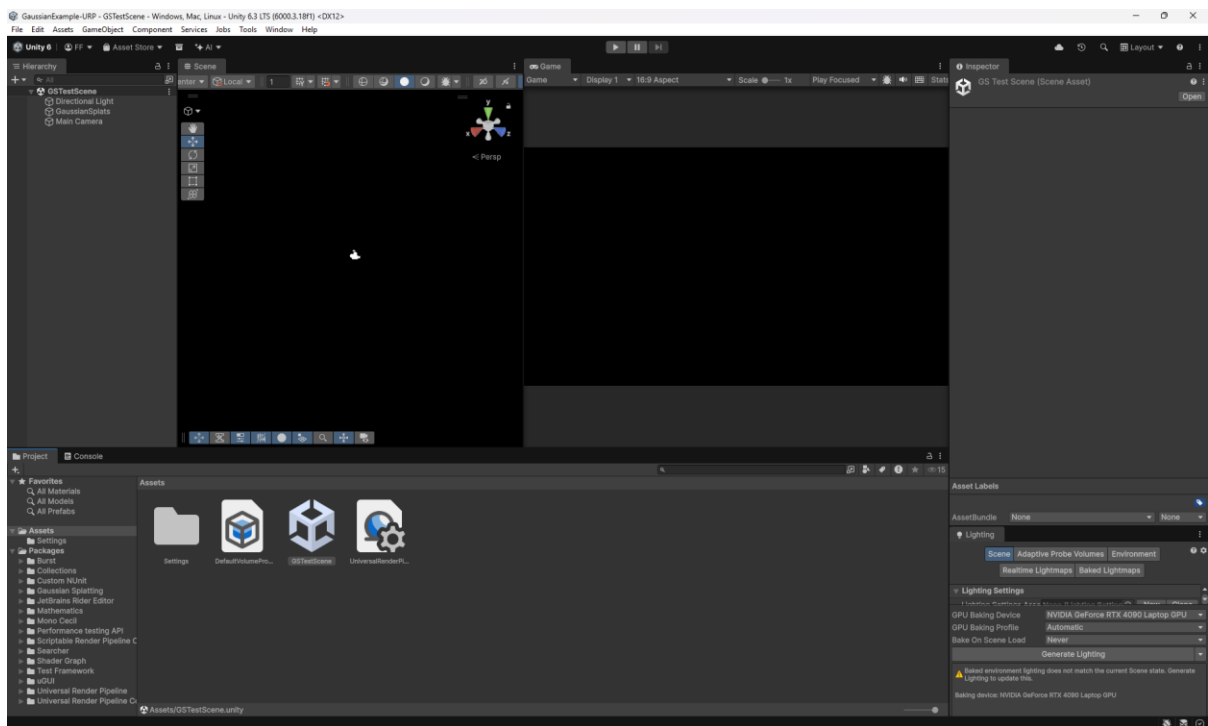
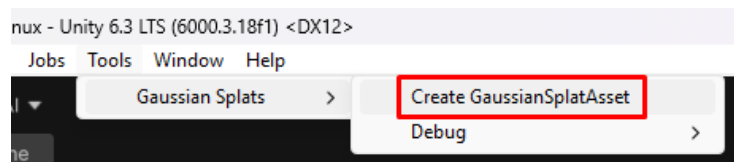
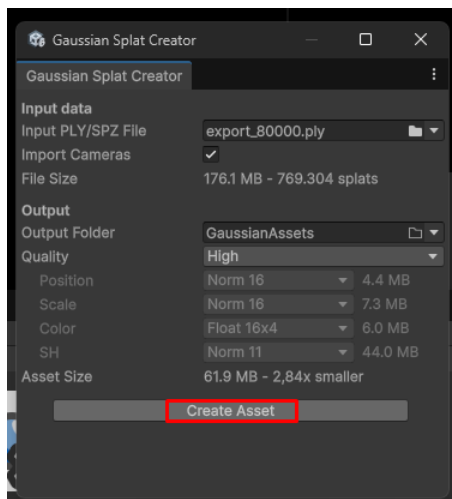
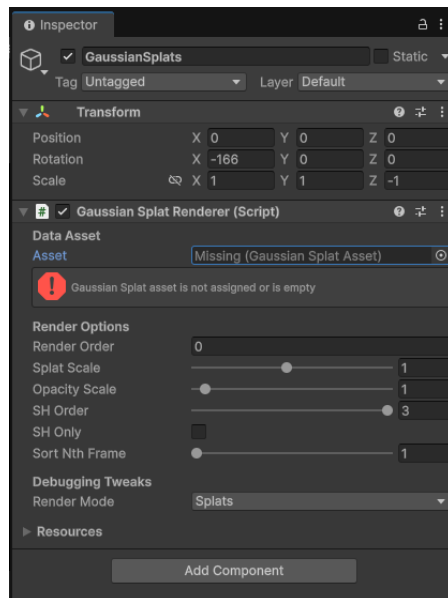
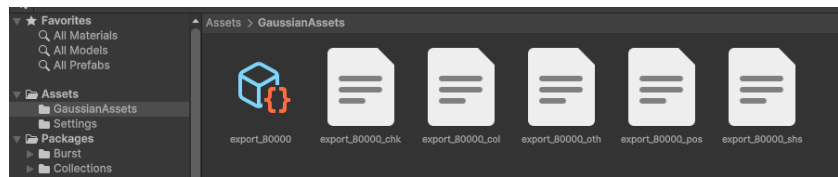


Fig. 4.2_04 (in basso) Il menu ed il tool aggiuntivi per la gestione degli asset 3DGS.



Una volta impostata la scena con UnityGaussianSplatting per URP, si è proceduto alla creazione degli asset di Gaussian Splat attraverso lo strumento apposito dell'estensione (vedi Fig. 4.2_04).

Fig. 4.2_05 La cartella creata dal tool (a destra) ed il componente Gaussian Splat Renderer (in basso).



Il tool creerà una nuova cartella “GaussianAssets” con all’interno l’asset da andare ad impostare nel componente *Gaussian Splat Renderer*. Nello stesso componente, una volta inserito l’asset è possibile andare a gestire anche dei *Gaussian Cutout*, degli oggetti (che possono anche essere combinati) che mascherano in maniera dinamica il Gaussian Splat, possono essere animati per andare a creare delle transizioni dall’aspetto spettacolare che non si potrebbero avere con delle mesh.

Fig. 4.2_06 Il *GSCutout* di tipo *Box* applicato sul 3DGS importato.

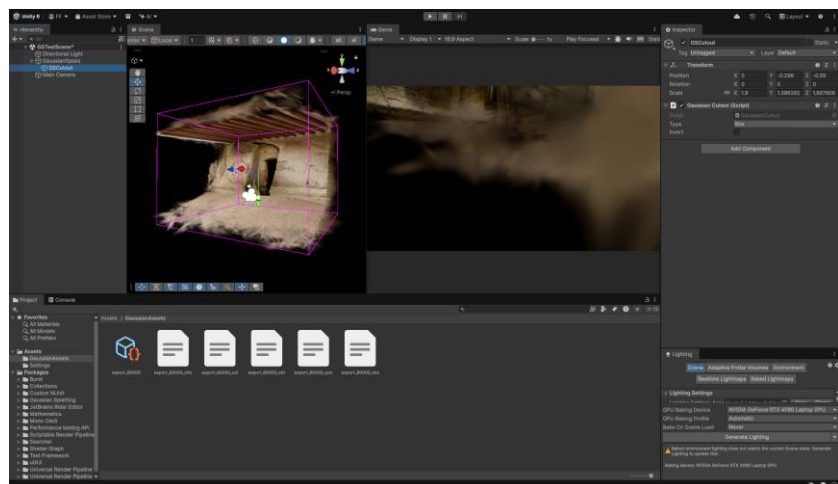
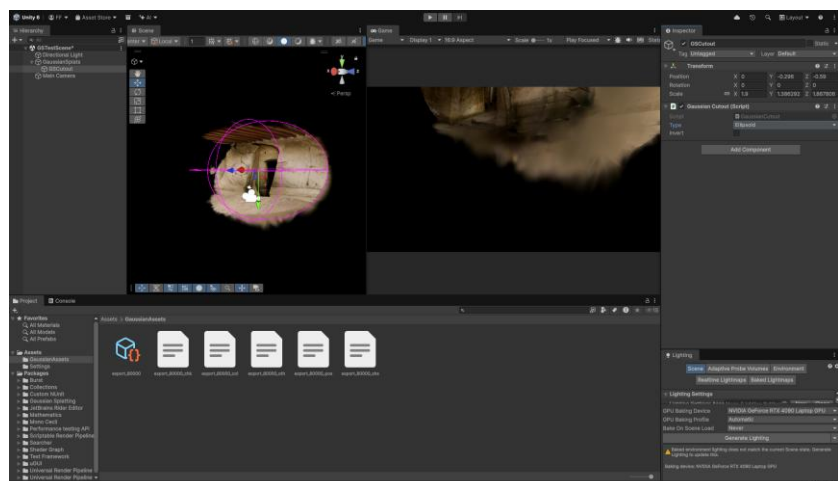
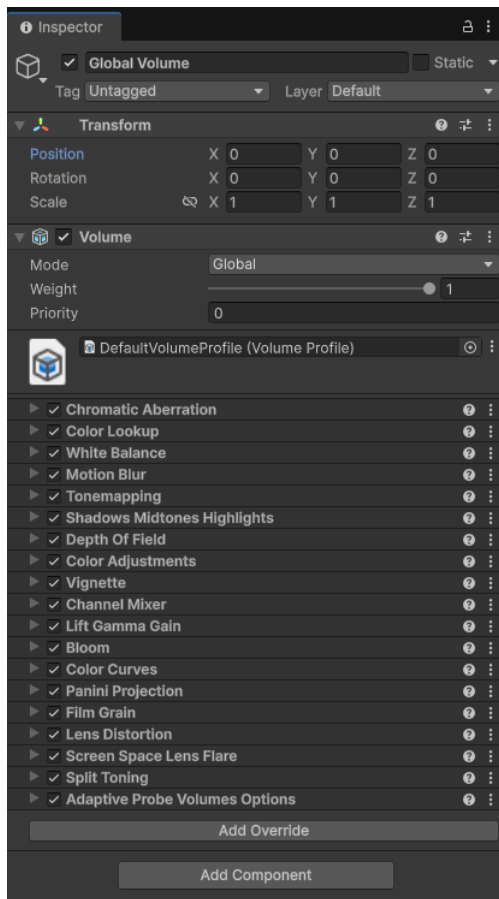


Fig. 4.2_07 Il *GSCutout* di tipo *Ellipse* applicato sul 3DGS importato.

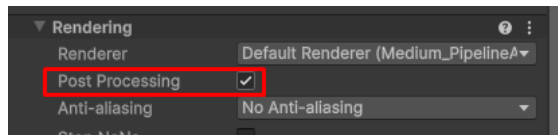




L'illuminazione della scena è stata gestita con una sola luce direzionale e, grazie ad un componente *Volume* (vedi Fig. 4.2_08), sono stati abilitati e personalizzati diversi effetti visivi che migliorano ulteriormente la resa grafica dell'applicazione.

In particolare, alcuni effetti di Post-Produzione come la *Color Correction* o il *Bloom*.

Bisogna poi attivare l'impostazione *Post Processing* nel componente della camera.



Per la gestione dei movimenti e degli input tramite VR è stato utilizzato *OpenXR* ed il suo *Interaction Toolkit*.

Fig. 4.2_08 Pannello "Volume" in Unity URP

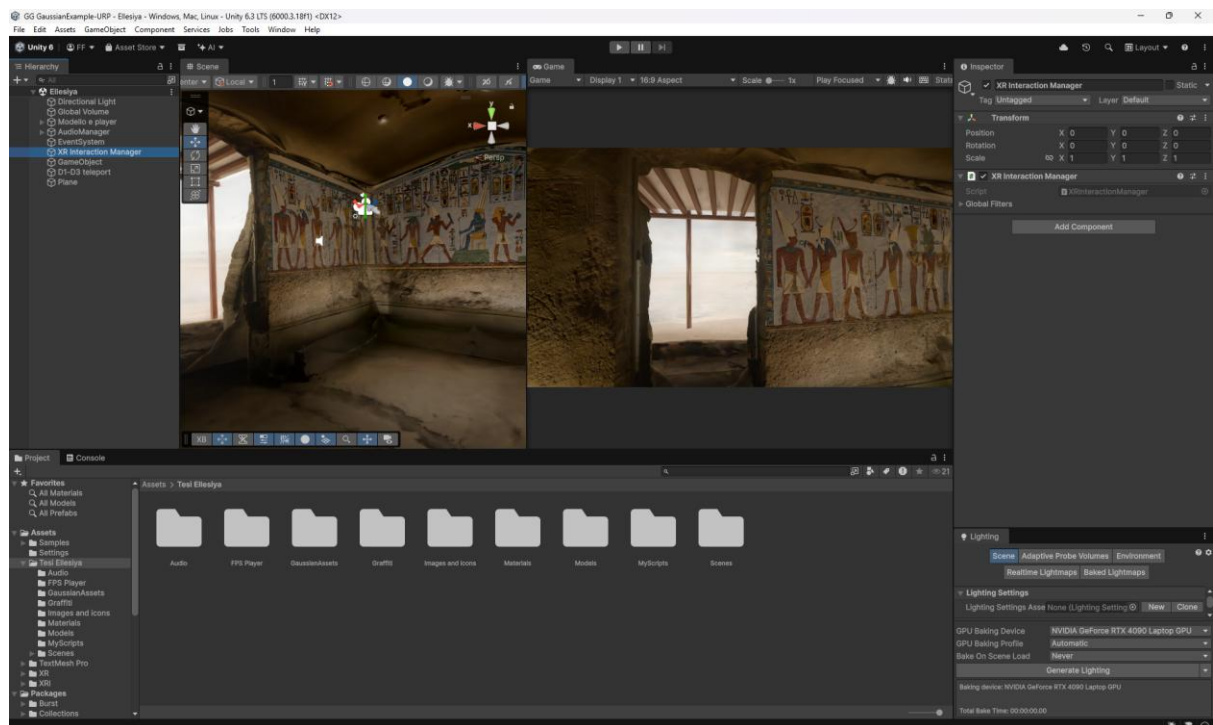


Fig. 4.2_09 Area di lavoro con 3DGS importati e vari pannelli personalizzati attivi in Unity.

4.3 Programmazione in C#

Per definire i comportamenti dell'applicazione e programmare i movimenti e le interazioni dell'utente all'interno dell'esperienza VR sono stati creati vari script, mediante l'utilizzo del linguaggio di programmazione C#, un linguaggio sviluppato da Microsoft ed integrato nativamente in Unity.

Per la creazione di questi ultimi si è utilizzato Visual Studio 2022, un ambiente di sviluppo integrato elaborato anch'esso da Microsoft.

La creazione di un nuovo script all'interno dell'editor di Unity avvierà Visual Studio, dando la possibilità di programmare i comportamenti desiderati in base, in prima istanza, a due *void*: *Start* e *Update*.

“void Start()” definisce tutte le azioni che verranno azionate solo una volta, nel momento di inizio dell'esecuzione del codice.

“void Update()” definisce invece tutte le azioni che si azioneranno ad ogni singolo frame durante l'esecuzione del codice.

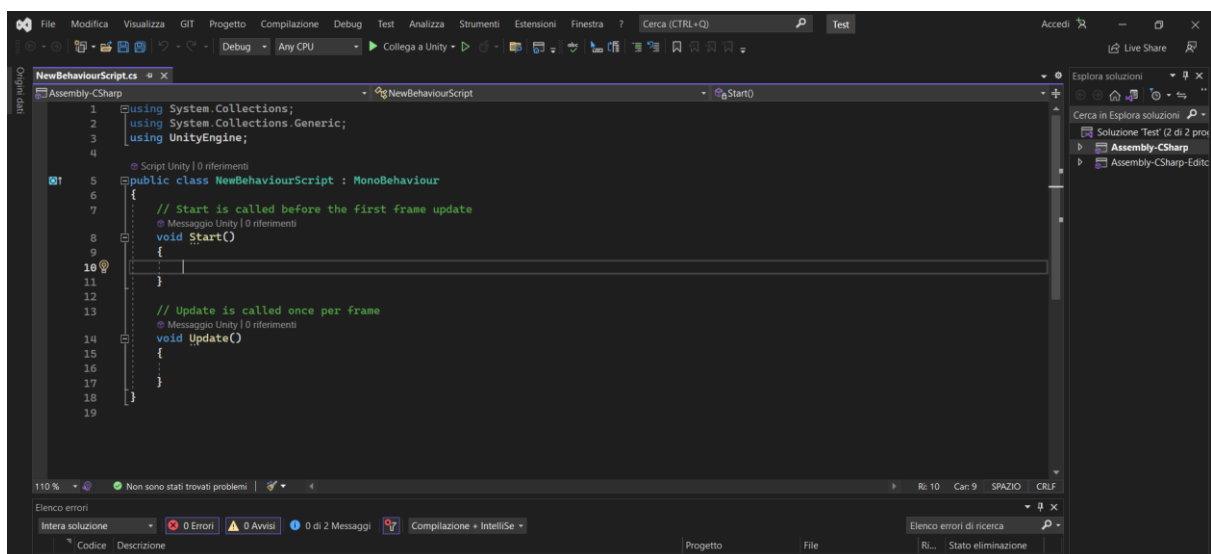


Fig. 4.3_01 Schermata di Visual Studio alla creazione di un nuovo script “NewBehaviorScript” in Unity.

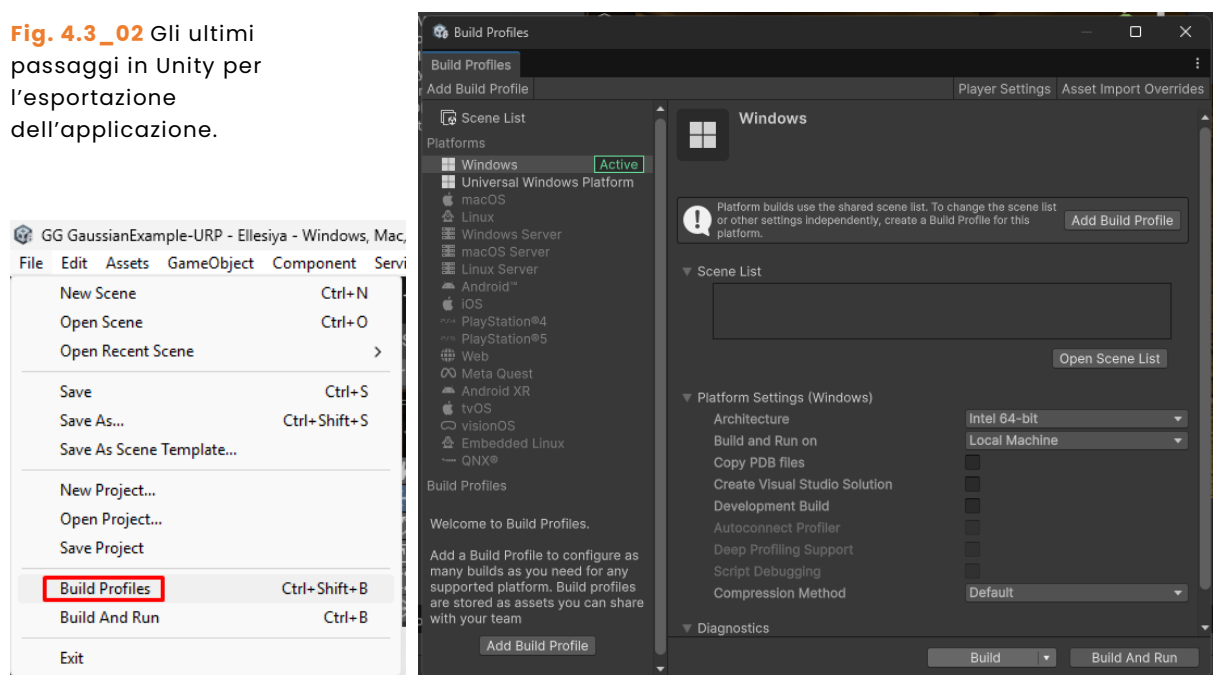
Per far funzionare l'applicazione come da progetto sono stati elaborati diversi script.

Infine, sono stati aggiunti dei *collider* invisibili, per evitare che l'utente possa uscire dalla mappa predisposta.

Una volta terminato il lavoro sul modello e la programmazione, si può procedere ad esportare la *build*.

Andando sull'interfaccia di Unity -> File -> Build Profiles si possono definire gli ultimi parametri ed esportare il file eseguibile dell'applicazione. In questo caso, essendo pensata per Windows, si esporta una cartella contenente tutte le dipendenze ed il file .exe.

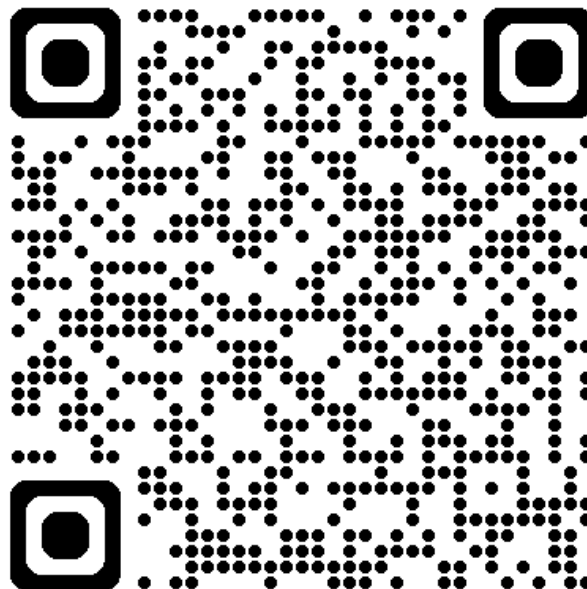
Fig. 4.3_02 Gli ultimi passaggi in Unity per l'esportazione dell'applicazione.



È possibile trovare il video demo dell'esperienza VR e Desktop sulla Cappella Rupestre di Ellesiya su YouTube in questa playlist:

<https://youtube.com/playlist?list=PLd23ZJr9iU1o&si=zmSq7YR2mPuMWI7n> .

Oppure scansionando questo codice QR:



05

CONCLUSIONI

05 CONCLUSIONI

L'applicazione desktop ed esperienza VR sviluppata è un esempio delle potenzialità dell'applicazione della realtà virtuale nell'ambito museale e della rappresentazione e comunicazione del patrimonio architettonico, al fine di conservarne la memoria collettiva. L'applicativo ha avuto la prerogativa di raccogliere e comunicare il maggior numero possibile di dati riguardanti la cappella di Ellesiya: bassorilievi, graffiti, contesto e storia.

L'utente può quindi effettuare un tour semi-guidato del monumento oppure seguire un percorso in base agli interessi, selezionando i contenuti dal menu interattivo.

È stata inoltre posta attenzione allo studio di un'interfaccia e di un'esperienza il più possibile *user friendly*, che puntasse ad una maggiore "presence" e "agency" dell'utente.

Questa applicazione potrebbe avere in futuro ulteriori sviluppi. Ad esempio, potrebbe essere utilizzata come uno spazio multiplayer in cui il curatore può effettuare una visita guidata senza essere in presenza. La bontà della resa grafica ottenuta dalla scansione fotogrammetrica della cappella, prima, e dalla tecnologia del Gaussian Splatting, poi, permettono l'esplorazione libera del monumento, quasi come se si ci trovasse lì, si possono analizzare le pareti ed i dettagli, anche quelli non raccontati nell'applicazione.

Con i computer sempre più potenti e le nuove tecnologie in arrivo ed in sviluppo (come il 3DGS qui utilizzato) i modelli 3D, e di conseguenza le ricostruzioni, saranno sempre più fedeli e dettagliati e offriranno nuove frontiere nell'ambito archeologico di ricostruzione e conservazione del patrimonio culturale e architettonico.

06

RIFERIMENTI

06 RIFERIMENTI

6.1 Bibliografia

CHRISTILLIN E., GRECO C., *Le memorie del futuro. Musei e ricerca*, Einaudi, Torino, 2021, p. 88.

BONACINI E., *Storytelling culturale e piattaforme digitali. Manuale pratico con case study e best practice internazionali*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2023, p.10.

SPALLONE R., LAMBERTI F., OLIVIERI L.M., FRANCESCA RONCO F., AND LOMBARDI L. – *Augmented Reality and Avatars for Museum Heritage Storytelling*, in GIORDANO A., RUSSO M., SPALLONE R. curatori, *Beyond Digital Representation Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*, Milano, Springer 2024, p-243.

CHRISTILLIN E., GRECO C., *Le memorie del futuro. Musei e ricerca*, Einaudi, Torino, 2021, p. 100.

MAKRANSKY G., PETERSEN G.B. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educ Psychol Rev* 33, 937–958 (2021).
<https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>: 940.

HUTSON, J. (2024). Digital Cultural Heritage Preservation. In: *Art and Culture in the Multiverse of Metaverses*.

Springer Series on Cultural Computing. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-66320-8_4.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MACERATA CORSO DI
DOTTORATO DI RICERCA IN FORMAZIONE, PATRIMONIO
CULTURALE E TERRITORI CICLO XXXVII TITOLO DELLA TESI
NUOVI PARADIGMI DIGITALI PER LE ESPERIENZE CULTURALI
COMPLESSE MODELLI APPLICATIVI PER PIANI STRATEGICI
DIGITALI PER I MUSEI: DALLA CONSERVAZIONE, FRUIZIONE E
COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO, ALLO SVILUPPO
SOSTENIBILE - SUPERVISORE Prof.ssa Patrizia Dragoni
COORDINATORE Prof.ssa Anna Ascenzi ANNO 2025
DOTTORANDA Dott.ssa Elena Capodaglio.

CHRISTILLIN E., GRECO C., *Le memorie del futuro. Musei e
ricerca*, Einaudi, Torino 2021, pp. 89-90.

Projection mapping technologies: A review of current
trends and future directions, Iwai, Daisuke - *Proceedings
of the Japan Academy, Series B* - 10.2183/pjab.100.012,
2024/03/11: 234.

Digital methods and techniques for reconstructing and
visualizing ancient 3D polychromy – An overview Eliana
Siotto, Paolo Cignoni, *Journal of Cultural Heritage*, Volume
68, 2024, Pages 59-85, ISSN 1296-2074.

Kerbl, Bernhard and Kopanas, Georgios and Leimkühler,
Thomas and Drettakis, George, "3D Gaussian Splatting for
Real-Time Radiance Field Rendering", su "*ACM
Transactions on Graphics (SIGGRAPH Conference
Proceedings)*", n.4 - Luglio 2023.

M. -Y. Chen, I. -C. Chang, J. -W. Chen, B. -H. Yang and C. -F. Wun, "An Immersive 3D Navigation System Using 3D Gaussian Splatting," *2024 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)*, Taichung, Taiwan, 2024, pp. 735-736, doi: 10.1109/ICCE-Taiwan62264.2024.10674556.

MAGHFUR M.A., AUDILLA R S., FATKHURROHMAN S., PRIYANIDYA Y T., "Pemanfaatan Museum Sumpah Pemuda sebagai Sumber Belajar melalui Teknologi Virtual Reality", *Jurnal Dinamika*, vol. 4, n.1, 2023, pp. 13-32. Link: <http://dx.doi.org/10.18326/dinamika.v4i1.13-32>. Ultima consultazione 28/05/2026.

ISPRS-Annals ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ISPRS-Annals ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2194-9050 Copernicus Publications Göttingen, Germany 10.5194/isprs-annals-X-M-2-2025-185-2025 Realistic and Interactive Virtual Museum Representation Using 3D Gaussian Splatting Kwon: 191 Ohyang Yu Jeongmin 1 Dept. of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo, South Korea 23 09 2025 X-M-2-2025 185 192 Copyright: © 2025 Ohyang Kwon 2025.

GABELLONE F., *La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia*, *SCientific RESearch and Information Technology*, vol. 2, n. 2, 2012, pp. 99-124. Link: <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v2n2p99>. Ultima consultazione 28 giugno 2026.

GARBRECHT, G. The Sadd el Kafara, the world's oldest dam. In Proceedings of the Special Session on History of Irrigation, 12th ICID Congress, Fort Collins, CO, USA, 28 May–2 June 1984. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, 2022.

HASSAN, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. Afr Archaeol Rev 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

HUSSEIN, F. (1981). Dams, people, and development: The aswan high dam case. New York: Pergamon Press. Citato in Hassan, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. Afr Archaeol Rev 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

HASSAN, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. Afr Archaeol Rev 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

(UNESCO/CUA 103, 106, 107, 109, 113, 118, 127 and UNESCO Nubia/1ff) citati in Hassan, F.A. The Aswan High Dam and the International Rescue Nubia Campaign. Afr Archaeol Rev 24, 73–94 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10437-007-9018-5>.

Nubiana: the great undertaking that saved the temples of Abu Simbel, Museo Egizio di Torino (Italy), Scalabrini, Cristina [editor], Milan: Rizzoli, 2019.

CRESPI, L. 1955 *Problemi di restauro*. Milano. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, 2022.

BRANDI, C. 1963 *Teoria del restauro*. Torino. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, 2022.

Carta Italiana del restauro, 1932 Consiglio Superiore Per Le Antichità e Belle Arti. Norme per il restauro dei monumenti.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, 2022.

Carta del Restauro di Venezia 1964 – Testo approvato dal Il congresso Internazionale degli architetti e dei tecnici dei monumenti storici riunitosi a Venezia dal 25 al 31 maggio 1964. Ad esso si giunse partendo dalla proposta formulata dai proff. Roberto Pane e P. Gazzola.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 203.

ALLAIS, L. 2013: 203 2012 “The Design of the Nubian Desert: Monuments, Mobility, and the Space of Global Culture”, in: Aggregate (group): *Governing by Desing: Architecture, Economy and Politics in the Twentieth Century*, Pittsburgh: 179–205.

CURTO 1970: 2.

ROSA TAMBORRINO & WILLEKE WENDRICH (2017) Cultural heritage in context: the temples of Nubia, digital technologies and the future of conservation, *Journal of the Institute of Conservation*, 40:2, 168–182, DOI: 10.1080/19455224.2017.1321562: 176.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 212, 213.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 214.

ROSA TAMBORRINO & WILLEKE WENDRICH (2017) Cultural heritage in context: the temples of Nubia, digital technologies and the future of conservation, *Journal of the Institute of Conservation*, 40:2, 168–182, DOI: 10.1080/19455224.2017.1321562: 176.

MARTÍN FLORES, A. 1994 "Templo de Debod. Estado de conservación y propuestas de actuación", *Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas* 9: 117–128. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, *Trabajos de Egiptologia*, n.13 2022: 218.

MASPERO, G. 1911 "Rapport préliminaire sur l'état actuel des temples de la Nubie et sur les réparations qu'il convient d'y faire pour les protéger contre les effets de

l'immersion", in: G. MASPERO: Les temples immergés de la Nubie. Rapports relatifs à la consolidation des temples, Le Caire: 2–44. Citato in The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, n.13 2022: 218.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, n.13 2022: 224, 225.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, n.13 2022: 226 – 228.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, n.13 2022: 207.

CURTO 1970: 33; 2010: 52.

VOLPIANO C. Il tempio di Ellessija, Edizioni Pininfarina, Torino, 1970: 4,5.

VOLPIANO C. Il tempio di Ellessija, Edizioni Pininfarina, Torino, 1970: 5.

The Fate of Expatriate Temples: Ellesiya, Taffa, Dendur and Debod, ALFONSO MARTIN FLORES, Trabajos de Egiptologia, n.13 2022: 207.

DESROCHES-NOBLECOURT, C., DONADONI, S., JAMAL AL-DIN MUKHTAR, M., EL-ACHIERY, H., & DEWACHTER, M., "Le Spéos d'El-Lessiya", Centre de documentation et d'études sur l'ancienne Égypte, Le Caire, 1968.

6.2 Sitografia

<http://laral.istc.cnr.it/borghi/simposio-affordances06.htm> Ultima consultazione il 27/05/2026.

<https://musei.cultura.gov.it/wp-content/uploads/2019/08/Abstract-Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l-Innovazione-dei-Musei.pdf>
Ultima consultazione 28 maggio 2026.

<https://londoncharter.org/introduction.html>. Ultima consultazione 28 maggio 2026.

<https://londoncharter.org/principles.html>. Ultima consultazione 09 28 maggio 2026.

https://www.glowarp.com/1_la_carta_di_londra.html.
Ultima consultazione 27 maggio 2026.

<https://www.webuildvalue.com/it/reportage/salvataggio-di-abu-simbel-in-ricordo-della-grande-impresa.html>, Ultima consultazione 21 maggio 2026.

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/b0d55276-8be8-4d1c-b1c1-5880c7702a2c/Ellesiya-Temple> Ultima consultazione 28 giugno 2026.

<https://sketchfab.com/3d-models/temple-of-ellesiya-fb688f4077754a7ca0b637ee429098b6> Ultima consultazione 28 giugno 2026

https://github.com/RedHaloStudio/Sketchup_Importer/releases Ultima consultazione 28 giugno 2026

<https://superhivemarket.com/products/geometry-nodes-groups> Ultima consultazione 29 giugno 2026

<https://superspl.at/> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

<https://www.jawset.com/docs/d/Postshot+User+Guide/Interface/Scene+Tree/Camera> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

<https://www.jawset.com/> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

<https://github.com/colmap/colmap> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

<https://github.com/ArthurBrussee/brush> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

<https://superspl.at/editor> Ultima consultazione 29 giugno 2026.

<https://github.com/aras-p/UnityGaussianSplatting> Ultima consultazione 29 giugno 2026.