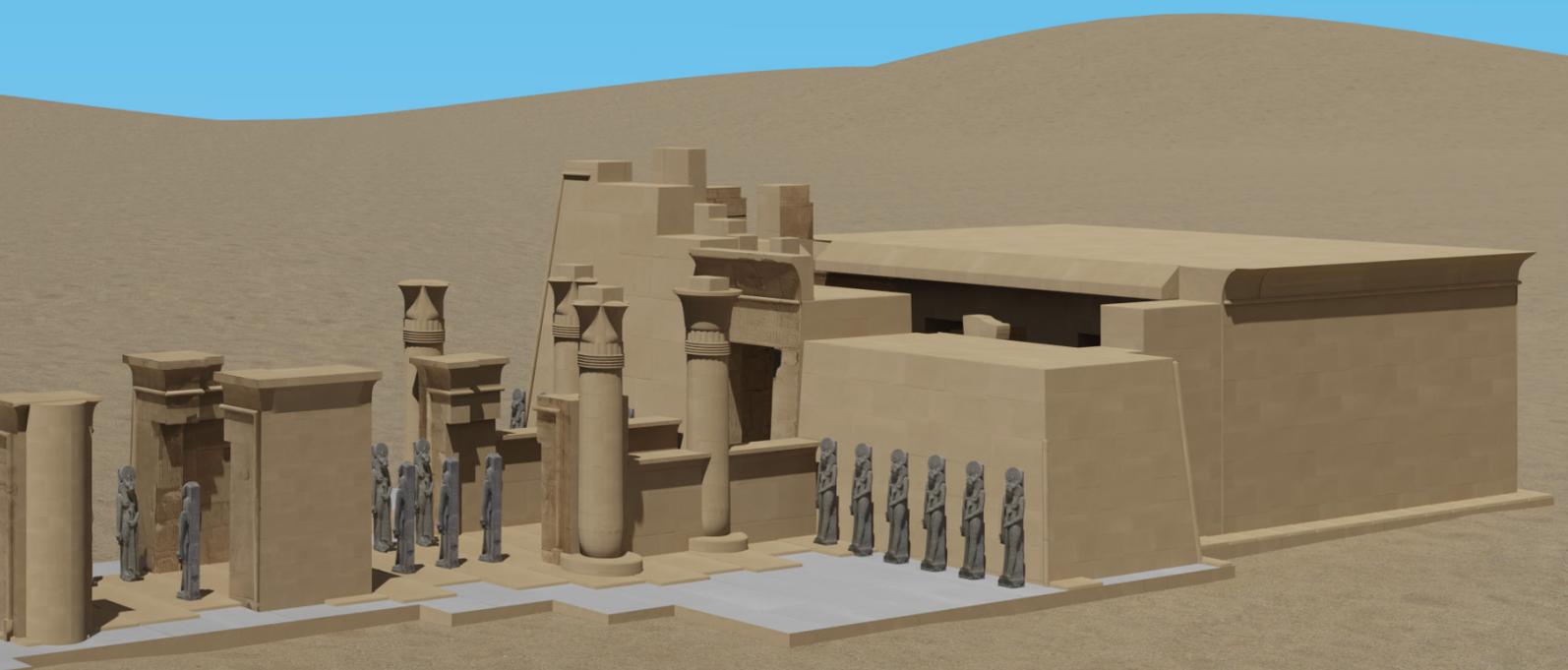


Ricostruzione digitale e comunicazione del patrimonio museale

Contestualizzazione ed esperienza VR
per le statue di Sekhmet dal Tempio di
Ptah a Karnak nel Museo Egizio di Torino

Martina Rinascimento



Relatrice:
Roberta Spallone

Correlatori:
Fabrizio Lamberti
Johannes Auenmüller
Davide Mezzino
Martina Terzoli

In collaborazione con il Museo Egizio di Torino

ME MUSEO
EGIZIO

In copertina statua della dea Sekhmet C. 265, collezione Museo Egizio di Torino
Illustrazione a cura di Martina Rinascimento



**Politecnico
di Torino**

Dipartimento di Architettura e Design
Corso di Laurea Triennale in Design e Comunicazione Visiva
A.A. 2021-2022

Ricostruzione digitale e comunicazione del patrimonio museale

**Contestualizzazione ed esperienza VR per le statue
di Sekhmet dal Tempio di Ptah a Karnak nel Museo
Egizio di Torino**

Relatrice:
Roberta Spallone

Candidata:
Martina Rinascimento

Correlatori:
Fabrizio Lamberti
Davide Mezzino
Johannes Auenmüller
Martina Terzoli

In collaborazione con il
Museo Egizio di Torino

ME MUSEO
EGIZIO

Questo progetto di tesi ha significato molto per me. È stata una sfida complessa ma molto stimolante in cui mi sono confrontata con saperi e mondi che consideravo troppo grandi e lontani da me. Ringrazio il Museo Egizio di Torino e la professoressa Roberta Spallone assieme al correlatore Fabrizio Lamberti per la loro disponibilità, il loro supporto e indirettamente per avermi fatto avvicinare a nuove conoscenze. Ringrazio i correlatori interni al Museo Egizio di Torino Johannes Auenmüller, Davide Mezzino e Martina Terzoli per avermi guidata in questo progetto e aver condiviso con me la loro passione per la ricerca e la storia. Ringrazio i tutor Davide Calandra e Gabriele Praticò facenti parte del Laboratorio di ricerca GRAINS interno a VR@POLITO e al Dipartimento DAUIN del Politecnico per avermi introdotta alla realtà virtuale e aiutata nella realizzazione della parte tecnica del progetto.

Voglio ringraziare le persone a me care che sono riuscite a risollevarmi e farmi sorridere di nuovo nei momenti di sconforto, dubbio e pressione. Ringrazio due persone incredibili, i miei genitori, Luca e Margherita, che con tanta pazienza, amore e scherzosità mi hanno cresciuta e trasmesso la loro passione per la storia, l'arte e il viaggio alla scoperta di nuove lingue e culture. Sono molto fiera di voi, mi avete aiutato a capire chi voglio essere e senza il vostro aiuto e la vostra spinta non sarei arrivata dove sono ora e non avrei conosciuto tutte le persone che dopo questi tre anni universitari spero di portare sempre con me.

Aurora e Lucia, o meglio, Zia Rorò e Luce, mi fate sorridere il cuore, siete ragazze forti e creative, vorrei che anche nei momenti di debolezza vi vedeste brillare come vi vedo io.

Benedetta, non ti fermi davanti a niente e nessuno, in poco tempo ho conosciuto la te forse più nascosta, sorridente e spensierata.

Anastasia, la nostra amicizia è cominciata con la domanda “ce l’hai un cicles?” a lezione, dopo un attimo di confusione per quella parola a me sconosciuta abbiamo cominciato a parlare, mi sento a casa quando siamo assieme, ti stimo tantissimo. Il tuo punto debole? Cannoli.

Giuseppe, un amico ritrovato. Trovarti e stringere un’amicizia con te è stato così veloce e spontaneo, sei un sole energico e curioso dall’invidiabile cadenza palermitana, sii sempre così.

Chiara, Federica e Pia. Tra piatti e uova rotte, mi hanno sopportata e amata, grazie alla loro ironia e spontaneità ho combattuto la mia paura di andare a vivere da sola. Il primo anno che abbiamo passato assieme in casa è stato il più divertente e speciale, vi voglio davvero tanto bene, siete le mie rocce.

I miei punti fissi quando torno a casa, Giuliana, Anna e Alice. Vi auguro di essere felici sempre, di realizzare i vostri sogni, di sorridere anche davanti alle difficoltà e di circondarvi di persone che vi facciano brillare.

Maria, fin da subito sei stata una persona speciale per me, amo il tuo sostegno, affetto e genuinità. Hai reso Barcellona una seconda casa per me, ti voglio tanto bene chiqui.

Un saluto finale a un essere buffo, attivo e giocherellone. Il piccolo (non per statura) amico canino che dalla Sicilia aspetta sempre qualcuno a cui rubare qualche carezza e ricevere affetto, ciao Biri.

Arrivo alla fine. Ringrazio me stessa per essermi data questa possibilità di crescita. Voglio lasciare un messaggio per la me di domani che rileggerà questa pagina: sei forte, hai vissuto

momenti brutti ma anche molto belli, continua a circondarti di persone che ti vogliono bene e ritrova sempre la tua solarità, con quella tutto passa. Ti voglio bene. Vi voglio bene.

Indice

	Abstract	1
1 /	Introduzione	5
2 /	Obiettivo del progetto	9
	2.1 Le statue della dea Sekhmet	14
3 /	Patrimonio culturale e nuove tecnologie	19
	3.1 Potenzialità, limiti e obiettivi	22
	3.2 La Realtà Virtuale	25
	3.3 Casi Studio	30
4 /	Contesto	37
	4.1 Contesto geografico e storico-culturale	39
	4.2 Contesto religioso	47
5 /	L'esperienza di Realtà Virtuale	49
	5.1 Analisi delle fasi di progettazione	51
	5.1.1 Modellazione	52
	5.1.2 Applicazione textures	54
	5.1.3 Sviluppo dell'esperienza	56
	5.2 Risultato finale	69
6 /	Conclusioni	75
	Bibliografia e Sitografia	79
	Indice delle figure	89

Abstract

Questo progetto di tesi nasce dalla collaborazione tra il Politecnico di Torino, e in particolare il Dipartimento DAD e il Dipartimento di Automatica e Informatica DAUIN con il supporto tecnico di VR@POLITO e il laboratorio di ricerca GRAINS, e il Museo Egizio di Torino e ha l'obiettivo di salvaguardare e diffondere il patrimonio storico-culturale avvalendosi di metodi di ricostruzione e rappresentazione quali la modellazione digitale ricostruttiva e la disseminazione in VR.

Il percorso progettuale vuole dare il proprio contributo circa lo sviluppo di ipotesi, e la loro rappresentazione grafica, della possibile disposizione di un gruppo di reperti statuari, facenti parte della collezione del Museo Egizio di Torino, all'interno di un sito archeologico quale contesto successivo rispetto al sito originario di collocazione. Allo stesso modo viene implementata l'offerta museale mettendo a disposizione del visitatore uno strumento di conoscenza innovativo.

This thesis project stems from the collaboration between the Politecnico di Torino, and in particular the Department DAD and the Department of Control and Computer Engineering DAUIN with the technical support of VR@POLITO and the research laboratory GRAINS, and the Museo Egizio di Torino, and aims to safeguard and disseminate the historical and cultural heritage using reconstruction and representation methods such as reconstructive digital modelling and VR dissemination.

The project aims to contribute to the development of hypotheses, and their graphic representation, of the possible arrangement of a group of statuary artefacts, which are part of the collection of the Museo Egizio di Torino, within an archaeological site as a following context compared to the original site of placement. In the same way, the museum offer is implemented by providing the visitor with an innovative knowledge tool.

Capitolo 1 /

Tema del progetto

Il progetto di tesi “Ricostruzione digitale e comunicazione del patrimonio museale: Contestualizzazione ed esperienza VR per le statue di Sekhmet dal Tempio di Ptah a Karnak nel Museo Egizio di Torino” è nato dalla collaborazione tra il Politecnico di Torino, in particolare il Dipartimento DAD e il Dipartimento di Automatica e Informatica DAUIN con il supporto tecnico di VR@POLITO e il laboratorio di ricerca GRAINS, e il Museo Egizio di Torino ed ha come obiettivo ultimo la valorizzazione e fruizione del patrimonio storico-culturale attraverso le nuove tecnologie, come la modellazione digitale ricostruttiva e la disseminazione in VR.

Il progetto è incentrato sullo studio di un edificio templare originario dell’antica Tebe e del suo contesto geografico e storico-culturale, sulla sua ricostruzione digitale e sulla creazione di una visita guidata con l’ausilio delle tecniche della realtà virtuale. Il progetto è consistito nel determinare e rappresentare l’ipotetica disposizione di un gruppo statuario, oggi presente presso il Museo Egizio di Torino, realizzato per un sito funerario e collocato successivamente nel contesto templare analizzato.

Nella Galleria dei Re del Museo Egizio sono conservate ventuno statue ritraenti la dea Sekhmet, secondo la mitologia egizia figlia del dio Ra e consorte del dio creatore Ptah. Di queste, undici esemplari stanti sono originari del sito funerario del Tempio dei Milioni di Anni, costruito a Kom el-Hettan per volere del faraone Amenhotep III durante il suo regno che si è esteso dal 1390 al 1353 a.C., e sono pervenute nel contesto di collocazione successiva del tempio di Ptah, eretto nell’antica Tebe Occidentale all’interno del complesso templare di Karnak

per volere del faraone Tutmosi III durante il suo periodo di reggenza che va dal 1479 al 1425 a.C.

Metodologia Il risultato finale è stato raggiunto avvalendosi delle fonti bibliografiche più accreditate al momento e di strumenti digitali in grado di ricreare possibili scenari virtuali modificabili nello spazio e nel tempo nel corso dello sviluppo progettuale. Tra gli strumenti adoperati i software Rhinoceros, Blender e Unity, utilizzati per la ricostruzione digitale del tempio, l'applicazione dei materiali e lo sviluppo dell'esperienza VR, la piattaforma GitHub, per l'upload e condivisione del file, e le applicazioni Oculus e Steam VR, per il lancio dell'esperienza quando accoppiate al visore Oculus Meta Quest 2.

Obiettivi Questo progetto di tesi si prefigge tra gli obiettivi di ampliare il bacino d'utenza che frequenta i musei, attraendo sia le fasce di popolazione già frequentatrici dei luoghi di cultura che quelle meno sensibili al tema. La valenza socio-culturale del progetto consta nell'offrire un servizio che possa raggiungere più utenti possibili perché fa uso di un linguaggio semplice: attraverso immagini e spiegazioni narrate anziché scritte il messaggio è comprensibile a tutti. Un ulteriore obiettivo del progetto è mettere a disposizione degli studiosi uno strumento per formulare diverse ipotesi di contestualizzazione e disposizione delle statue sopracitate attraverso la loro ricostruzione e visualizzazione spaziale. Lo strumento cardine di questa metodologia ovvero la modellazione ricostruttiva può essere

usata quale mezzo euristico utile a verificare il reale attraverso il virtuale. Ricostruzione tridimensionale e realtà virtuale assieme permettono di ipotizzare, visualizzare, arricchire lo stato delle cose apportando modifiche ai modelli digitali ricostruttivi con l'acquisizione continua di nuovi dati di conoscenza ottenuti sul campo.

¹ Direzione generale dei Musei. (2019). Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei. <http://musei.beniculturali.it/notizie/notifiche/piano-triennale-per-la-digitalizzazione-e-innovazione-dei-musei> (consultato il 2 settembre 2022)

Secondo il Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei¹, pubblicato dalla Direzione generale dei Musei del MiBACT nel 2019, nel breve-medio periodo i luoghi di cultura si avvaleranno di strumenti tecnologici utili al raggiungimento di una transizione digitale. Questo permetterà di innescare un nuovo sistema per la conservazione e la salvaguardia dei beni con un'azione preventiva contro il degrado o la rovina del patrimonio culturale, sia a causa dell'incuria che di cambiamenti socio-politici. Questo progetto di tesi rappresenta una delle tante iniziative che accompagneranno il museo alla prossima digitalizzazione tesa anche a migliorare il modo di comunicare la storia dei reperti al pubblico. Il risultato finale sarà la conversione dei musei in luoghi di condivisione incentrati sull'esperienza di cui il pubblico può fruire e per il cui allestimento non solo il reperto ma anche il visitatore è al centro del progetto².

² Germak C. (2008). *Uomo al centro del progetto: Design per un nuovo Umanesimo*. Torino: Edizioni Umberto Allemandi & C.

Capitolo

2 /



Fig. 1
Il tempio di Ptah a Karnak

Il progetto è nato come strumento di supporto alla ricostruzione e conservazione digitale di un sito archeologico, il tempio di Ptah facente parte del complesso templare di Karnak nell'antica Tebe (vedi fig. 1), e alla formulazione di ipotesi circa la disposizione di un gruppo statuario custodito nella collezione del Museo Egizio di Torino. Proprio perché ci si è confrontati con delle ipotesi, sono state scelte delle tecnologie grafiche e 3D di cui si sono potute sfruttare le potenzialità di rappresentazione. Alla fine del progetto è stata realizzata una visita guidata virtuale che potesse azzerare la distanza fisica che separa il pubblico dal sito archeologico e che potesse essere ugualmente arricchente.

L'esperienza di Realtà
Virtuale

L'esperienza di realtà virtuale progettata è costituita da due interazioni: la prima, per cronologia, racconta al visitatore la storia del tempio e il suo sviluppo architettonico con il susseguirsi delle epoche storiche, la seconda invece fornisce degli approfondimenti a proposito delle divinità connesse al sito, del contesto geografico in cui è collocato

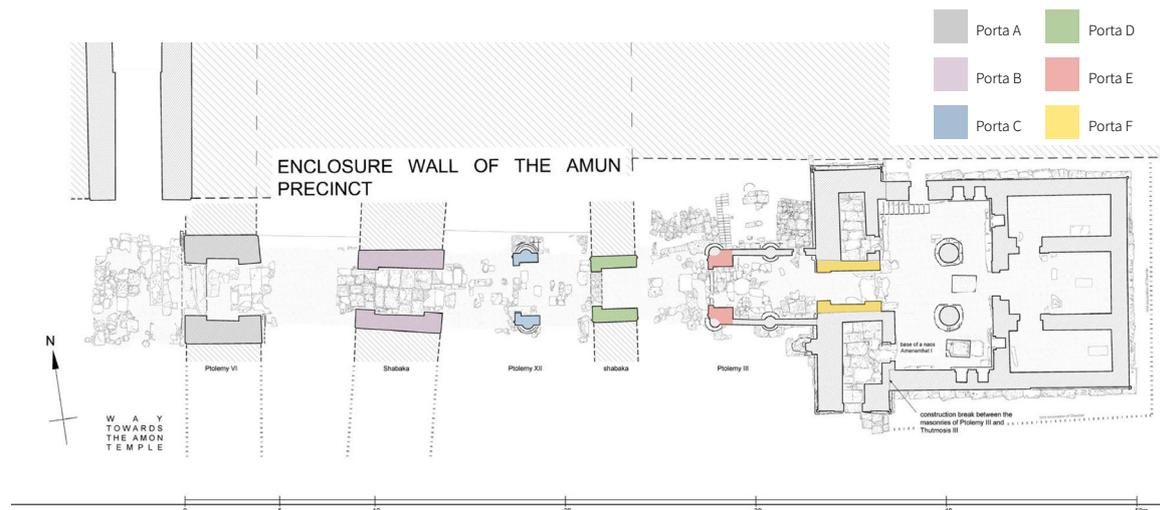


Fig. 2
Pianta del tempio di Ptah e legenda di riferimento

il tempio e la storia del gruppo statuario a corredo dell'edificio, dalla sua realizzazione al suo trasferimento nel contesto successivo di collocazione.

Nel succedersi delle due esperienze l'utente è in grado di muoversi attraverso il sito ricostruito digitalmente e interagendo con delle icone pulsanti, che ritraggono tre simboli della cultura egizia quali il simbolo della vita "ankh", il simbolo di stabilità il pilastro "djed" e l'occhio di Ra, egli riceverà degli approfondimenti sotto forma di voce narrante.

In contemporanea all'esplorazione del sito l'utente potrà visualizzare le due ipotetiche disposizioni delle undici statue trasferite in questo contesto secondario.

Il progetto si è focalizzato fin dall'inizio sulla ricostruzione dello stato attuale del tempio perché interessato principalmente a vagliare le ipotesi di disposizione del gruppo statuario precedentemente citato e per far conoscere il sito archeologico dal quale proviene così come è oggi. Per far sì che l'utente nel corso

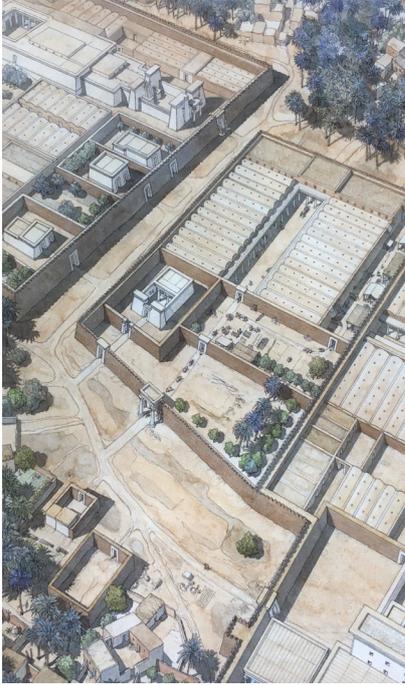


Fig. 3
Illustrazione del tempio di Ptah e delle sue pertinenze al tempo della XXV dinastia

dell'esperienza VR si concentri sul solo tempio di Ptah (vedi fig. 2) si è reso necessario integrare la struttura esistente con il recinto murario, andato in gran parte perduto, che circondava il tempio e raccordava i portali d'ingresso B e D al tempo della XXV dinastia e il portale A in epoca tolemaica.

Per tale rappresentazione si è attinto all'illustrazione presente nel catalogo dell'omonima esposizione al Louvre di Parigi *Pharaon des Deux Terres* (vedi fig. 3) e alle foto degli scavi in situ (vedi fig. 4 e 5).



Fig. 4
Parti dell'alzato del recinto murario a continuazione del portale d'ingresso tolemaico A (sotto) e kushita B (sopra)



Fig. 5
Vista sul recinto del tempio e sul portale d'ingresso sud colonnato

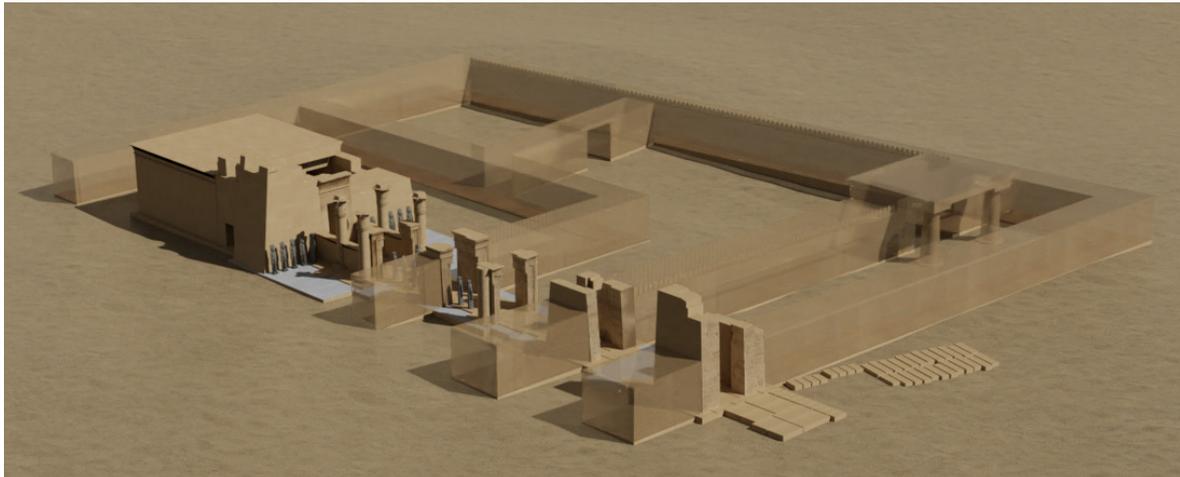


Fig. 6
Render del recinto templare con le parti esistenti e quelle andate perdute

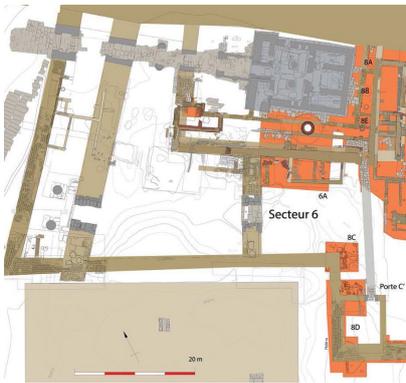


Fig. 8
Stato degli scavi archeologici condotti dal CFEETK Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak dal 2014 al 2017

Per differenziare graficamente le strutture esistenti da quelle ricostruite si è ricorso a due materiali distinguibili dal diverso grado di trasparenza (vedi fig. 6).

Per distinguere la pavimentazione del corridoio processionale originaria da quella realizzata in occasione di una campagna di restauro e conservazione completata nel 2013 dal Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak CFEETK, in seno al progetto MAE-CNRS USR 3172 di comprensione globale dell'edificio effettuato dallo stesso ente a partire dal 2008, sono state usate due tonalità: le parti originarie hanno un tono più caldo mentre le parti nuove più freddo (vedi fig. 7).

La pianta del tempio di Ptah e della zona circostante contenuta nell'articolo 16 (2017) del giornale *Cahiers de Karnak*³ (vedi fig. 8) è stata un utile strumento per comprendere la relazione tra parti originarie e parti restaurate di suddetto elemento templare.

³ Charloux G., Durand B., Mahmoud M. A. A., Sayed A. M. E. (2017a). Le domaine du temple de Ptah a Karnak: Nouvelles données de terrain. In *Cahiers de Karnak*, n. 16, pp. 93-120.

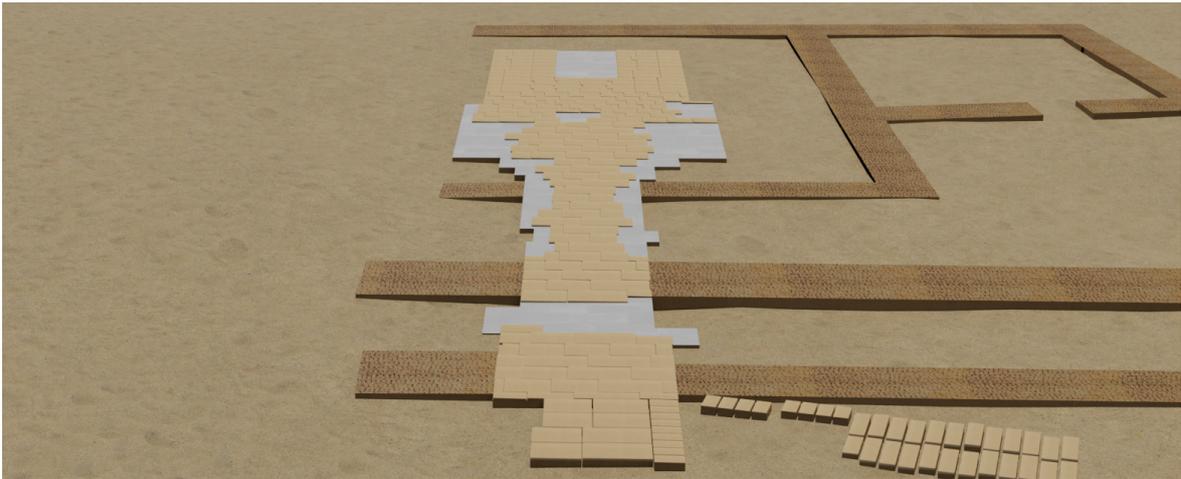


Fig. 7
Render della pavimentazione del corridoio processionale e del tempio per distinguere le parti originarie da quelle restaurate

⁴ *Carta di Londra per la visualizzazione digitale dei beni culturali.* (2008). Salvatori E. (edizione italiana a cura di). [Denard H., testo originale a cura di]. <http://www.londoncharter.org> (consultato il 2 settembre 2022)

In entrambi i casi sono stati rispettati i principi redatti nella Carta di Londra⁴ relativi all'integrità della visualizzazione digitale e la distinzione tra esistente e ricostruito.

2.1 Le statue della dea Sekhmet



Fig. 9
Statue stanti della dea Sekhmet custodite presso il Museo Egizio di Tori-

Il gruppo statuario a cui si è fatto riferimento per questo progetto consiste in undici statue ritraenti la dea *Sekhmet* in posizione stante, scolpite in granodiorite e alte all'incirca due metri (vedi fig. 9).

Queste statue provenivano dal tempio di *Kom el-Hettan*, il cosiddetto "Tempio dei Milioni di Anni" (vedi fig. 10), costruito per volere di *Amenhotep III* sulla riva sinistra del Nilo, nella Tebe Occidentale. Si trattava di un tempio funerario e teatro delle processioni annuali dedicate ad *Amon*, *Mut* e *Khonsu*, la triade tebana.

Faceva parte della tradizione faraonica nel Nuovo Regno far costruire dei templi dalle dimensioni maestose denominati appunto "Templi dei Milioni di Anni" perché il culto del

⁵ Yoyotte J. (1980). Une monumentale litanie de granit: les Sekhmet d'Aménophis III et la conjuration permanente de la déesse dangereuse. In *Bulletin de la Société Française d'Égyptologie*, n. 87-88, pp. 46-75.



Fig. 10
Ingresso al Tempio dei Milioni di Anni con i due colossi di Memnon a Kom el-Hettan

faraone potesse sopravvivere nel tempo.

Si pensa che le statue facessero parte di una serie costituita da circa 730 esemplari, rappresentanti la dea *Sekhmet* in posizione eretta o assisa in trono, di cui 365 dovevano trovarsi lungo le pareti del peristilio del tempio. La serie di statue altro non era che la rappresentazione tridimensionale di una lunga preghiera di adorazione, una monumentale litania in pietra⁵: ogni giorno una statua assisa e una stante venivano adorate e il loro potere invocato a protezione del faraone. Ogni statua infatti era caratterizzata da un'iscrizione diversa, sia a carattere teologico "colei il cui potere è grande quanto l'infinito" che politico "colei che colpisce i nomadi orientali" o rituale "colei alla quale appartengono le teste".

Per via di problemi strutturali del tempio dovuti a dissesti del terreno su cui esso sorgeva, una parte consistente dell'insieme statuaria venne spostato e accolto all'interno del complesso templare a *Karnak* dove una parte delle statue assise fu posizionata all'interno del tempio di *Mut* e un'altra parte di statue stanti nel tempio di *Ptah*.

Nonostante ancora oggi si sia incerti sull'originaria disposizione delle statue all'interno del tempio di *Ptah* a *Karnak*, è possibile formulare delle ipotesi in merito grazie alle annotazioni di Jean Jacques Rifaud, scultore francese che effettuò degli scavi archeologici nei pressi del Tempio di *Ptah* dal 1816 al 1823 per conto del console di Francia Bernardino Drovetti.



Fig. 11
Render della disposizione delle statue lungo la facciata del tempio

Nella tradizione egizia le statue erano infatti elementi mobili e per questo nelle documentazioni antiche non sempre rimangono tracce degli spostamenti dal luogo d'installazione originaria ai contesti successivi.

⁶ Cincotti S. (2013). Les fouilles dans le Musée: La collection Égyptienne de Turin et le fonds de Rifaud. In *Cahiers de Karnak*, n. 14, pp. 279-284.

Nel suo resoconto *Tableau de l'Égypte et de la Nubie* Rifaud⁶ descrive il tempio di *Ptah* come “un tempio preceduto da sette portici, con un peristilio di quattro colonne con vari capitelli, diciannove statue in granito nero e una in calcare” e, per quanto riguarda le statue, “[...] tredici statue con corpo umano e testa di leone di posizione diritta in granito nero e grigio delle sedici che furono trovate sulla facciata del tempio che ho ritagliato nella parte settentrionale del palazzo di Karnak [...]”.

Si evince quindi che una possibile disposizione delle statue stanti potesse essere davanti la facciata del tempio (vedi fig. 11).

Facendo invece riferimento a come le statue assise siano state disposte nel contesto secondario del tempio di *Mut* (vedi fig. 12) e cioè allineate lungo le pareti dell'edificio, è possibile ipotizzare che nel tempio di *Ptah* fossero state



Fig. 12
Disposizione delle statue della dea Sekhmet assisa nel tempio di Mut a Karnak

collocate a continuazione dei portali d'ingresso (vedi fig. 13) almeno nell'ultimo stadio di costruzione del tempio in epoca tolemaica, in particolare tra le porte F e D fatte erigere rispettivamente dai faraoni *Tutmosi III* e *Shabaka*.

⁷ Cincotti S. (2013). Les fouilles dans le Musée: La collection Égyptienne de Turin et le fonds de Rifaud. In *Cahiers de Karnak*, n. 14, p. 284.

Successivamente *Georges Legrain*⁷, egittologo francese, alla fine del XIX secolo riporta, in riferimento alla cappella sud del tempio di *Ptah*, “pochi giorni dopo, nel santuario di *Hathor*, abbiamo trovato i numerosi frammenti della dea leontocefala che abbiamo poi riparato e rimesso al loro posto.” Ad oggi quest'ultima è la sola statua della dea presente in situ (vedi fig. 14).

Al Museo Egizio di Torino giunsero ventuno statue della dea *Sekhmet*, dieci sedute e undici in piedi, probabilmente provenienti dai contesti successivi di collocazione del Tempio di *Mut* e del Tempio di *Ptah*.



Fig. 13
Render della disposizione delle statue lungo la via processionale, tra i portali F e D

Tra le statue sedute, la prima giunse a Torino nel 1759, grazie all'operato del professore di botanica Donati per conto di Carlo Emanuele III Savoia; le altre arrivarono successivamente per merito del console francese Drovetti su incarico del re Carlo Felice Savoia.

Oggi sono esposte nella Galleria dei Re del Museo Egizio.



Fig. 14
Statua della Sekhmet ritrovata e ricostruita in situ nella cappella meridionale dedicata alla dea Hathor

Capitolo

3 /

⁸ Direzione generale dei Musei. (2019). *Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei*. <http://musei.beniculturali.it/notizie/notifiche/piano-triennale-per-la-digitalizzazione-e-l-innovazione-dei-musei> (consultato il 2 settembre 2022)

⁹ Panciroli C. (2010). *Il modello di Museo Virtuale dell'Educazione dell'Università di Bologna*. Bologna: Università di Bologna.

¹⁰ Caprara B., Colombi A., Scala C. (2018). I musei italiani nel Web: analisi, riflessioni e proposte didattiche. Luigini A. e Panciroli C. (a cura di). In *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 79-96. Milano: Edizioni Franco-Angeli S.r.l.

Il Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei⁸, pubblicato dalla Direzione generale dei Musei nel 2019, ribadisce l'importanza di avviare una riorganizzazione del sistema museale avvalendosi delle nuove tecnologie e strumenti digitali.

Gli obiettivi sono molteplici e tra questi favorire il ripopolamento dei musei e la valorizzazione dei luoghi di cultura e della collezione di reperti ospitata. In generale, riprogettare il museo quale luogo in cui il visitatore può conoscere, scoprire, riflettere e interpretare⁹.

Il progresso tecnologico sta infatti coinvolgendo svariati ambiti di applicazione, tra cui quello museale e dei beni culturali, con un obiettivo comune, la centralità dell'utente coinvolto prima, durante e dopo la visita, e l'integrazione dell'offerta culturale attraverso nuove forme di rappresentazione e nuovi canali di accesso.

Uno dei risultati della transizione digitale è la nascita del museo virtuale quale "espansione" delle attività proposte dal museo fisico, che altrimenti potrebbero risultare troppo onerose in termini economici e realizzativi, integrando strumenti e risorse tecnologiche da utilizzare durante la visita come le esperienze di realtà virtuale create a partire dalla ricostruzione digitale¹⁰.

Comunicare il patrimonio museale con questi strumenti significa renderlo multimediale, cioè utilizzare diversi codici espressivi come immagini, testi o suoni, interattivo, offrendo al visitatore la scelta di come fruirne, e aperto, cioè facilmente accessibile. In generale, fornire agli utenti quelle informazioni che facilitano la comprensione storica di un reperto.

La disseminazione in VR in ambito museale coinvolge l'utente a sviluppare consapevolezza e una propria interpretazione utile ad ampliare la sua visione storica e antropologica.

Servirsi di tecnologie grafiche e 3D per la realizzazione di tour virtuali all'interno di ambienti museali vuol dire rendere fluida e realistica l'interazione con la storia e la cultura in cui il pubblico è immerso, riuscendo ad attirare un'audience più eterogenea stimolandone la curiosità (si parla di *edutainment*¹⁰ cioè l'incontro tra lo scopo educativo *education* e il coinvolgimento *entertainment*) e ampliando il bacino d'utenza.

È altrettanto importante sottolineare quanto questo nuovo modo di fruire della cultura possa innescare dei cambiamenti di comportamento nel pubblico: promuovendo una maggiore sensibilizzazione alla conoscenza e tutela del patrimonio culturale l'utente sviluppa un senso di affezione alla bellezza che lo circonda e nasce il desiderio di prendersene cura, da una parte apprendendo e conoscendo la storia e dall'altra condividendo queste conoscenze con la propria rete sociale.

I vantaggi acquisibili non riguardano solo il pubblico ma anche l'ente museale stesso.

L'uso di strumentazioni tecnologiche permette di trovare soluzioni più efficaci per la tutela e la valorizzazione del patrimonio e l'ampliamento dell'offerta museale che sia in grado di attrarre sempre più visitatori.

Quando si combinano la ricostruzione digitale e la conservazione e diffusione del patrimonio culturale è imprescindibile rispettare una serie di principi rigorosi circa la rappresentazione grafica di suddetta ricostruzione.

Per questo sono stati redatti nel tempo dei documenti quali il sopracitato Piano Triennale⁸ e La Carta di Londra⁴: quest'ultima ha l'obiettivo di garantire degli standard di rappresentazione conformi e rigorosi, facilitarne l'identificazione e la comprensione tra le comunità scientifiche.

3.1 Potenzialità, limiti e obiettivi

La realtà virtuale è uno dei tanti strumenti tecnologici che stanno modificando la vita umana, in ambito lavorativo, didattico e ludico, incidendo sul modo in cui l'uomo percepisce il mondo.

La riuscita o meno di un'esperienza del genere non dipende esclusivamente dal grado di fedeltà con cui la tecnologia stimola i nostri sensi per riprodurre il mondo fisico ma anche dal livello di coinvolgimento cognitivo ed emotivo, come l'esperienza ottimale.

Coinvolgendo prettamente due sensi dell'utente, la vista ed il tatto, è necessario concentrarsi sulla gradevolezza degli oggetti da imitare e sulla correttezza della simulazione sensoriale per produrre nell'utente un'emozione positiva del momento appena vissuto.

Tanto più il visitatore serba un ricordo appagante dell'attività svolta, che dipende tra i tanti fattori dall'intuitività e facilità d'utilizzo e conseguentemente dal compiere meno errori possibili, quanto più interagirà con essa

e condividerà con chi lo circonda l'esperienza positiva vissuta.

Nell'applicazione della realtà virtuale in ambito museale risulta quindi fondamentale la riuscita di un'esperienza positiva che attragga l'utente e che crei un ricordo solido e duraturo, prodotto di un nuovo modo di apprendere e imparare, coinvolgente e iterativo.

Al vecchio metodo di apprendimento simbolico-ricostruttivo, fondato sulla componente testuale le cui simbologie devono essere decodificate dall'individuo, si sostituisce il nuovo modello percettivo-motorio per cui l'utente apprende grazie alla risposta che riceve dall'oggetto con cui interagisce¹¹.

¹¹ Ippoliti E., Casale A. (2018). Rappresentare, comunicare, narrare. Spazi e musei virtuali tra riflessioni e ricerche. Luigini A. e Panciroli C. (a cura di). In *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 128-150. Milano: Edizioni FrancoAngeli S.r.L.

Nello sviluppo di una realtà virtuale indossabile è rilevante arricchire l'esperienza con stimoli provenienti da diverse modalità sensoriali, per avere un livello di attenzione costante da parte dell'utente, e contemporaneamente equilibrare la potenza degli *input* per non provocare nell'utilizzatore degli stati di disagio e/o malessere che comprometterebbero la qualità dell'esperienza immersiva, come il *motion sickness*, senso di nausea e stordimento.

Nella creazione di un'esperienza virtuale è significativo comunicare all'utente quali sono i risultati delle sue azioni nell'area di gioco digitale attraverso l'invio di *feedback* e per questo implicare la stimolazione multisensoriale cioè la combinazione di input di diverse sfere sensoriali.

In questo modo, al tocco di un oggetto virtuale l'utente riceverà un *feedback* aptico, una vibrazione, uno stimolo visivo o sonoro.

Infine, occorre sottolineare alcuni limiti della realtà virtuale.

La maggior parte delle esperienze di realtà virtuale è progettata per un singolo utente che indossa il visore e viene proiettato nella realtà ricostruita digitalmente. Talvolta questa dimensione è percepita isolante per l'utente che viene tagliato fuori dall'ambiente circostante; questa sensazione può essere ulteriormente enfatizzata dalla caratteristica della VR ovvero la totale immersione nel mondo digitale e l'impossibilità da parte dell'utente di vedere il proprio corpo occupare lo spazio digitale (a seconda del visore utilizzato e delle impostazioni scelte è possibile proiettare le mani dell'utente). Questa caratteristica è tuttavia anche uno dei punti di forza della VR che permette infatti la totale immersione dell'utente nel mondo digitale e fa sì che i suoi sensi non siano distratti da input che riceve dal mondo esterno.

¹² Shehade M., Stylianou-Lambert T. (2020). *Virtual Reality in Museums: Exploring the Experience of Museum Professionals*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/4031/pdf?version=1591856527> (consultato il 3 settembre 2022)

Per questo motivo, i musei¹² il cui target principale sono le famiglie o i gruppi di visitatori e che lungo il percorso museale puntano alla creazione di interazioni sociali tra il pubblico spesso abbandonano la strategia tesa allo sviluppo e condivisione di esperienze di realtà virtuale.

Ulteriori difficoltà nello sviluppo della componente VR all'interno dei musei sono i costi elevati, che provengono sia dal reperimento delle tecnologie che dall'assunzione di personale che si occupi della configurazione dell'esperienza e che accolga il visitatore meno esperto, l'accessibilità limitata, specialmente per i visitatori non-vedenti o non-udenti e per i bambini più piccoli che non possono

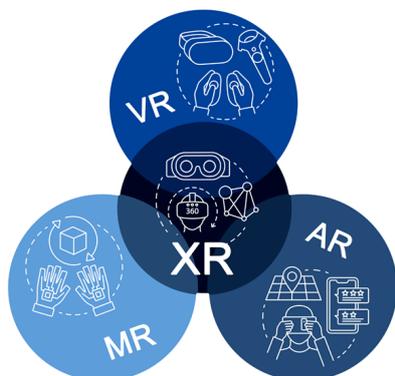


Fig. 15
Spettro della realtà estesa

3.2 La Realtà Virtuale

indossare il visore, l'assunzione di uno staff formato che si prenda cura dell'utente in caso di malessere derivante dall'esperienza vissuta e che sia in grado di risolvere problemi tecnici che inevitabilmente possono presentarsi dall'avvio dell'esperienza.

Per gli alti costi derivanti dalla complessità d'uso e dalla manutenzione delle tecnologie implicate nella realtà virtuale, come riportato da un'intervista con diversi enti museali italiani e internazionali¹², le esperienze immersive sono spesso installazioni temporanee all'interno dei musei e per abbattere quei costi sopracitati si affidano alla collaborazione con aziende esterne che mettono a disposizione le strumentazioni necessarie.

Con il termine di realtà estesa o XR si intende l'intero spettro dei sistemi di simulazione cioè la realtà mista MR che raccoglie al suo interno la realtà virtuale VR e la realtà aumentata AR (vedi fig. 15).

Per fornire una panoramica sui significati delle simulazioni citate, per realtà mista si intende il *virtual continuum*¹³ tra la percezione del solo reale e degli ambienti interamente virtuali.

La realtà virtuale si basa sulla ricostruzione digitale dello scenario in cui l'utente si immerge completamente, perdendo la percezione del mondo reale che lo circonda; la realtà aumentata invece non sostituisce ma arricchisce il reale combinandolo con elaborazioni digitali e per questo dà vita ad un'esperienza semi-immersiva¹⁴.

¹³ Luigini A., Pancioli C. (2018). Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio. Luigini A. e Pancioli C. (a cura di). In *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 17-32. Milano: Edizioni FrancoAngeli S.r.L.

¹⁴ di Luggo A., Palomba D., Pulcrano M., Scandurra S. (2020). Theoretical and Methodological Implications in the Information Modelling of Architectural Heritage. In *Impact of Industry 4.0 on Architecture and Cultural Heritage*, n. 2, pp. 20-48. Edizioni IGI Global Disseminator of knowledge.

Per realtà virtuale possiamo intendere quell'insieme di strumenti e tecnologie che permettono all'utilizzatore di operare in modo interattivo e in tempo reale in una realtà completamente artefatta digitalmente¹⁴ che si modifica e reagisce in funzione delle azioni dell'utilizzatore.

Per questo, una caratteristica rilevante per la riuscita di un'esperienza di realtà virtuale è il grado di immersione registrato dall'utente, la risposta che quest'ultimo riceve al compimento di azioni: è così che reale e virtuale si fondono e l'utente traspone il suo muoversi nello spazio nella proiezione virtuale che ha di fronte.

Accenno alla storia

L'espressione realtà virtuale, dall'inglese *virtual reality*, fu coniata nel 1989 dall'informatico *Jaron Lanier* e si riferiva a una realtà tridimensionale, realizzata con rappresentazioni grafiche generate al computer, con la quale era possibile interagire tramite guanti o occhiali.

Ancor prima della nascita di questa definizione diverse figure si avvicinano a questo nuovo campo applicativo.

Nel 1957 *Morton Heilig* progetta il *Sensorama* (vedi fig. 16), una macchina immersiva e sensoriale in cui l'utente entrava, indossava un visore che riproduceva immagini 3D stereo e una traccia audio e nel mentre la macchina ondeggiava ed emetteva aria per simulare il movimento dell'utilizzatore.



Fig. 16
Il *Sensorama* di *Morton Heilig*, la prima macchina immersiva e sensoriale

Per molti anni sono stati studiati e creati diversi prototipi di periferiche visive indossabili cioè i caschi virtuali che hanno due caratteristiche principali: permettono un'immersione completa nel mondo digitale, escludendo il mondo fisico circostante, e sono ominidirezionali cioè consentono di orientare lo sguardo in tutte le direzioni.

Un esempio è la cosiddetta Spada di Damocle inventata dallo scienziato informatico *Ivan Sutherland* tra il 1965 e il 1968 (vedi fig. 17), un computer connesso ad un display da una serie di tubi che riproduceva un cubo in wireframe: all'epoca i visori erano molto pesanti e questo era infatti appeso al soffitto.

Più ergonomico e simile ai visori a noi contemporanei era l'*EyePhone* sviluppato dalla compagnia VPL fondata dall'informatico *Jaron Lanier* che venne impiegato assieme ai guanti dell'omonima azienda per il primo sistema di realtà virtuale secondo la definizione di mondo virtuale in cui più persone coabitano. Il *RB2 Reality Built for Two* (vedi fig. 18) era un'esperienza di realtà virtuale che univa i due partecipanti che interagivano con i rispettivi avatar in un ambiente domestico.



Fig. 17
La Spada di Damocle di Ivan Sutherland

Oltre ai visori un altro strumento imprescindibile all'epoca era il guanto, strumento aptico di *feedback*, sviluppato per consentire una maggiore immersione sensoriale nella realtà virtuale.

Oggi i guanti non vengono più utilizzati poiché il movimento delle mani è automaticamente tracciato dai sensori o dalle telecamere di profondità incorporate nei visori stessi ma originariamente si trattava di guanti muniti di rilevatori di movimento per acquisire i dati di



Fig. 18
Visore EyePhone sviluppato dalla compagnia VPL impiegato per RB2

posizione e rotazione globale della mano. Un primo esempio di guanto aptico fu il *DataGlove* creato dalla collaborazione tra *Thomas G. Zimmerman* e *Jaron Lanier* nel 1982.

La realtà virtuale può anche essere vissuta in un ambiente apposito di cui un esempio è il *Cave Automatic Virtual Environment CAVE* (vedi fig. 19). Fu inventato dall'ingegnere informatico *Carolina Cruz-Neira* in collaborazione con il ricercatore *Dan Sandin* e l'informatico *Tom DeFanti* presso la University of Illinois e consiste in una stanza quadrata, sferica nel caso dell'*Allosphere* della University of California a Santa Barbara, con pareti 3D che proiettano l'esperienza di realtà virtuale che l'utilizzatore visualizza indossando occhiali 3D stereoscopici.

L'utente mantiene la percezione del proprio corpo nello spazio che lo circonda e gli oggetti virtuali rimangono al di fuori della sua portata.



Fig. 19
Cave realizzato per il Centro Interdisciplinare di Realtà Virtuale dell'Università di Caen



Fig. 20
Oculus Meta Quest 2, visore di realtà virtuale indossabile distribuito da

Oggi la startup Oculus, acquistata da Facebook nel 2014, distribuisce visori innovativi quali Oculus Meta Quest 2 (vedi fig. 20), il visore utilizzato per questo progetto di tesi, caratterizzati da una risoluzione elevata, un sistema di tracking del giocatore all'interno dell'area di gioco che può essere facilmente segnalata, la funzione di mirroring su altri schermi e la possibilità di connettersi al computer di riferimento sia tramite cavo che senza con la funzione Air Link¹⁵.

¹⁵ Specifiche tecniche Oculus Meta Quest 2 accessibili al link <https://store.facebook.com/it/quest/products/quest-2>

¹⁶ Gaggioli A., Riva G. (2019). *Realtà virtuali: Gli aspetti psicologici delle tecnologie simulate e il loro impatto sull'esperienza umana*. Firenze: Edizioni Giunti Psychometrics S.r.L.

In conclusione, possiamo dire che gli ambienti virtuali altro non sono che delle macchine predittive¹⁶ che anticipano e prevedono il comportamento umano nello spazio ricostruito. L'utente sentirà di essere presente nel mondo digitale quanto più il sistema è in grado di rispondere preventivamente ai suoi comportamenti.

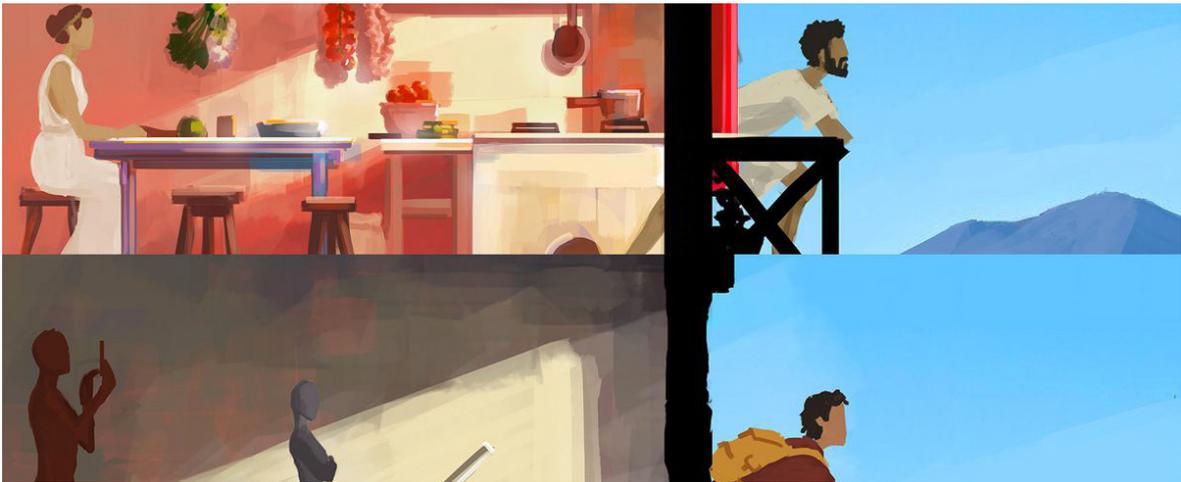


Fig. 21
Frammento del videogioco Father and Son tra l'epoca romana e contemporanea

3.3 Casi studio

L'applicazione di sistemi di simulazione virtuale per la valorizzazione e condivisione dei beni culturali è già consolidata e diverse associazioni o musei hanno optato e supportato lo sviluppo di esperienze del genere da condividere con l'utenza.

Gli obiettivi dei numerosi progetti sviluppati in questo ambito sono la ricostruzione di siti archeologici, la promozione di un nuovo metodo di conoscenza, un maggior coinvolgimento del pubblico, tutti scopi perseguibili attraverso la creazione di esperienze museali interattive, coinvolgenti e immersive.

Enti e patrimonio culturale

Per promuovere la conoscenza del visitatore circa la collezione museale ospitata e dare vita al museo virtuale, nel 2017 è stato sviluppato dal collettivo TuoMuseo e distribuito dal Museo Archeologico Nazionale di Napoli il videogioco Father and Son. Il protagonista, alla ricerca delle tracce di vita di suo padre venuto a mancare, viene catapultato in tre diverse epoche storiche (vedi fig. 21), l'Antica Roma, l'Egitto e l'Età Borbonica, rivivendo così alcuni eventi storici



Fig. 23
Studio del pittore Amedeo Modigliani ricostruito digitalmente

direttamente connessi ai nuclei tematici delle collezioni permanenti del museo.

Il visitatore giocando scopre gli scorci illustrati della città di Napoli e la collezione del Museo Archeologico sotto un'altra veste da esploratore.

Il Museo Nazionale di Scienza e Tecnologia Leonardo Da Vinci a Milano, in collaborazione con Sony Interactive Entertainment Italia e Rai Cinema, dall'anno corrente ha stabilito un appuntamento settimanale VR ZONE (vedi fig. 22) in cui offre al visitatore di poter vivere delle esperienze di realtà virtuale immersive inerenti ai nuclei tematici del museo, quindi natura, spazio e il mito di Leonardo Da Vinci.



Fig. 22
VR ZONE del Museo Nazionale di Scienza e Tecnologia Leonardo Da Vinci di Milano

Tra la fine del 2017 e l'inizio del 2018 il Tate Modern allestisce una mostra temporanea Modigliani VR: The Ochre Atelier sul pittore italiano Amedeo Modigliani.

Parte dell'esposizione è un'esperienza di realtà virtuale indossabile, con il visore VR VIVE, grazie alla quale il visitatore viene proiettato nel 1919 all'interno dello studio del pittore a Montparnasse (vedi fig. 23) dove ogni elemento prende vita e l'utente ha modo di conoscere il pittore in un



Fig. 24
Frame dell'esperienza di realtà virtuale Domus Aurea Experience

ambiente intimo come il suo studio-abitazione. La modellazione dell'ambiente digitale è opera dello studio di gaming Preloaded ed il progetto è frutto della collaborazione con il Museu de Arte Contemporanea de Universidade de São Paulo in Brasile e il Metropolitan Museum of Art.

Enti e siti archeologici

Allo stesso modo sono numerosi gli enti sul territorio italiano e internazionale che collaborano con siti archeologici, centri di ricerca o associazioni e università per realizzare esperienze di realtà virtuale che possano far esplorare al visitatore luoghi lontani pregni di storia.

Nel febbraio del 2017 il Parco Archeologico del Colosseo a Roma ha sviluppato un progetto di realtà virtuale immersiva che guida il visitatore alla scoperta della Domus Aurea al tempo del suo splendore originario, durante l'Impero di Nerone nel I secolo d.C. (vedi fig. 24). Voluto dalla Soprintendenza Speciale per il Colosseo e l'area archeologica centrale di Roma con la casa editrice Electa, il progetto prevede la ricostruzione degli ambienti originali quali il portico, le stanze, il giardino e la vista sul

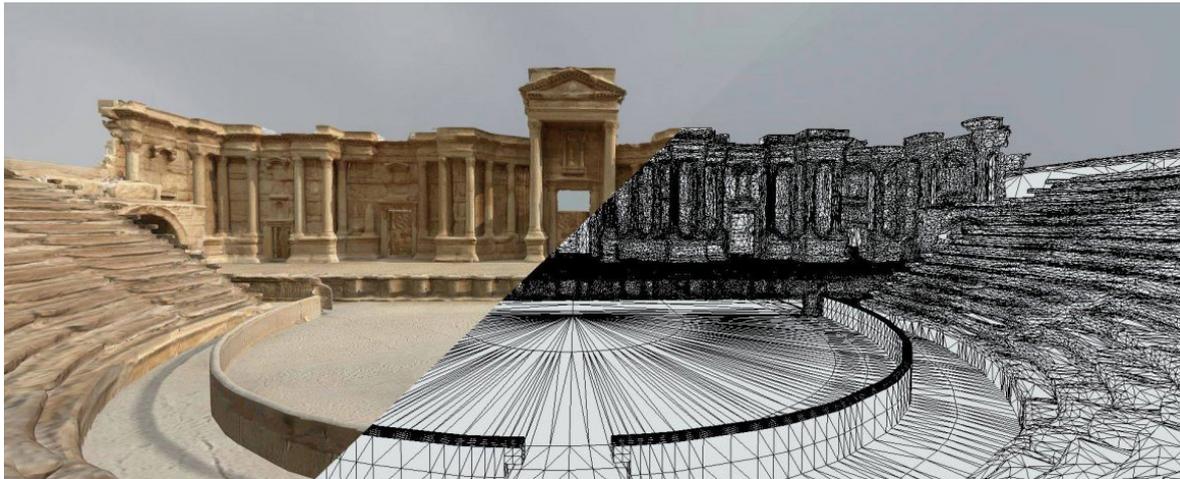


Fig. 25
Ricostruzione del teatro romano a Palmyra

Palatino che il visitatore può visionare una volta indossato un visore.

The Arc/k Project è un'associazione di enti culturali, organizzazioni e professionisti la cui missione è la conservazione digitale e la protezione del patrimonio culturale mondiale da guerre, cambiamenti climatici e vandalismo. *Perpetuity* è un progetto lanciato nel 2016 terminato con la ricostruzione digitale di alcuni edifici appartenenti al sito archeologico di *Palmyra* in Siria (vedi fig. 25) distrutto dai numerosi attacchi ISIS. La tecnica della fotogrammetria (vedi fig. 26) è stata utilizzata per generare i modelli tridimensionali a partire da foto precedentemente scattate sul posto.

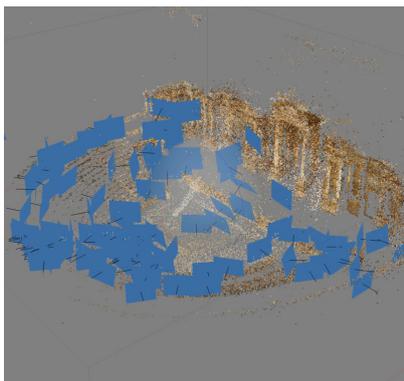


Fig. 26
Fotogrammetria e nuvola di punti del teatro romano a Palmyra

Nel 2017 la University of Central Lancashire ha sviluppato il progetto *Unraveling the Gordian Knot: Integrating Advanced Portable Technologies into the Analysis of Rock Art Superimposition* che concerne la ricostruzione dei siti archeologici *Pleito* e *Cache Cave*, due siti rupestri preistorici situati nella riserva *Wind Wolves Preserve* in California.

Il sito di *Pleito* (vedi fig. 27) conserva magnifici

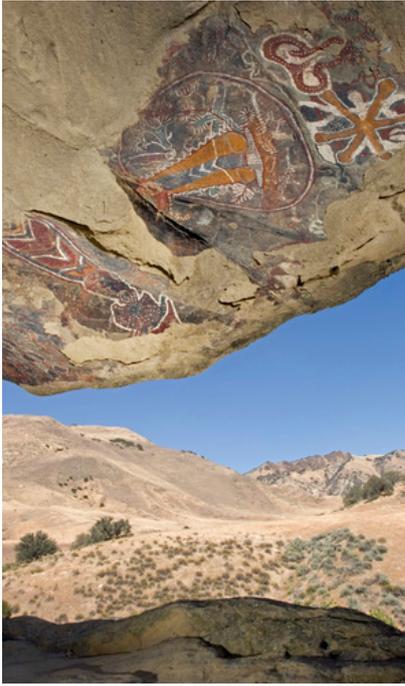


Fig. 27
Dipinti rupestri nel sito archeologico di Pleito

dipinti rupestri mentre nella grotta *Cache Cave* sono stati ritrovati numerosi reperti: entrambi i siti sono luoghi di grande importanza culturale per le comunità locali dei nativi americani, specialmente la tribù *Tejon*.

La ricostruzione digitale ha permesso di conservare e dare accesso ai reperti e ai siti archeologici senza che vengano deturpati: entrambe le caverne, per la loro morfologia e per il materiale di cui sono costituite, roccia arenaria, sono fragili e di difficile accesso.

Il modello tridimensionale del sito archeologico è stato ottenuto grazie alla tecnica della fotogrammetria e specialmente per la realizzazione del sito di *Pleito* è stata utilizzata la tecnica *DStretch* che permette di visualizzare la “*superimposition*” che caratterizza le pareti della caverna, ovvero la sovrapposizione degli strati di colore dipinti.

Il progetto è frutto della collaborazione tra Arts & Humanities Research Council, la California State University e la University of Strathclyde.



Fig. 28
3D Environment della città di Oia

VIRTUALDiver è un progetto in cui concorrono realtà virtuale e aumentata per la condivisione del patrimonio sommerso della civiltà greca nel Mar Mediterraneo.

L'utente, una volta indossato il visore, ha a disposizione una mappa interattiva in cui sono indicati dei punti di interesse, sia su terraferma che sommersi, indicanti ricostruzioni di 3D *Environments* ritraenti centri abitati esplorabili, dell'isola di Santorini (vedi fig. 28), o reperti abissati (vedi fig. 29).

Il progetto è stato condotto dall'omonimo team nel 2020 e la squadra si è avvalsa della tecnica della fotogrammetria, utilizzando sia droni che strumenti subacquei, per la modellazione e rappresentazione dei reperti e delle località.



Fig. 29
Diver Mode e interazione dell'utente con un modello 3D



Fig. 30

Frame dell'esperienza VR con la ricostruzione del tempio e della statua

Nel 2022 il Cleveland Museum of Art in Ohio ha allestito la mostra *Revealing Krishna: Journey to Cambodia's Sacred Mountain* in cui AR e VR si uniscono per creare un'esperienza immersiva alla scoperta del reperto statuario e del sito archeologico di provenienza (vedi fig. 16).

La statua in questione rappresenta la divinità bambino *Krishna* intento a sostenere, secondo la mitologia locale, il monte *Govardhan* per proteggere la città *Phnom Da* dalla distruzione. Il visitatore è guidato dalla voce della divinità a muoversi nella sala e scoprire tramite l'uso di *HoloLens*, visori specifici per la realtà mista, le proiezioni digitali che raccontano il mito, la storia del ritrovamento e dell'assemblaggio dei frammenti statuari; al termine dell'esperienza il visitatore entra all'interno del tempio virtuale scavato nella roccia dove gli studiosi pensano fosse originariamente collocata la statua.

Il progetto è frutto della collaborazione tra il Cleveland Museum of Art, il National Museum of Cambodia, l'École française d'Extrême-Orient, il Musée national des arts asiatiques-Guimet e il centro interdisciplinare dello sviluppo di realtà mista Interactive Commons interno alla Case Western Reserve University.

Capitolo 4 /

La ricerca e l'analisi del contesto, geografico, storico-culturale e religioso, in cui si inserisce l'edificio templare ricostruito è stata la fase iniziale che ha dato il via al percorso progettuale.

17 Badawy A. (1968). *A history of Egyptian Architecture: the Empire (the New Kingdom)*. Berkeley e Los Angeles: University of California Press.

Le informazioni prese a riferimento provengono dalle numerose fonti bibliografiche scelte come il volume *A history of Egyptian Architecture: the Empire (the New Kingdom)*¹⁷ dell'autore *Badawy Alexander* che descrive il periodo storico analizzato e le annotazioni risalenti ai diversi scavi e alle campagne di restauro condotti nel passato.

Tra queste, le note dello scultore francese e pioniere nella ricerca di antichità in Egitto *Jean-Jacques Rifaud*, che effettua importanti scavi nel sito archeologico del tempio di Ptah per conto del console francese Bernardino Drovetti dal 1816 al 1823, dell'egittologo *Georges Legrain*, che alla fine del XIX secolo in occasione di una campagna di scavi ritrova la sola statua della dea *Sekhmet* in situ nella cappella meridionale del tempio, e dell'ente Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak CFEETK che tra il 2008 e il 2013 ha condotto un'intensa campagna di scavi e restauro del sito.

18 Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Nel dettaglio, nel 2008 viene avviato il programma MAE-CNRS USR 3172 teso alla documentazione dell'intero materiale epigrafico del tempio e della copertura fotografica completa¹⁸ (utilizzata nella fase di modellazione ricostruttiva descritta nel capitolo L'esperienza di Realtà Virtuale), fasi realizzate principalmente al termine di una campagna di restauro e conservazione conclusasi nel 2013.

4.1 Contesto geografico e storico-culturale



Fig. 31
Veduta dall'alto del complesso templare di Amon a Karnak

Nel corso del programma sopracitato sono stati trovati numerosi blocchi di pietra a completamento delle pareti del tempio e delle porte di cinta e ove possibile sono stati reintegrati nella muratura.

Il sito archeologico preso in esame risale al Nuovo Regno, un periodo storico altrimenti chiamato Impero¹⁷: in quest'epoca, infatti, la potenza e la cultura del regno egizio si insediano in numerosi territori, grazie specialmente alle numerose campagne di espansione.

Al tempo stesso, l'Egitto si arricchisce di nuovi materiali, difficili da reperire altrimenti, come il turchese o il rame: questa ricchezza si traduce in una vasta produzione di oggetti per il mobilio, gioielli e obelischi o statue che riempiono le strade del Nuovo Regno.

Il faraone, denominato figlio di *Amon* per la discendenza divina, è il comandante dell'esercito e il capo dello stato, coadiuvato da due ministri, in arabo vizier. Un'altra figura molto potente all'epoca, seconda al faraone, è l'alto sacerdote di *Amon* a Tebe.

In generale si assiste alla diffusione di nuove tipologie di templi non solo nella capitale ma anche in luoghi periferici. I templi, la cui architettura grandiosa aveva lo scopo di fare propaganda reale e guadagnare popolarità, consistono in grandi complessi di cui fanno parte diversi edifici come le residenze dei sacerdoti, i refettori, le cappelle o granai, magazzini e stalle. Il complesso è un vero e proprio centro cittadino: statue e obelischi di dimensioni gigantesche sono distribuiti nello spazio, le strade di

collegamento sono ampie e trafficate e tutti gli elementi architettonici, oltre ad essere ricoperti da bassorilievi, sono dipinti con colori sgargianti.

Il complesso di *Amon* a *Karnak* (vedi fig. 31), di cui fa parte il tempio di *Ptah* esaminato, ne è un esempio.

Il complesso di *Karnak*, la cui costruzione risale al Medio Regno e si spinge fino all'età tolemaica, costituiva assieme al complesso di Luxor il centro religioso dell'antica Tebe (vedi fig. 32). *El Karnak* è un termine originario della lingua araba dell'Alto Egitto dal significato "villaggio fortificato".

Del complesso fanno parte il grande tempio di *Amon-Ra*, il vicino tempio di *Mut*, consorte della divinità *Amon*, il tempio dedicato al figlio della coppia divina *Khonsu* e altri templi minori (vedi fig. 33).

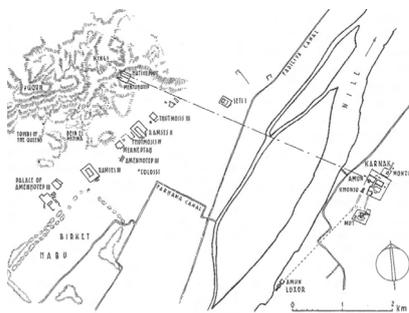


Fig. 32
Distretto Tebano

All'interno del complesso è presente un bacino d'acqua dolce, il lago sacro, e in occasione di feste religiose delle imbarcazioni venivano varate sull'acqua e i sacerdoti usavano quell'acqua per l'abluzione quotidiana.

Sparse per il complesso si trovano crio-sfini dalla testa a forma di ariete, la forma animale di *Amon*, che guidavano il visitatore da un tempio all'altro (vedi fig. 34).

L'ingresso principale del complesso assume la forma di pilone, una struttura architettonica attestata dal Medio Regno, che consiste in due grandi torri di sezione rettangolare e la facciata ricoperta da bassorilievi.



Fig. 33
Pianta del complesso templare di *Karnak* ed il tempio di *Ptah* evidenziato nel riquadro rosso



Fig. 34
Ingresso principale al complesso di Karnak e al Grande tempio di *Amon*

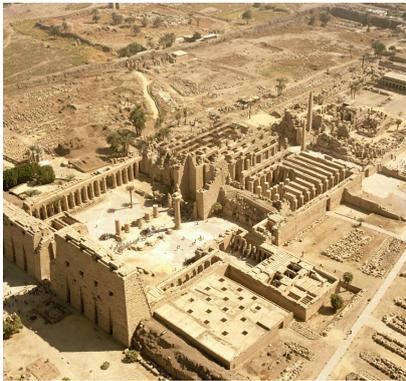


Fig. 35
Vista dall'alto del Grande tempio di *Amon*

Procedendo verso il tempio di *Amon* il visitatore attraversa due piloni, la sala ipostila, sorretta da colonne alte ventuno metri e ampiamente decorate, ed infine giunge nel santuario (vedi fig. 35).

A nord del complesso si trova il tempio di *Ptah* (vedi fig. 36), costruito in pietra arenaria per volere di *Tutmosi III* (vedi fig. 37) e adiacente all'ingresso nord della cinta templare ed è dedicato alla divinità di Menfi *Ptah*.

Da una stele ritrovata nel tempio di *Ptah* si legge “(*Tutmosi III*) ha trovato questo tempio costruito in mattoni, le sue colonne ed ingresso in legno in rovina”¹⁹.

Questo ritrovamento conferma che il tempio di *Ptah* sorge su delle preesistenze anteriori alla XVIII dinastia, l'epoca in cui *Tutmosi III* regnò.

Il tempio presenta una struttura tripartita, tipica delle abitazioni o palazzi del tempo, costituita dal vestibolo, la sala ipostila e il santuario (vedi fig. 38): il procedere verso l'interno del tempio, attraverso un corridoio processionale, è sempre più privato e meno illuminato, preparando

¹⁹ Björkman G. (1971). The Ptah temple. Acta Universitatis Upsalensis (a cura di). In *Kings at Karnak: a study of the treatment of the monuments of royal predecessors in the early new kingdom*, pp. 93-95. Uppsala: Acta Universitatis Upsalensis.

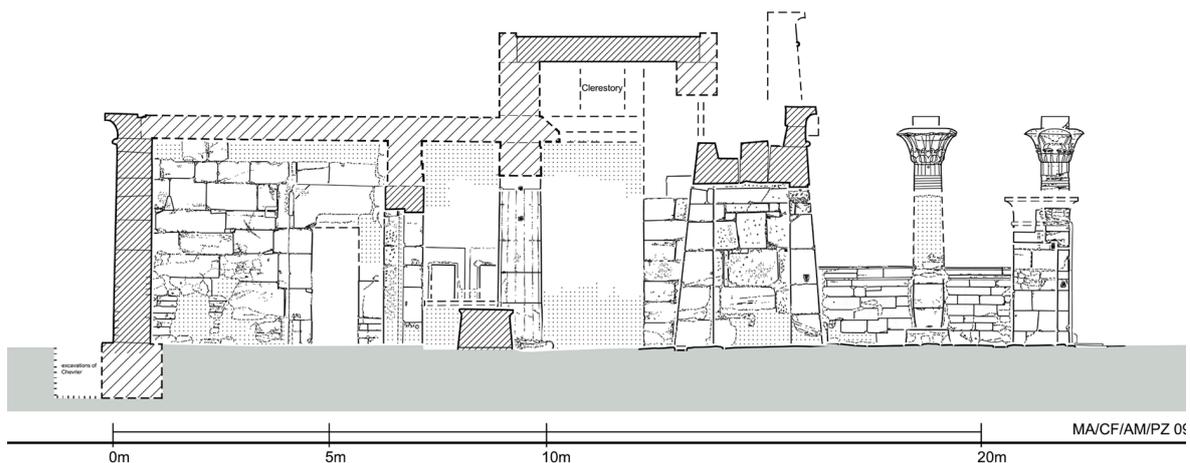


Fig. 38
Sezione longitudinale del tempio di *Ptah*

il visitatore ad entrare nel luogo più sacro dell'edificio dove soltanto alcuni potevano accedere.

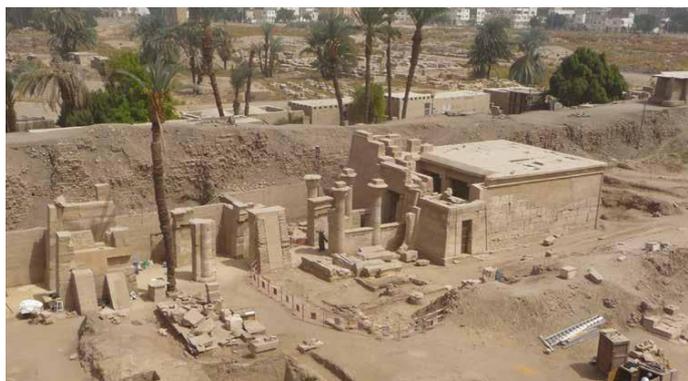


Fig. 36
Tempio di *Ptah*



Fig. 37
Statua ritraente il faraone *Tutmosi III* facente parte della collezione del Museo Egizio di Torino

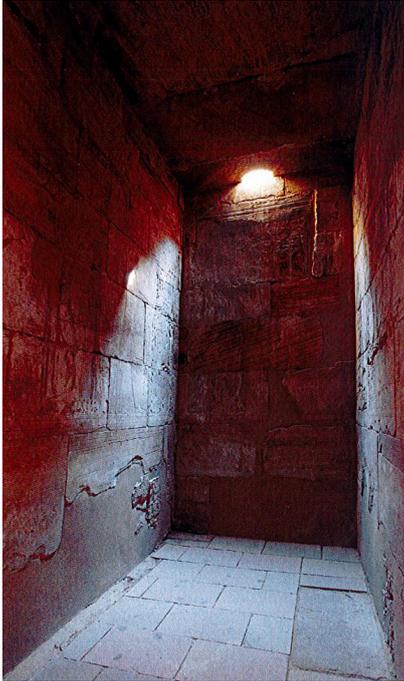


Fig. 39
Cappella settentrionale dedicata a
Ptah

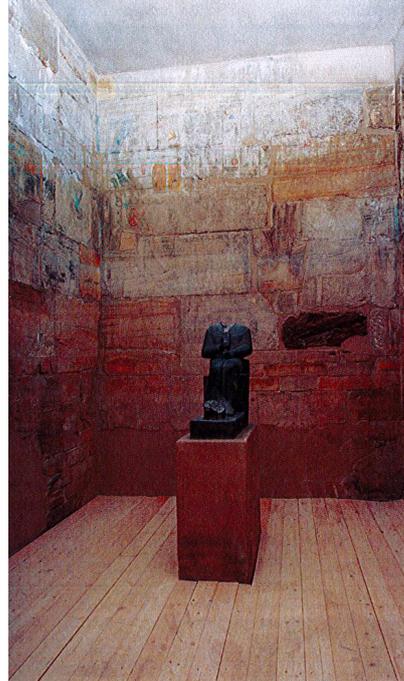


Fig. 40
Cappella centrale dedicata ad *Amon*

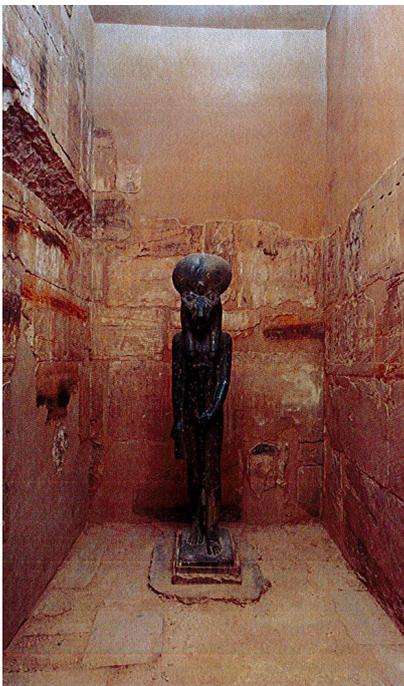


Fig. 41
Cappella meridionale dedicata ad
Hathor

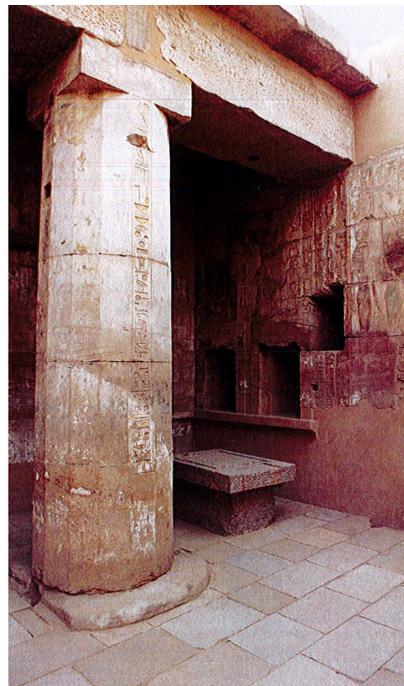


Fig. 42
Una delle due colonne presenti nella
corte del tempio

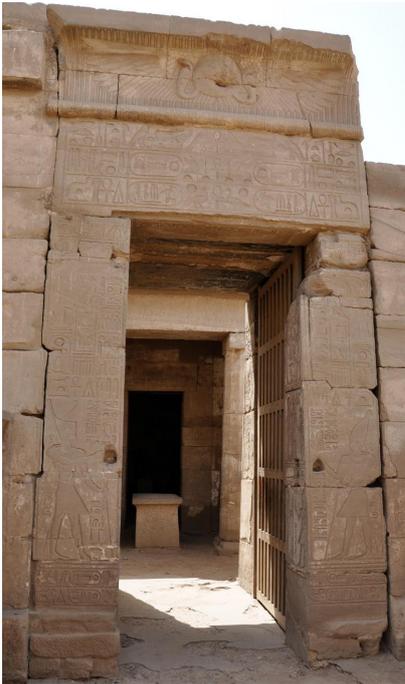


Fig. 43
Prospetto della porta F dal corridoio processionale

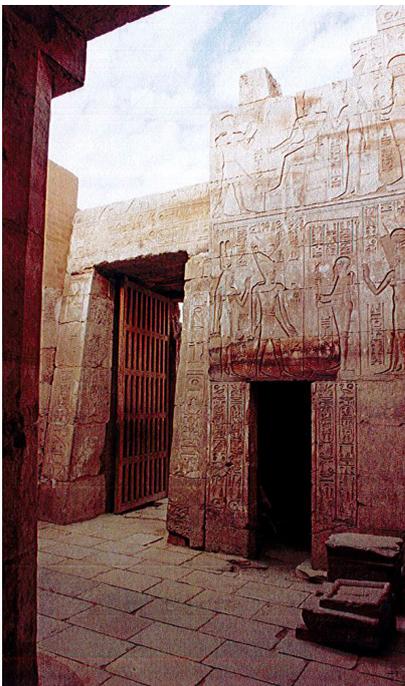


Fig. 44
Dettaglio della parte interna del tempio

²⁰ Cincotti S. (2013). Les fouilles dans le Musée: La collection Égyptienne de Turin et le fonds de Rifaud. In *Cahiers de Karnak*, n. 14, p. 284.

Sebbene la costruzione del tempio risalga alla XVIII dinastia, con il passare del tempo i faraoni che si susseguirono ampliarono l'edificio.

Il faraone *Tutmosi III*, il cui regno durò dal 1479 al 1425 a.C., fece costruire la parte centrale con le tre cappelle dedicate a *Ptah*, *Amon* e *Hathor*, rispettivamente la cappella nord (vedi fig. 39), centrale (vedi fig. 40) e sud (vedi fig. 41), le due colonne (vedi fig. 42) e il portale d'ingresso, la porta F (vedi fig. 43).

Nella cappella sud fu ritrovata la sola statua della dea *Sekhmet* presente oggi in situ: durante gli scavi condotti alla fine del XIX secolo da *Georges Legrain* venne ritrovata la statua in pezzi e riassembleta²⁰.

Nel periodo ramesside e più tardi nel periodo tolemaico venne completata la restante parte dell'edificio templare (vedi figg. 44, 45) e la facciata.

Il viale processionale che il visitatore percorre per accedere al tempio è costituito da sei portali in successione (vedi figg. 46, 47 e 48) decorati da bassorilievi ritraenti il faraone e le divinità connesse al tempio.

Durante il regno del faraone kushita *Shabaka*, tra il 716 e il 702 a.C., furono costruiti il secondo e quarto pilone, le porte B e D. Da entrambi i portali si ergono le pareti di un recinto murario che circondava il tempio di *Ptah* al tempo della XXV dinastia di cui oggi rimane solo una parte dell'alzato (vedi capitolo Obiettivo del progetto). Durante la XXX dinastia, dal 380 al 342 a.C., il recinto del complesso templare di *Amon* fu spostato per includere al suo interno il tempio di *Ptah*, fino ad allora oltre le mura di *Karnak*. Le ultime modifiche alla struttura del tempio furono apportate durante i regni di *Tolomeo III Evergete* e *Tolomeo IV Filopatore*, dal 246 al 204 a.C., che aggiunsero gli ultimi piloni rimanenti, le porte A, C ed E, e il chiosco dalle quattro colonne prospicienti l'ingresso (vedi fig. 49). Così come per il secondo e quarto pilone, anche dal primo pilone, la porta A, si ergeva una parete facente parte del recinto del tempio, anch'essa non pervenutaci.



Fig. 45
Dettaglio della scalinata



Fig. 46
Vista sul corridoio processionale dalla porta A



Fig. 47
Vista sul corridoio processionale dalla porta C

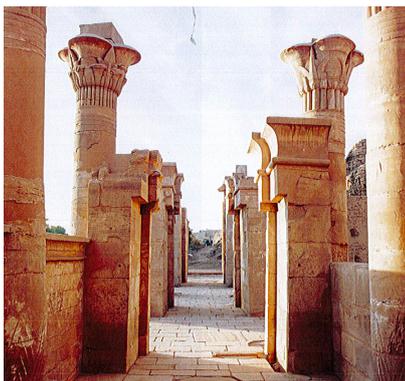


Fig. 48
Vista sul corridoio processionale dalla porta F



Fig. 49
Chiosco con le quattro colonne prospiciente l'ingresso del tempio di *Ptah*

4.1 Contesto religioso



Fig. 50
Statua ritraente la divinità femminile Hathor facente parte della collezione del Museo Egizio di Torino



Fig. 51
Statua ritraente la divinità maschile Ptah facente parte della collezione del Museo Egizio di Torino

Durante il Nuovo Regno nel pantheon egizio spicca fra tutti la divinità principale, Amon, promossa dal faraone Amenemhat I quattro secoli prima¹⁷.

Durante il governo di Akhenaton, letteralmente “colui che giova Aton”, dal 1353 al 1336 a.C., la figura del dio Amon viene sostituita dal culto del disco solare Aton e la capitale del regno si sposta nell’odierna Amarna, antica Akhetaton “orizzonte di Aton”; per la fine della XX dinastia il culto ritorna ad Amon-Ra e Tebe, nome greco della città egizia Uaset, diventa uno dei più importanti centri religiosi della civiltà egizia durante il Nuovo Regno tanto che la XXI dinastia viene fondata dagli alti sacerdoti di Amon, dio protettore della città.

Al nome di Amon-Ra è associato il dio sole, il creatore, mentre la sua consorte Mut è assimilata a Hathor (vedi fig. 50), Sekhmet, l’Occhio del Sole, la figlia-madre dell’astro demiurgo.

Il tempio minore di Ptah è dedicato all’omonima divinità di Menfi (vedi fig. 51). Protettore di artigiani, artisti e scultori, Ptah è un dio creatore e secondo la teologia menfita tutto ciò che esiste al mondo ha preso vita perché pensato e nominato da lui. Nei geroglifici egli è rappresentato in forma umana (vedi fig. 52), mummificato, porta una barba posticcia, indossa un copricapo e stringe tra le mani lo scettro was, simbolo del potere divino e della connessione tra cielo e terra, combinato al pilastro djed, simbolo di stabilità, e al segno ankh, simbolo della vita.



Fig. 52
Geroglifico presente sulla parete destra della corte del tempio di Ptah ritraente (da destra) Amon, Ptah, Khonsu, Mut e Hathor



Fig. 53
Statue C. 255, 257 e 265 ritraenti la divinità femminile Sekhmet di profilo facenti parte della collezione del Museo Egizio di Torino

La consorte Sekhmet (vedi fig. 53), il cui nome significa “la Potente”, è una dea solare, figlia di Ra e protettrice dei guaritori e dei medici sacerdoti.

É rappresentata con il corpo da donna e la testa leonina, indossa il disco solare con l’ureo e nelle mani regge il simbolo della vita ankh e lo scettro uadj, che rappresenta lo stelo e il fiore di papiro.

La dea Sekhmet è spesso associata e connessa ad altre divinità, tra cui Hathor, Mut, divinità a cui è dedicato un altro tempio minore facente parte del complesso di Karnak, e Bastet. Secondo il mito della distruzione dell’umanità riportato nel libro della Vacca Celeste, testo funerario risalente al Nuovo Regno, Sekhmet viene mandata dal padre Ra a massacrare gli uomini che si sono ribellati al dio.

Assetata di sangue e in preda a una furia distruttiva, Sekhmet arriva quasi a sterminare l’umanità. Per riuscire a pacificarla, Ra la induce a bere della birra tinta di rosso; credendola sangue se ne ubriaca e si addormenta, risvegliandosi come Bastet, divinità connessa alla rinascita e all’inondazione benefattrice del Nilo.

Un rito quotidiano che veniva celebrato per esorcizzare la potenza sterminatrice della dea leonina era il sehetep Sekhmet, letteralmente “tranquillizzare la Potente”: la dea veniva invocata recitando l’epiteto inciso sulla statua che la ritraeva e cantando una preghiera. In tal modo la dea diventava hetep, “soddisfatta, in pace”.

Capitolo 5 /

L'esperienza è stata progettata per essere vissuta all'interno dell'edificio museale ma non per questo necessita di ambienti aperti e navigabili: come verrà spiegato più avanti, l'utente è in grado di muoversi all'interno della ricostruzione digitale attraverso un meccanismo di teletrasporto che gli permette di occupare una posizione fissa nello spazio.

La scelta è ricaduta su un'esperienza di realtà virtuale una volta prese in considerazione le numerose potenzialità di questa tecnologia.

Con una realtà virtuale e indossabile l'utente è immerso in un'ambientazione ricostruita e la sua attenzione, cognitiva e sensoriale, è indirizzata alla sola proiezione del mondo digitale.

In più, attraverso un processo di ricostruzione digitale è possibile avere pieno controllo sulla fase di creazione e far sì che il modello 3D finale sia una sintesi il più verosimile possibile del mondo reale.

Nelle fasi di creazione e valutazione dell'esperienza prototipata è stato utilizzato il visore Oculus Meta Quest 2, prodotto e distribuito dall'azienda statunitense Meta Platforms.

Meta Quest 2 e in generale i cosiddetti head-mounted displays sono dei visori indossabili in grado di restituire sullo schermo un'immagine stereoscopica tridimensionale.

In aggiunta, il sistema del visore selezionato adopera il riconoscimento e tracciamento dei controller: ciò permette all'utente di visualizzare la direzione verso la quale si sta dirigendo durante l'esperienza.

5.1 Analisi delle fasi di progettazione

Il processo progettuale è iniziato dalla raccolta e analisi dei documenti inerenti alla storia del sito archeologico, il tempio di *Ptah*, e il relativo contesto storico e geografico.

In questa fase di ricerca è stato fondamentale il supporto del Museo Egizio ed in particolare di Davide Mezzino, componente dell'Area Progetti, Sviluppo e Fondi europei, e i curatori Johannes Auenmüller e Martina Terzoli che hanno fornito un utile contributo riguardo i rapporti dimensionali dell'edificio, la storia degli scavi archeologici nel sito e un supporto professionale alla formulazione delle ipotesi della collocazione delle statue rispetto alla datazione degli elementi del tempio.

Grazie alle informazioni ricevute si è proceduto alla modellazione tridimensionale del tempio, realizzata con il software Rhinoceros e alla successiva creazione dei materiali e applicazione delle textures, entrambe le fasi realizzate con il software Blender.

La parte finale della progettazione ha compreso invece lo sviluppo dell'esperienza VR che è stata possibile grazie al supporto tecnico di VR@POLITO e al laboratorio di ricerca GRAINS interno al Dipartimento DAUIN.

Per quest'ultima fase sono stati utilizzati i software Unity e il plug-in di visual scripting Bolt, la piattaforma GitHub, per quanto riguarda l'upload e la condivisione del file, e le applicazioni Oculus e Steam VR utili al lancio dell'esperienza una volta accoppiate al visore.

5.1.1 Modellazione

18 Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.



Fig. 54
Modellazione 3D a partire dai prospetti riportati nel volume

Rhinoceros è un software di modellazione tridimensionale ed è stato utilizzato per la ricostruzione digitale del tempio a partire da delle primitive, cioè geometrie elementari.

Il primo passo previa la modellazione è stato reperire le dimensioni reali del tempio attraverso la consultazione dei volumi I e II de *Le temple de Ptah à Karnak* degli autori Sébastien Biston-Moulin e Christophe Thiers¹⁸. Nei volumi indicati sono infatti riportati i prospetti degli elementi strutturali del tempio.

Tra questi sono stati utilizzati circa quaranta prospetti fotografici, volume II, recanti una scala grafica di 1:50 cm e con la stessa scala grafica trenta prospetti illustrati, volume I.

Per rendere gli elementi del tempio proporzionali tra loro rispetto al vero e per ovviare alle discrepanze dimensionali talvolta espressa nei prospetti sono state altresì utili le foto scattate in situ, secondo diverse angolazioni e punti di vista nel tempio, riportate nel volume I.

Per avere una visione complessiva dello spazio occupato dal tempio sono state prese a riferimento due piante, entrambe presenti nel volume I, una raffigurante il complesso templare per intero mancante di scala dimensionale, l'altra specifica al sito analizzato, il tempio di Ptah, con una scala grafica 1:50 m.

Alcune parti del tempio come la facciata e i capitelli delle colonne facenti parte del chiosco prospiciente l'ingresso, sono state modellate a partire dall'osservazione e analisi di foto scattate nel sito reperite nelle fonti bibliografiche che erano lacunose rispetto alle scale dimensionali.

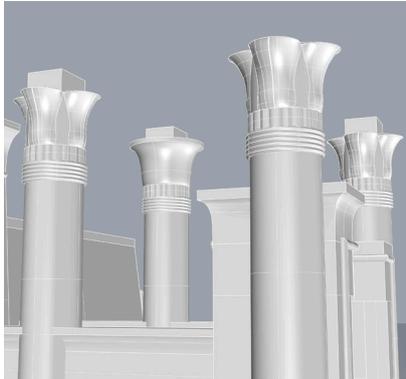


Fig. 55
Modellazione dei capitelli

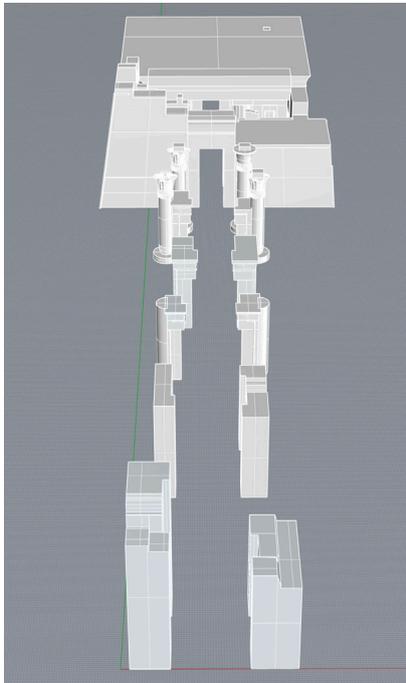


Fig. 56
Modellazione terminata con Rhinoceros

Sul software Rhinoceros l'area di lavoro è stata impostata secondo una scala reale, con dimensioni in centimetri e partendo dalla sovrapposizione dei prospetti frontali e laterali degli elementi del tempio (vedi fig. 54) sono state estruse geometrie parallelepipedo con l'eccezione dei capitelli delle colonne del chiosco (vedi fig. 55), prospicienti l'ingresso al tempio, che, consistendo in forme più organiche, sono stati modellati con gli strumenti superficie da una rete di curve e mirror.

Alla fine della modellazione si è proceduto a realizzare gli elementi decorativi del tempio come le modanature presenti sui portali d'ingresso e sulla facciata del tempio.

Se la modellazione del tempio è stata realizzata con il software Rhinoceros, la modellazione dell'ambiente circostante, compresa la parte restante degli edifici del complesso templare di *Karnak* ed elementi come le dune di sabbia, è stata realizzata con il software Blender per il miglior controllo in fase di modellazione sui vertici, gli spigoli e le facce delle geometrie che offre il programma.

Infine, il file è stato esportato nel formato .obj per poterlo aprire successivamente con il software Blender (vedi fig. 56).

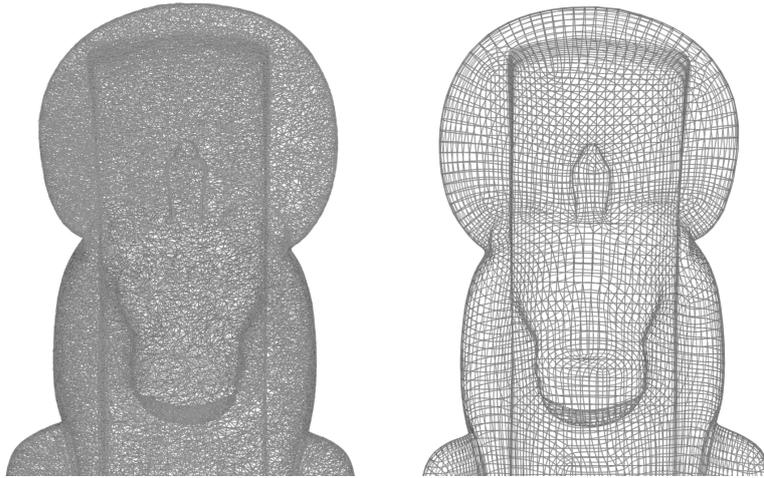


Fig. 57
Esempio di retopology sulle statue della dea Sekhmet

5.1.2 Applicazione textures

Blender è un software utile alla modellazione, renderizzazione e animazione tridimensionale.

Una volta importato il file si è proceduto a smussare le geometrie, utilizzando il modificatore bevel, e alla fase di *retopology*. La *retopology* è un processo di semplificazione della topologia di una mesh ad alta risoluzione con l'obiettivo di rendere la geometria più pulita e più facile da modificare (vedi fig. 57). Per questa fase è stato usato l'add-on Quadremesher prodotto dall'azienda Exoside.

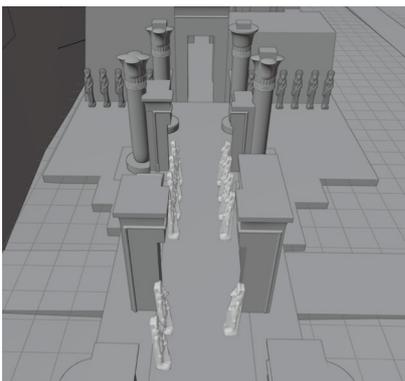


Fig. 59
Disposizione statue della dea Sekhmet (evidenziate in bianco e nero)

Successivamente sono state ricreate le textures a partire dai prospetti degli elementi del tempio riportati nel volume *Le temple de Ptah a Karnak* precedentemente citato: una volta salvate in formato .png, con la risoluzione massima possibile, sia le *colour maps* che le *normal maps* sono state applicate alle mesh tramite il comando *UV unwrapping* (vedi fig. 58).

I modelli delle statue della dea *Sekhmet*, realizzati dal Museo Egizio grazie alla tecnica della fotogrammetria, sono stati inseriti all'interno del progetto e posizionati secondo le due disposizioni ipotizzate (vedi fig. 59).



Fig. 58
Render del tempio con textures assegnate

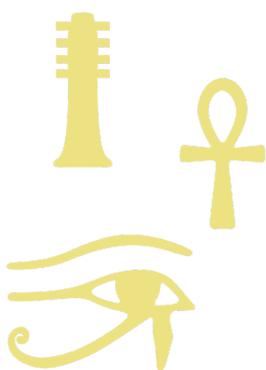


Fig. 60
Render icone di interesse

I quattro punti di interesse posizionati sulla pavimentazione del tempio sono stati modellati sul software Blender a partire da immagini di riferimento (vedi fig. 60).

L'ultima modellazione ha riguardato il *reticle* cioè una traccia geometrica cilindrica per evidenziare la posizione finale dell'utente dopo il teletrasporto, di cui si parlerà successivamente. Sia ai punti di interesse che al *reticle* è stato assegnato un materiale che riprende il pantone del logo del Museo Egizio (vedi fig. 61).

5.1.3 Sviluppo dell'esperienza



Codice HEX #FDCC02

Fig. 61
Logo del museo e riferimento al codice colore HEX

Grazie al supporto dei due tutor facenti parte del Laboratorio di ricerca GRAINS interno a VR@POLITO e al Dipartimento DAUIN del Politecnico, Davide Calandra e Gabriele Praticò, che hanno messo a disposizione un progetto includente settaggi e impostazioni utili alla realizzazione di un'esperienza VR, è stato possibile terminare l'ultima fase di lavoro con il software Unity versione 2021.3.6f1.

Unity è una game engine utile alla creazione e programmazione di videogiochi e altri contenuti interattivi. Una volta creato il progetto e inserito il modello in formato .blend si è proceduto alla programmazione dell'esperienza desiderata.

Per ovviare alla stesura di linee di codice nel linguaggio #C, è stato utilizzato lo strumento di visual scripting Bolt che permette di programmare interazioni e comportamenti tramite macchine stato o state machine.

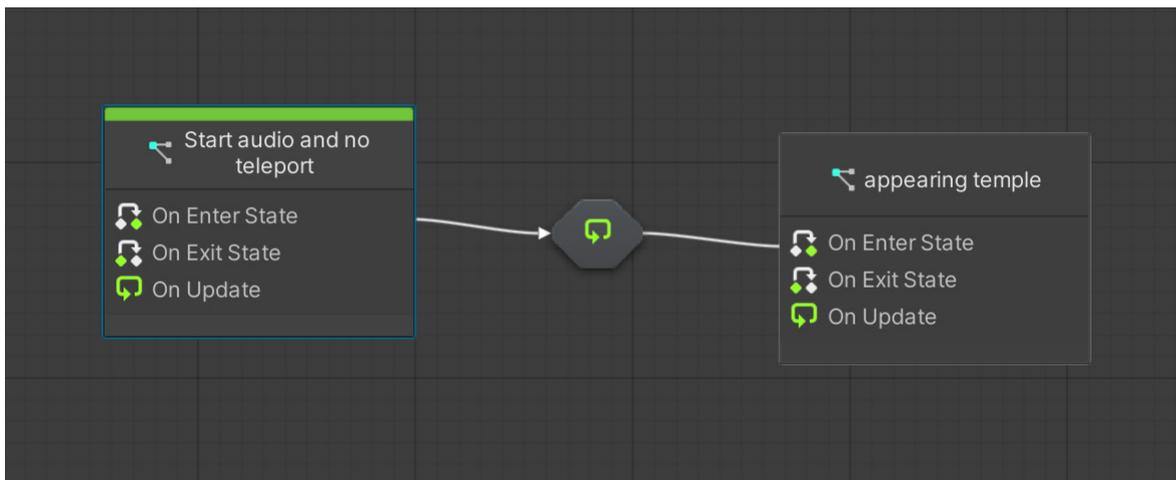


Fig. 62
TimeExperience State Machine

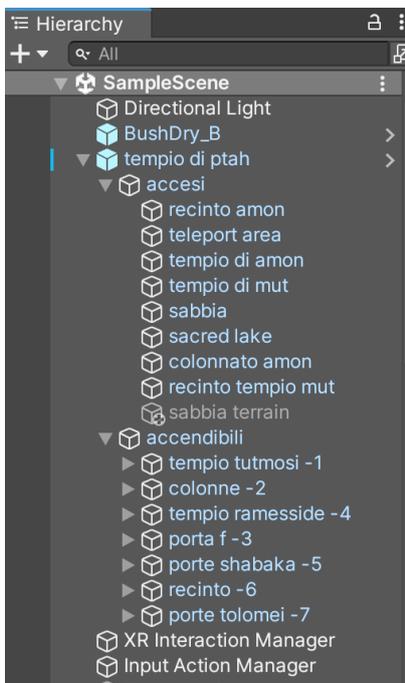


Fig. 63
Game Objects Empty “accesi” e “accendibili”

Una state machine contiene al suo interno diversi flow graph che dettano sia il comportamento di un oggetto in un dato momento che tempi e modi in cui questo comportamento cambierà. Altri concetti base sono le unità o nodes, elementi base di un grafo collegabili tra loro con serie di ingressi input o di uscita output e le variabili o variables cioè dei contenitori degli oggetti che desideriamo animare.

Per questo progetto sono state create tre macchine stato: due funzionali alla programmazione delle due esperienze di VR e la terza per controllare l’apertura o chiusura di una mappa del sito attraverso la pressione esercitata dall’utente su un tasto del controller.

Per il salvataggio delle numerose fasi di avanzamento del progetto è stata usata la piattaforma di hosting GitHub che tiene traccia delle versioni aggiornate del file permettendo di poterne recuperare le modifiche.

In ordine di apparizione delle interazioni vengono descritte le tre macchine stato realizzate.

Prima
state machine

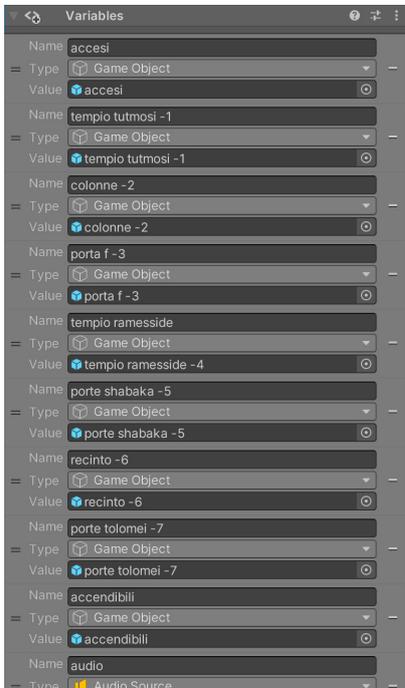


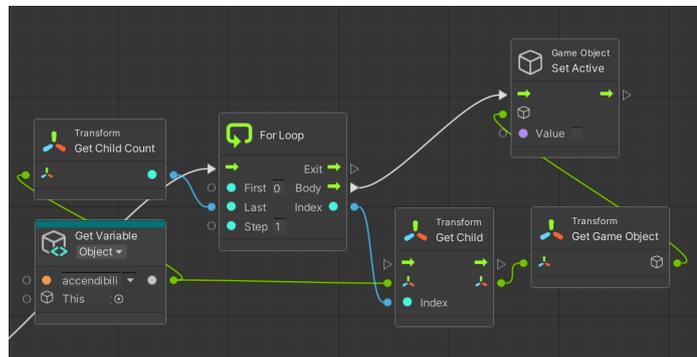
Fig. 64
Variables object del tempio

(vedi fig. 62) La prima interazione riguarda l'apparizione degli elementi architettonici del tempio in relazione alla loro datazione, man mano che una voce narra l'evoluzione dell'edificio nelle diverse epoche storiche.

Le parti del tempio accomunate dalla medesima datazione sono state raggruppate (vedi fig. 63, 64) e imparentate sotto diversi *game object empty* e allora volta imparentati sotto un unico *game object empty* "accendibili"; gli oggetti di scena, come il terreno o gli altri edifici templari circostanti, sono stati raggruppati sotto il *game object empty* "accesi" poiché non devono essere mai spenti.

Le icone indicanti i punti di interesse, le statue della dea *Sekhmet* e gli oggetti del tempio sotto il *parent* "accendibili" sono stati resi inattivi, cioè non visibili su schermo, attraverso il nodo *set active* con *input boolean false* (vedi fig. 65).

Fig. 65
Dettaglio del nodo *For Loop* che associato al parent "accendibili" richiama tutte le sue *mesh child*



Al lancio dell'esperienza VR la prima delle quattro voci narranti introduce la storia dell'edificio e le istruzioni di movimento per il visitatore.

Nella transizione viene inserito il nodo Audio Source Is Playing connesso alla voce narrante d'introduzione e grazie al nodo branch si innesca lo stato successivo sia che l'audio sia on che off (vedi fig. 66).

Per far riapparire le parti del tempio nel momento in cui la voce narrante le cita è stata creata una variable object di tipo ListOfFloat che contenesse tante values quanti sono gli elementi nascosti da richiamare e per ciascuna sono stati indicati i secondi che devono trascorrere perché la mesh appaia (vedi fig. 67).

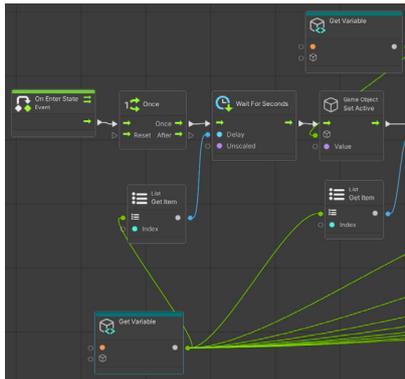


Fig. 67
Dettaglio dei nodi *List Get Item* e *Wait for Seconds*

Il tutto è stato inserito all'interno di una coroutine (vedi fig. 68) che permette di generare dei flussi di azioni asincrone.

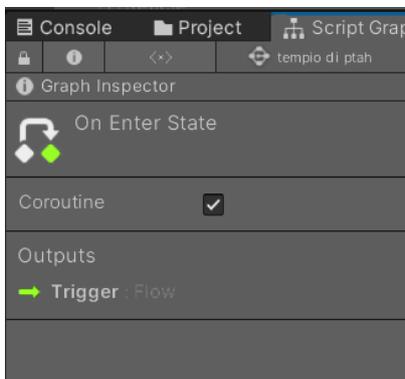


Fig. 68
Dettaglio dell'input *On Enter State* flaggato *coroutine*

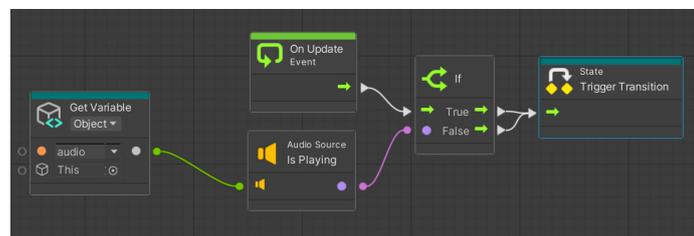


Fig. 66
Transizione della macchina stato *TimeExperience*

Di seguito si riporta il testo della voce narrante:

“

Eccoti! Ti trovi nell'antica Tebe e più precisamente sei di fronte al luogo dove sorge l'antico tempio di Ptah eretto all'interno del maestoso complesso templare di Amon a Karnak.

Principalmente, la costruzione del tempio di Ptah per come lo conosciamo oggi risale alla XVIII dinastia. Il faraone Tutmosi III, il cui regno durò dal 1479 al 1425 a.C., fece costruire la parte centrale con tre cappelle dedicate a Ptah, Amon e Hathor, le due colonne e il portale d'ingresso, la porta f.

Nel periodo ramesside, e più tardi nel periodo tolemaico, fu completato il cuore del tempio.

Per accedere all'edificio il visitatore percorre un viale processionale costituito da 6 portali in successione.

Come avrai sicuramente notato, la si distingue in zone dai toni più caldi e zone dai toni più freddi: ciò sta ad indicare rispettivamente la pavimentazione originaria e quella ricostruita. Durante il regno del faraone kushita Shabaka, tra il 716 e il 702 a.C., furono costruiti il secondo e quarto pilone. Da entrambi i portali si ergono le pareti di un recinto murario che circondava il tempio di Ptah al tempo della XXV dinastia: oggi della costruzione

rimane solo una parte dell'alzato, la restante parte è stata resa virtualmente semitrasparente per rappresentare quanto esistesse in precedenza.

Durante la XXX dinastia, dal 380 al 342 a.C., il recinto del complesso templare di Amon fu spostato per includere al suo interno il tempio di Ptah, fino ad allora oltre le mura di Karnak.

Le ultime modifiche alla struttura del tempio furono apportate durante i regni di Tolomeo III Evergete e Tolomeo IV Filopatore, dal 246 al 204 a.C., che aggiunsero gli ultimi piloni rimanenti e il chiosco dalle 4 colonne. Così come per il secondo e quarto pilone, anche dal primo pilone si ergeva una parete facente parte del recinto del tempio, anch'essa non pervenutaci.

Adesso che conosci la storia del Tempio di Ptah, vai alla scoperta della mitica figura della dea Sekhmet e della storia delle sue statue nel tempio. Premendo il grilletto del controller sinistro avrai a disposizione una mappa con cui vedere la posizione dei punti di interesse dove, una volta giunt*, una voce narrante ti fornirà ulteriori approfondimenti. Potrai muoverti per il tempio ovunque tu voglia, premendo il grip o tasto laterale di ambo i controller; raggiunto il punto di interesse il tuo movimento verrà

temporaneamente disabilitato ma non temere: quando la voce terminerà la sua spiegazione potrai riprendere a muoverti! Ogni volta che interagirai con un punto d'interesse appariranno le statue della dea Sekhmet secondo una delle due possibili disposizioni originarie: avrai tempo a sufficienza per esplorare da vicino e quando passerai al punto d'interesse successivo potrai osservare l'altra ipotetica disposizione!

”

Seconda state machine

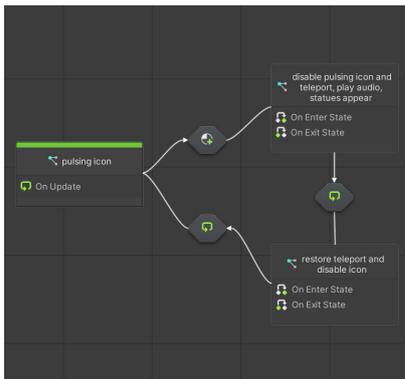


Fig. 69
IconState State Machine

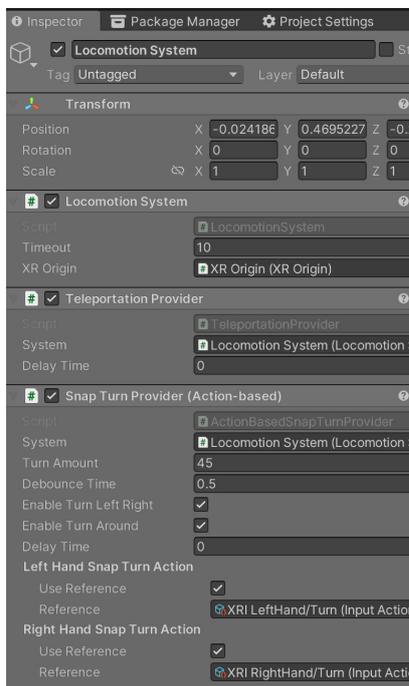


Fig. 70
Locomotion System Settings

(vedi fig. 69) Da questo momento in poi il visitatore è in grado di muoversi liberamente per il sito ricostruito attraverso il teletrasporto. Ciò è possibile grazie all'inserimento del locomotion system (vedi fig. 70) che associato all'XR origin e ai controller destro e sinistro permetterà all'utente di muoversi, alla creazione di una teleport area (vedi fig. 71), la sola superficie dove il movimento è consentito e in questo caso corrisponde alla pavimentazione del corridoio processionale e del tempio, e dei teleportation rays (vedi fig. 72) i raggi di proiezione del movimento del visitatore. All'interno delle impostazioni XRI Default Input Actions è stato settato come attivatore del teleport la pressione esercitata sul grip del controller, sia destro che sinistro (vedi fig. 73).

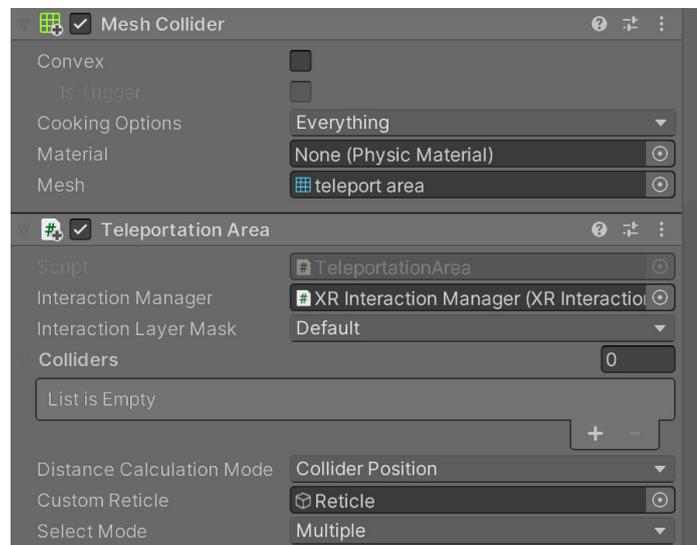


Fig. 71
Teleport Area Settings

La prima interazione consiste nella disattivazione della pulsazione di un'icona quando l'utente entra nell'area del collider ad essa associato. Il *collider* è un componente che viene assegnato ad un oggetto allo scopo di generare e controllare i fenomeni di collisione (vedi fig. 74).

Il primo stato consiste nel programmare l'animazione delle icone di interesse che corrisponde ad una pulsazione (vedi fig. 75). Viene messa in relazione la scala dell'oggetto, il nodo *Transform Set Local Scale*, e la formula matematica del seno, il nodo *Mathf Abs*, affinché le dimensioni dell'icona oscillino tra un valore massimo e uno minimo per ogni frame grazie al nodo di *input On Update Event* e *Time Get Realtime Since Startup*.

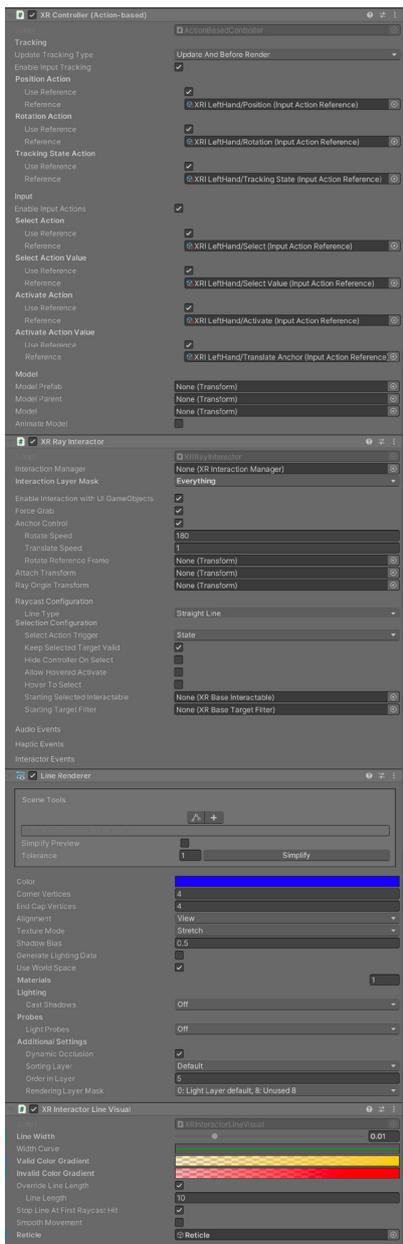


Fig. 72
Teleportation Rays Settings

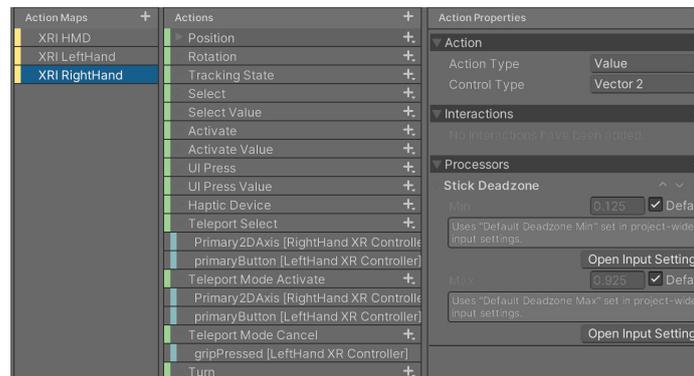


Fig. 73
XRI Default Input Actions Teleport Settings

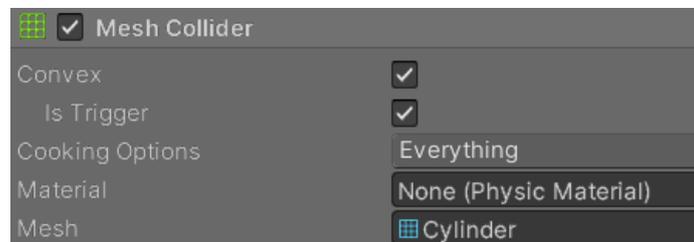


Fig. 74
Mesh Collider Settings

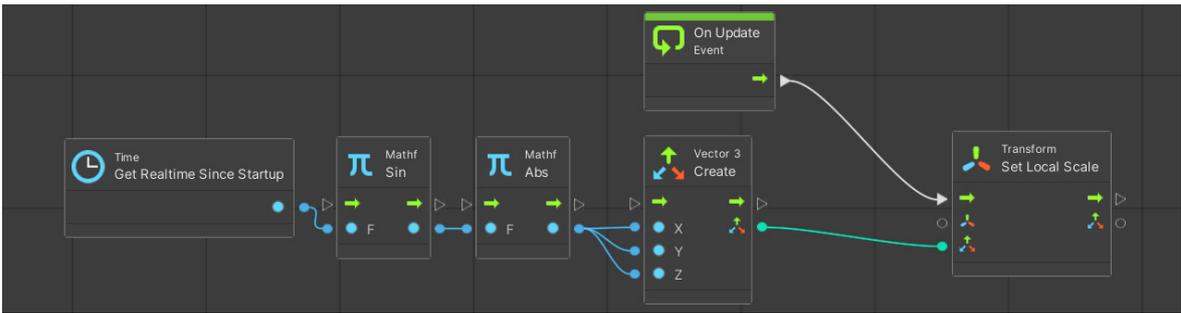


Fig. 75
Stato *Pulsing Icon*

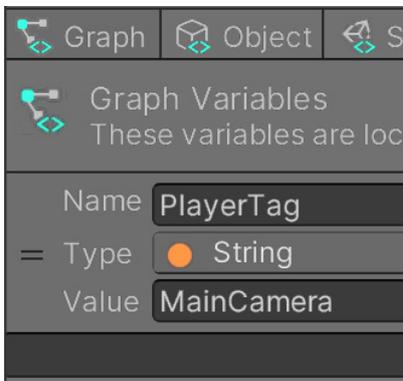


Fig. 76
Graph Variable *PlayerTag*

Quando l'utente, segnalato dal nodo *Game Object Compare Tag* e alla *Graph Variable Player Tag* (vedi fig. 76) in cui si richiama il tag assegnato alla *Main Camera*, entra in contatto con il collider grazie al nodo *OnTriggerEnter* (vedi fig. 77) viene innescata lo stato successivo che consiste nella simultanea attivazione di una seconda voce narrante, nella disabilitazione del teleport e dell'icona d'interesse e nella comparsa della prima ipotetica collocazione delle statue (vedi fig. 78).

Attraverso i nodi *Transform Set Local Scale* e *Vector 3* l'animazione dell'icona con cui l'utente interagisce è disattivata; con il nodo *Behaviour Set Enabled* viene richiamata la variabile di scena *locomotion* e resa inattiva, quindi il teletrasporto viene temporaneamente disabilitato.

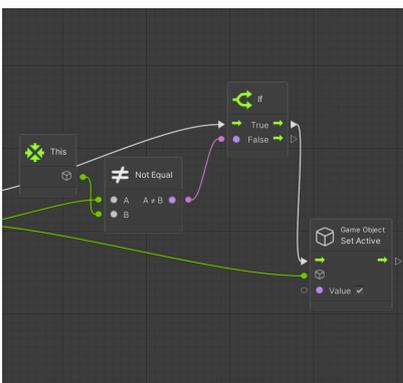


Fig. 78
Dettaglio sulla logica *Not Equal*

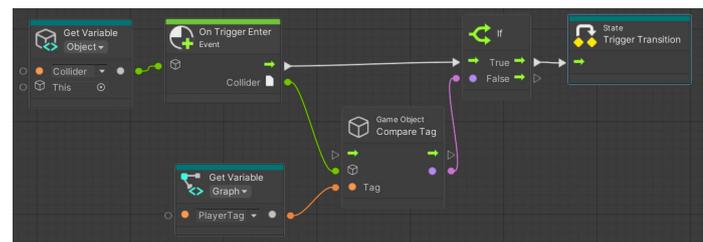


Fig. 77
Stato *On Trigger Enter*



Fig. 79
Object Variables StatueDaAbilitare e StatueDaDisabilitare

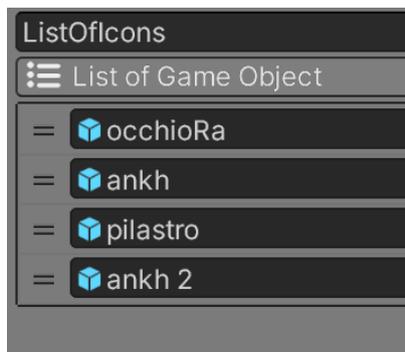


Fig. 80
ListOfIcons Scene Variable

Ogni icona ha delle proprie *variables object* come la propria *audio source* che riprodurrà una voce narrante, due variabili di tipo *Game Object* che raccolgono una la disposizione di statue da abilitare e l'altra la disposizione di statue da nascondere.

Quest'ultime vengono richiamate dal nodo *For Each Loop* che impartisce l'accensione della variabile *StatueDaAbilitare* e lo spegnimento della variabile *StatueDaDisabilitare* (vedi fig. 79) grazie al settaggio *true* o *false* della *value* di tipo *boolean*.

L'altra variabile *ListOfIcons* (vedi fig. 80), questa volta di tipo *scene*, è stata creata per permettere la riaccensione delle icone anche dopo la prima interazione, così da consentire al visitatore di riascoltare più volte la voce narrante.

È stato usato quindi lo stesso nodo *For Each Loop* che richiama le icone all'interno della variabile di tipo *scene List Of Game Object* e il nodo *Not Equal* che combina l'icona con cui l'utente interagisce con le altre icone dell'elenco e se questa disuguaglianza è vera viene settata l'accensione delle altre icone sparse nel tempio.

Attraverso la transizione (vedi fig. 81) si passa allo stato successiva per cui con lo spegnimento della voce narrante l'icona viene disattivata con il nodo *Game Object Set Active* connesso a *Transform Get Game Object* e *Transform Get Parent*, mentre l'animazione pulsing è settata a *true*, e il *teleport* viene nuovamente abilitato con il nodo *Mono Behaviour Set Enabled* flaggato *true* e connesso alla variabile *locomotion* (vedi fig. 82).

L'ultima transizione consiste nella chiusura di un loop per cui se la pulsazione dell'icona è settata *true* allora si innesca lo stato successivo ovvero lo stato iniziale della *state machine* (vedi fig. 83).

Fig. 81
Transizione *Audio Is Playing*

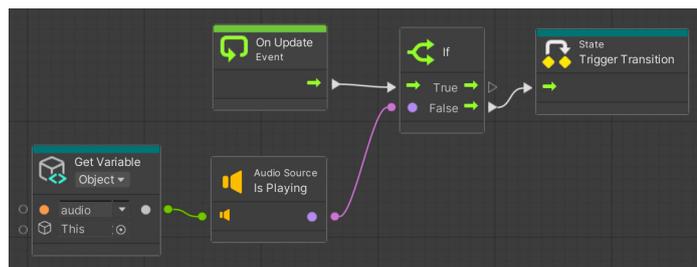


Fig. 82
Stato *Set Enabled Teleport e Game Object Set Active*

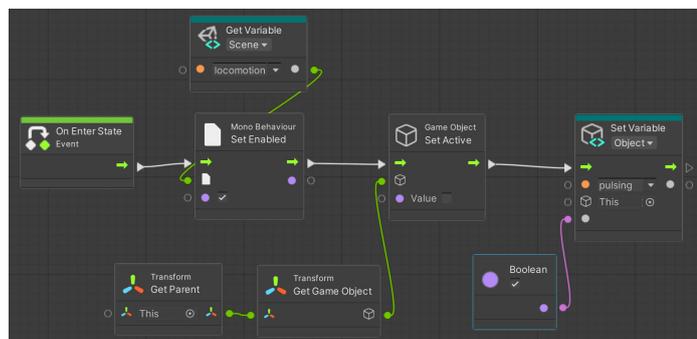
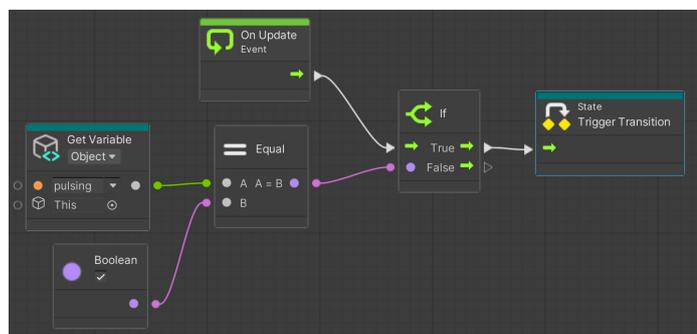


Fig. 83
Ultima Transizione *IconState State Machine*



Di seguito si riporta il testo delle voci narranti:

“

Questa che stai osservando è una delle due possibili disposizioni che le statue della dea Sekhmet potevano avere all'interno del tempio in cui ti trovi, quindi lungo il corridoio processionale a continuazione delle porte kushite b e d. Ptah insieme alla consorte Sekhmet e a Nefertem compone la triade divina della città di Menfi, capitale del Basso Egitto.

Protettore di artigiani, artisti e scultori, Ptah è un dio creatore. Secondo la teologia menfita tutto ciò che esiste al mondo ha preso vita perché pensato e nominato da lui. Egli è rappresentato in forma umana, mummificato, porta una barba posticcia, indossa un copricapo e stringe tra le mani lo scettro was, simbolo del potere divino e della connessione tra cielo e terra, combinato al pilastro djed, simbolo di stabilità, e al segno ankh, simbolo della vita.

La dea Sekhmet, “la Potente”, è una dea solare, figlia di Ra e protettrice dei guaritori e dei medici sacerdoti. È rappresentata con il corpo da donna e la testa leonina, indossa il disco solare con l'ureo e nelle mani regge il simbolo della vita ankh e lo scettro uadj, che rappresenta lo stelo e il fiore di papiro.

Sekhmet ha un carattere

ambivalente: una dea capace di portare distruzione ed epidemie, ma anche di guarire i malati.

Questa che stai osservando è una delle due possibili disposizioni che le statue della dea Sekhmet potevano avere all'interno del tempio in cui ti trovi, quindi lungo la facciata dell'edificio adiacenti al chiosco e all'ingresso dello stesso. La dea Sekhmet è spesso associata e connessa ad altre divinità, tra cui Hathor, Mut, e Bastet.

Secondo il mito della distruzione dell'umanità riportato nel libro della Vacca Celeste, Sekhmet viene mandata dal padre Ra a massacrare gli uomini che si sono ribellati al dio. Assetata di sangue e in preda a una furia distruttiva, Sekhmet arriva quasi a sterminare l'umanità. Per riuscire a pacificarla, Ra la induce a bere della birra tinta di rosso; credendola sangue se ne ubriaca e si addormenta, risvegliandosi come Bastet, divinità connessa alla rinascita e all'inondazione benefattrice del Nilo.

Un rito quotidiano che veniva celebrato per esorcizzare la potenza sterminatrice della dea leonina era il sehetep Sekhmet, letteralmente “tranquillizzare la Potente”: la dea veniva invocata recitando l'epiteto inciso sulla statua che la ritraeva e cantando

una preghiera. In tal modo la dea diventava hetep, “soddisfatta, in pace”.

Questa che stai osservando è una delle due possibili disposizioni che le statue della dea Sekhmet potevano avere all'interno del tempio in cui ti trovi, quindi lungo la facciata dell'edificio adiacenti al chiosco e all'ingresso dello stesso. Il tempio di Ptah a Karnak è uno dei numerosi edifici templari facenti parte dell'omonimo complesso. Il complesso di Karnak costituiva assieme al complesso di Luxor il centro religioso dell'antica Tebe. La nascita del complesso risale al Medio Regno e si spinge fino all'età tolemaica. I templi principali sono quelli dedicati ad Amon-Ra, che è collocato in posizione privilegiata, al centro del complesso, a Mut e a Khonsu.

A tutt'oggi si è incerti sull'originaria disposizione delle statue all'interno del tempio di Ptah a Karnak. Jean Jacques Rifaud, scultore francese incaricato dal console di Francia Bernardino Drovetti a scovare antichità in Egitto, effettuò degli scavi archeologici nei pressi del Tempio di Ptah dal 1816 al 1823 e dalle sue annotazioni si evince che le statue potessero essere state disposte lungo la facciata del tempio o ancora a continuazione

dei 6 portali d'ingresso.

Ti trovi all'interno della cappella sud dedicata alla dea Hathor. La statua della dea Sekhmet che hai di fronte fu ritrovata in pezzi proprio dentro questa stanza durante uno scavo archeologico e riassembleta in situ. Le numerose statue della dea Sekhmet erano parte di una grande serie proveniente dal tempio di Kom el-Hettan, il “Tempio dei Milioni di Anni”, costruito per volere di Amenhotep III sulla riva sinistra del Nilo, nella Tebe Occidentale. L'edificio era un tempio funerario e teatro delle processioni annuali dedicate ad Amon, Mut e Khonsu. Si pensa che la serie fosse costituita da circa 730 statue, rappresentanti la dea Sekhmet in posizione eretta o assisa in trono, di cui 365 dovevano trovarsi lungo le pareti del peristilio del tempio. Le statue altro non erano che la rappresentazione tridimensionale di una lunga preghiera di adorazione: ogni giorno una statua assisa e una stante venivano adorate e il loro potere invocato a protezione del faraone. Si potrebbe ipotizzare che la statua stante rappresenti Sekhmet nel suo stato attivo e selvaggio mentre la statua assisa la dea una volta pacificata.

A causa di problemi strutturali del

circa 730 statue, rappresentanti la dea Sekhmet in posizione eretta o assisa in trono, di cui 365 dovevano trovarsi lungo le pareti del peristilio del tempio. Le statue altro non erano che la rappresentazione tridimensionale di una lunga preghiera di adorazione: ogni giorno una statua assisa e una stante venivano adorate e il loro potere invocato a protezione del faraone. Si potrebbe ipotizzare che la statua stante rappresenti Sekhmet nel suo stato attivo e selvaggio mentre la statua assisa la dea una volta pacificata.

A causa di problemi strutturali del tempio causati da cambiamenti del paesaggio circostante, una parte consistente dell'insieme statuaria venne spostato e accolto all'interno del complesso templare a Karnak dove una parte delle statue fu posizionata all'interno del tempio di Mut e un'altra parte nel tempio di Ptah.

Al Museo Egizio di Torino giunsero 21 tra queste statue, 10 sedute e 11 in piedi, probabilmente provenienti dai contesti secondari del Tempio di Mut e del Tempio di Ptah.

”

Terza
state machine

L'ultima state machine è stata creata per gestire l'apertura e chiusura di una mappa del sito grazie alla quale l'utente potesse visualizzare la disposizione dei punti di interesse (vedi fig. 84).

Aperto il pannello di impostazioni *XRI Default Input Actions* è stato settato come attivatore della mappa la pressione esercitata sul trigger del controller sinistro (vedi fig. 85).

La *Input Action Reference* del controller sinistro viene collegata al nodo *On Input System Event Button* e a sua volta al *Game Object Set Active* e alla variabile *map*: grazie ai nodi *Game Object Get Active Self* e *Negate* la logica di attivazione e disattivazione della mappa avviene vicendevolmente premendo il tasto del controller selezionato (vedi fig. 86).

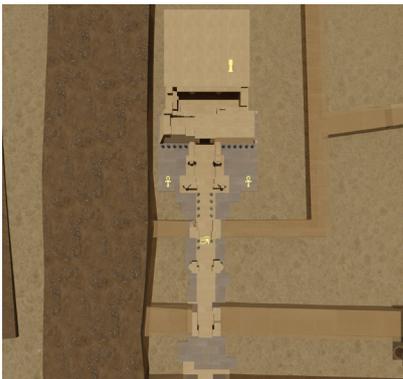


Fig. 84
Mappa del sito con punti di interesse

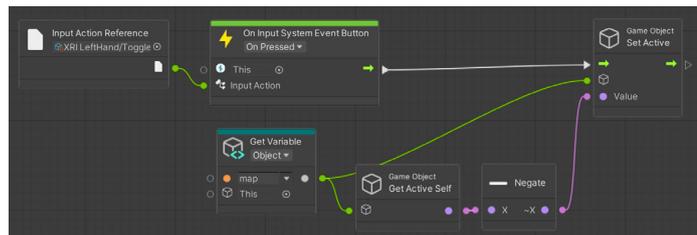


Fig. 86
Stato attivazione e disattivazione mappa

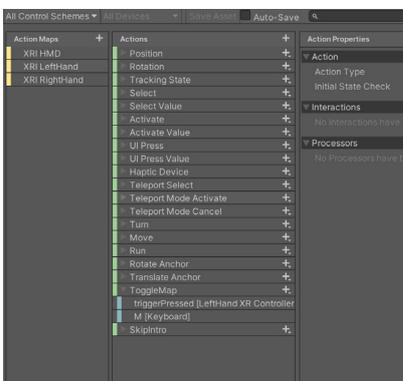


Fig. 85
XRI Default Input Actions ToggleMap

5.2 Risultato finale

Terminato il lavoro si è proceduto alla creazione della build ovvero l'eseguibile dell'esperienza in formato .exe (vedi figg. 87, 88).

Per poter far girare la build utilizzando il visore è necessario collegare quest'ultimo al pc utilizzato e per questo aprire l'app Oculus.

Il visore può essere associato al pc sia tramite cavo che con air link quindi con una connessione senza fili.

Successivamente si procede all'apertura dell'app Steam VR e una volta riconosciuto il visore è possibile far partire la build.

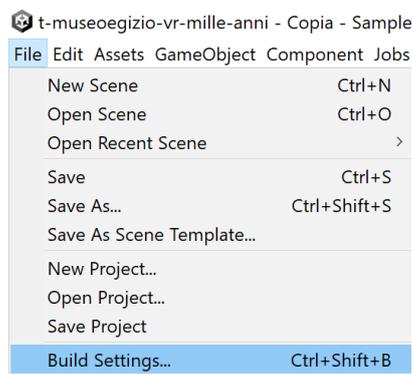


Fig. 87

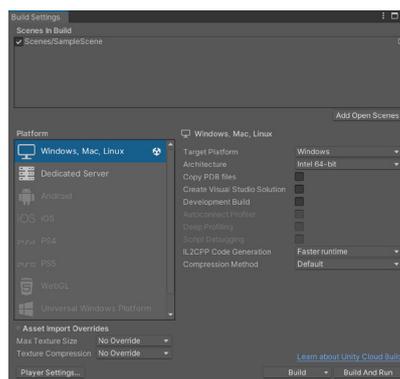
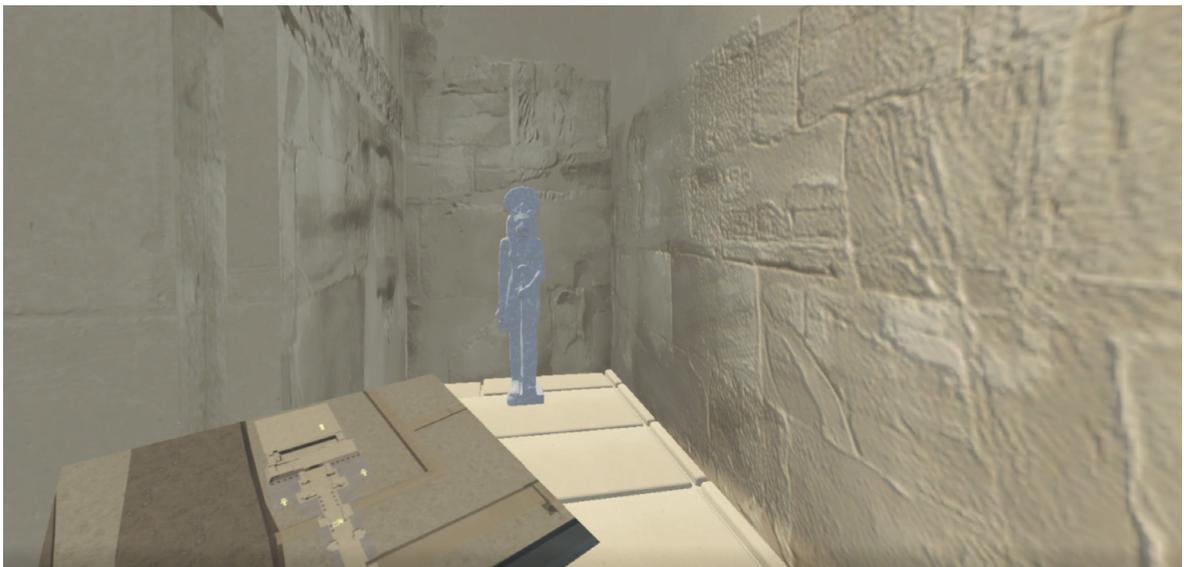


Fig. 88
Pannello Build Settings

Per visualizzare la simulazione dell'esperienza di realtà virtuale sviluppata accedere al seguente link: https://youtu.be/lApqfj_419Y

Di seguito, dei frame dell'esperienza di realtà virtuale.





Capitolo 6 /

21 Shehade M., Stylianou-Lambert T. (2020). Virtual Reality in Museums: Exploring the Experience of Museum Professionals. https://scholar.google.com/scholar?hl=it&as_sdt=0%2C5&q=Virtual+Reality+in+Museums%3A+Exploring+the+Experiences+of+Museum+Professionals&btnG= (consultato il 2 settembre 2022)

22 Meschini A. (2011). Tecnologie digitali e comunicazione dei beni culturali: Stato dell'arte e prospettive di sviluppo. In *Tecnologie per la comunicazione del patrimonio culturale*, pp. 14-24.

Oggi le persone sono sempre più avvezze ad interagire con sistemi digitali più o meno complessi, attinenti la quotidianità domestica, lavorativa e scolastica.

I musei quali luoghi di cultura in cui apprendimento e intrattenimento si fondono, utilizzano sempre più le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie per rimanere allineati alla quotidianità digitalizzata del visitatore e creare nuove esperienze sociali, che promuovono nuove modalità di comprensione del patrimonio culturale e offrono diversi processi di interpretazione attraverso il coinvolgimento personale²¹.

Dotarsi di strumenti ed esperienze digitali consente ai musei, in primo luogo, di attivare nuove pratiche di fruizione della cultura e della storia e secondariamente di preservare il patrimonio culturale.

La digitalizzazione dei contenuti permette una più veloce, flessibile e accessibile distribuzione del sapere ad un pubblico diversificato.

La tridimensionalità e virtualità, capisaldi del mondo digitale, suscitano nel pubblico emozioni e sensazioni che determinano un nuovo modo di apprendimento informale, duraturo e caratterizzato dalla sinergia tra aspetti cognitivi ed emozionali²².

Il pubblico, percorrendo gli ambienti museali, riscopre i propri sensi, immersi in realtà virtuali con cui può interagire muovendosi nello spazio, e sviluppa una partecipazione e un coinvolgimento attivi nell'ambiente circostante.

23 Luigini A., Panciroli C. (a cura di). (2018). *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*. Milano: Edizioni FrancoAngeli S.r.L.

A questo proposito è stato coniato il termine di culture partecipative²³ che crescono in rete grazie agli strumenti web e che promuovono nuovi metodi di apprendimento, l'impegno civico e il senso di appartenenza, aspetti fondamentali per avviare un nuovo approccio conoscitivo con i beni culturali.

24 Russo M., Guidi G. (2011). La modellazione digitale reality-based ed interpretativa per la valorizzazione del patrimonio culturale. Dipartimento Indaco – Facoltà del Design (a cura di). In *La ricerca nel disegno di design*, pp. 205-211. Milano: Edizioni Maggioli S.p.A.

Il progetto appena conclusosi si è proposto di essere un ponte tra rappresentazione e valorizzazione dei beni culturali attraverso l'uso di strumenti digitali applicati in ambito museale. Con le tecnologie citate nei capitoli precedenti è stato possibile creare un modello tridimensionale che rappresenta una nuova fonte di conoscenza, aggiuntiva non sostitutiva, della realtà perché frutto della sintesi di informazioni storiche, geometriche e materiche, estraibili dal modello e modificabili nel tempo con l'avvicinarsi di nuove scoperte e il reperimento di nuovi dati²⁴.

Il rispetto di alcuni concetti e linee guida degli ambiti di neuroergonomia applicata al design, di experience design e interactive design è stato d'aiuto per la resa di un'esperienza di realtà virtuale semplice, intuitiva e auto-esplicativa, costruita su misura per il pubblico visitatore.

25 Ippoliti E., Casale A. (2018). Rappresentare, comunicare, narrare. Spazi e musei virtuali tra riflessioni e ricerche. Luigini A., Panciroli C. (a cura di). In *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*. Milano: Edizioni FrancoAngeli S.r.L.

La metodologia adoperata per questo progetto di tesi, comprensiva delle fasi di ricerca, ideazione e sviluppo proposta, è flessibile e si presta ad essere applicata a innumerevoli altri progetti che hanno in comune l'obiettivo di proporre non solo e non tanto contenuti ma esperienze culturali²⁵.

Con questo progetto di tesi si è voluto dimostrare come la creazione di esperienze immersive di realtà virtuale in ambito museale sia una strategia innovativa e arricchente nel momento in cui risponde a dei bisogni specifici e raggiunge gli obiettivi prefissati in relazione all'utenza, nel caso specifico i visitatori, l'ente museale e gli studiosi.

L'esperienza sviluppata nel progetto di tesi coniuga la curiosità dei visitatori, mostrando loro lo stato odierno del sito archeologico corredato dalla ricchezza decorativa dei geroglifici, l'esigenza dell'ente museale, volta ad arricchire l'offerta e usare nuovi mezzi di comunicazione per attrarre un pubblico più vasto ed eterogeneo, e gli interessi e le necessità degli studiosi, quali la visualizzazione delle parti originarie e di quelle restaurate del tempio, l'espansione architettonica col succedersi dei faraoni, la differente datazione degli elementi templari e le ipotesi di posizionamento del gruppo statuario.

Collaborare con un ente prestigioso come il Museo Egizio di Torino ha significato confrontarsi con dei professionisti disponibili a condividere le proprie conoscenze acquisite nel tempo e partecipare in qualità di soggetto esterno alla mission del Museo orientata a ricerca, crescita sociale e culturale oltre che alla conservazione del patrimonio mondiale.

Bibliografia e sitografia

Bibliografia

Arcagni S. (2020). *Immersi nel futuro: la realtà virtuale, nuova frontiera del cinema e della tv*. Palermo: Palermo University Press.

Azim M., Bjarnason F., Deleuze P., Dexyl P., Émonet A., Golvin J. C., Guthmann C., Kurza M., Le Saout F. (1998). *Karnak et sa topographie: volume 1 Les relevés modernes du temple d'Amon-Rê*. Parigi: CNRS ÉDITIONS.

Badawy A. (1968). *A history of Egyptian Architecture: the Empire (the New Kingdom)*. Berkeley e Los Angeles: University of California Press.

Baines J., Lesko L. H., Silverman D. P. (1991). *Religion in Ancient Egypt: gods, myths and personal practice*. Shafer B. E. (a cura di). Londra: Edizioni Routledge.

Ballarin M., Balletti C. (2019). *An application of integrated 3D technologies for replicas in Cultural Heritage*. Venezia: Università IUAV. <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/6/285/htm> (consultato il 2 settembre 2022)

Battini C. (2017). *Realtà virtuale, aumentata e immersiva per la rappresentazione del costruito*. Firenze: Edizioni Altralinea S.r.l.

Benezet N. T. (2018). The pure priest of Sekhmet, between health and disease. Atti della 3rd International Conference on Pharmacy and medicine in Ancient Egypt. Barcellona, 25-26 ottobre 2018, pp. 13-40.

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Björkman G. (1971). The Ptah temple. Acta Universitatis Upsaliensis (a cura di). In *Kings at Karnak: a study of the treatment of the monuments of royal predecessors in the early new kingdom*, pp. 93-95. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis.

Buiatti E. (2014). Realtà virtuali, realtà aumentate. FrancoAngeli Editore (a cura di). In *Forma mentis: Neuroergonomia sensoriale applicata alla progettazione*, pp. 46-49. Milano: Edizioni FrancoAngeli.

Carta di Londra per la visualizzazione digitale dei beni culturali. (2008). Salvatori E. (edizione italiana a cura di). [Denard H., testo originale a cura di]. <http://www.londoncharter.org> (consultato il 2 settembre 2022)

Castagna L. (2021). *Realtà aumentata e realtà virtuale per valorizzare il patrimonio museale: Esperienze presso il Museo d'Arte Orientale*. Tesi di laurea triennale in Design e Comunicazione visiva, relatrice prof.ssa R. Spallone, correlatori prof. F. Lamberti, L. M. Oliveri, C. Ramasco, F. Ronco. Politecnico di Torino.

Champion E., Rahaman H. (2019). *To 3D or not 3D: Choosing a photogrammetry workflow for cultural heritage groups*. Perth: Curtin University.

Charloux G., Durand B., Mahmoud M. A. A., Sayed A. M. E. (2017a). Le domaine du temple de Ptah a Karnak: Nouvelles données de terrain. In *Cahiers de Karnak*, n. 16, pp. 93-120.

Charloux G., Thiers C. (2017b). The early temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 11-15.

Cincotti S. (2013). Les fouilles dans le Musée: La collection Égyptienne de Turin et le fonds de

Rifaud. In *Cahiers de Karnak*, n. 14, pp. 279-285.

Connor S. (2016). *Le statue del museo egizio*. Modena: Edizioni Franco Cosimo Panini.

Connor S. (2017). *Le statue della dea Sekhmet*. Modena: Edizioni Franco Cosimo Panini.

di Luggo A., Palomba D., Pulcrano M., Scandurra S. (2020). Theoretical and Methodological Implications in the Information Modelling of Architectural Heritage. In *Impact of Industry 4.0 on Architecture and Cultural Heritage*, n. 2, pp. 20-48. Edizioni IGI Global Disseminator of knowledge.

Direzione generale dei Musei. (2019). *Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei*. <http://musei.beniculturali.it/notizie/notifiche/piano-triennale-per-la-digitalizzazione-e-linnovazione-dei-musei> (consultato il 2 settembre 2022)

Fondazione Museo delle Antichità Egizie di Torino. (2006). *Cartella Stampa*. Febbraio 2006.

Gaggioli A., Riva G. (2019). *Realtà virtuali: Gli aspetti psicologici delle tecnologie simulate e il loro impatto sull'esperienza umana*. Firenze: Edizioni Giunti Psychometrics S.r.L.

Germak C. (2008). *Uomo al centro del progetto: Design per un nuovo Umanesimo*. Torino: Edizioni Umberto Allemandi & C.

Germond P. (1981). Sekhmet et la protection du monde. In *Aegyptiaca Helvetica*, n. 9, pp. 1-89. Ginevra: Éditions de Belles-Lettres.

Guilhou N. (2010). *Myth of the Heavenly Cow*. UCLA Encyclopedia of Egyptology. <https://escholarship.org/uc/item/2vh551hn> (consultato

il 2 settembre 2022)

Invitto S. (2013). *Neuroestetica e ambiente percettivo: pensare strutture interattive a 3 dimensioni*. Università del Salento.

Jacobelli J. (a cura di). (1998). *La realtà del Virtuale*. Roma, Bari: Edizioni Laterza & Figli.

Lanier J. (2019). *L'alba del nuovo tutto*. Traduzione di Vezzoli A. Milano: Edizioni il Saggiatore S.r.L.

Luigini A., Panciroli C. (a cura di). (2018). *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*. Milano: Edizioni FrancoAngeli S.r.L.

Museo del Louvre. (2022). *Pharaon des Deux Terres: l'épopée africaine des rois de Napata*. Edizioni El Viso.

Meschini A. (2011). Tecnologie digitali e comunicazione dei beni culturali: Stato dell'arte e prospettive di sviluppo. In *Tecnologie per la comunicazione del patrimonio culturale*, pp. 14-24.

Panciroli C. (2010). *Il modello di Museo Virtuale dell'Educazione dell'Università di Bologna*. Bologna: Università di Bologna.

Picchio E. (2019). *Virtual Reality e Beni Culturali: Ricostruzione di una collezione del passato fruibile da remoto*. Tesi di laurea magistrale in Architettura Costruzione e Città, relatore prof. M. Lo Turco, correlatore E. C. Giovannini. Politecnico di Torino.

Pehlivanides G., Monastiridis K., Tourtas A., Karyati E., Ioannidis G., Bejelou K., Antoniou V., Nomikou P. (2020). *The VIRTUALDiver Project. Making Greece's Underwater Cultural Heritage Accessible to the Public*.

<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8172>
(consultato il 2 settembre 2022)

Porcelluzzi C. (2012). *I contro-santuari tebani: tra religiosità popolare e modi di accesso al divino*. Tesi di laurea magistrale in Scienze dell'Antichità: letterature, storia e archeologia, relatore prof. E. M. Ciampini. Università Ca' Foscari.

Quirke S. (1992). *Ancient Egyptian Religion*. Londra: British Museum Press.

Quirke S. (2001). *The cult of Ra: sun-worship in Ancient Egypt*. Londra: Edizioni Thames & Hudson.

Russo M., Guidi G. (2011). La modellazione digitale reality-based ed interpretativa per la valorizzazione del patrimonio culturale. Dipartimento Indaco – Facoltà del Design (a cura di). In *La ricerca nel disegno di design*, pp. 205-211. Milano: Edizioni Maggioli S.p.A.

Shehade M., Stylianou-Lambert T. (2020). *Virtual Reality in Museums: Exploring the Experience of Museum Professionals*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/4031/pdf?version=1591856527> (consultato il 3 settembre 2022)

Teeter E. (2011). *Religion and ritual in Ancient Egypt*. Cambridge: Cambridge University Press.

Thiers C., Zignani P. (2013). *Le domaine du temple de Ptah à Karnak: Premières données de terrain*. In Cahiers de Karnak, n. 14, pp. 493-513.

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Tomassucci D. (2017). Realtà virtuale nei beni culturali: Mersiva. In *Archeomatica*, n. 2, p. 30.

von Känel F. (1984). *Les prêtres-ouâb de Sekhmet et les conjurateurs de Serket*. Parigi: Presses Universitaires de France.

Waburton D. A. (2012). Karnak and the Kings: Architecture, Religion, Ideology and Political History. LIT Verlag (a cura di). In *Architecture, Power, and Religion: Hatshepsut, Amun & Karnak in Context*, pp. 155-179. Zurigo e Berlino: Edizioni LIT Verlag.

Yoyotte J. (1980). Une monumentale litanie de granit: les Sekhmet d'Aménophis III et la conjuration permanente de la déesse dangereuse. In *Bulletin de la Société Française d'Égyptologie*, n. 87-88, pp. 46-75.

Sitografia

<http://www.cfeetk.cnrs.fr/archives/?n=102658>
Archivio CFEETK. Ultima consultazione 20 agosto 2022.

<https://parcocolosseo.it/area/domus-aurea/>
Archivio Parco Archeologico del Colosseo di Roma. Ultima consultazione 25 agosto 2022.

<https://the-arkives.org/>
Arc/k Project – Perpetuity. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

https://www.storicang.it/a/ptah-e-creazione-mondo-attraverso-parola_15220
Barbara Faenza, Ptah e la creazione del mondo attraverso la parola, National Geographic, 2021. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

<https://www.cfeetk.cnrs.fr/le-laboratoire/>
Centre Franco-Égyptien d'Étude des Temples de Karnak. Ultima consultazione in data 28 luglio

2022.

<https://www.clevelandart.org/exhibitions/revealing-krishna-journey-cambodias-sacred-mountain>
Cleveland Museum of Art. Ultima consultazione 28 agosto 2022.

<https://collezioni.museoegizio.it>
Collezione online, Museo Egizio di Torino. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

<http://lucidrealities.studio/index.php/portfolio/quand-elle-sort-de-sa-boite/>
La petite danseuse au Musée d'Orsay. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

<https://www.youtube.com/channel/UCu0NN4cZekeB2KKha2XwYyQ/videos>
Le passeggiate del direttore, S.1 E.2 e E.28, Museo Egizio di Torino. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

<https://store.facebook.com/it/quest/products/quest-2/>
Meta Platforms. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

<https://mann-napoli.it/father-and-son-the-game/>
Museo Archeologico Nazionale di Napoli - Father and Son. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

<https://www.museoscienza.org/it/offerta/vr-zone>
Museo Nazionale di Scienza e Tecnologia Leonardo Da Vinci a Milano, VR ZONE. Ultima consultazione 28 agosto 2022.

<https://www.rhino3d.com/it/>

Rhinoceros. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

<https://www.arce.org/resource/statues-sekhmet-mistress-dread>

Simon Connor, The statues of Sekhmet: “Mistress of Dread”, American Research Center in Egypt. Ultima consultazione 8 agosto 2022.

<https://m.museivaticani.va/content/museivaticani-mobile/en/collezioni/musei/museo-gregoriano-egizio/terrazza-del-nicchione/statue-della-dea-leonessa-sekhmet.html>

Statue of the lioness goddess Sekhmet, Musei Vaticani. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

<https://steantycip.com/projects/vr-cave-caen/>
VR Cave realizzato per il Centro Interdisciplinare di Realtà Virtuale dell'Università di Caen. Ultima consultazione 18 agosto 2022.

<https://www.oculus.com/blog/what-is-virtual-reality-all-about/?fbclid=IwAR2JN5WM3waCA8rNsVktOqelwsGrFKnesrBJNuoEpByTnYG5wwoanqOX0gw>

What is Virtual Reality all about?. Ultima consultazione in data 25 agosto 2022.

<https://www.wmf.org/project/mortuary-temple-amenhotep-iii>

World Monuments Fund, The Mortuary Temple of Amenhotep III. Ultima consultazione 8 agosto 2022.

<https://www.wmf.org/project/mortuary-temple-amenhotep-iii>

World Monuments Fund, The Mortuary Temple of Amenhotep III. Ultima consultazione 8 agosto 2022.

Indice delle figure

Fig. 1 Il tempio di Ptah

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, p. 20.

Fig. 2 Pianta del tempio di Ptah e legenda di riferimento

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 3 Illustrazione del tempio di Ptah e delle sue pertinenze al tempo della XXV dinastia

Museo del Louvre. (2022). *Pharaon des Deux Terres: l'épopée africaine des rois de Napata*, p. 257. Edizioni El Viso.

Fig. 4 Parti dell'alzato del recinto murario a continuazione del portale d'ingresso tolemaico A (sotto) e kushita B (sopra)

Thiers C., Zignani P. (2013). Le domaine du temple de Ptah à Karnak: Premières données de terrain. In *Cahiers de Karnak*, n. 14, p. 504.

Fig. 5 Vista sul recinto del tempio e sul portale d'ingresso sud colonnato

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, p. 24.

Fig. 6 Render del recinto templare con le parti esistenti e quelle andate perdute

Fig. 7 Render della pavimentazione del corridoio processionale e del tempio per distinguere le parti originarie da quelle restaurate

Fig. 8 Stato degli scavi archeologici condotti dal CNRS Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak dal 2014 al 2017

Charloux G., Durand B., Mahmoud M. A. A., Sayed A. M. E. (2017a). Le domaine du temple de Ptah a Karnak: Nouvelles données de

terrain. In *Cahiers de Karnak*, n. 16, p. 95

Fig. 9 Statue stanti della dea Sekhmet custodite presso il Museo Egizio di Torino (da sinistra C. 265, C. 262, C. 260)

Connor S. (2017). *Le statue della dea Sekhmet*, p. 23. Modena: Edizioni Franco Cosimo Panini.

Fig. 10 Ingresso al Tempio dei Milioni di Anni con i due colossi di Memnon a Kom el-Hettan

https://it.wikipedia.org/wiki/File:Colossi_of_Memnon_0075_e1.jpg. Ultima consultazione 20 agosto 2022.

Fig. 11 Render della disposizione delle statue lungo la facciata del tempio

Fig. 12 Render del recinto templare con le parti esistenti e quelle andate perdute

Fig. 13 Render della disposizione delle statue lungo la via processionale, tra i portali F e D

Fig. 14 Statua della Sekhmet ritrovata e ricostruita in situ nella cappella meridionale dedicata alla dea Hathor

Thiers C., Zignani P. (2013). Le domaine du temple de Ptah à Karnak: Premières données de terrain. In *Cahiers de Karnak*, n. 14, p. 511.

Fig. 15 Spettro della realtà estesa

<https://www.prosoftweb.it/extended-reality-xr>.

Ultima consultazione 28 agosto 2022.

Fig. 16 Il Sensorama di Morton Heilig, la prima macchina immersiva e sensoriale

https://www.researchgate.net/figure/Sensorama-the-first-virtual-immersion-system-the-technical-table-and-the-pictures-shown_fig1_321142137. Ultima consultazione 18 agosto 2022.

Fig. 17 La Spada di Damocle di Ivan Sutherland
<https://www.gamesnote.it/speciali-videogames/multi-piattaforma/vr-la-virtual-reality-nel-corso-della-storia.html>.
Ultima consultazione 18 agosto 2022.

Fig. 18 Visore EyePhone sviluppato dalla compagnia VPL impiegato per RB2 Reality Built for Two
Lanier J. (2019). L'alba del nuovo tutto. Traduzione di Vezzoli A. Milano: Edizioni il Saggiatore S.r.L.

Fig. 19 VR Cave realizzato per il Centro Interdisciplinare di Realtà Virtuale dell'Università di Caen
<https://steantycip.com/projects/vr-cave-caen/>.
Ultima consultazione 18 agosto 2022.

Fig. 20 Oculus Meta Quest 2, visore di realtà virtuale indossabile distribuito da Meta Platforms
<https://store.facebook.com/it/quest/products/quest-2/>. Ultima consultazione in data 9 agosto 2022.

Fig. 21 Frammento del videogioco Father and Son tra l'epoca romana e contemporanea
<https://mann-napoli.it/father-and-son-the-game/>.
Ultima consultazione 9 agosto 2022.

Fig. 22 VR ZONE del Museo Nazionale di Scienza e Tecnologia Leonardo Da Vinci di Milano
<https://www.museoscienza.org/it/area-stampa/VR-Cinema>.
Ultima consultazione 25 agosto 2022.

Fig. 23 Studio del pittore Amedeo Modigliani ricostruito digitalmente
<https://www.tate.org.uk/whats-on/tate-modern/modigliani/modigliani-vr-ochre-atelier>. Ultima consultazione 28 agosto 2022.

Fig. 24 Frame dell'esperienza di realtà virtuale

Domus Aurea Experience

Archivio Parco Archeologico del Colosseo di Roma. <https://parcocolosseo.it/area/domus-aurea/>. Ultima consultazione 25 agosto 2022.

Fig. 25 Ricostruzione del teatro romano a Palmyra

<https://the-arkives.org>. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

Fig. 26 Fotogrammetria e nuvola di punti del teatro romano a Palmyra

<https://the-arkives.org>. Ultima consultazione 9 agosto 2022.

Fig. 27 Dipinti rupestri nel sito archeologico di Pleito

<https://gordianknot.cikeys.com>. Ultima consultazione 28 agosto 2022.

Fig. 28 3D Environment della città di Oia

Pehlivanides G., Monastiridis K., Tourtas A., Karyati E., Ioannidis G., Bejelou K., Antoniou V., Nomikou P. (2020). The VIRTUALDiver Project. *Making Greece's Underwater Cultural Heritage Accessible to the Public*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8172>. Ultima consultazione 2 settembre 2022.

Fig. 29 Diver Mode e interazione dell'utente con un modello 3D

Pehlivanides G., Monastiridis K., Tourtas A., Karyati E., Ioannidis G., Bejelou K., Antoniou V., Nomikou P. (2020). The VIRTUALDiver Project. *Making Greece's Underwater Cultural Heritage Accessible to the Public*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8172>. Ultima consultazione 2 settembre 2022.

Fig. 30 Frame dell'esperienza VR con la ricostruzione del tempio e della statua

<https://www.clevelandart.org/exhibitions/revealing-krishna-journey-cambodias-sacred-mountain>
Cleveland Museum of Art. Ultima consultazione 28 agosto 2022.

Fig. 31 Veduta dall'alto del complesso templare di Amon a Karnak

Azim M., Bjarnason F., Deleuze P., Dexyl P., Émonet A., Golvin J. C., Guthmann C., Kurza M., Le Saout F. (1998). *Karnak et sa topographie: volume 1 Les relevés modernes du temple d'Amon-Rê*. Parigi: CNRS ÉDITIONS.

Fig. 32 Distretto Tebano

Badawy A. (1968). *A history of Egyptian Architecture: the Empire (the New Kingdom)*. Berkeley e Los Angeles: University of California Press.

Fig. 33 Pianta del complesso templare di Karnak ed il tempio di Ptah evidenziato nel riquadro rosso

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale. parcocolosseo.it/area/domus-aurea/. Ultima consultazione 25 agosto 2022.

Fig. 34 Ingresso principale al complesso di Karnak e al Grande tempio di Amon

<https://egypt.travel/it/attractions/karnak-temple-complex>. Ultima consultazione 19 agosto 2022.

Fig. 35 Vista dall'alto del Grande tempio di Amon

<http://www.cfeetk.cnrs.fr/archives/?n=102658>.

Ultima consultazione 20 agosto 2022.

Fig. 36 Tempio di Ptah

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 37 Statua ritraente il faraone Tutmosi III facente parte della collezione del Museo Egizio di Torino

<https://collezioni.museoegizio.it>. Collezione online, Museo Egizio di Torino. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

Fig. 38 Sezione longitudinale del tempio di Ptah

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 39 Cappella settentrionale dedicate a Ptah

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 40 Cappella centrale dedicata ad Amon

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 41 Cappella meridionale dedicata ad Hathor

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 42 Una delle due colonne presenti nella corte del tempio

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 43 Prospetto della porta F dal corridoio processionale

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 44 Dettaglio della parte interna del tempio

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 45 Dettaglio della scalinata

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 46 Vista sul corridoio processionale dalla

porta A

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 47 Vista sul corridoio processionale dalla porta C

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 48 Vista sul corridoio processionale dalla porta F

Biston-Moulin S., Thiers C. (2016). *Le temple de Ptah à Karnak I, II, III: Relevé épigraphique*. Il Cairo: Institut Français d'archéologie orientale.

Fig. 49 Chiosco con le quattro colonne prospiciente l'ingresso del tempio di Ptah

<http://www.cfeetk.cnrs.fr/archives/?n=102658>.

Ultima consultazione 20 agosto 2022.

Fig. 50 Statua ritraente la divinità femminile Hathor facente parte della collezione del Museo Egizio di Torino

<https://collezioni.museoegizio.it>. Collezione online, Museo Egizio di Torino. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

Fig. 51 Statua ritraente la divinità maschile Ptah facente parte della collezione del Museo Egizio di Torino

<https://collezioni.museoegizio.it>. Collezione online, Museo Egizio di Torino. Ultima consultazione 28 luglio 2022.

Fig. 52 Geroglifico presente sulla parete destra della corte del tempio di Ptah ritraente (da destra) Amon, Ptah, Khonsu, Mut e Hathor

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 53 Statue C. 255, 257 e 265 ritraenti la divinità femminile Sekhmet di profilo facenti parte della collezione del Museo Egizio di Torino

Thiers C., Zignani P. (2011). The temple of Ptah at Karnak. In *Egyptian Archaeology*, Egypt Exploration Society, pp. 20-24.

Fig. 54 Modellazione 3D a partire dai prospetti riportati nel volume

Fig. 55 Modellazione dei capitelli

Figg. 56, 57 Modellazione terminata con Rhinoceros

Fig. 58 Esempio di retopology sulle statue della dea Sekhmet

Fig. 59 Render del tempio con textures assegnate

Fig. 60 Disposizione statue della dea Sekhmet (evidenziate in bianco e nero)

Fig. 61 Render icone di interesse

Fig. 62 Logo del museo e riferimento al codice colore HEX

Fig. 63 *GameObjects Empty* “accesi” e “accendibili”

Fig. 64 *Variables object* del tempio

Fig. 65 Dettaglio del nodo *For Loop* che associato al *parent* “accendibili” richiama tutte le sue *mesh child*

Fig. 66 Transizione della macchina stato *TimeExperience*

Fig. 67 Stato con elementi del tempo e icone visibili

Fig. 68 Dettaglio dei nodi *List Get Item* e *Wait for Seconds*

Fig. 69 *IconState State Machine*

Fig. 70 *Locomotion System Settings*

Fig. 71 *Teleport Area Settings*

Fig. 72 *Teleportation Rays Settings*

Fig. 73 *XRI Default Input Actions Teleport Settings*

Fig. 74 *Mesh Collider Settings*

Fig. 75 *Stato Pulsing Icon*

Fig. 76 *Graph Variable PlayerTag*

Fig. 77 *Stato On Trigger Enter*

Fig. 78 Macchina stato con *Disable Teleport*, *Appearing Statues* e *PlayAudioSource*

Fig. 79 Dettaglio sulla logica *Not Equal*

Fig. 80 *ListOfIcons Scene Variable*

Fig. 81 Transizione *Audio Is Playing*

Fig. 82 Stato *Set Enabled Teleport* e *Game Object Set Active*

Fig. 83 Ultima Transizione *IconState State Machine*

Fig. 84 Mappa del sito con punti di interesse

Fig. 85 *XRI Default Input Actions ToggleMap*

Fig. 86 Stato attivazione e disattivazione mappa

Figg. 87, 88 Pannello *Build Settings*

