

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria del Cinema e
dei mezzi di Comunicazione

Tesi di Laurea Magistrale
Utilizzo di asset 3D per la produzione video
nel campo del cultural heritage
Dal reperto alla divulgazione scientifica



Relatore
Antonino Riccardo Antonio Silvio

Candidato
Plicato Emanuele

Anno Accademico 2018/2019

Indice

Introduzione	4
Il rapporto tra oggetto fisico e riproduzione digitale	4
Il caso studio	4
Premesse	7
Il museo egizio	7
Robin Studio	8
Perché usare la fotogrammetria	11
Preproduzione	13
Descrizione della mostra	13
Ingresso	13
Introduzione	14
Sezione Uno	15
Sezione Due	17
Sezione Tre	21
Conclusione	23
Budget della mostra	25
Organizzazione del team di lavoro	27
Scelte stilistiche	29
Workflow della fotogrammetria	35
Introduzione	35
Attrezzatura e software	38
Acquisizione	45
Preliminari	45
Impostazioni di camera	47
Cattura delle immagini	49
Elaborazione	52
Workflow dall'oggetto scansionato al render finale	60
Introduzione	60
Software utilizzati	61
Panoramica del workflow	64
Composizione del video	66
Export	78
Conclusione	79
Appendice A - Fotogrammetria e mobile	84
Appendice B - Algoritmi SIFT e AKAZE	86
SIFT (Scale-invariant feature transform)	86

AKAZE	89
Appendice C - UV unwrap LSCM e ABF	92
LSCM (Least Squares Conformal Maps)	92
ABF (Angle Based Flattening)	94
Bibliografia	96
Sitografia	97

Introduzione

Il rapporto tra oggetto fisico e riproduzione digitale

Del confronto tra analogico e digitale si è a lungo discusso in molteplici contesti: il suono di un vinile contro quello di un CD, la qualità dell'immagine della pellicola contro quella di una telecamera digitale. Con l'avvento di nuove tecniche di digitalizzazione di oggetti fisici, si possono confrontare oggetti reali e le loro riproduzioni digitali, che acquistano una loro fisicità una volta processate ad esempio da una stampante 3D.

A prescindere dall'ambito del quale si parli, alcune differenze rimangono sempre le stesse: la versione analogica conterrà più informazioni, la versione digitale, a discapito di un processo di compressione, è riproducibile infinite volte e facilmente condivisibile.

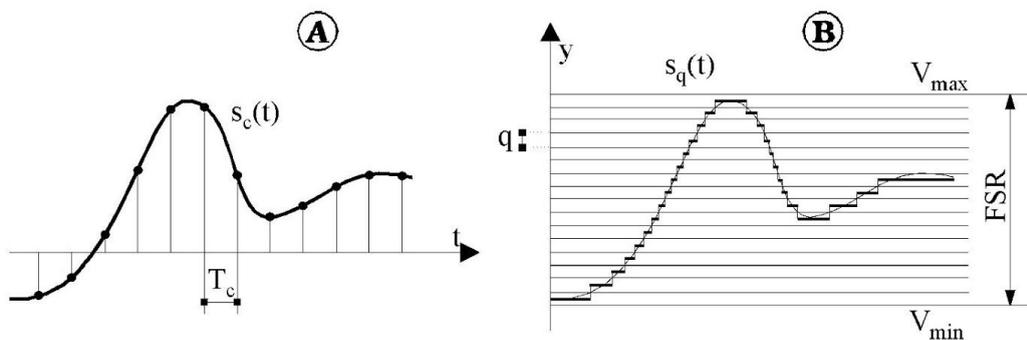


Figura 1.1 I due principi della conversione analogico-digitale, campionamento e quantizzazione

Il caso studio

In questo testo si esaminerà il workflow per la creazione e l'utilizzo di un oggetto 3D, a partire dalla sua creazione con la tecnica della fotogrammetria per finire con il suo rendering all'interno di un prodotto audiovisivo.

Come caso di studio verrà presa in considerazione la collaborazione tra Robin Studio, casa di produzione con sede a Torino, e il Museo Egizio, in occasione della realizzazione della mostra "Archeologia Invisibile".

"Archeologia Invisibile" è stata inaugurata il 12 Marzo 2019.

L'obiettivo di questa mostra è quello di mostrare come sia possibile ricostruire la storia dei reperti degli scavi archeologici attraverso l'applicazione di tecniche di ultima generazione che vanno a ricomporre informazioni che sarebbero altrimenti perdute.

Per questa mostra Robin ha utilizzato nella realizzazione dei video le stesse tecniche applicate effettivamente nello scavo archeologico.



Figura 1.2 Locandina di Archeologia Invisibile

Gli oggetti contengono molte informazioni oltre a quelle che ci vengono restituite dai nostri sensi: forma, colore, aspetto, dimensioni, e le tracce che l'uomo, la natura e il tempo vi hanno impresso. Per conoscere a fondo un oggetto, ricostruire la sua storia, la sua funzione occorrono tecniche che consentano di poter vedere oltre. Tecniche come la fotogrammetria, che permette di ricostruire un oggetto nelle sue dimensioni a partire da un insieme di foto, o come le analisi multispettrali, un insieme di tecniche non invasive, attraverso cui studiare il comportamento spettrale dei pigmenti o dei leganti a differenti lunghezze d'onda, fornendo informazioni sia sullo stato di conservazione dell'opera in esame e sulle sue modalità di esecuzione. Studiare i reperti con queste tecniche non solo consente di poter esaminarli, anche a distanza, in ogni loro piccolo dettaglio, ma permette di creare un "duplicato virtuale" che può persistere nel tempo anche al caso in cui la versione originale venga perduta.

Si pensi ad esempio al museo di Mosul in Iraq, distrutto nel Febbraio del 2015 dallo Stato Islamico, che nel 2019 ha inaugurato la sua prima mostra in seguito ai danni subiti, *“Return to Mosul: Conflict, Reconciliation and Recovery”*.

Rekrei, una organizzazione fondata dagli archeologi Chance Coughenour e Matthew Vincent, in collaborazione con Google Arts & Culture, è riuscita nell’impresa di stampare in 3D alcuni dei reperti andati perduti utilizzando la fotogrammetria e ottenendo le immagini necessarie attraverso una estesa campagna di crowdsourcing nella quale lo staff, turisti e militari statunitensi che sono passati dal luogo durante la guerra in Iraq, hanno messo a disposizione le loro foto.



Figura 1.3 Modello 3D di un reperto andato distrutto

L’obiettivo di Robin Studio è quello di comunicare i concetti alla base della creazione di *“Archeologia Invisibile”* ad un pubblico non informato sull’argomento, nel breve tempo di una visita ad una mostra, attraverso dei video che accompagnano gli oggetti esposti, con l’intento di andare oltre le semplici didascalie, unendo fine informativo e intrattenimento.

Premesse

Il museo egizio

Il Museo Egizio di Torino si dedica alla conservazione di reperti dell'antica civiltà nilotica (dei popoli stabilitisi nella Valle del Nilo), ed è tra i più antichi e importanti musei del settore, preceduto solamente dal Museo Egizio de Il Cairo.

Tra i musei italiani più visitati, nell'anno 2018 ha contato 848.923 ingressi.

Seguendo la tradizione della Campagna d'Egitto di età Napoleonica, nei primi anni de diciannovesimo secolo si cominciò in tutta Europa a collezionare reperti archeologici delle civiltà egizie, numerosi dei quali arrivarono in Piemonte, allora sotto la dominazione della Francia rivoluzionaria.

Nel 1824 re Carlo Felice di Savoia riunì le più grandi collezioni di reperti di origine egizia, annettendo, oltre alla collezione della Casa Savoia, altre collezioni di privati, collezionisti d'arte e esploratori, come quella di Bernardino Drovetti, ufficiale dell'esercito napoleonico durante la Campagna d'Egitto. Queste collezioni andarono a creare il primo museo egizio del mondo.

La collezione de Museo Egizio crebbe negli anni, grazie alla direzione de museo da parte di Ernesto Schiaparelli, che si occupò di acquisire nuovo materiale e condusse personalmente diverse missioni di scavo in Egitto. Alla fine degli anni trenta de ventesimo secolo, la collezione del Museo Egizio contava più di trentamila reperti di vario genere risalenti all'epoca dell' Antico Egitto.

Il museo, in seguito a lavori di ristrutturazione, è diviso in quattro piani, organizzati secondo un percorso cronologico. Il museo contiene inoltre una biblioteca e spazi dedicati al restauro e allo studio dei reperti. Il terzo piano è quello dedicato alle mostre temporanee.

È collocato all'interno de Palazzo dell'Accademia delle Scienze, edificio seicentesco la cui costruzione fu basata su un progetti di Guarino Guarini.

Robin Studio

Robin è uno studio di produzione con sede a Torino di recente nascita, fondato nell'Ottobre del 2017. È uno studio dalle competenze eterogenee che si occupa di produzione video, spettacolo, cultura. La maggior parte dei suoi collaboratori ha fatto o fa parte di Ingegneria del Cinema e dei mezzi di Comunicazione.



Figura 2.1 Logo di Robin Studio

“Siamo 15 giovani esploratori che lavorano in una sinergia di competenze e idee nel campo della video produzione, animazione, brand identity e i nuovi media, sviluppando strategie integrate che rispondono ai processi e le esigenze di innovazione a livello tecnologico e della comunicazione dei contesti culturali-territoriali, dell'intrattenimento e dell'impresa”

Collabora fin dalla sua fondazione con il Museo Egizio e per la mostra “*Archeologia Invisibile*” si è occupato della realizzazione di modellazione e ricostruzioni 3D, animazioni 2D e 3D, grafica, riprese video, allestimento, backstage e projection mapping.

“*Archeologia Invisibile*” non è la prima mostra del Museo Egizio per cui Robin Studio cura la produzione dei contenuti. Precedentemente lo studio aveva già collaborato per un'altra mostra, “*Missione Egitto*”.



Figura 2.2 Locandina di Missione Egitto

Il fine di questa mostra era raccontare l'attività della Missione Archeologica Italiana nei primi anni de novecento, attività in cui un ruolo centrale era stato occupato dal direttore del museo e egittologo Ernesto Schiaparelli. Il mezzo principale per raccontare questa attività di ricerca è stato l'utilizzo di fotografie tridimensionalizzate, ovvero animate con effetti di parallasse, previa la divisione dell'immagine nei suoi livelli in base alla diversa distanza degli oggetti e la ricostruzione delle parti mancanti nell'immagine, oppure animate con la creazione di una Depth Map. Questa scelta è stata effettuata sempre nell'ottica di non offrire allo spettatore della mostra delle semplici didascalie, ma di offrire contenuti alternativi che potessero presentare concetti e informazioni in maniera più interessante.

Robin Studio è sempre stato fin dalla sua fondazione interessato a offrire il suo apporto alla cultura, e numerose sono le collaborazioni con clienti che operano in questo settore oltre al Museo Egizio. Una delle ultime collaborazioni è stata quella con Art Defender che, in occasione della Biennale dell'Antiquariato di Firenze, ha presentato il progetto di restauro della tavola "*San Giovanni che predica alle folle*" di Bernardino Poccetti.

Per questa occasione Robin Studio ha realizzato un video, proiettato durante la presentazione del restauro, al fine di mostrare lo stato attuale de dipinto, non in buone condizioni di conservazione, anche a causa di precedenti interventi di restauro non svolti adeguatamente, e le tecniche con le quali il restauro sarebbe stato compiuto.



Figura 2.3 Frame del video del restauro di "San Giovanni che predica alle folle"

Similmente ai video realizzati per la mostra "Archeologia Invisibile", per questo lavoro è stato realizzato un modello 3D dell'oggetto, e il dipinto è stato mostrato nelle varie analisi multispettrali, con il fine di andare oltre alla semplice apparenza dell'oggetto per andare a conoscerne meglio la storia e i suoi dettagli.

Perché usare la fotogrammetria

Durante uno scavo, la documentazione delle caratteristiche archeologiche è sempre stata una componente chiave dello studio sul campo. Il problema legato a questa fase di documentazione è quello di trovare un compromesso tra il livello di dettaglio desiderato per ogni rilevamento e il tempo che può essere investito nella registrazione di ogni singola caratteristica.

In molti casi, al momento del rilevamento di un reperto appena scoperto, non si è ancora a conoscenza di quali decisioni verranno prese in merito alla sua analisi e conservazione. Per questo si sono rese necessarie tecniche in grado di fornire il più elevato numero possibile di informazioni nel minor tempo possibile.

Un altro problema riguarda il contrasto tra la necessità di ottenere informazioni dai reperti e il dovere di preservare l'integrità di questi ultimi per le generazioni future. In molti casi, la pratica archeologica è distruttiva, e la documentazione preliminare ottenuta durante lo scavo è l'unica testimonianza a sopravvivere. Nasce anche la necessità di conservare ed esporre non singoli frammenti, ma ricostruzioni delle unità originarie.

Per ovviare a questo problema, sono state sviluppate tecniche di analisi non invasiva, che consentono di mantenere l'integrità del reperto pur ottenendo le informazioni desiderate, e tecniche che consentono la ricostruzione di reperti analizzati con tecniche non conservative.

Una delle tecniche per la ricostruzione delle informazioni è la fotogrammetria, il cui sviluppo ha permesso con sempre maggiore facilità di registrare e riprodurre tridimensionalmente le caratteristiche archeologiche di un reperto, velocizzando e rendendo più esaustiva la raccolta di dati nel campo.

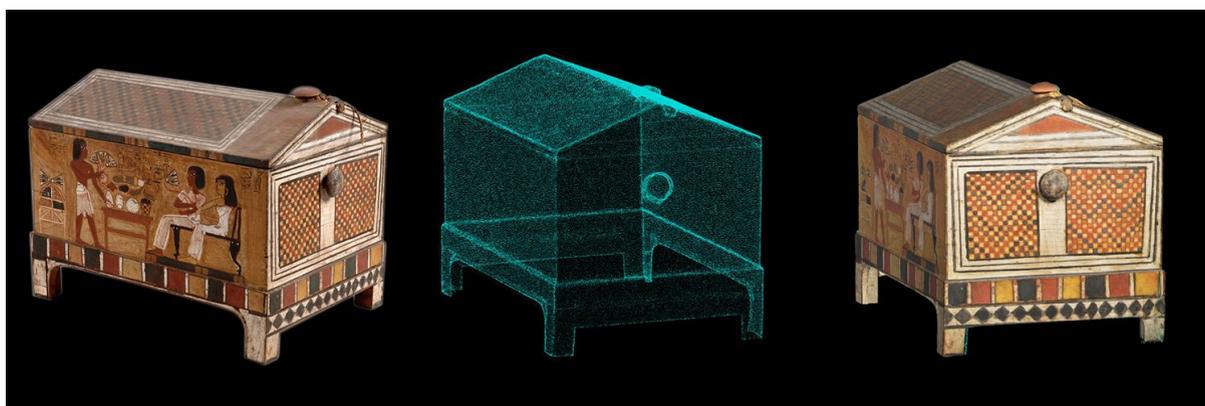


Figura 2.4 Da sinistra a destra: una foto del reperto (la Cassetta S.8212), la ricostruzione della sua point cloud e della sua mesh

Tecniche come la fotogrammetria stanno diventando sempre più economiche e durevoli, e sono diventate di prassi nel lavoro sul campo. Questo vale in particolar modo per la fotogrammetria che si basa sulla collezione di fotografie digitali durante lo scavo, ed è quindi conseguibile con mezzi oggi facilmente reperibili e utilizzabili durante uno scavo.

La fotogrammetria si applica durante le operazioni di scavo: prima di iniziare a scavare una unità stratigrafica questa viene digitalizzata, in modo da poter conservare memoria dei differenti livelli e degli oggetti trovati nella loro posizione originale. Lo scavo archeologico implica lo smontaggio della stratificazione, con la conseguente asportazione e distruzione delle unità stratigrafiche via via individuate ed esposte, la fotogrammetria consente di porre rimedio a questa pratica distruttiva. Nell'utilizzo e diffusione delle tecniche fotogrammetriche, le reti sociali giocano un ruolo chiave. Le informazioni ottenute negli scavi sono condivise con archeologi, scienziati, studenti e altre figure legate al mondo dell'archeologia, attraverso piattaforme online permettendo la creazione di una rete sociale che collabora nel processo di investigazione.

Si punta ad ottenere un metodo partecipativo e collaborativo molto più efficace ed efficiente non ottenibile con le vecchie tecniche.

Tutte le informazioni ottenute non sono utili solo a fini di ricerca e di studio, ma si inseriscono anche nel percorso di una produzione cinematografica, ed è questo il caso del lavoro svolto da Robin Studio che ha ricevuto foto, modelli 3D, e altre informazioni rilevate in uno scavo archeologico che sono state rielaborate in dei prodotti audiovisivi destinati al cultural heritage.

Preproduzione

Descrizione della mostra

Si riporta in seguito una descrizione del percorso della mostra, che è stato analizzato in fase di preproduzione per individuare numero e tipologia dei contenuti da produrre, per concordare un budget e, in base alle tematiche affrontate in ogni sezione della mostra, definire lo stile utilizzato per tutti i contenuti. Da parte del cliente ci sono state fornite anche altre informazioni, come la pianta della mostra con il percorso che avrebbero compiuto gli spettatori, e per il mood da dare ai contenuti prodotti per la mostra è stato fornito un insieme di reference e mockup.

Il percorso della mostra si divide in due grandi blocchi: una prima parte riguarda il passaggio dal visibile all'invisibile, la seconda dall'invisibile tornando di nuovo al visibile.

Ingresso

Per questa mostra, nella sala che si trova all'ingresso si è deciso di ospitare oggetti donati da privati, non pertinenti con i reperti archeologici contenuti all'interno della mostra, ma aventi in comune il fatto di avere una storia dietro, oggetti che saranno probabilmente reperti di un'archeologia futura.

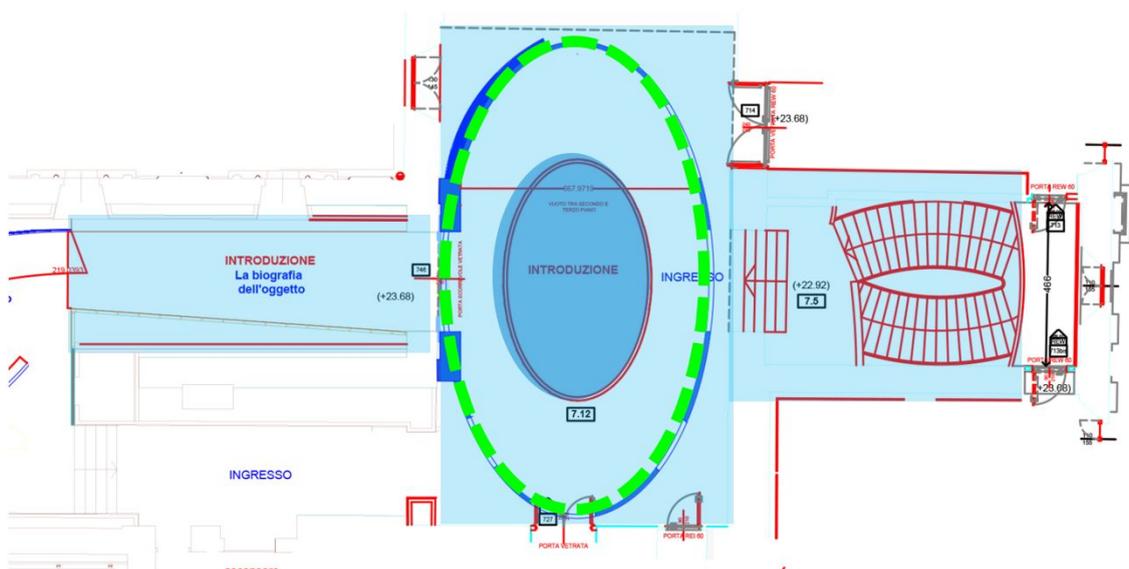


Figura 3.1 Pianta dell'ingresso (in verde)

*“Ciascun oggetto possiede una propria biografia,
unica e irripetibile, che non termina insieme all’epoca o
alla civiltà dalle quali ha avuto origine, ma continua a
registrare silenziosamente frammenti di nuove memorie,
via via che l’oggetto attraversa il tempo
e i mutamenti della storia”*

Questo per introdurre il concetto su cui si basa l’esposizione: ogni oggetto ha la sua biografia. Oggetti di varia natura, un violino, dischi, libri, giochi, sono stati esposti in vetrina accompagnati dalla loro storia. Non sono stati previsti video da produrre per questa parte iniziale.

Introduzione

Entrando nel corridoio adiacente all’ingresso, ci si concentra sulla biografia dell’oggetto, ed è presente una mappa della mostra per orientare i visitatori all’esperienza attraverso il concetto dello spettro del visibile. La mostra verterà su tre concetti principali legati all’oggetto: il suo contesto, la decontestualizzazione e la ricontestualizzazione.

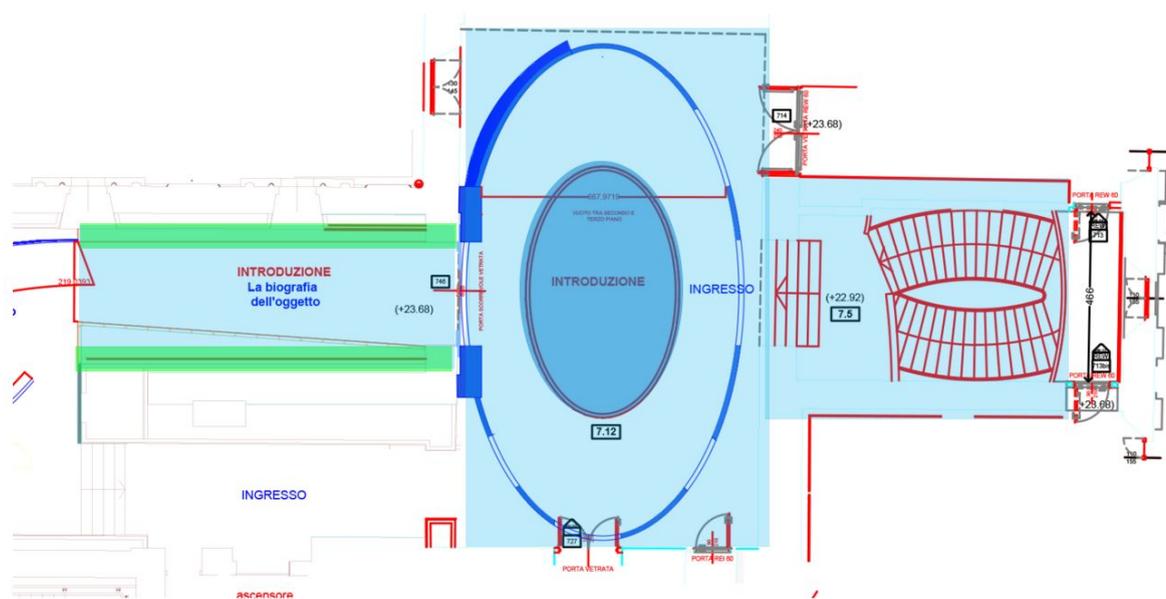


Figura 3.2 Pianta dell’introduzione (in verde)

Sezione Uno

Nella prima sezione parte l'area della mostra dedicata al passaggio dal visibile all'invisibile. Si narrano le tecniche di documentazione di uno scavo, partendo dalla documentazione ai tempi di Schiaparelli per arrivare alla documentazione eseguita con le odierne tecniche.

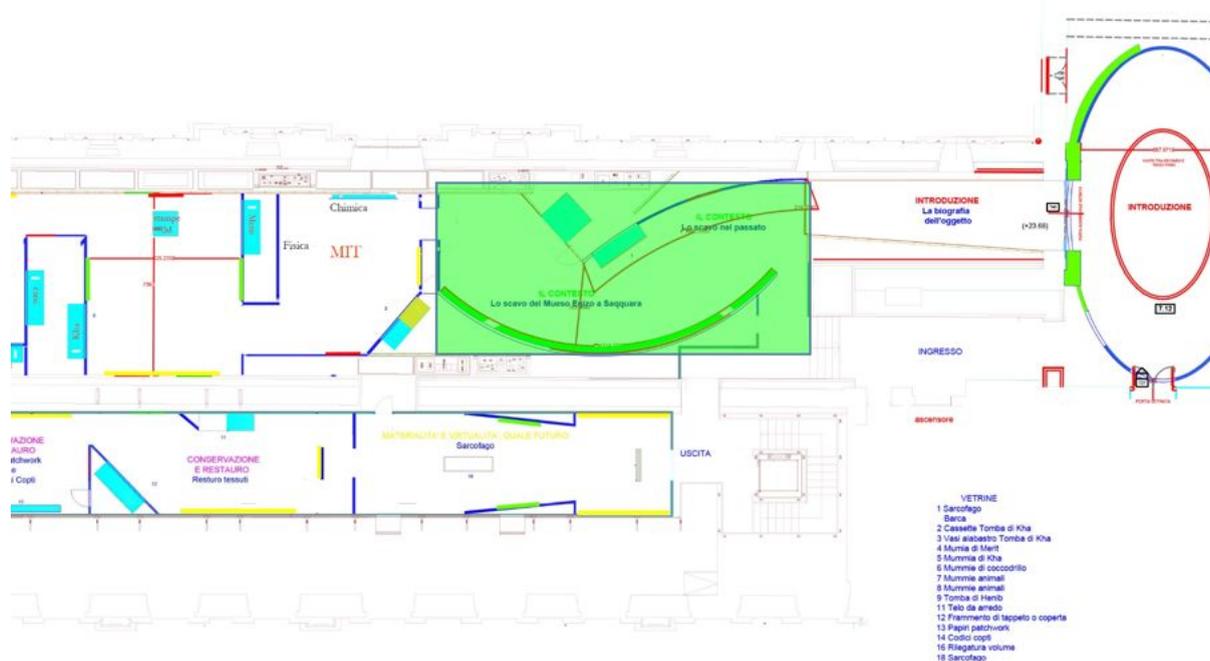


Figura 3.3 Pianta della sezione uno (in verde)

Nella parte dedicata alla documentazione ai tempi di Schiaparelli, un video mostra come avveniva tale documentazione, ovvero tramite fotografia tradizionale, con fotocamere dell'epoca, tramite le quali venivano impresse delle lastre antenate della più recente pellicola.



Figura 3.4 Frame del video Documentazione degli scavi

Emergono i limiti delle vecchie tecnologie: mezzi ingombranti e più complicati da utilizzare, e la difficoltà nel trasmettere le informazioni, inviate fisicamente a destinazione.

Lo scavo archeologico a cui si fa riferimento è quello compiuto a Saqqara.

Lo scopo di del video successivo è introdurre come la tecnica della fotogrammetria venga utilizzata all'interno di uno scavo archeologico.

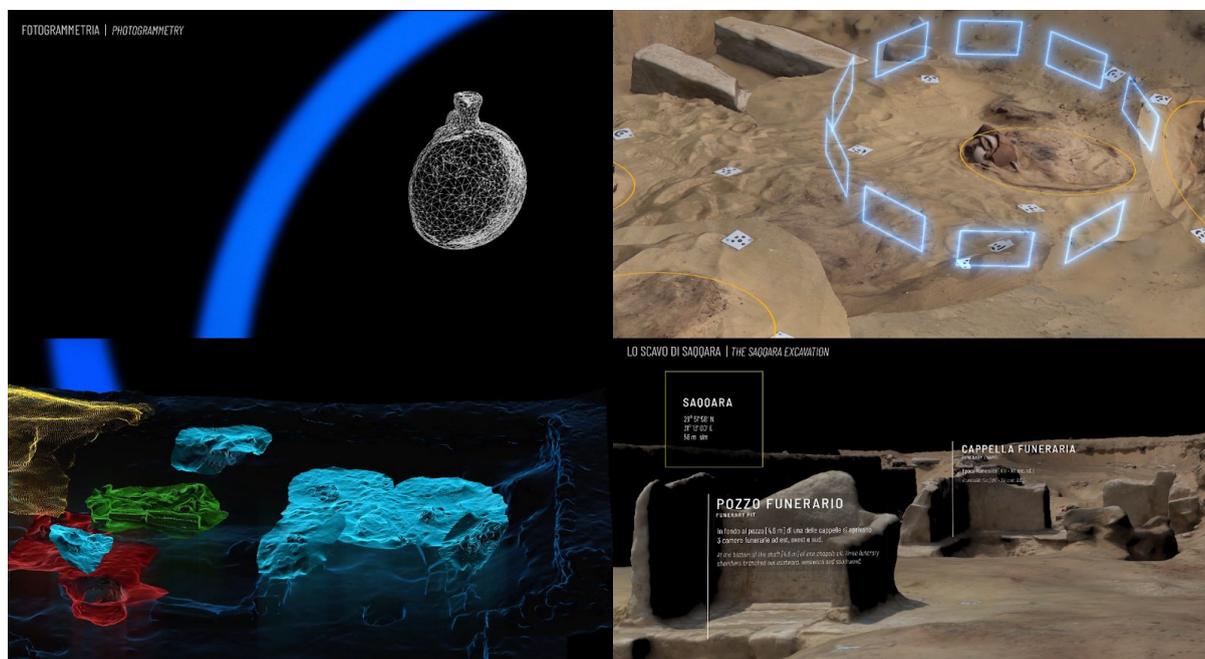


Figura 3.5 Frame del video Fotogrammetria/Lo scavo di Saqqara

Si parte dalla nuvola di punti, elemento facente parte del workflow della fotogrammetria, la prima parte della fase di analisi di un oggetto dalla quale verrà poi ricostruita la mesh del suddetto. La nuvola di punti va a formare la mesh di una fiaschetta, oggetto trovato nello scavo di Saqqara, e si mostra come vengano posizionati dei marker sul suolo e vengano scattate una serie di fotografie intorno all'oggetto. Una vista dall'alto mostra come uno scavo archeologico sia composto da più livelli che vengono scansati e successivamente rimossi.

Segue un'esplorazione in prima persona dello scavo ricostruito in 3D, dove ogni elemento importante è accompagnato da una didascalia.

All'interno della mostra, gli oggetti scansati sono stati inoltre stampati in 3D, ottenendo delle fedeli riproduzioni, disponibili agli spettatori che possono toccare di persona gli oggetti, andando oltre alla semplice visione.

Ad esempio la fiaschetta rinvenuta nello scavo di Saqqara, oggetto intorno al quale si incentra questa prima sezione della mostra, è stata stampata in 3D e messa a disposizione del pubblico. In questo modo l'oggetto originale anche se non presente fisicamente parla di sé e conserva la sua integrità grazie ai dati.

Sezione Due

La sezione due della mostra rientra sempre nel primo blocco, dal visibile all'invisibile.

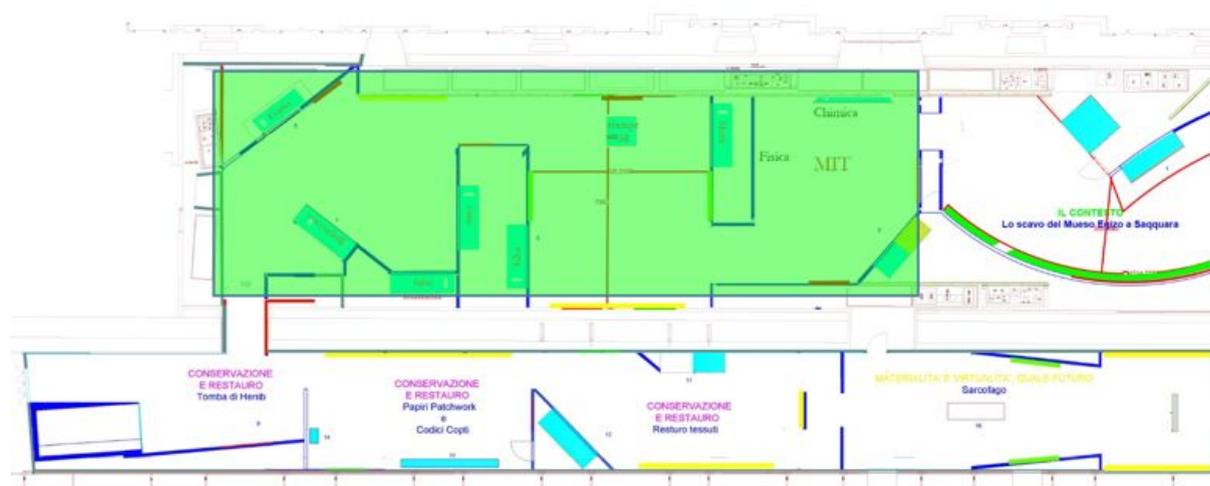


Figura 3.6 Pianta della sezione due (in verde)

Una sezione realizzata in collaborazione con l' MIT è dedicata alla realizzazione dei colori, mostrando quali colori venivano utilizzati e con quali sostanze venivano realizzati i pigmenti. Un video realizzato dal MIT accompagna la vetrina con i pigmenti esposti.



Figura 3.7 Sezione dedicata ai pigmenti

Segue l'analisi della Cassetta di Kha S. 8212.

I reperti ritrovati nella tomba di Kha e Merit (indicata con la sigla TT8, Theban Tomb 8), rinvenuta intatta nei pressi di Deir el-Medina, in Egitto, sono tra gli oggetti di maggior prestigio esposti nel museo e costituiscono buona parte del contenuto della mostra "Archeologia Invisibile".



Figura 3.8 Vetrina dedicata alla Cassetta di Kha S. 8212

Kha era il capo architetto del faraone Amenhotep III, XVIII dinastia (1543 – 1292 a.C.); la scoperta della tomba di Kha, insieme a quella della moglie Merit, si deve all'archeologo Ernesto Schiaparelli e risale al 1906.

Dopo aver acquisito i rudimenti sulla chimica e sulla fisica dei colori, la cassetta ci permette di applicare subito queste conoscenze.

Nella prima parte della vetrina viene mostrata la carpenteria della cassetta attraverso repliche in legno dei singoli elementi che la compongono. A sinistra della vetrina i disegni tecnici realizzati da N. Nishimoto permettono di leggere la struttura della cassetta e il suo assemblaggio ad incastro.

Nella seconda parte della vetrina viene mostrata la cassetta S. 8212 e nello schermo, a destra della vetrina, si mostrano le analisi multispettrali eseguite sulla cassetta, che permettono la comprensione di informazioni circa la realizzazione della decorazione del reperto, dettagli in altro modo non individuabili.

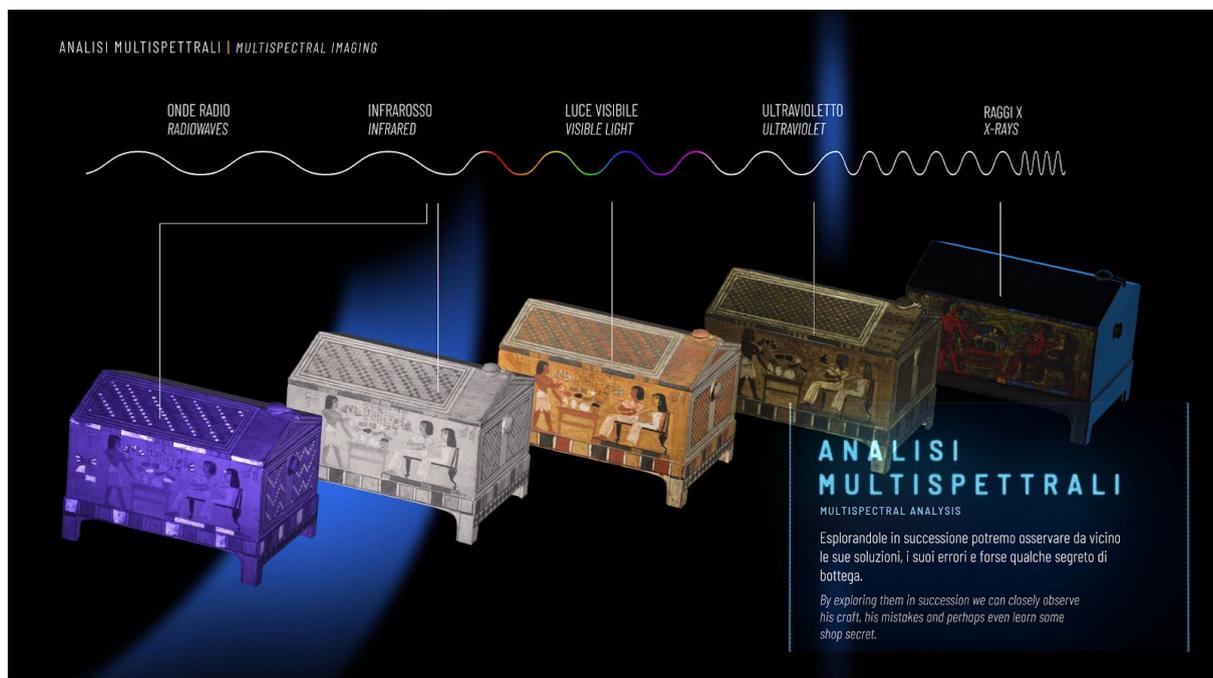


Figura 3.9 Frame del video Analisi Multispettrali

All'interno del video, si passa dall'esplosione della cassetta che mostra come si compone l'oggetto, alla nuvola di punti e infine alla mesh. Cinque versioni della cassetta mostrano il reperto sotto la luce visibile, la luce a infrarossi, l'analisi con VIL (Visible Induced Luminescence), la luce ultravioletta e con l'analisi con MACRO XRF (X-ray fluorescence). Ogni analisi sotto una luce diversa rivela dettagli del reperto altrimenti non individuabili senza tecniche non invasive.

Il video seguente riguarda l'analisi di dei vasetti in alabastro, il tema del video è mostrare come si può studiare un oggetto senza distruggerlo attraverso le radiografie neutroniche, questo tipo di raggi infatti può superare anche il metallo o la pietra e analizzare la struttura interna di un oggetto. In questo caso le sonde a neutroni sono state utilizzate per rilevare la composizione chimica del contenuto dei vasetti, potendo lasciarli sigillati. Collaborano in questa analisi scienze naturali e scienze archeologiche.

Segue la sala delle mummie umane e animali, si spiega come venivano analizzate le mummie nel passato e ai tempi odierni.

Prima dell'invenzione dei raggi X, le mummie venivano sbendate andando ad intaccare in maniera distruttiva il reperto. Le mummie sono state oggetto di un interesse antiquario e scientifico che, tuttavia, ne ha determinato per secoli la sistematica distruzione.

Adesso con le nuove tecniche si riesce a preservare l'oggetto.

Le mummie di Kha e Merit sono state analizzate con tecniche non distruttive, tramite le quali sono stati ricostruiti degli sbendaggi virtuali che permettono di osservare le mummie al loro interno.

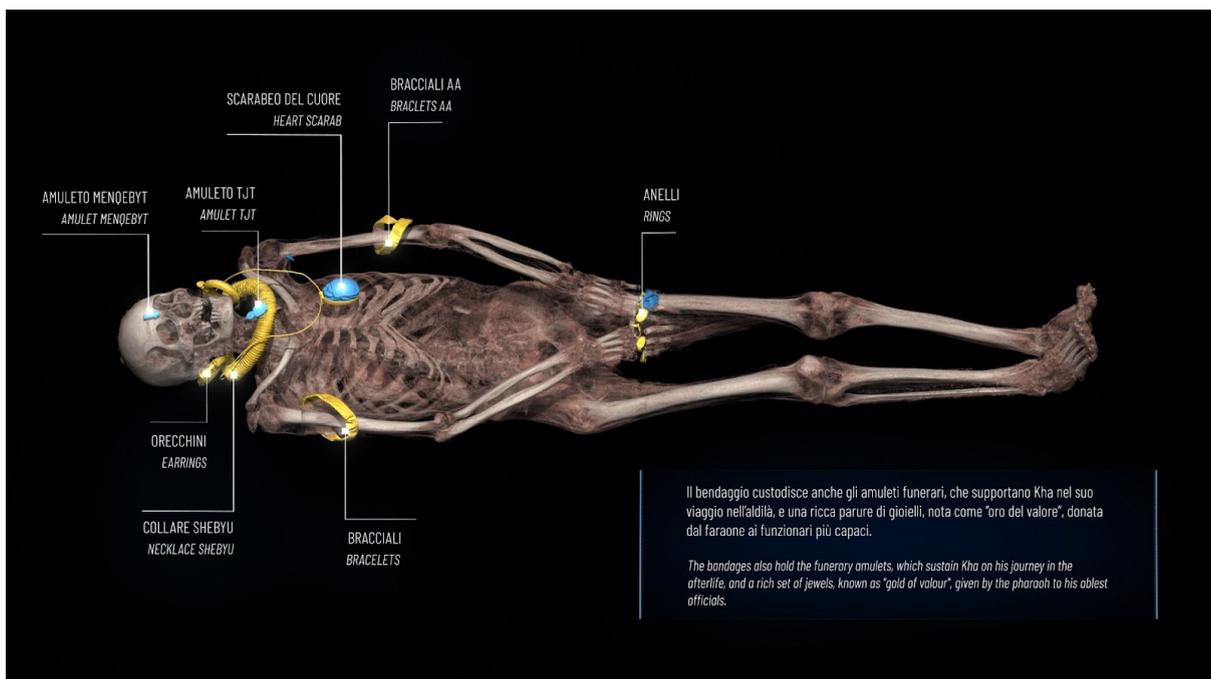


Figura 3.10 Frame del video dello sbendaggio di Kha

Tramite l'analisi ai raggi X e con TAC, è stato analizzato il contenuto dei bendaggi, compresi gli oggetti con cui furono sepolti i corpi sottoposti a mummificazione. È stato possibile quindi ricostruire i gioielli con cui furono sepolti i corpi di Kha e Merit, che sono stati ricostruiti tridimensionalmente e riprodotti per essere esposti all'interno della mostra.



Figura 3.11 Riproduzione dei gioielli con stampa 3D

Sono esposte diverse mummie animali. Sono state esaminate le tecniche di bendaggio e la datazione dei reperti. Lo studio delle mummie ha anche permesso di riconoscere dei falsi, probabilmente prodotti nell'Ottocento, la cui produzione è iniziata con la nascita delle missioni archeologiche.

Sezione Tre

La terza sezione della mostra inizia la seconda parte del percorso, il ritorno dall'invisibile al visibile, legato alle scienze del restauro applicate sui reperti e alla loro conservazione.

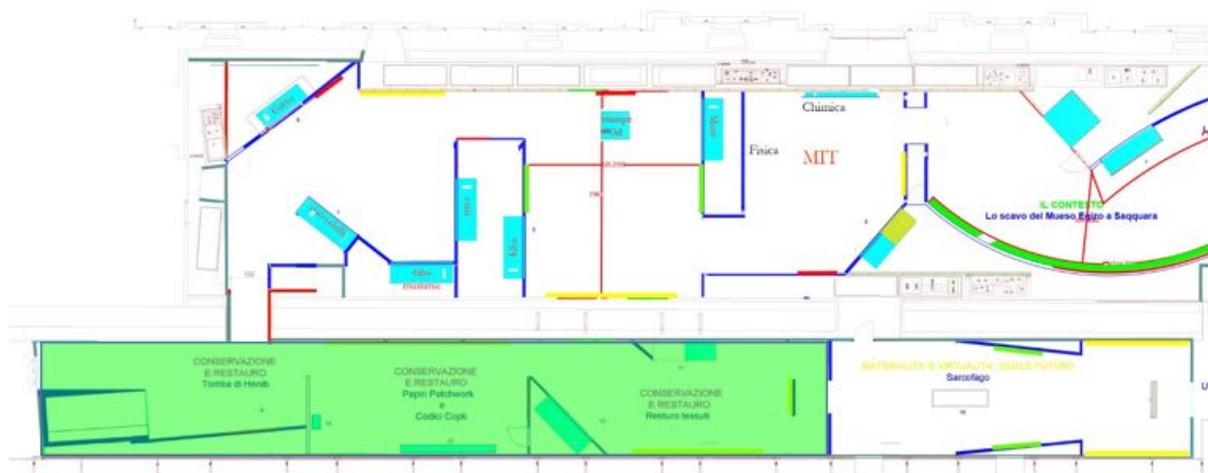


Figura 3.12 Pianta della sezione tre (in verde)

La sezione dedicata alla tomba di Irti e Neferu mostra la storia della tomba dalla scoperta all'attuale ricostruzione. Si compone la struttura della tomba in outline, si mostrano i dipinti contenuti al suo interno e di come interventi di restauro e analisi multispettrali abbiano portato alla scoperta di nuove informazioni.

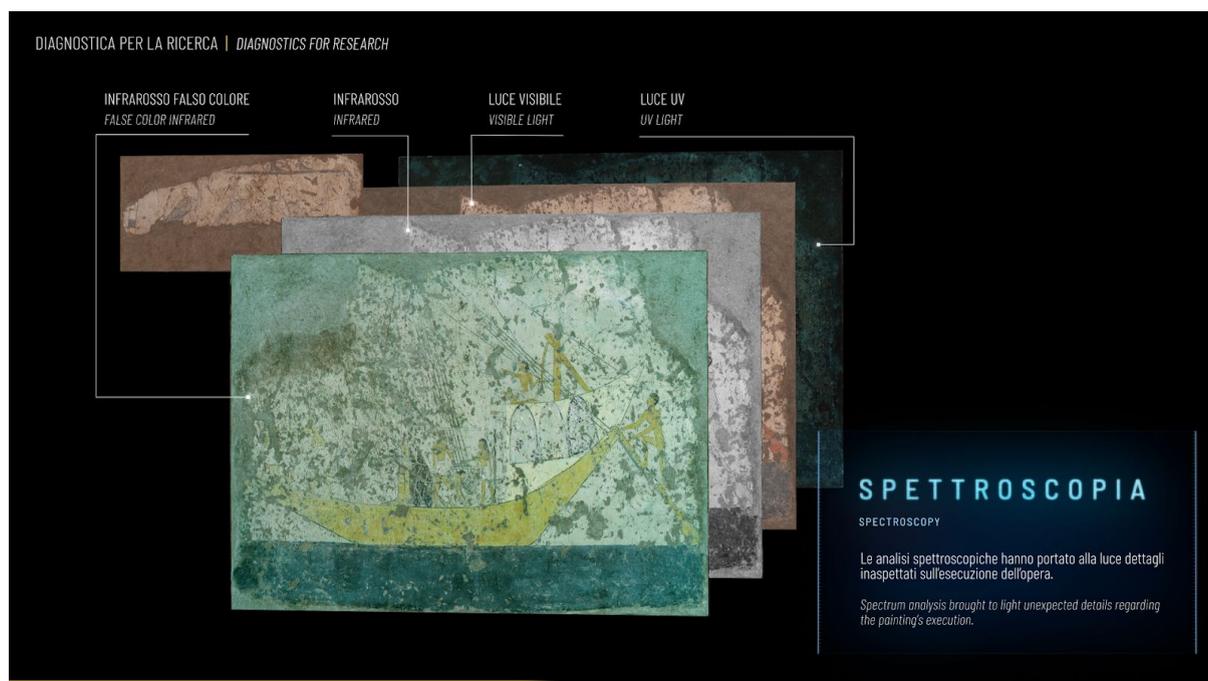


Figura 3.13 Frame del video Diagnostica per la ricerca

Segue un video sull'analisi e sul restauro dei papiri e sulla decodifica del loro contenuto.

Negli anni passati i cosiddetti papiri patchworks furono restaurati prelevando frammenti di altri papiri di natura amministrativa, letteraria o magica, utilizzati sul

recto come "pezze" per riempire delle lacune. Trattandosi di interventi, per così dire storicizzati, che documentano uno specifico frammento di storia del restauro e della cultura occidentale moderna, interventi che fanno parte della biografia dell'oggetto stesso, non si è proceduto al distacco dei singoli frammenti dai papiri funerari, realizzando invece immagini digitali ad alta risoluzione del materiale, rispettando al contempo norme condivise in fatto di etica del restauro conservativo.

Seguendo il percorso è presente un video intervista sui papiri copti: in primis, comprendere la struttura degli ingredienti che compongono gli inchiostri permetterà di capire come lavoravano gli atelier che si occupavano della manifattura dei codici e da dove si procuravano le materie prime. Inoltre, la possibile individuazione di diversi inchiostri sullo stesso codice permetterà di comprendere se si sono avvicendate più mani nella sua realizzazione, se esse sono coeve o se si tratta di restauri avvenuti in diverse fasi, permettendo così di delineare anche aspetti socio-economici della manifattura del libro egiziano.

Per la sezione su studio e housing dei tessuti, è stato messo a punto di un sistema di consolidamento ed esposizione calibrato sul degrado del manufatto ma con l'ambizioso obiettivo finale di esporlo lasciando visibili entrambi i lati. Un sistema di consolidamento con supporti tessili in crepeline di seta stabilizza i degradi e protegge il retro del tessuto. La trasparenza della crepeline garantisce la fruibilità di entrambi i lati del manufatto. Una riproduzione dei tessuti è stata messa a disposizione del pubblico.

Conclusione

L'ultima parte della mostra chiude il ciclo del viaggio dal visibile all'invisibile e del ritorno al visibile. Per questa sezione è stata stampata in 3D una riproduzione in scala uno a uno del sarcofago esterno dello scriba reale Butehamon, vissuto tra la fine del Nuovo Regno e l'inizio del Terzo Periodo Intermedio. Le indagini diagnostiche non invasive hanno fornito indizi interessanti sulla storia del manufatto e sulle tecniche di falegnameria utilizzate. Le radiografie hanno chiarito la struttura generale del coperchio (16 elementi) e della cassa (11 elementi). Per la cassa sono stati riutilizzati elementi di almeno quattro diversi sarcofagi. radiografie e altre analisi hanno mostrato come gli elementi riutilizzati siano stati rimodellati, e la presenza di due strati pittorici sovrapposti.

Per la parte finale, che doveva concludere in modo sensazionale la mostra, sono stati realizzati un projection mapping sul sarcofago, posto al centro della sala, e due video proiettati lateralmente.

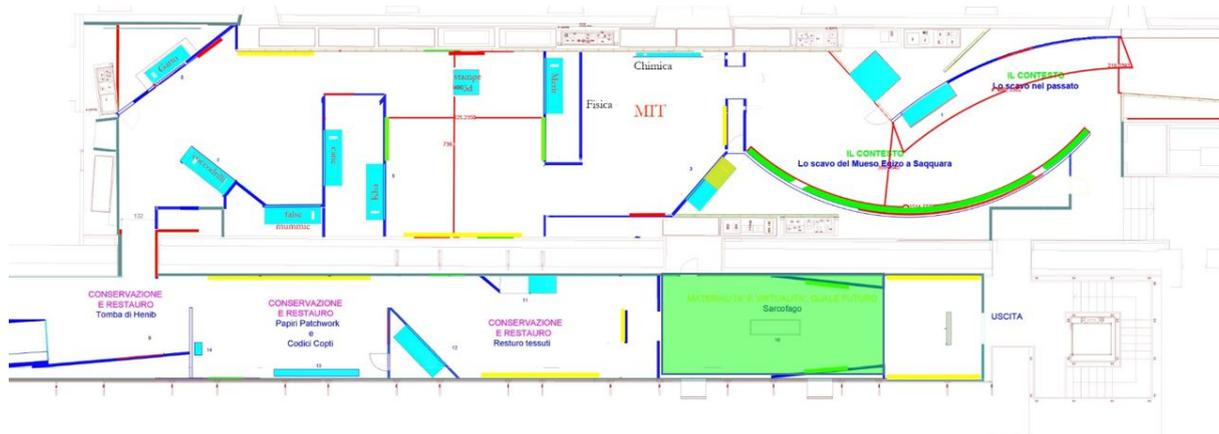


Figura 3.14 Pianta della parte conclusiva (in verde)

I video laterali seguono una struttura simile agli altri video realizzati per la mostra, si mostra il sarcofago che si forma a partire da una point cloud, con texture in luce visibile, si scompone nei vari elementi che lo formano, si ricompone e seguono descrizioni di dettagli visibili. Operai realizzati con un particellare, animati grazie ad una tuta per il motion capture, simulano la costruzione del sarcofago. Nel projection mapping le texture applicate al sarcofago stampato in 3D variano a sync con i video laterali.



Figura 3.15 Projection mapping sul sarcofago di Butehamon e video laterali

Budget della mostra

Una installazione in un museo può avere un costo che varia dai 670 ai 500 euro per metro quadro. Un prezzo così variabile è dovuto alle diverse tipologie di musei ed installazioni che vengono realizzate. Una mostra d'arte senza installazioni particolari costerà meno di una mostra di un museo di scienze naturali con installazioni interattive.

Il prezzo di una mostra dipende anche dall'illuminazione delle esposizioni, dal rivestimento di pavimenti e pareti, da requisiti elettrici speciali.

Una cifra compresa tra il 20% e il 25% del budget di una mostra è destinato alle spese per la progettazione del design dell'installazione. Di questa cifra, a seconda del tipo di esposizione, circa il 25-50% è destinato alle spese di progettazione grafica.

Per quanto riguarda il Museo Egizio, il programma di mostre temporanee prodotte dal museo, dopo "Il Nilo a Pompei", "Missione Egitto" e "Anche le statue muoiono" ha deciso di investire maggiormente nella mostra "*Archeologia Invisibile*", in quanto si aveva l'obiettivo di realizzare una mostra d'avanguardia dedicata alla ricerca archeometrica sugli oggetti.

La complessità della mostra ha comportato un cospicuo investimento finanziario che, per il 2019, è stato quantificato nella cifra di € 430.000, il 6% del totale dei costi preventivati per l'anno 2019.

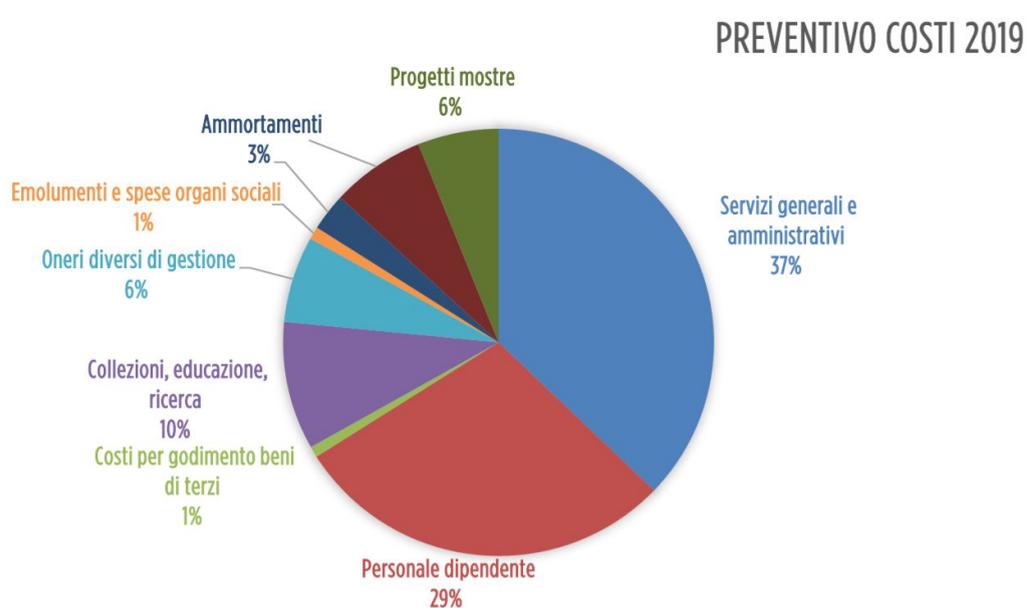


Figura 3.16 Preventivo dei costi del Museo Egizio per il 2019

La percentuale è in linea con il capitale investito in esibizioni temporanee da parte di altri musei internazionali. Prendendo ad esempio il Metropolitan Museum, la cui mostra “*Heavenly Bodies*” è stata la più visitata al mondo nell’anno 2018, con 1.659.647 ingressi, osservando il report annuale del museo possiamo osservare che la percentuale dei costi preventivati per le esibizioni è del 7%.

Il budget destinato alla produzione dei contenuti da parte di Robin Studio è stato, per nove video, di 40.000 euro, un decimo quindi del budget totale destinato alla produzione della mostra. È stato in seguito ampliato con la richiesta del Museo Egizio di produrre altri video, raggiungendo il totale di circa 44.000 euro.

2018 Operating Expenses
(Excluding Auxiliary Activities)
\$304.7 Million

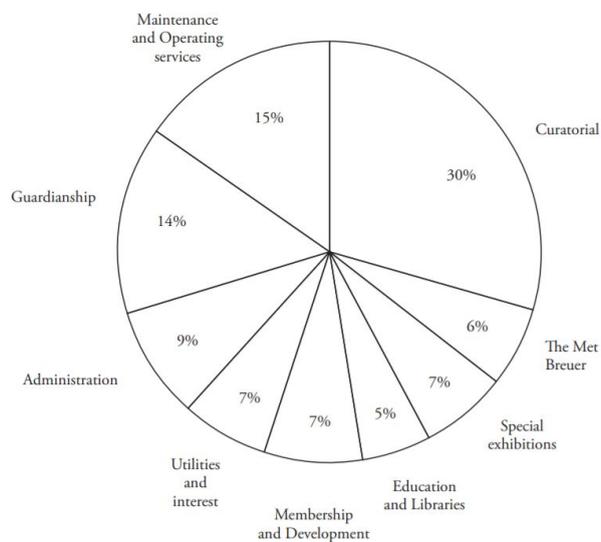


Figura 3.17 Preventivo dei costi del Metropolitan Museum per il 2018

Organizzazione del team di lavoro

I contenuti per la mostra “Archeologia Invisibile” sono stati prodotti in tempi abbastanza ristretti. L’apertura della mostra è stata il 12 marzo, e poiché i contenuti dovevano essere sottomessi all’approvazione dei curatori, che di volta in volta hanno proposto modifiche sui contenuti dei video, è stato deciso di stabilire come deadline per la consegna degli animatic di tutti i video il 31 gennaio. Lo scopo degli animatic era quello di mostrare ai curatori durata dei video, contenuto e ordine delle animazioni, in modo da rendere un’idea generale di quello che sarebbe stato il video finale, offrendo la possibilità di andare a correggere lo storyboard e le didascalie che sono state inserite nei video.

L’allestimento ha previsto in tutto la realizzazione di quattordici video, ma non è stato l’unico settore in cui Robin ha lavorato. Durante l’organizzazione del lavoro, sono stati individuati tre grandi settori nei quali suddividere il lavoro:

- Installazioni video che sono state esposte nella mostra, che hanno previsto animazioni di elementi in 2D e in 3D, riprese video, e la realizzazione di un projection mapping sul sarcofago stampato in 3D.
- Produzione video promozionali per la mostra, con scadenze temporali ben definite, andando a realizzare un teaser trailer e, una volta allestita la mostra, un video promozionale per mostrare la fase di allestimento. È stato realizzato un video per mostrare i concetti su cui si è basata la mostra, ad esempio andando a mostrare la scansione del sarcofago e andando a intervistare chi si è occupato della procedura.
- Produzione grafica: inviti per il pubblico, cartelli, didascalie, targhe, adv per offline, affissioni, grafiche a muro, banner, teli, adesivi, template per cartella stampa, web, didattica, landing page. Sono state prodotte inoltre in collaborazione col reparto grafica del Museo Egizio le grafiche per la mostra (infografiche, didascalie, sagome, ecc.)

Per organizzare al meglio in lavoro nei diversi settori, il team di Robin Studio è stato diviso in squadre: comunicazione video, animazione 2D, animazione 3D, projection mapping e grafica.

Dato l’elevato numero di contenuti da produrre e il tempo ridotto a disposizione, per quanto riguarda la produzione dei video si è deciso di assegnare un video ad ogni

persona: in questo modo la produzione di tutti i video ha potuto procedere simultaneamente e più velocemente: assegnare ad ogni persona una parte di ogni video avrebbe portato alla formazione di un collo di bottiglia, perché chi si sarebbe occupato delle ultime parti nel workflow di lavoro avrebbe ricevuto il materiale su cui lavorare tutto insieme e a ridosso della scadenza, senza contare che i video sono stati costantemente sottoposti a revisione e questo avrebbe comportato un continuo passaggio di materiale nel team di lavoro.

Per contro, questa metodologia di lavoro ha comportato che ogni persona lavorasse su ogni aspetto del video (lavorando quindi in settori in cui avrebbe potuto essere meno skillato di altri per velocità e risultati). Avendo lavorato in più persone sullo stesso tipo di contenuto infine, (animazioni, 3D, didascalie), è stato necessario coordinarsi e confrontarsi in ogni momento per produrre lo stesso tipo di elementi.

Scelte stilistiche

Per questa mostra si è cercato di andare oltre ai semplici slideshow e didascalie, presentando i contenuti in maniera diversa. Fulcro di “*Archeologia Invisibile*” è mostrare come ogni oggetto abbia una sua biografia, e mostrare quali siano le moderne tecniche di analisi di un oggetto. I video realizzati per la mostra si legano a questi concetti, utilizzando gli stessi prodotti della analisi sui reperti, come i modelli delle fotogrammetrie, le immagini ricavate dalle analisi multispettrali, il tutto organizzato secondo un percorso narrativo studiato già in fase di storyboarding. Per questa mostra Robin ha utilizzato quindi nella realizzazione dei video le stesse tecniche applicate effettivamente nello scavo archeologico.

Prima ancora della realizzazione degli animatic, insieme al reparto che si è occupato della grafica, il reparto di produzione video ha cercato di individuare lo stile visivo che tutti i video avrebbero dovuto avere. Il processo produttivo è stato quello di cercare all’inizio reference per andare a creare una moodboard e in seguito di cercare degli elementi grafici standard da inserire in ogni video per creare una coerenza visiva all’interno della mostra.

Il reparto grafica che stava già lavorando insieme al Museo Egizio sullo stile delle locandine e di tutto il materiale promozionale ci ha dato degli spunti e dei consigli soprattutto per quanto riguarda la palette colori che ci sarebbe stata all’interno della mostra.

La palette di colori che è stata utilizzata è la seguente:

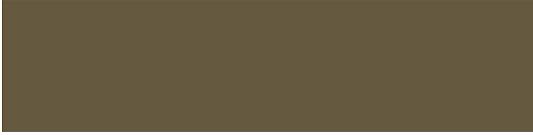
AZZURRO	cmyk: 100 20 5 20 rgb: 0 119 174 hex: 0077AE	
GIALLO	cmyk: 0 10 90 0 rgb: 255 222 20 hex: FFDE14	
BLU	cmyk: 100 20 5 70 rgb: 0 60 89 hex: 003C59	
OCRA	cmyk: 10 20 50 70 rgb: 101 90 63 hex: 655A3F	

Figura 3.18 Palette di colori utilizzata

I colori blu e azzurro sono stati i colori principalmente utilizzati, essendo il blu legato al pigmento blu egizio, il primo vero pigmento sintetico ad essere stato utilizzato e al quale è dato ampio spazio all'interno della mostra. Giallo e ocra sono stati utilizzati per elementi secondari, assieme al bianco.

Per le grafiche presenti nei video si è scelto di utilizzare elementi semplici:

- linee per i callout, dallo spessore ridotto (2 o 4 pixel), con quadrati o rettangoli per andare ad evidenziare le aree interessate. Il colore dove possibile è stato il bianco, per motivi di leggibilità in alternativa si sono utilizzati il giallo e l'azzurro
- per i puntatori sono stati utilizzati quadrati, sempre di pochi pixel di dimensione, leggermente lampeggianti con un effetto di glow
- per le didascalie è stato utilizzato uno sfondo blu trasparente con linee verticali ai bordi che sono state animate, i titoli delle didascalie appaiono con un effetto stile glitch
- le transizioni nello spettro sono indicate da una barra gialla che si sposta nelle zone dello spettro elettromagnetico, indicate lungo una sottile linea azzurra
- per gli elementi chimici, in linea con gli altri elementi grafici, sono stati utilizzati quadrati azzurri con all'interno in bianco il simbolo dell'elemento e altre informazioni chimiche

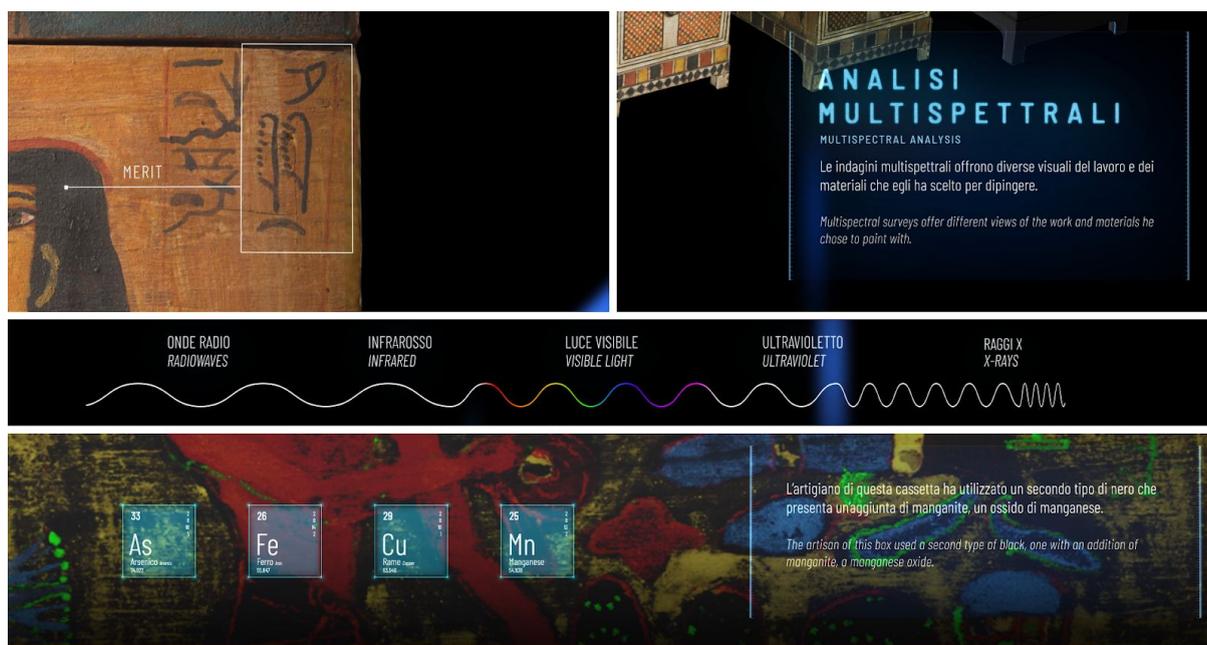


Figura 3.19 Alcuni degli elementi grafici utilizzati

Per i video sono stati utilizzati schermi con risoluzione 4K (ULTRA HD), fatta eccezione per il video sui vasetti di alabastro, necessari nel momento in cui si è deciso a storyboard di andare a indicare i dettagli e le imperfezioni degli oggetti scansionati, che sono stati mostrati con texture e immagini ad altissima risoluzione.

I monitor utilizzati sono:

- LG monitor Ultra HD serie UH5C con luminosità di 500 nit da 65 e 55 pollici
- LG monitor FULL HD serie SE3KE con luminosità di 350 nit da da 43 e 32 pollici

Per i testi sono stati utilizzati i seguenti font:

- Testi in italiano: Barlow condensed Light - 50 px
- Testi in inglese: Barlow condensed extra light italic - 45 px - VA 10
- Titoli in italiano: Barlow semicondensed medium regular - 90 px - VA 300
- Titoli in inglese: Barlow semicondensed medium regular - 35 px - VA 100

Barlow è una famiglia di font leggermente arrotondata, a basso contrasto, che prende ispirazione dai font grotesk, un carattere realist sans-serif, disponibile tra i Google fonts. Attingendo allo stile visuale californiano, prende ispirazione dalle targhe di auto, dalle insegne stradali, di bus e treni. È realizzato da Jeremy Tribby, un designer con base in San Francisco, USA.

È stato utilizzato lo stesso background per tutti i video: su sfondo nero, delle forme blu che si muovono lentamente, sfocate perché non andassero a rendere più difficile la lettura degli elementi in primo piano, e con applicato un effetto di noise.

Per questi video si è deciso di adottare una struttura ciclica, in cui inizio e fine coincidono. Lo scorrere del video è indicato da una barra di progressione, ma in questo modo i video sono fruibili dallo spettatore in qualsiasi momento, senza che si noti uno stacco nel momento in cui il video riparte dal principio, al fine di agevolare la visione dei contenuti che può partire da qualsiasi punto del video senza che se ne perdi la continuità.

I video realizzati per “*Archeologia Invisibile*” non accompagnano solamente le vetrine in cui sono esposti i reperti archeologici, ma completano le informazioni in esse contenute, formando parte integrante della mostra. D'altronde è obiettivo di una mostra sulle tecniche archeometriche andare oltre alla semplice apparenza di un oggetto, e non sarebbe stato possibile rendere questo concetto senza il lavoro svolto da Robin.

La scelta di associare alle vetrine in cui sono esposti i reperti dei video è dettata anche dall'evoluzione del modo in cui le persone fruiscono di contenuti utilizzando i diversi media oggi a nostra disposizione.

I cosiddetti “vecchi media” sono sempre meno utilizzati: secondo un'indagine svolta dalla Innovation Enterprise sulle abitudini della popolazione statunitense, tra gli anni 2012 e 2016 la percentuale della popolazione che guarda regolarmente la televisione è diminuita del 19%, con un divario massimo nella fascia di età che va dai 18 ai 24 anni, dove il tempo speso a guardare la tv è diminuito del 39%. Crescono invece i video visti su mobile, ad esempio la quantità di video guardati su Instagram è aumentata rispetto al 2017 del 60%, e la quantità di tempo speso sugli smartphone giornalmente aumenta ogni anno del 76%.

Si legge anche meno: dal 2003 al 2018, il tempo speso giornalmente dalla popolazione statunitense nella lettura per interesse personale è diminuito di sei minuti, arrivando a meno di 16 minuti per giorno.

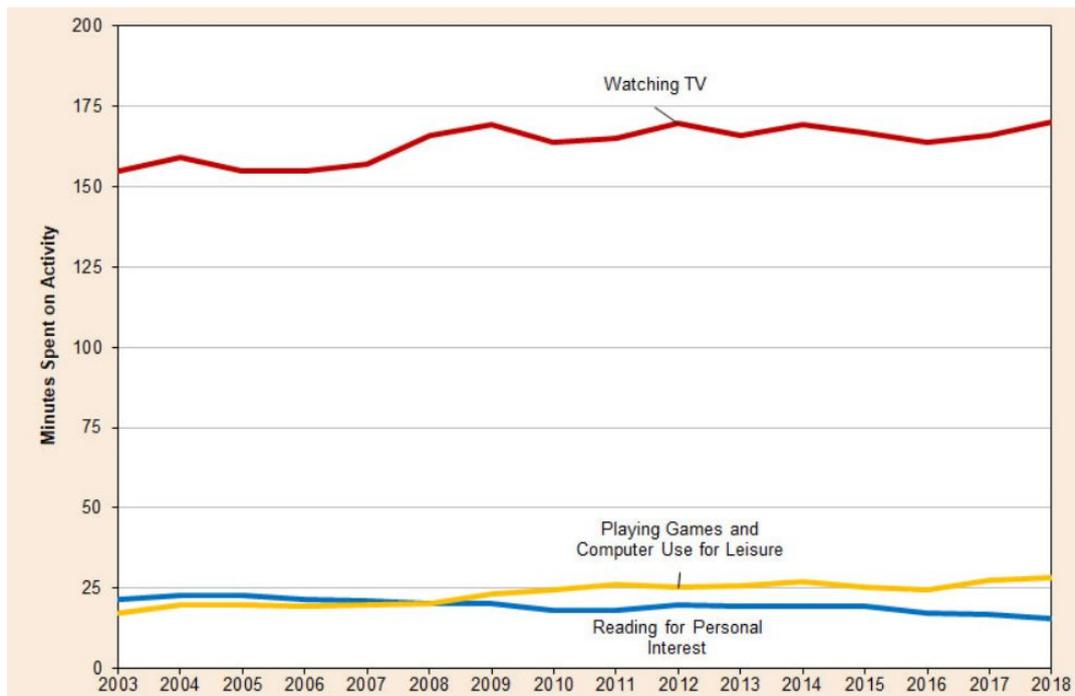


Figura 3.20 Grafico del tempo speso leggendo o su schermo

I nuovi media invece sono sempre più utilizzati: secondo un'indagine di We Are Social, gli utenti di Internet nel mondo sono cresciuti dell'8,6 per cento negli ultimi dodici mesi, con 350 milioni di nuovi utenti che hanno contribuito a un totale complessivo di 4.437 miliardi all'inizio di aprile 2019.

Anche i numeri degli utenti dei social media hanno registrato una solida crescita, aumentando di oltre 200 milioni dall'anno scorso per raggiungere quasi 3,5 miliardi al momento della pubblicazione dell'indagine. Tuttavia, i recenti cambiamenti nella metodologia di segnalazione di Facebook indicano che la crescita effettiva è stata probabilmente ancora più elevata.

Ora ci sono più di 5,1 miliardi di persone in tutto il mondo che usano un telefono cellulare - un aumento su base annua del 2,7% - con gli smartphone che rappresentano oltre i due terzi di tutti i dispositivi attualmente in uso.

Circa il 98% degli utenti di social media del mondo - oltre 3,4 miliardi di persone - accede alle piattaforme social tramite dispositivi mobili.



Figura 3.20 Grafico di We Are Social sulla diffusione dei mezzi digitali

Inoltre, uno studio di Ophir e collaboratori del 2009, “Cognitive control in media multitaskers” ha mostrato come l’utilizzo costante dei nuovi media, che comportano spesso attività multitasking, conduca ad una diminuzione dell’attenzione e quindi ad una maggiore probabilità di distrarsi dopo tempi sempre più brevi.

I contenuti della mostra si sono adattati a tutte queste tendenze, offrendo contenuti aggiuntivi rispetto alle classiche didascalie, con una maggiore interattività (ad esempio le stampe degli oggetti 3D messe a disposizione del pubblico), che catturassero l’attenzione e di breve durata (la durata dei video in fase di storyboard era stata preventivata di al massimo un paio di minuti).

Workflow della fotogrammetria

Introduzione

La fotogrammetria è il processo di creazione di un asset 3D che utilizza più foto dell'oggetto fisico per crearne un duplicato digitale. Esistono diversi usi per la fotogrammetria e il flusso di lavoro può variare in base al contesto.

La fotogrammetria viene utilizzata in differenti campi, tra i quali l'archeologia. Gli archeologi utilizzano la fotogrammetria per produrre rapidamente piani di siti grandi o complessi.

Trova larga applicazione anche nell'industria del cinema e dei videogiochi, in quanto permette di ottenere in tempi rapidi modelli 3D di attori (nel caso dei film) da utilizzare in frammenti di pellicola composti in GCI, e permette di ottenere oggetti, persone, animali. I modelli 3D ottenuti dalla fotogrammetria spesso contengono un numero elevato di poligoni, difficili da gestire a livello computazionale, pertanto questi modelli vengono spesso semplificati.

Un esempio di fotogrammetria utilizzata nell'industria cinematografica è la serie di cortometraggi in computer grafica "ADAM" realizzata da Neill Blomkamp, creata con l'obiettivo di mostrare le potenzialità del software Unity e del rendering in Real Time. Interi set sono stati ricavati da luoghi reali scansionati e convertiti in modelli 3D, al fine di ottimizzare i tempi di modellazione nel corso della produzione dei corti.



Figura 4.1 Foto di una struttura e il suo modello 3D

Verrà nelle seguenti pagine descritto il workflow relativo alla fotogrammetria, al fine di utilizzare il risultato di questo processo all'interno di un prodotto visivo, prendendo come caso di studio uno dei video realizzati per "Archeologia Invisibile". Il workflow

previsto prenderà in considerazione produzioni con un budget ridotto, andando a utilizzare dove possibile strumenti facilmente accessibili e software open source. Il prodotto della fotogrammetria è una risorsa di altissima qualità, difficilmente utilizzabile in software per la creazione di prodotti visivi, per questo il workflow prevederà anche una fase di semplificazione dei modelli 3D, con la quale questi ultimi possono essere utilizzati all'interno di software di compositing, videogiochi e simili.

Il workflow si può suddividere in due parti principali: acquisizione e elaborazione.

La fase di acquisizione consiste nello scattare foto di un oggetto coprendolo nella sua interezza, da varie angolazioni. È utile raccogliere informazioni aggiuntive come la scala metrica, e assicurarsi di esporre correttamente le foto.

Durante l'elaborazione si generano la mesh e le texture del modello 3D. Prima le foto devono essere calibrate (bilanciamento del bianco), successivamente sono inviate a un software di ricostruzione, che confronta le forme contenute nelle foto per ricostruire le posizioni della camera nello spazio tridimensionale generando quindi una mesh ad alta risoluzione. Le informazioni sul colore contenuto nelle immagini sono utilizzate per creare la texture dell'oggetto.

I dettagli contenuti nella mesh ad alta risoluzione possono essere trasferiti ad una mesh più semplice, ottenuta con quella che viene definita retopology, generando una normal map dell'oggetto (baking delle normali), che viene usata come texture del modello a bassa risoluzione. Viene quindi generato un UV layout con un baking delle texture del modello originario.

Le texture ottenute conterranno elementi in luce e in ombra: questo perché sono state generate da foto dell'oggetto reale, esposto alla luce dell'ambiente in cui è stato fotografato. Per poter avere un asset utilizzabile in qualsiasi condizione di illuminazione, è necessario rimuovere questo tipo di informazione dalle texture che sono state ottenute.

Come ultimo step, la mesh a bassa risoluzione viene convertita in una mesh pronta per l'utilizzo (mesh con corretto orientamento, pivot e UV set) in un'applicazione software 3D.

La fotogrammetria è un metodo efficiente per ottenere mesh e texture ad alta risoluzione, tuttavia sono necessari numerosi passaggi per la preparazione dell'asset

(retopology, baking ecc.) che, in base all'oggetto in questione, possono comportare un risparmio di tempo oppure no rispetto ad un workflow 3D classico.

giorni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
workflow classico	modellazione					texturing			retopology		UV + baking	materiali
fotogrammetria	shooting	fotogrammetria	retopology	UV + baking	materiali e delighting	tempo risparmiato						

Figura 4.2 Grafico di confronto tra workflow classico e fotogrammetria

Attrezzatura e software

Tecnicamente qualsiasi camera può essere usata per la fotogrammetria, anche quella di un telefono. Comunque, per un risultato migliore è necessario avere una camera che catturi immagini ad alta risoluzione e definite, ad esempio una camera full frame. Con una alta risoluzione inoltre sono necessarie meno foto per il processo di ricostruzione.

In ambiente esterno si dovranno fotografare oggetti lontani o vicini, quindi bisogna disporre di ottiche di lunghezza variabile.

Si utilizzano color checker in fase di cattura per effettuare in seguito una correzione del colore sulle foto ottenute e restituire così il reale colore dell'oggetto ripreso.



Figura 4.3 Color Checker

In ambienti esterni possono servire filtri polarizzatori utili a eliminare riflessioni e catturare senza alterazioni la texture dell'oggetto.

Per quanto riguarda il software, in questo workflow saranno utilizzati dove possibile programmi open source.

Adobe Photoshop è un software proprietario prodotto dalla Adobe Systems Incorporated, utilizzato nel workflow per bilanciamento del bianco, correzione artefatti, delightning.

Esistono diversi software per la fotogrammetria, in questa occasione verrà preso come riferimento Meshroom, un programma open-source basato su Alicevision framework, la cui prima release risale al 2018.

La versione 2019 mostra prestazioni migliori rispetto alla versione precedente, potendo essere paragonato ad altri software non open source del settore.

Computing time in seconds: (total MR2018 260s / MR2019 185s)

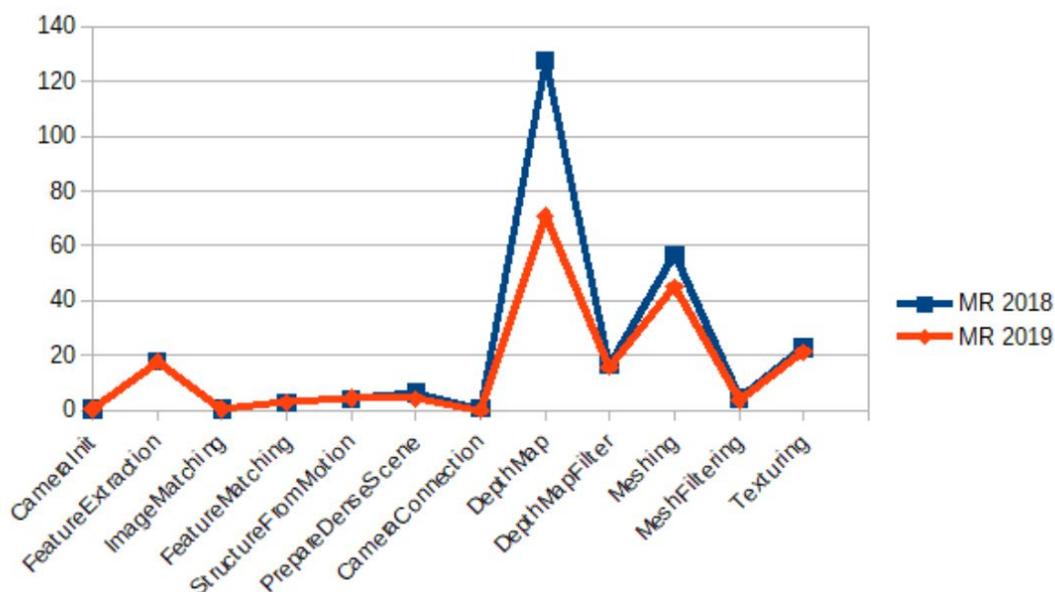
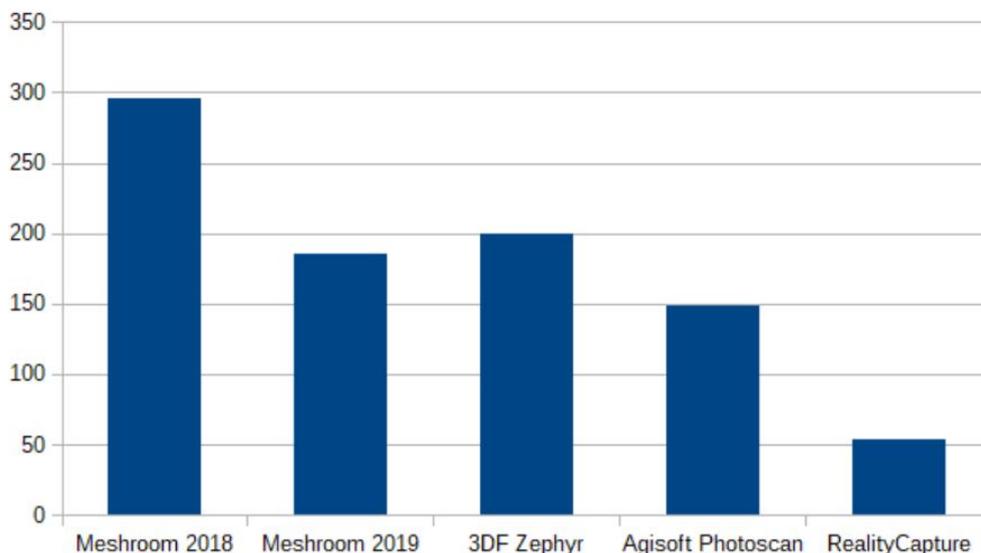


Figura 4.4 Confronto tra Meshroom e altri software

Figura 4.5 Confronto del tempo di calcolo tra singoli nodi della versione 2018 e 2019 di Meshroom

Il vantaggio di Meshroom è, oltre a quello di essere open source, quello di avere una struttura a nodi che permette un workflow modificabile ad ogni passo, in cui

l'informazione di ogni nodo viene sempre mantenuta consentendo più pipeline contemporaneamente.

Con questa struttura possono essere aggiunte nuove immagini dell'oggetto da analizzare senza andare a perdere le informazioni già acquisite, andando quindi a intervenire ad esempio nelle parti della mesh che non sono state ricostruite correttamente aggiungendo nuove foto.

È inoltre possibile osservare via log ogni passaggio della pipeline, e interromperla nel caso si renda necessario modificare un nodo, potendo poi ripartire dal nodo interrotto senza ripetere tutta la pipeline.

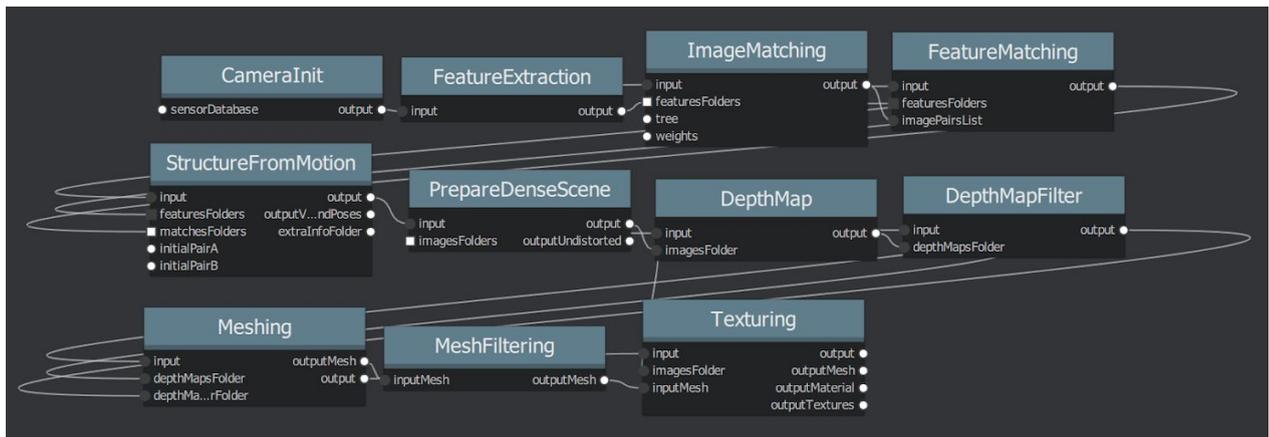


Figura 4.6 Pipeline base di Meshroom

La pipeline di default utilizzata è la seguente:

- CameraInit - genera un file json (SFM) dove vengono salvate le informazioni della camera, sensore, coefficiente di distorsione e altre informazioni.
- FeatureExtraction - estrae dalle immagini gruppi di pixel che, in una certa misura, non variano nelle diverse posizioni di camera.
- ImageMatching - individua immagini che inquadrano la stessa area di una scena associando a ciascuna immagine un feature descriptor, semplifica il calcolo della distanza tra le varie camere.
- FeatureMatching - individua le corrispondenze tra le immagini usando i feature descriptor.
- StructureFromMotion - calcola le relazioni geometriche tra i punti di vista forniti dalle immagini in input, restituendo una point cloud dell'oggetto e l'orientamento e la posizione di tutte le camere.

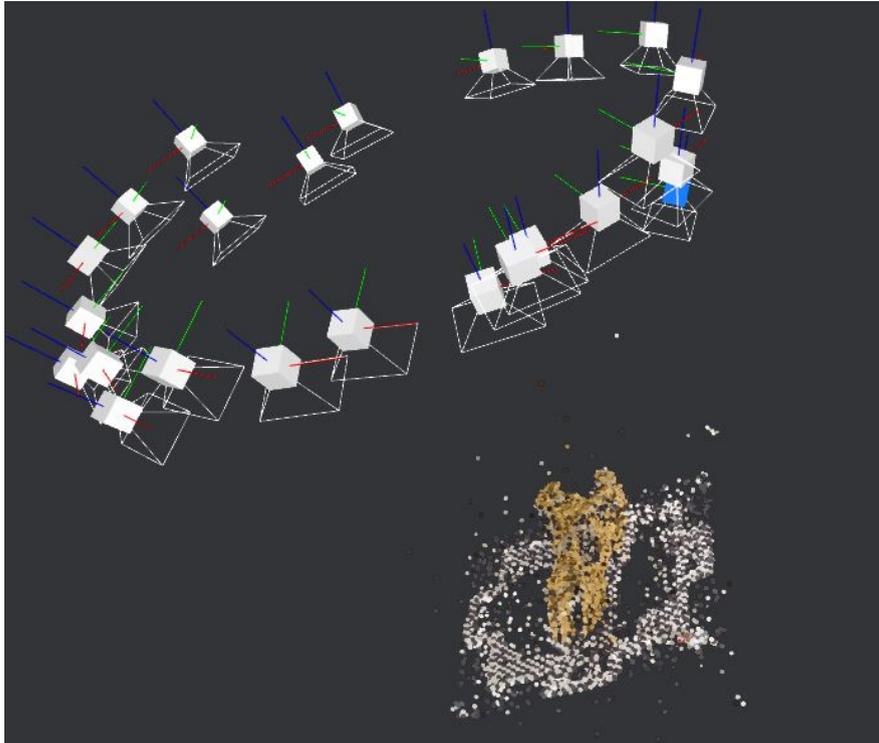


Figura 4.7 Output della StructureFromMotion

- PrepareDenseScene - corregge la distorsione delle immagini per velocizzare il successivo step di calcolo della profondità.
- DepthMap - per ogni immagine di cui è stata calcolata la posizione della camera, viene calcolato il livello di profondità di ogni pixel.
- DepthMapFilter - filtra le occlusioni tra le diverse depth map.
- Meshing - crea una prima versione della mesh.

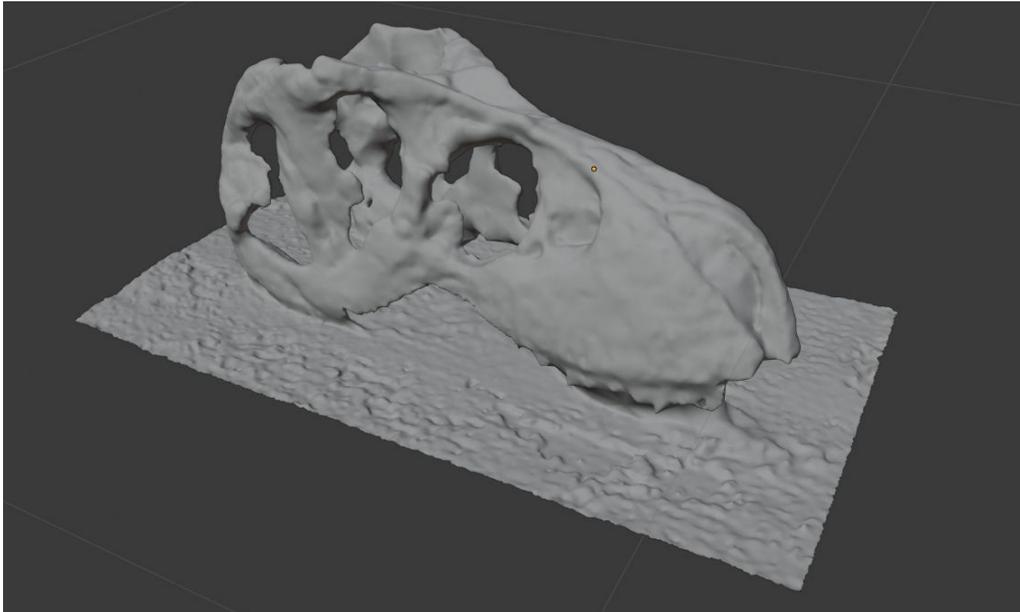


Figura 4.8 Output del Meshing

- MeshFiltering - applica alcuni raffinamenti alla mesh ottenuta, come lo smoothing della mesh, la rimozione di larghi triangoli e la rimozione di mesh secondarie (elementi intorno all'oggetto anch'essi ricostruiti).
- Texturing - calcola UV map e texture della mesh.

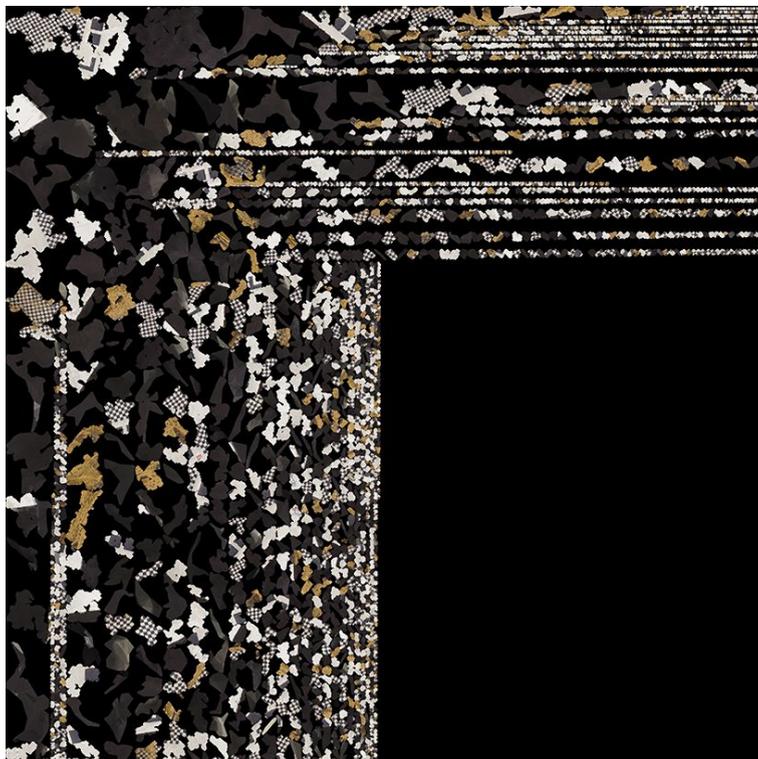


Figura 4.9 Output del Texturing

In aggiunta, possono essere utilizzati altri nodi per decimare la mesh, o applicarvi un denoising.

Per la retopology, Instant Meshes è un software open source che consente di ottenere delle mesh quadrangolari in tempi ridotti, essendo il codice ottimizzato per sfruttare tutti i core del processore durante l'elaborazione.

“We present a novel approach to remesh a surface into an isotropic triangular or quad-dominant mesh using a unified local smoothing operator that optimizes both the edge orientations and vertex positions in the output mesh. Our algorithm produces meshes with high isotropy while naturally aligning and snapping edges to sharp features. The method is simple to implement and parallelize, and it can process a variety of input surface representations, such as point clouds, range scans and triangle meshes. Our full pipeline executes instantly (less than a second) on meshes with hundreds of thousands of faces, enabling new types of interactive workflows. Since our algorithm avoids any global optimization, and its key steps scale linearly with input size, we are able to process extremely large meshes and point clouds, with sizes exceeding several hundred million elements. To demonstrate the robustness and effectiveness of our method, we apply it to hundreds of models of varying complexity and provide our cross-platform reference implementation in the supplemental material.”

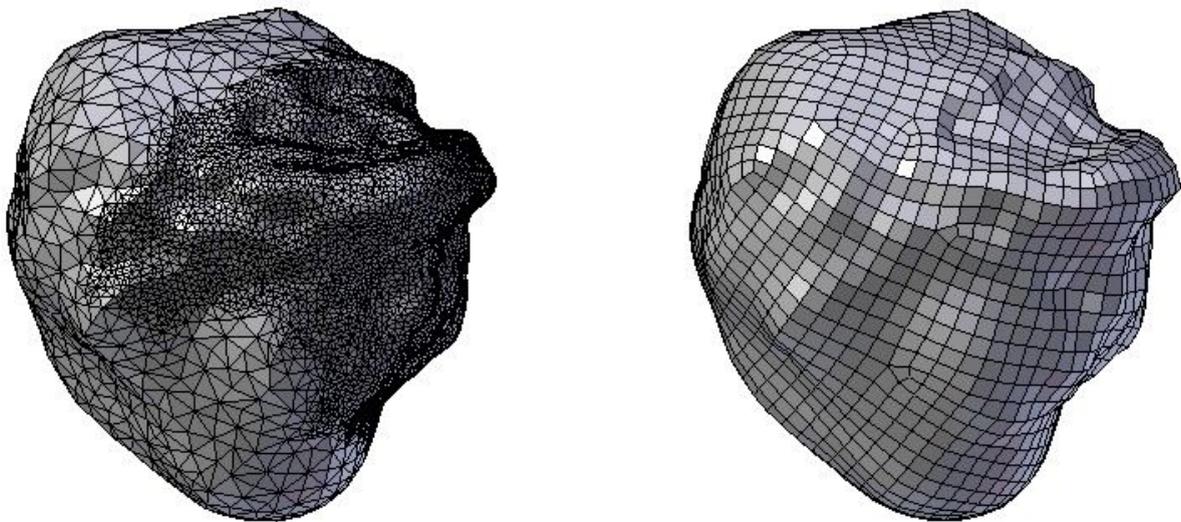


Figura 4.10 Esempio di retopology

Blender è un software open source. Supporta per intero la pipeline di produzione 3D: modellazione, rigging, animazione, simulazioni, rendering, compositing e motion tracking.

È possibile usare le API di Blender per creare script in Python per modificare l'applicazione e creare tool specifici, che spesso vengono inclusi nelle release successive del programma.

Data la natura open source, è stato a lungo utilizzato da studi piccoli e indipendenti, riscuotendo successo e venendo utilizzato anche da grandi produzioni.

Un esempio nostrano è lo studio di animazione basato a Napoli, Mad Entertainment, che ha utilizzato Blender per i suoi film di animazione con ottimi risultati, ottenendo infatti nel 2018 il David di Donatello per i migliori effetti speciali visivi con il film “*Gatta Cenerentola*”.



Figura 4.11 Locandina di Gatta Cenerentola

È stato usato principalmente per il baking delle texture, cioè per proiettare il colore e le normali di una mesh su di un'altra.

Acquisizione

Preliminari

Il primo passo nella fase di acquisizione è analizzare l'oggetto da fotografare. Ci si può trovare in uno scavo archeologico, quindi in ambiente esterno, o si può allestire un set al chiuso, a seconda che si debba fotografare un'area o singolo oggetto, trasportabile o no.

Alcuni oggetti non sono adatti alla fotogrammetria: soggetti in movimento, con forti riflessioni (come gli oggetti metallici), liquidi o trasparenti, in quanto il software di ricostruzione non sarà in grado di effettuare un matching tra il colore dei pixel tra le varie foto dell'oggetto.

Anche oggetti con grandi aree piatte dello stesso colore non sono adatti, il software non avrà abbastanza informazioni per distinguere gruppi di pixel distinti se hanno tutti lo stesso colore. Per forme particolarmente semplici, non vale la pena effettuare una fotogrammetria in quanto la modellazione classica è comunque il processo più veloce per ottenere l'oggetto in 3D.

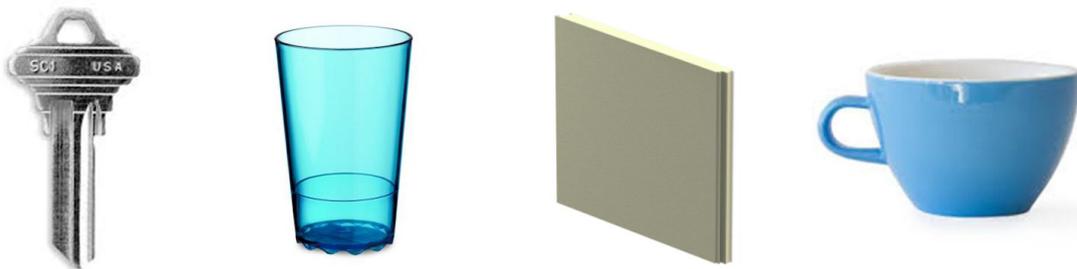


Figura 4.12 Ecco cosa non riprodurre

Il tempo, in occasione di foto realizzate in esterno, è una variabile da tenere in considerazione: in condizioni di pioggia e neve non è possibile effettuare uno shooting, alterano le superfici (l'acqua scorrendo su di esse, le neve cadendo sopra) e le riflessioni sono maggiori. Anche il vento causa problemi, sollevando polvere o sabbia e smuovendo alberi, erba, che variano di foto in foto. Per questo dove possibile si preleva l'oggetto per fotografarlo in un set al chiuso.

Il sole produce zone in luce e ombre definite, difficili da rimuovere nella texture, passaggio necessario per illuminare correttamente l'oggetto nell'ambiente 3D.

Shooting effettuati con cielo nuvoloso sono più adatti, perché l'illuminazione sarà costante e ci saranno poche ombre, tuttavia a causa della minore illuminazione sarà necessario aumentare gli ISO della camera introducendo rumore nell'immagine. La soluzione migliore è quindi fotografare in giorni di sole, comprendo però la luce diretta del sole con dei pannelli, ottenendo una condizione simile a quella di una giornata nuvolosa ma con maggiore illuminazione.



Figura 4.13 Esempio di un pannello

La fotogrammetria si basa sull'analisi di un set di immagini. Scattare diverse immagini può essere un processo lungo, e si potrebbe pensare di realizzare un video da usare come sequenza di immagini. Questa non è una soluzione ottimale: non per la risoluzione, in quanto sono in commercio GoPro e altre camera con video in 4K: motion blur, compressione dell'immagine, per GoPro e simili maggiore sensibilità sulle alte luci, mancanza di controllo manuale di ISO e apertura. Dispositivi come la GoPro hanno tuttavia il vantaggio di avere dimensioni ridotte e essere maneggevoli, pertanto si può pensare di usarli come strumento di riserva o per test veloci.

Impostazioni di camera

Risultati migliori nella ricostruzione di un oggetto si ottengono da immagini nitide e senza color clamping. Bisogna quindi evitare immagini sovra o sottoesposte e con bassa profondità di campo.



Figura 4.13 Esempio di: 1 - immagine sottoesposta, 2 - immagine senza profondità di campo, 3 - immagine esposta correttamente

È consigliabile usare quindi un diaframma chiuso (f8 o stop superiori) per avere maggiore profondità di campo, shutter con valore 1/125 o inferiore per non avere motion blur e ISO al minimo per non avere rumore soprattutto nelle aree più scure, dato che può creare problemi nei software di ricostruzione, controllando l'istogramma della camera per assicurarsi di non avere aree dell'immagine bruciate.

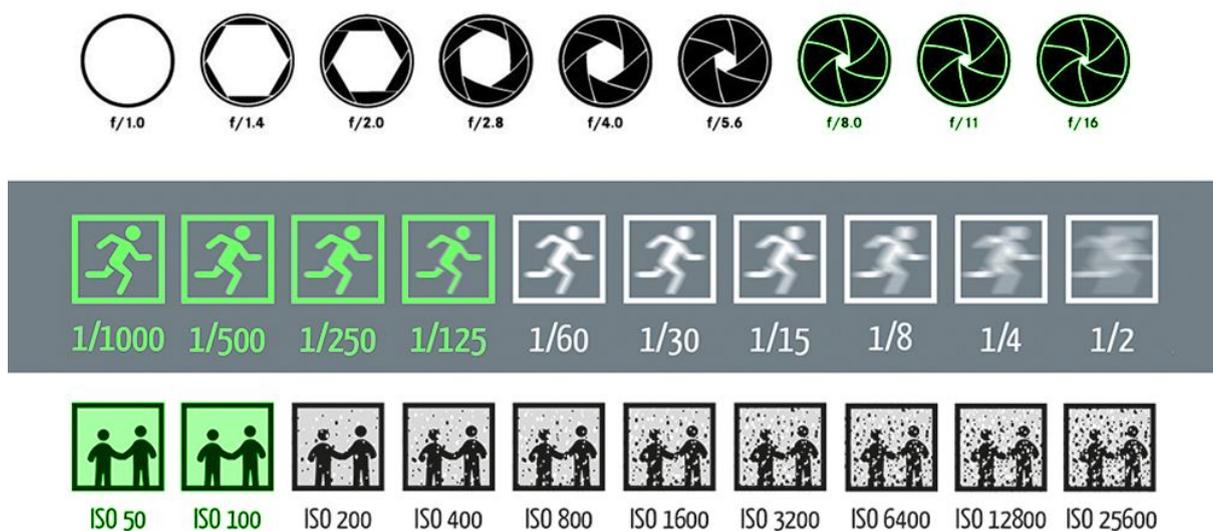


Figura 4.14 Sono indicate in verde le impostazioni di camera ottimali

Meshroom supporta molti formati immagine, e legge i metadati scritti nell'immagine dalla camera. Per importare immagini si basa su OpenImageIO, una libreria per la

lettura e scrittura di immagini, che legge molti formati RAW ('.exr', '.rw2', '.cr2', '.nef', '.arw' ecc.), tuttavia è raccomandato usare formati più leggeri come '.jpg', '.jpeg', '.tif', '.tiff' o '.png' anche se non lossless.

Cattura delle immagini

Possiamo individuare nella fase di cattura quattro diverse tipologie in base alla scale e alle applicazioni dello shooting.

- Fotogrammetria aerea
- Fotogrammetria terrestre per edifici e altre strutture
- Fotogrammetria terrestre per scavi
- Fotogrammetria terrestre per piccoli oggetti

Fotogrammetria aerea: l'utilizzo di questa tipologia di shooting nell'archeologia non è stato diffuso fino agli ultimi anni, soprattutto a causa dei costi maggiori dei dispositivi di acquisizione delle immagini e a tecniche di analisi non così avanzate. L'avvento di software fotogrammetrici più accessibili e lo sviluppo dell'hardware, assieme alla commercializzazione di camere digitali migliori, ha portato all'impiego di questa tecnica negli scavi archeologici. Serve a coprire vaste aree difficilmente accessibili, in tempi ridotti ma a discapito della qualità dei dettagli.

Fotogrammetria terrestre per edifici e altre strutture: viene usata per ricostruire vari tipi di strutture, sia all'esterno che all'interno, con la possibilità di realizzare ad esempio tour virtuali o altre forme di partecipazione interattiva.

Fotogrammetria terrestre per scavi: più accessibile di tecniche di laser scanning, più veloci da acquisire e con risultati migliori per quanto riguarda la creazione di texture. Le immagini e i modelli tridimensionali hanno grande valore informativo presi da soli, ma è la loro combinazione, ottenuta realizzando una ricostruzione della sequenza stratigrafica dello scavo, ad avere significativa importanza.

Tutti questi dati permettono la ricostruzione virtuale delle unità stratigrafiche nella sua posizione esatta e della relazione fisica tra loro, invertendo in un certo senso il processo di scavo. Queste nuove tecniche portano alla formazione di un nuovo linguaggio più intuitivo, diretto e facilmente decifrabile dal pubblico non esperto della codificazione archeologica.



Figura 4.15 Esempio di livelli stratigrafici

Fotografia terrestre per piccoli oggetti: realizzata su singoli oggetti di modeste dimensioni, può essere effettuata sullo scavo o su un set una volta spostato l'oggetto (spesso viene realizzata in entrambi i modi).

È il caso che verrà analizzato in questo workflow, andando ad analizzare le fotografie effettuate dal fotografo del Museo Egizio su una riproduzione di una cassetta funeraria in occasione della Notte dei Ricercatori.

La cassetta è stata posizionata su un piedistallo e illuminata con due softbox. Per scattare le immagini è stata utilizzata una Fujifilm X-T30, con F-stop $f/5.6$, tempo di esposizione $1/56s$, ISO 800, con una lente 35mm.

Le fotografie non sono state scattate in condizioni ottimali: ISO elevati, diaframma aperto e tempo di esposizione elevato, a causa dell'illuminazione dell'ambiente non sufficientemente elevata. Osservando le foto emergono altre problematiche: le ombre risultano abbastanza marcate, la superficie del piedistallo è leggermente riflettente e l'illuminazione non omogenea, a causa della luce entrante dalla vetrata in fondo alla sala. La profondità di campo è inoltre ridotta e lo sfondo è spesso fuori fuoco. Problema assolutamente non trascurabile, nella sala in allestimento erano presenti persone al lavoro, che ovviamente hanno cambiato posizione tra una foto e l'altra. Sono state scattate in tutto 51 foto, numero non particolarmente elevato.



Figura 4.16 Il set di immagini utilizzato

Elaborazione

Le immagini sono state quindi importate all'interno di Meshroom.

Per l'estrazione dei dati dall'immagine sono stati utilizzati due algoritmi, SIFT e AKAZE, nei nodi FeatureExtraction, FeatureMatching, StructureFromMotion, addetti alla ricerca di features all'interno delle immagini.

L'algoritmo AKAZE ha migliorato l'efficienza del processo di estrazione dei dati dall'immagine, ma non utilizzando la GPU ha richiesto più tempo rispetto al SIFT per completare l'analisi. Dettagli sopra i due algoritmi verranno discussi in appendice.

Il describer preset del nodo FeatureExtraction è stato impostato su high per aumentare il livello di analisi dell'immagine, considerando il fatto di non avere molte immagini a disposizione, e per ridurre quindi il numero di immagini che sarebbero state scartate dal programma.

Le altre impostazioni sono state lasciate come nella pipeline di default: non sono stati aggiunti nodi per l'ottimizzazione della mesh, avendo previsto nel workflow di eseguirla su altri software.

Alcune immagini sono state scartate dal programma: su 51 immagini ne sono state utilizzate 29, un numero ridotto. È stato comunque possibile ricostruire la point cloud e la mesh dell'oggetto, anche grazie alla forma semplice di quest'ultimo.

La mesh ottenuta in seguito al MeshFiltering contiene 1.200.031 facce.

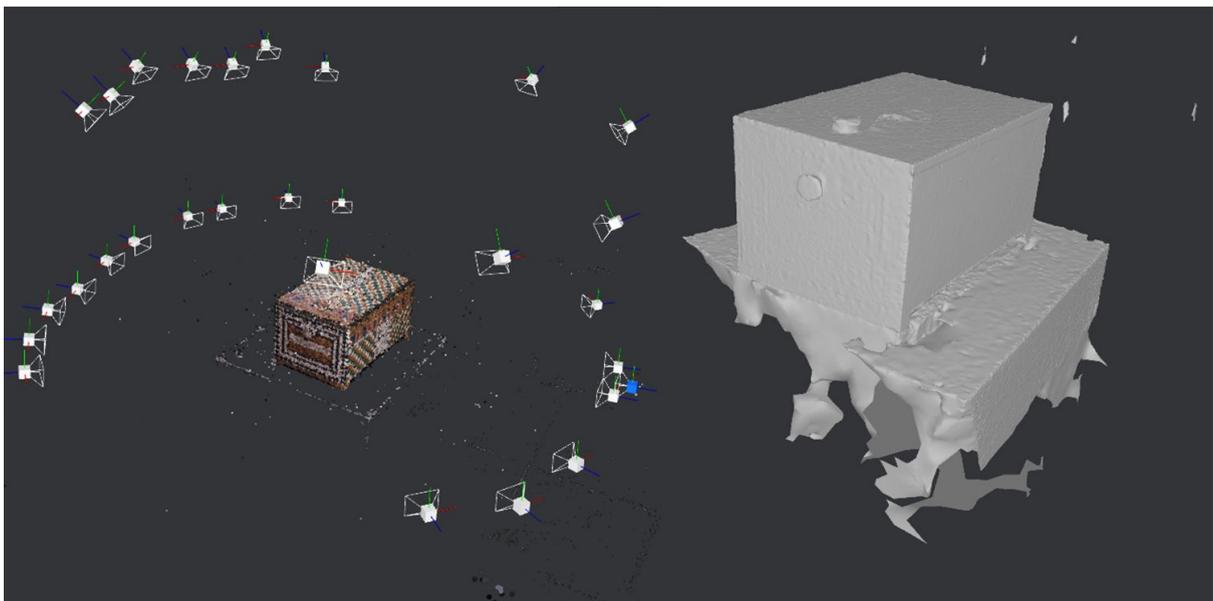


Figura 4.17 Output del MeshFiltering

Si può osservare nella mesh che una parte del supporto è stata scansionata e aggiunta alla mesh della cassetta. Per questo, prima di procedere al texturing dell'oggetto, la mesh è stata importata in Blender e la base è stata cancellata. Questo ha avuto il duplice scopo di togliere vertici inutili all'oggetto, riducendo il numero totale, e non appartenenti all'oggetto scansionato, e di ottenere una texture in cui non ci fosse la base, lasciando più spazio nell'immagine per le parti utili dell'oggetto.

Una volta esportata la mesh corretta da Blender, questa è stata importata in Meshroom, duplicando il nodo Texturing e selezionando come input la nuova mesh.

Meshroom dispone di diversi metodi di unwrapping delle texture per mesh di cui non è stato fatto un UV layout, che verranno discussi in appendice:

- Basic (> 600k poligoni), il più veloce, genera multiple texture
- LSCM (<= 600k poligoni) ottimizza lo spazio, genera una texture
- ABF (<= 300k poligoni), ottimizza spazio e scala, genera una texture

Una prima prova di texturing è stata effettuata con queste versioni della mesh per controllare che la fotogrammetria fosse stata portata a buon fine, con il metodo Basic dato il numero elevato di vertici.

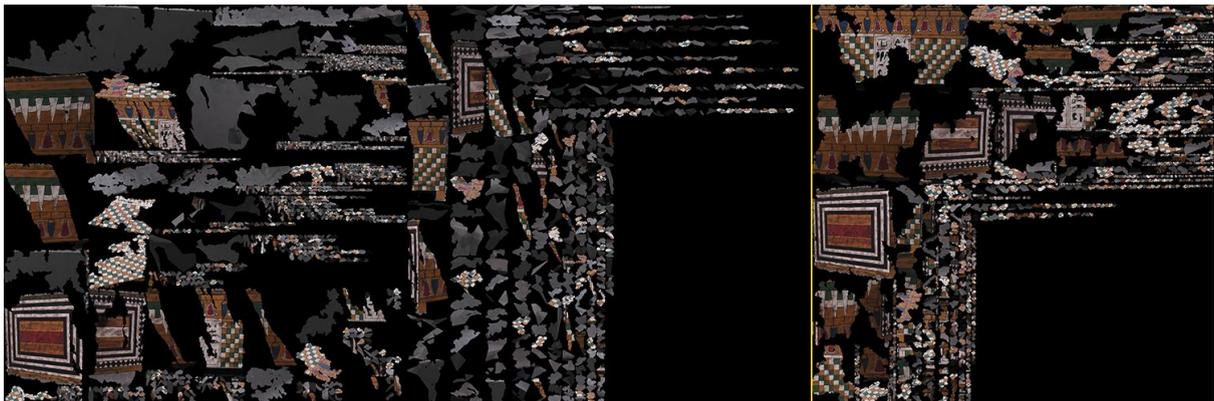


Figura 4.18 A sinistra la texture della mesh originaria, a destra quella elaborata in Blender

Si può osservare come la texture della prima mesh, contenendo anche la base, occupi due immagini in 8K rispetto alla mesh senza base che ne richiede solo una.

Si è quindi proceduto alla retopology della mesh utilizzando Instant Meshes, impostando 50.000 vertici come target.

I modelli frutto della fotogrammetria sono modelli con un numero elevato di poligoni, adatti allo studio dei reperti per l'elevato numero dei dettagli, non adatti invece all'utilizzo in altre applicazioni, ad esempio in render di computer grafica o simili. Per questo i modelli vengono retopologizzati, ovvero viene creata una nuova mesh dell'oggetto con un numero inferiore di poligoni, e con una struttura più regolare, facile da animare e adatta ad essere importata in programmi per la creazione di animazioni in 3D, come After Effects, Blender, Cinema 4D.

Del modello originale si conservano le texture, e per i dettagli e le irregolarità delle superfici si può effettuare un baking delle normali da applicare alla mesh low poly. In alternativa alla retopology si possono usare modifier come il decimate e lo smooth della mesh su Blender, tuttavia non con gli stessi risultati.

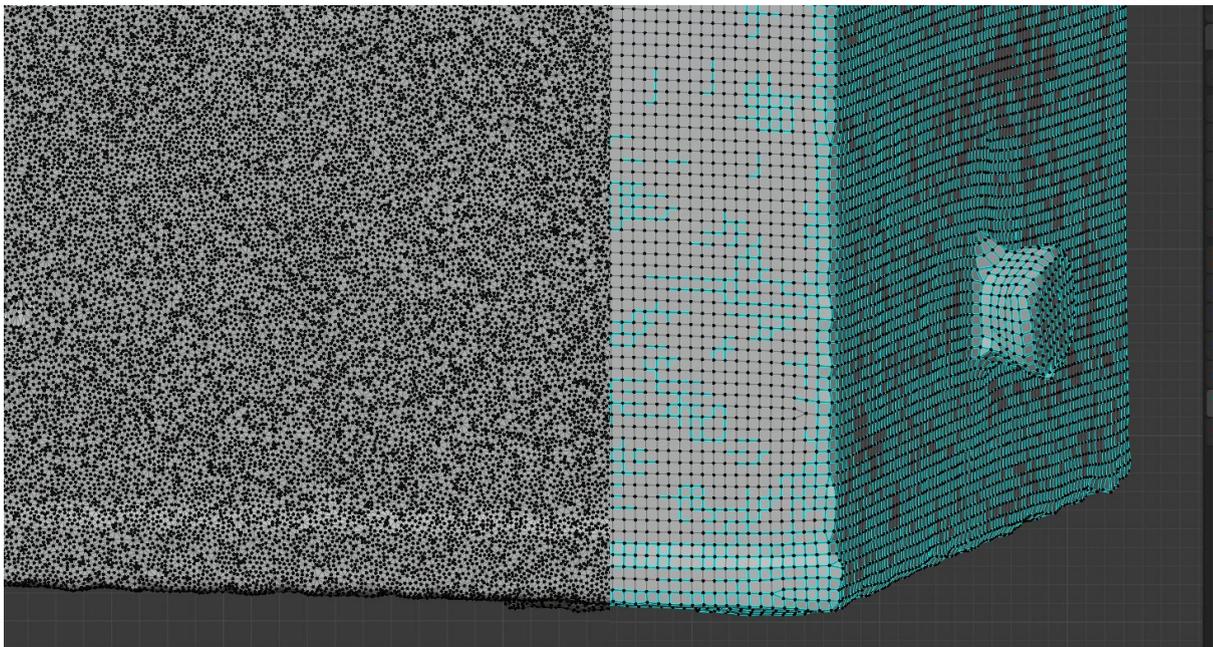


Figura 4.19 Confronto della stessa mesh senza retopology (a sinistra) e con (a destra)

In output è stato salvato un file OBJ che è stato importato su Blender per crearne un UV layout che avesse una struttura ordinata, non composto quindi da frammenti di immagini sparsi come ottenuto con l'unwrapping di Meshroom. Questo passaggio non serve ai fini del rendering dell'oggetto 3D, ma serve nel caso si voglia manipolare la texture in seguito. Data la forma della cassetta, per generare l'UV layout è bastato un Cube Projection, modificato andando a posizionare ogni faccia in modo che non ci fossero sovrapposizioni e si occupasse tutta la superficie della texture per avere la massima risoluzione.

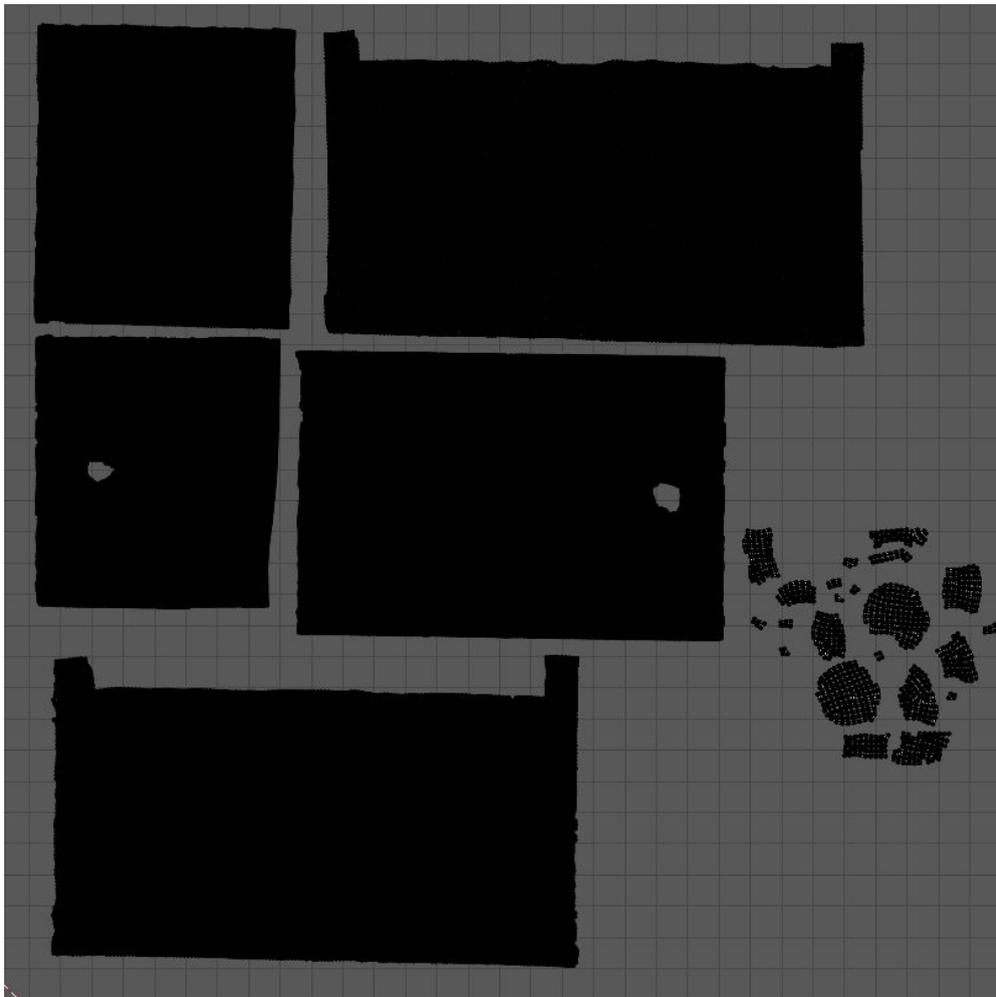


Figura 4.20 Il nuovo UV layout

In ogni passaggio è fondamentale non spostare o ruotare l'oggetto rispetto al suo punto di ancoraggio, altrimenti non si è più in grado di calcolare la texture in Meshroom.

Inoltre, bisogna fare attenzione alle normali, perché Meshroom legge ed esporta mesh senza normali. Queste mesh causano problemi su Instant Meshes, pertanto bisogna prima passare da Blender per esportarle con le normali e, nel caso di passaggio da Blender a Meshroom, disattivare invece l'export delle normali nelle impostazioni.

Il processo di analisi delle immagini e creazione di una mesh all'interno di Meshroom ha impiegato in tutto [02:04:20] ore.

Per ogni nodo sono stati impiegati:

- CameraInIt - [00:00:10]

- FeatureExtraction - [00:41:38]
- ImageMatching - [00:00:5]
- FeatureMatching - [00:32:01]
- StructureFromMotion - [00:07:01]
- PrepareDenseScene - [00:01:13]
- DepthMap - [00:24:20]
- DepthMapFilter - [00:05:32]
- Meshing - [00:06:23]
- MeshFiltering - [00:00:13]
- Texturing - i due nodi di texturing hanno impiegato [00:03:02] e [00:02:42]

I passaggi che hanno impiegato più tempo sono stati FeatureExtraction e FeatureMatching, quando di norma il processo ad impegnare più tempo dovrebbe essere il calcolo della DepthMap. Questo a causa dei problemi legati alle immagini di cui si è già scritto, che hanno richiesto un'analisi più approfondita e quindi più dispendiosa in termini di tempo, utilizzando in aggiunta al SIFT l'algoritmo AKAZE, che richiede molto più tempo per essere calcolato. Il tempo di estrazione delle features è stato di [00:05:48] per il SIFT e di [00:35:50] per l'AKAZE.

Per comparare il tempo di elaborazione con altri progetti, si riportano le caratteristiche del computer utilizzato:

- Processore: Intel® Core™ i7-8750H 6 Core Coffee Lake 2.2 GHz
- Memoria: 16 GB DDR4 2666 (16GB*1)
- Grafica: NVIDIA® GeForce RTX™ 2070 8 GB GDDR6

Si riporta anche un progetto di fotogrammetria questa volta effettuato con un set di immagini più adatto. Sono state utilizzate 97 immagini, prive dei problemi riscontrati nel set di immagini precedenti. Infatti di queste immagini nessuna è stata scartata. Per la FeatureExtraction sono stati utilizzati due nodi, uno con algoritmo SIFT con Descriptor Preset high, l'altro con algoritmo AKAZE con Descriptor Preset normal. Il tempo di estrazione delle features è stato di [00:02:57] per il SIFT e di [00:19:24] per l'AKAZE, in totale [00:22:21].

Metà del tempo a fronte di quasi il doppio delle immagini.

Il modello ottenuto, nonostante aver ridotto la qualità del FeatureExtraction con l'AKAZE, è più preciso e conta 2.243.069 poligoni, quasi il doppio. Questo grazie al

maggior numero di fotografie a disposizione e all'estrazione più facile delle features dalle immagini.



Figura 4.21 Da sinistra: una foto, la point cloud e la mesh ricostruita dell'oggetto

Si è quindi effettuata la fase di baking su Blender, utilizzando come modello da cui prendere normali e texture la mesh a cui era stata rimossa la base e che era stata texturizzata su Meshroom, e come modello su cui è stato fatto il baking la mesh con retopology e UV layout.

Uno dei modi che Blender offre per effettuare il baking delle texture è attraverso Cycles, un motore di rendering physically based sviluppato da Blender.

Le due versioni della mesh della cassetta sono state fatte coincidere e attraverso il baking la versione più dettagliata ha proiettato normali e texture sulla versione low poly, salvando le due nuove texture ottenute con il nuovo UV layout

La texture della cassetta è stata corretta andando a rimuovere le ombre su Photoshop, applicando un livello grigio in add e andando a schiarire il grigio nelle zone in ombra, o utilizzando il timbro clone dove necessario.

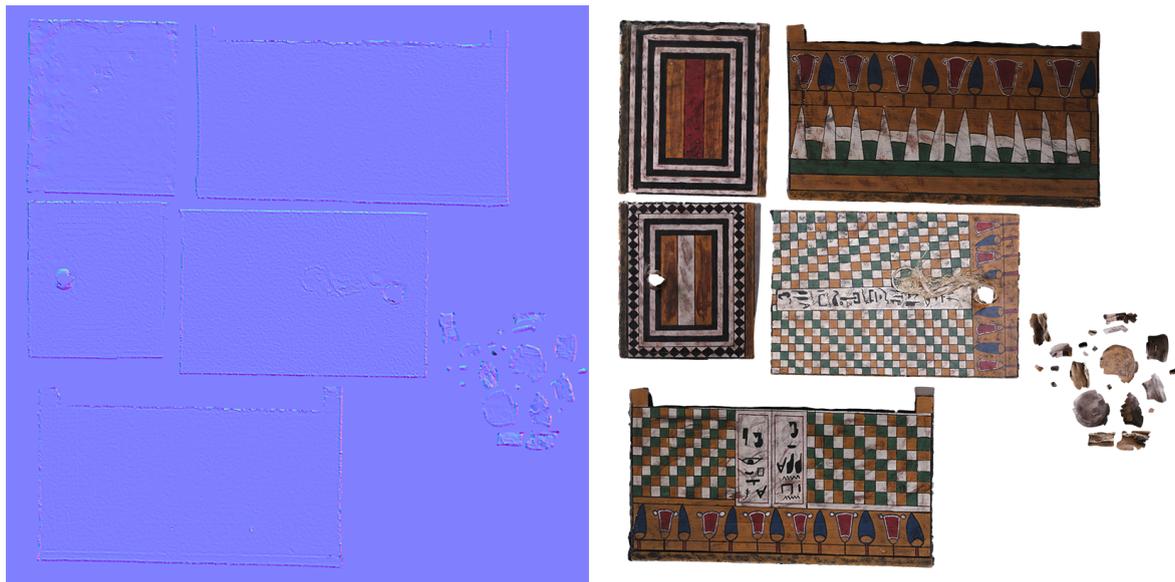


Figura 4.22 Texture di normali e diffuse ottenute con il baking

Le due nuove texture sono state aggiunte al materiale della cassetta.

L'ultimo passaggio compiuto è stato ricostruire il fondo della cassetta, che non essendo esposto non è stato scansionato. È stato modellato, e dopo aver realizzato l'UV layout, è stata applicata una texture adattando quella già utilizzata per le altre facce.



Figura 4.23 Render finale della cassetta

Il risultato finale è una mesh con una texture che può essere importata in qualsiasi software di animazione 3D.

In questo caso la fotogrammetria non è stata usata tanto per il risparmio di tempo nella creazione dell'asset (il modello della cassetta, avendo una forma semplice, sarebbe stato facilmente ricreabile da zero), quando per la restituzione di tutta una serie di dettagli e di imperfezioni della superficie che per motivi di analisi non potevano andare perdute.

Workflow dall'oggetto scansionato al render finale

Introduzione

In questa seconda parte del workflow, che utilizza gli oggetti realizzati con la fotogrammetria all'interno di un prodotto visivo, verrà preso in considerazione il video sulle analisi multispettrali con le quali si è esaminata la cassetta di Kha. Per realizzare il video sono state utilizzate diverse versioni della cassetta, alcune ottenute tramite fotogrammetria.

Per prima cosa è stato concordato con la squadra che si è occupata dei video e con i curatori del Museo Egizio uno storyboard. Dai curatori ci sono stati fornite immagini ad alta risoluzione, della cassetta intera e di alcune sue parti, che sono state usate come texture o come immagini sovrapposte quando si è andato a zoomare su alcuni dettagli dell'oggetto, sono stati forniti alcuni dei modelli utilizzati, sia realizzati con fotogrammetria sia modellati con workflow classico, e indicazioni su didascalie e contenuti da mostrare nel video, come i puntamenti della cassetta.

Lo scopo di questo video è di mostrare come, attraverso analisi multispettrali, si possano scoprire nuovi dettagli sulle tecniche con cui è stata realizzata la cassetta, con particolare riferimento sui pigmenti utilizzati, Per fare ciò si osserva la cassetta di Kha nelle diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico.

Per questo video una delle complessità è stata quella di creare una lunga animazione senza stacchi, un lungo piano sequenza che lasciasse modo allo spettatore di comprendere ogni passaggio, per modalità e tempi delle animazioni.

Software utilizzati

Per la realizzazione di questa parte del workflow i software utilizzati sono stati After Effects per la composizione del video e Photoshop per la modifica delle immagini, entrambi facenti parte della suite Adobe, e Blender per la modifica dei modelli 3D. È stata effettuata questa scelta in perché After Effects consente di integrare animazioni 2D e 3D utilizzando una struttura a livelli, permettendo quindi di inserire i modelli 3D della cassetta di Kha e di sovrapporci grafica, didascalie ecc.

After Effects pur supportando l'utilizzo di livelli 3D non è in grado di gestire animazioni 3D in modo soddisfacente, per questo è stato utilizzato un plugin per il programma, Element 3D, ideato apposta per importare oggetti e animazioni 3D, con materiali PBR.

Il plugin permette su un singolo livello di animare indipendentemente diversi gruppi e di gestire impostazioni di rendering come ambient occlusion, motion blur e profondità di campo. Da un'interfaccia interna è possibile gestire i materiali degli oggetti inserendo texture o modificando parametri come diffuse e glossiness.

Il plugin opera in un suo spazio di lavoro 3D, ma viene gestito da After Effects come un livello 2D, questo complica l'interazione con gli altri livelli 3D del progetto. Un'altra caratteristica del plugin è quella di poter utilizzare le camere virtuali inserite nelle composizioni di After Effects, semplificando l'animazione degli oggetti.

Questi programmi hanno consentito di realizzare, a partire dai modelli 3D ricavati dalla fotogrammetria, tutte le animazioni previste dagli storyboard riguardanti la biografia degli oggetti, creando outline degli oggetti, point cloud, animazioni delle mesh con diverse texture applicate.

Dovendo realizzare video in 4K con molti elementi in 3D, con texture in 8K all'interno, è importante utilizzare software che utilizzino appieno le risorse del computer su cui si sta lavorando.

After Effects in questo viene in aiuto, utilizzando la GPU per il rendering di alcune funzioni ed effetti disponibili. After Effects supporta OpenGL, OpenCL, CUDA e Metal, che sono gli standard di fatto per la computer grafica 3D e che utilizzano il calcolo su GPU, alcuni sfruttando l'architettura parallela sui diversi core di queste ultime.

OpenGL e API simili permettono il passaggio di dati dalla CPU alla GPU, nella quale avviene la pipeline di rendering.

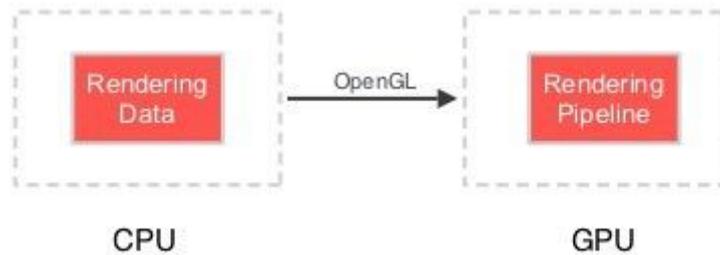


Figura 5.1 Comunicazione tra CPU e GPU

Tuttavia, nelle ultime versioni del programma, l'utilizzo della GPU per molte funzionalità è stato ridotto. In precedenza After Effects utilizzava schede GPU per il GPU-accelerated ray-traced 3D render e utilizzava OpenGL per il GPU Fast Draft e per OpenGL Swap Buffer.

L'integrazione di OpenGL è stata rimossa da After Effects per la mancanza di piene funzionalità, e il Ray-Traced 3D render è stato sostituito dall'aggiunta di Cinema 4D Lite.

Come commenta Rick Gerard, vincitore per 9 volte di un Emmy, esperto di After Effects di cui ha tenuto numerosi workshop a partire dal 1995:

*“The GPU is not used for rendering
99% of everything that AE does”*

Dalla versione 2018 Adobe ha introdotto la funzione Improved GPU Memory Usage che reintegra l'utilizzo della GPU per alcune funzioni, facendo comunque affidamento di base su RAM e CPU. Non è supportato comunque l'utilizzo di più di una GPU. Per quanto riguarda la CPU invece, After Effects non sfrutta appieno tutti i core del processore, facendo affidamento più sulla sua velocità che sul multi-threading. Per far fronte a questo problema si utilizzano software di terze parti come RenderGarden, che lanciando più istanze di rendering simultaneamente, consentono di ottimizzare l'utilizzo della CPU.

Per quanto riguarda il plugin Element 3D, che è stato ampiamente utilizzato per l'animazione degli oggetti 3D, sono supportati sia il rendering con CPU sia quello con GPU. Con la CPU una scena complessa impiegherà più tempo per renderizzare, ma con GPU se i requisiti di memoria sono troppo elevati, il software crasherà, per

questo bisogna tenere sotto controllo il consumo di GPU della scena man mano che si aggiungono elementi.

In fase di editing Element offre molti tool per ottimizzare le performance, permettendo di modificare le impostazioni di rendering.

Full Render, Preview e Draft rimuovono progressivamente le impostazioni di rendering più pesanti per agevolare la preview della scena, è possibile comprimere le texture e abbassare Multisampling e Supersampling e rimuovere effetti di post come il motion blur.

Panoramica del workflow

Il workflow della realizzazione del video è stato diviso in più fasi.

Per la realizzazione dell'animatic, con scadenza il 31 gennaio, sono stati utilizzati modelli 3D e elementi grafici non definitivi, partendo dai primi materiali che ci sono stati consegnati e dalle prime decisioni in fatto di scelte stilistiche. Per questa prima versione del video non avevamo a disposizione inoltre le didascalie definitive.

Importante era capire i tempi del video, per renderlo comprensibile in modo che si avesse tempo di osservare la cassetta e leggere tutte le didascalie.



Figura 5.2 Lo stesso punto del video nell'animatic e nel render finale

Una volta consegnato l'animatic, in concomitanza dell'arrivo del materiale definitivo, si sono inseriti i modelli 3D corretti, si è ultimata la scelta degli elementi grafici che sono stati inseriti nel video, sono state aggiunte le didascalie e si sono corretti eventuali errori.

Questa fase di modifiche e correzione degli errori si è ripetuta più volte, formando un workflow non lineare ma reiterativo in cui ad ogni ciclo di modifiche si inviava un render ricevendo ogni volta un feedback.

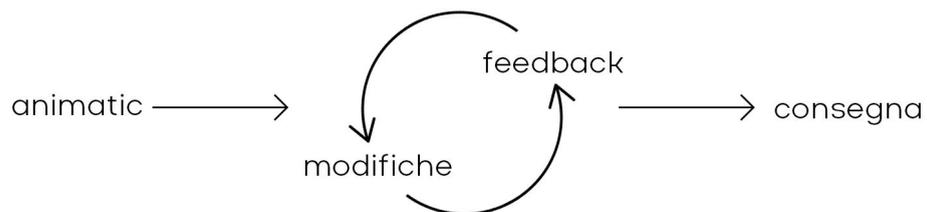


Figura 5.3 Rappresentazione del workflow

Composizione del video

Considerando il fatto di dover rendere il video loopabile, la cassetta inizia con il suo modello in outline, scomposto nei suoi vari componenti ad incastro. La cassetta si compone e si forma la point cloud, si passa quindi al modello sotto luce visibile. Si introducono il contesto in cui è stato rinvenuto il reperto e la scena che vi è raffigurata.

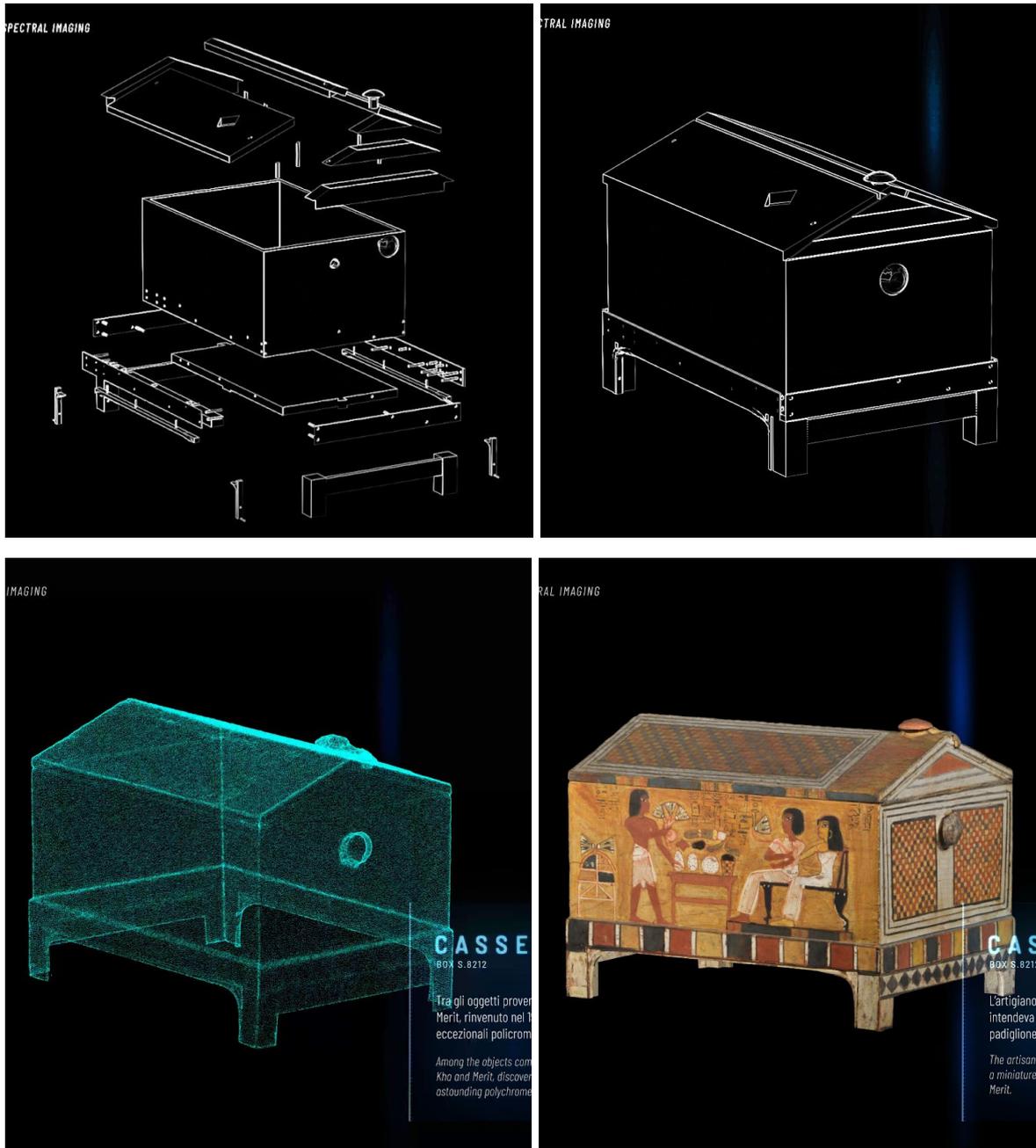


Figura 5.4 Le prime quattro transizioni della cassetta

Per realizzare il modello in outline è stato usato un modello fornito dal Museo Egizio in cui ogni componente è stato modellato separatamente. Prima di importare il modello all'interno di Element 3D, importando il modello su Blender alcune parti come i pomelli sono state rimodellate con una struttura più uniforme, sono state ricalcolate le normali delle mesh e alcune sono state ridimensionate per evitare che fossero presenti facce coincidenti che avrebbero portato a problemi di z-fighting.

Lo z-fighting è fenomeno del rendering 3D che si verifica quando due o più poligoni hanno distanze molto simili dalla fotocamera. Questo provoca valori molto simili nel Z buffer, che tiene traccia della profondità degli elementi per stabilirne l'ordine di rendering. Avendo lo stesso valore di Z buffering, i poligoni verranno renderizzati per ogni pixel con priorità casuale, provocando effetti di sovrapposizione e flickering.

Ad ogni componente è stato inoltre assegnato un materiale diverso, perché quando si importano delle mesh su Element 3D, queste vengono lette come distinte se hanno materiali diversi. Senza questo passaggio non sarebbe stato possibile animare separatamente le componenti della cassetta per realizzare l'esploso dell'oggetto.

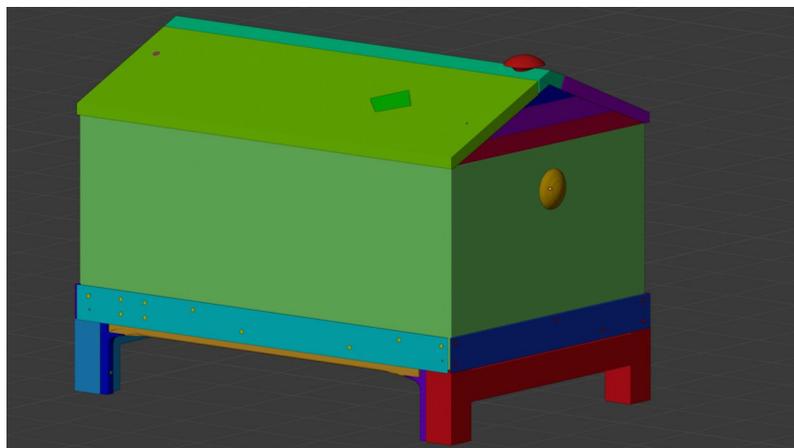


Figura 5.5 La cassetta divisa nelle sue componenti

Importato il modello in Element 3D, a tutte le mesh è stato assegnato un materiale Black Outline, per evidenziare i contorni e rendere l'interno della mesh nero. Per ottenere una outline ben visibile questo non è stato tuttavia sufficiente, per questo sullo stesso livello sono stati aggiunti gli effetti Find Edges e Curves per individuare i bordi dell'immagine e contrastarli. I bordi così ottenuti erano ben visibili. Come ultimo passo, per rendere opachi i bordi e trasparenti tutte le altre parti del livello (per far

vedere quindi il background dietro), il livello con element è stato utilizzato come maschera per un livello bianco con Track Matte Luma.

Per realizzare la point cloud è stato importato in Element 3D un modello della cassetta ottenuto con fotogrammetria precedentemente semplificato con il modifier Decimate su Blender per ridurlo a circa 300.000 poligoni. Dovendosi vedere come point cloud, non è importato effettuare una retopology precisa (anzi si doveva mostrare appunto l'irregolarità dell'oggetto) e il modello è stato esportato senza il fondo che era stato ricostruito in precedenza.

Nell'interfaccia di Element 3D è stata impostato come Polygon Mode dell'Output la Point Cloud, che è stata animata con un effetto di Noise. Il colore della Point Cloud è stato ottenuto con gli effetti Tint e Glow applicati sul livello.

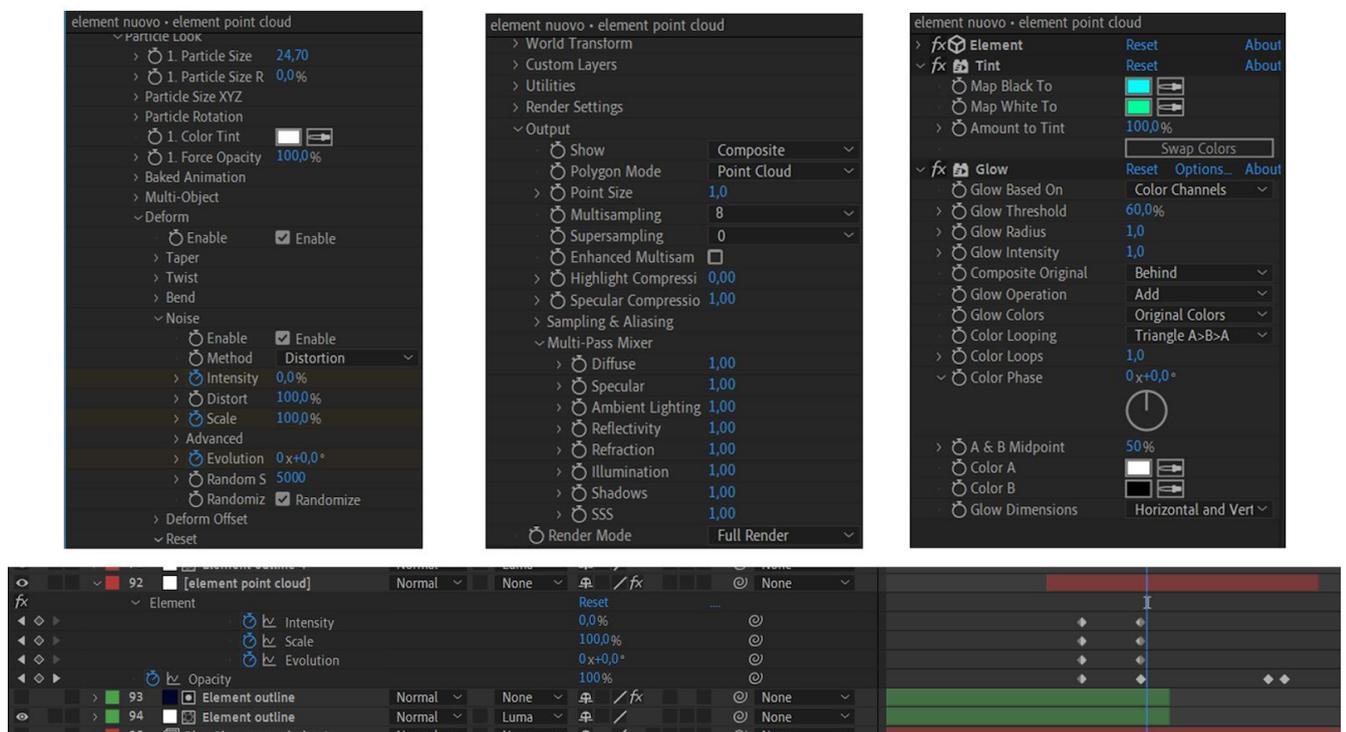


Figura 5.6 Impostazioni di Element 3D per la point cloud

Il passaggio alla cassetta in luce visibile è stato effettuato con un Linear Wipe. Per le varie versioni della cassetta, una per ogni fascia dello spettro, inizialmente sono state utilizzate una versione provvisoria della cassetta con texture realizzate in Photoshop a partire dalle foto inviate dal Museo Egizio, in seguito è stato usato un modello ottenuto dalla fotogrammetria con retopology e baking di normali e texture.

Uno zoom out lascia lo spazio alle altre quattro versioni della cassetta. Compaiono da dietro la cassetta a luce visibile, che nel mentre ruota su se stessa. Si osservano quindi le cassette sotto la luce visibile, la luce a infrarossi, l'analisi con VIL (Visible Induced Luminescence), la luce ultravioletta e con l'analisi con MACRO XRF (X-ray fluorescence).

La barra dello spettro elettromagnetico è stata ottenuta animando uno shape layer per la linea azzurra in cima e uno shape layer di cui si sono animate posizione e lunghezza per ogni spostamento su una nuova zona dello spettro. Un layer nero sfumato inserito sotto ne garantisce la leggibilità anche quando la cassetta passa sotto le scritte,

Anche la barra di progressione gialla in basso è uno shape layer animato con una maschera.

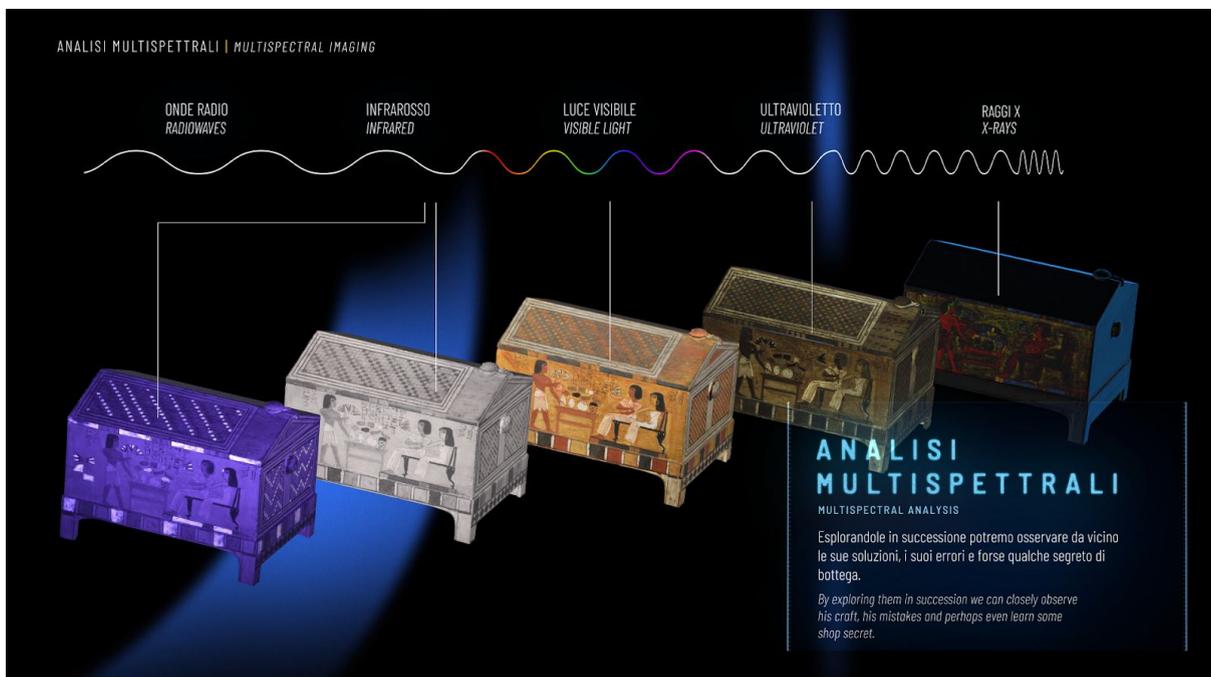


Figura 5.7 Frame del video della cassetta

Dal momento che After Effects tratta tutti i livelli di Element come livelli 2D, si è deciso di inserire tutte le cassette nello stesso livello di Element. Al contrario, per le transizioni da una singola cassetta all'altra, si sono usati diversi livelli di Element. Questa scelta è stata fatta per andare a tagliare i livelli di Element nel momento in cui non erano più utilizzati, in modo da alleggerire il progetto sia in preview che in rendering. Data la struttura in loop, la fine è stata ottenuta copiando i livelli di Element iniziali e invertendo i keyframe. Lo stesso metodo si è applicato per la

timeline gialla in basso e il background che nel primo e ultimo frame non compaiono nel quadro.

Element consente di animare gli oggetti 3D con dei null dall'interfaccia di After Effects, generando un World Transform Null per tutti i gruppi dell'effetto e dei Group Null per i singoli gruppi. I Null del progetto sono stati imparentati tra di loro tramite delle espressioni, in modo che il Null della cassetta visibile controllasse tutti gli altri, e andando ad animare solo questo livello per i movimenti della cassetta, usando i Group Null sono nella animazione in cui si vedono tutte le cassette contemporaneamente ognuna con propri spostamento e rotazione.

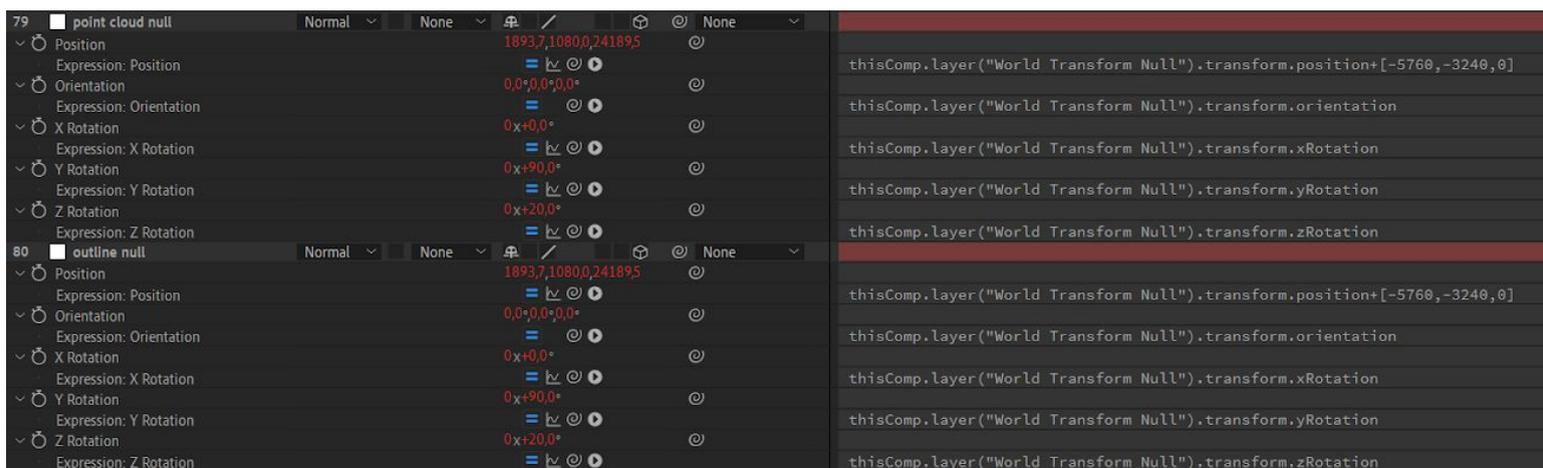


Figura 5.8 Espressioni dei Null

Si zooma quindi sulla cassetta a luce visibile per mostrarne i dettagli: si osservano tecniche di pittura e gli oggetti raffigurati nella scena. Gli elementi grafici e i callout sono stati realizzati con degli shape layer, a cui è stato applicato un effetto di glow. Sono dei livelli 3D che si muovono assieme alla cassetta, il movimento è ottenuto grazie a Element 3D, che consente di generare dei Null tridimensionali puntando una parte della mesh interessata. Questi Null sono stati imparentati al Null principale della composizione per ottenere un movimento coordinato di tutti i livelli 3D.

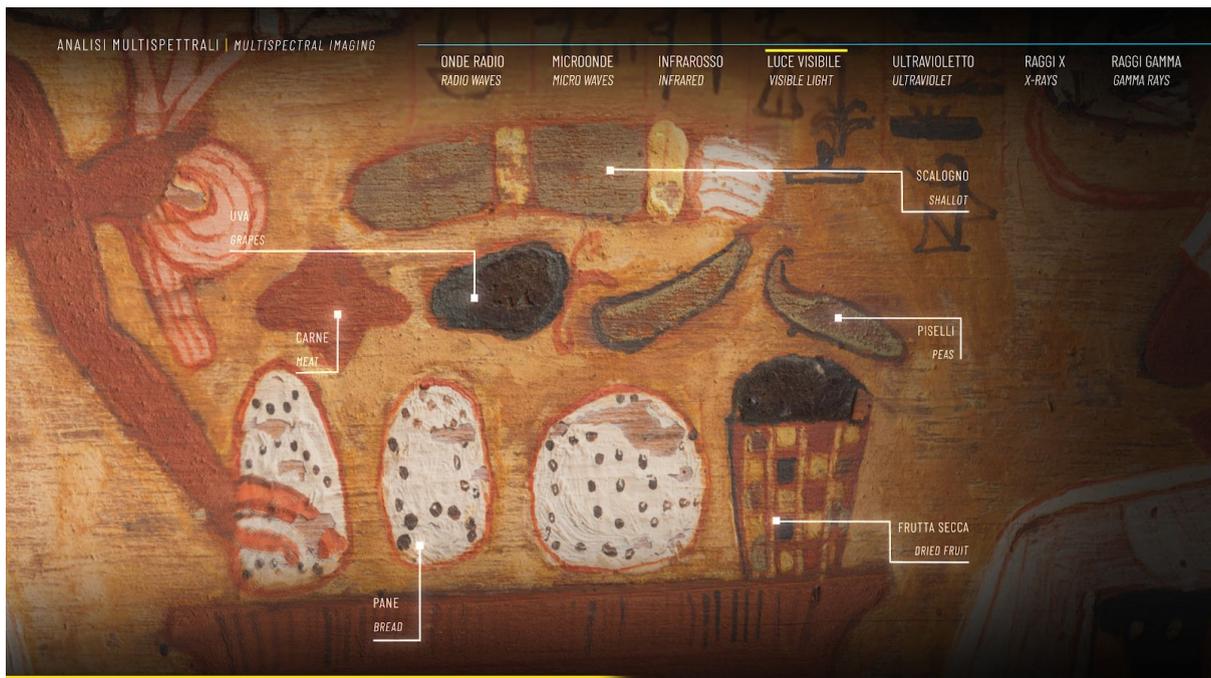


Figura 5.9 Uno dei dettagli della luce visibile

Viene rappresentato l'ordine di pittura dei fiori di loto: una correzione colore è stata effettuata modificando tonalità e saturazione con un Adjustment layer, che è stato mascherato ponendolo in Alpha Matte di una precomposizione in cui tutte le parti del fiore sono state scontornate su Photoshop e animate una alla volta.

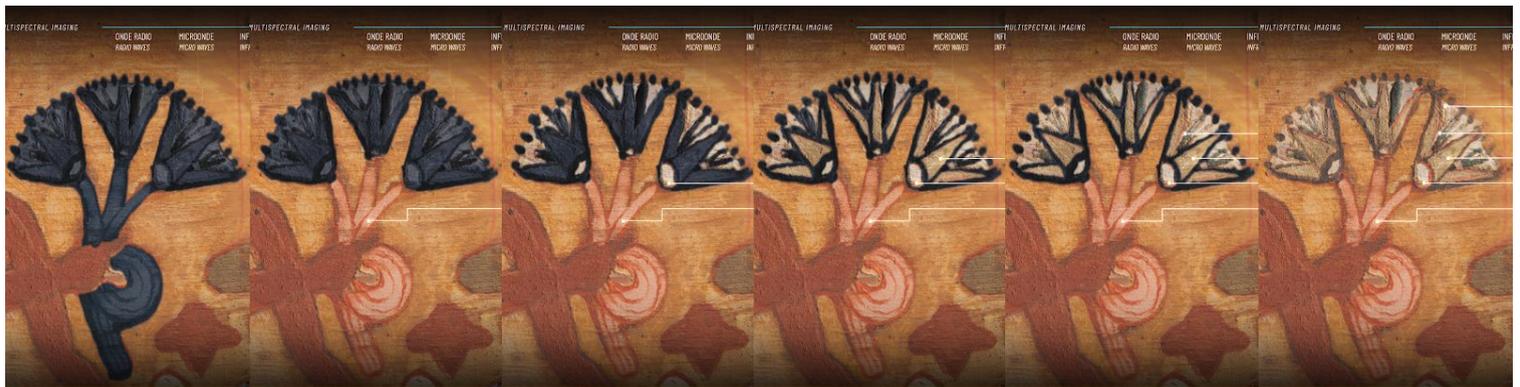


Figura 5.10 Sequenza dei fiori di loto

Si passa alla cassetta esposta alla luce a infrarossi, importata su un nuovo livello di Element. Le analisi a infrarossi consentono di visualizzare strati sottostanti di pittura, come disegni preparatori o correzioni.

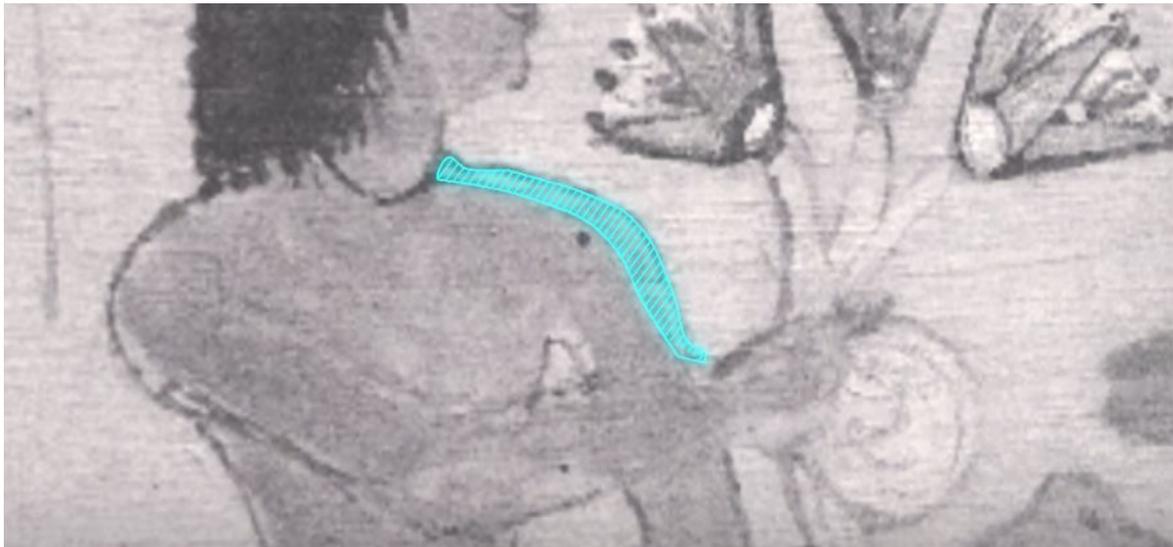


Figura 5.10 Cassetta a infrarossi

Un'outline in azzurro evidenzia una zona della spalla che è stata modificata, lo shape layer è stato reso azzurro per maggiore leggibilità, usando l'effetto CC toner.

Con uno zoom out si passa alla VIL (Visible Induced Luminescence), la texture utilizzata rivela in bianco le zone in cui è stato usato il pigmento blu egizio, essendo presente in tutta la cassetta non sono stati inseriti callout su zone specifiche.



Figura 5.10 Cassetta del VIL

L'ultravioletto rivela due diversi pigmenti usati per il nero, il nero carbone per aree più vaste e il nero manganese per geroglifici e dettagli più fini, in quanto il nero manganese espandendosi perde di lucentezza. Due callout rivelano i due tipi di nero usati su due diverse parti della decorazione.

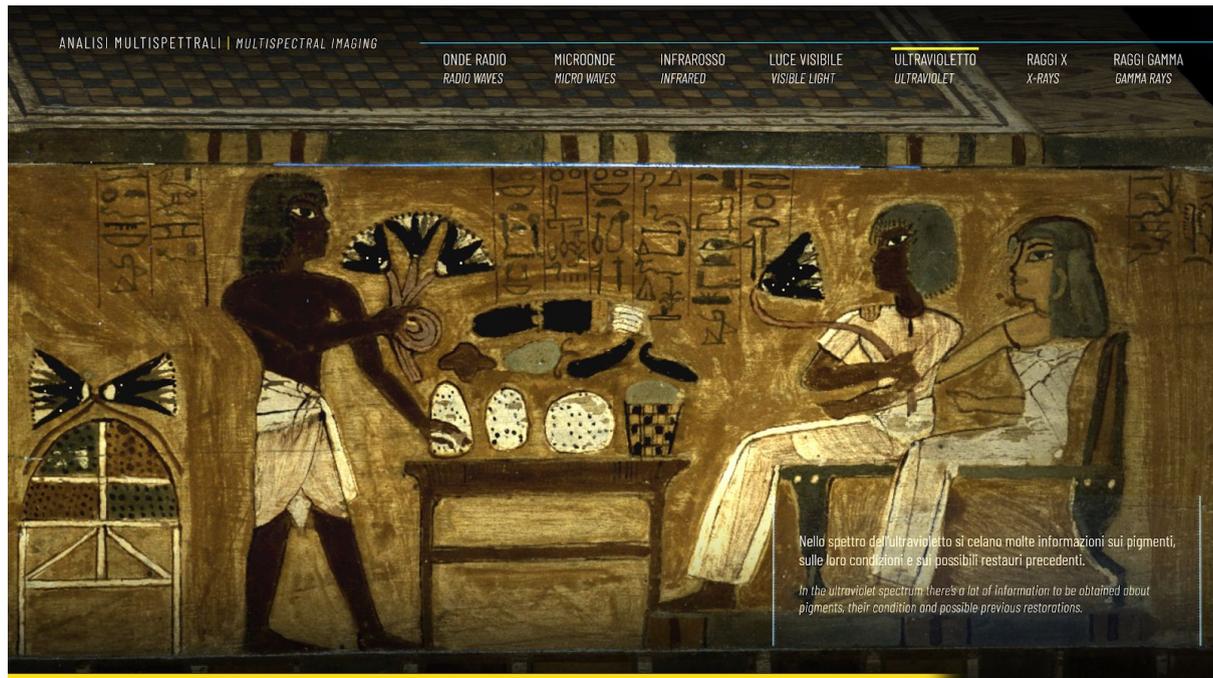


Figura 5.10 Cassetta a ultravioletti

L'ultima cassetta esaminata nel dettaglio è quella con l'analisi con MACRO XRF (X-ray fluorescence). Questa analisi restituisce una mappa chimica dei colori, usata per scoprire i processi di realizzazione dell'artigiano e per capire come intervenire in fase di restauro.

Figura 5.11 Cassetta a XRF

Per questa cassetta è stato usato un modello differente. Dato che c'era bisogno di animare una texture, in Blender sono stati assegnati due materiali, uno per tutta la mesh e uno per la faccia laterale della cassetta in cui si sono mostrati i vari livelli dei pigmenti utilizzati. Per la mesh si è usato un materiale scuro con riflessi blu, lo stesso usato per la cassetta in outline. Per la faccia laterale sono state realizzate sull'UV map della cassetta con retopology una texture per ogni pigmento, partendo dall'immagine fornita dal Museo Egizio in cui erano evidenziati tutti i colori ed andandoli a separare su Photoshop realizzando png con trasparenza.

I png con trasparenza sono stati inseriti in una composizione, animandone l'opacità in modo che apparissero uno alla volta, e questa composizione è stata usata come texture della cassetta XRF per il secondo materiale. Element infatti permette di inserire come texture di una mesh dei livelli di After Effects, attraverso i Custom Layer.

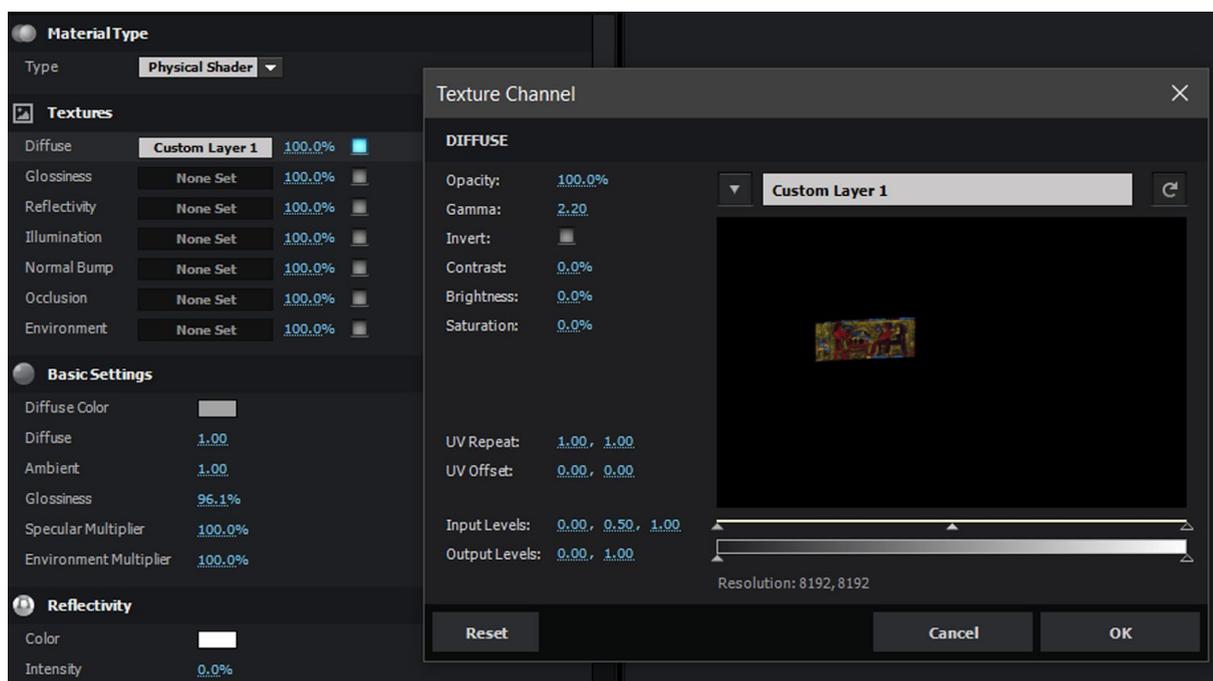


Figura 5.12 I custom layer

Per ogni colore che si aggiunge alla texture della cassetta, sono indicati gli elementi chimici a cui si riferiscono: il giallo rappresenta l'arsenico, il rosso il ferro, il blu il rame e il verde il manganese. Ogni elemento chimico è una precomposizione in cui degli shape layer formano un quadrato con bordi chiari, sempre in azzurro e blu come per le didascalie, usando gli effetti CC Toner e Glow, con testi in Barlow per

indicare nome dell'elemento, simbolo, numero atomico, peso atomico, elettroni per livello energetico, come nella tavola periodica.

Si ritorna alla visione delle cinque cassette affiancate con uno zoom out, che si uniscono in quella a luce visibile. La cassetta a luce visibile passa poi alla point cloud e infine di nuovo alla outline che si scompone, come un esploso di un componente meccanico.

Il background è composto da dei solid layer mascherati per comporre forme astratte, a cui è stato applicato un layer con un fractal noise in luma matte per creare discontinuità nelle forme. I due livelli sono stati imparentati per farli muovere insieme. A inizio e fine della composizione, per renderla loopabile, non sono presenti forme, che tra l'altro avrebbero reso poco leggibile l'outline della cassetta a inizio e fine video, quindi lo sfondo è nero.

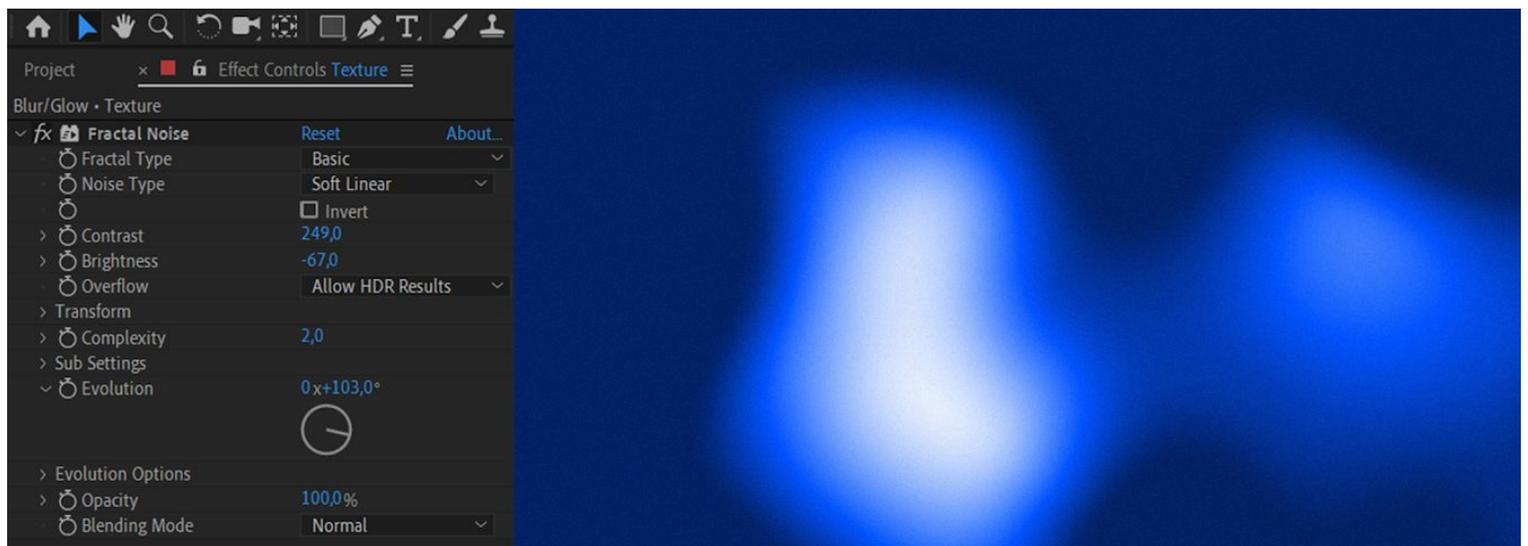


Figura 5.13 Il layer con fractal noise

Come ultima modifica, è stato applicato un livello di regolazione con un Fast Blur per sfocare l'immagine, in quanto bordi netti avrebbero disturbato la visione degli elementi in primo piano, con un effetto Hue/Saturation per controllarne il colore e con un Noise, dando un effetto di grana all'immagine per questioni estetiche e non avere un colore piatto sullo sfondo.

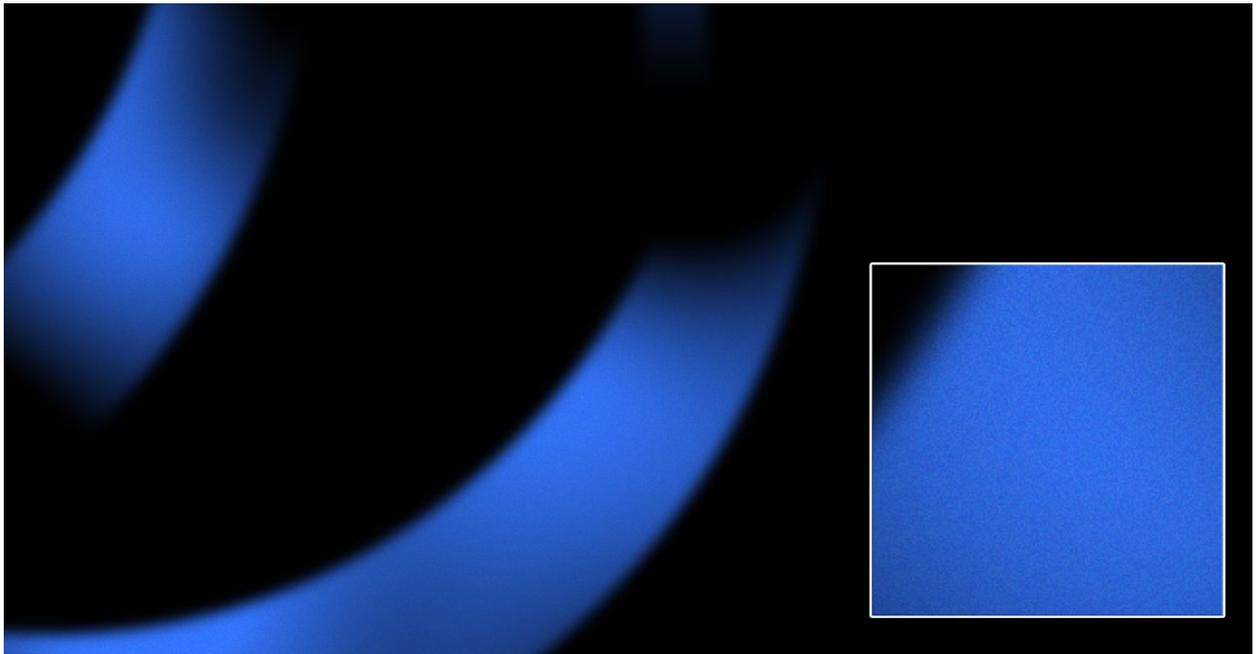


Figura 5.14 Il background, in dettaglio si può osservare il noise

Il background, soprattutto a causa dell'effetto noise, avrebbe appesantito parecchio il progetto, per questo è stato prerenderizzato come sequenza di png e importato nella composizione principale.

Per concludere, riguardo all'animazione di titoli e testi, i titoli delle didascalie appaiono con un effetto glitch ottenuto animando diverse shape e del testo random, applicando motion blur ai livelli e displacement map su un livello di regolazione. Questi livelli sono stati precomposti e usati in entrata e uscita della didascalia. A tutti i titoli sono stati poi applicati effetti di noise, correzione colore, motion blur e glow che li hanno resi abbastanza pesanti, per questo sono stati prerenderizzati come il background con una sequenza di png.



Figura 5.15 Sequenza di animazione dei titoli

Nelle didascalie sono stati animati due shape layer verticali azzurri, composti da tre path e un fondo blu trasparente, le scritte sono state animate con Animation Composer e è stato applicato loro un effetto Glow.

Export

Durante la produzione del video sono state esportate molte versioni di prova, alcune a risoluzione ridotta destinate ai curatori, per valutare tempi di lettura e contenuti dei video, alcune a risoluzione massima per testare sugli schermi la qualità degli oggetti 3D e delle texture, e per valutare la leggibilità delle scritte.

Per gli export finali, è stata renderizzata prima una sequenza png dei video. In caso di errori o modifiche da fare, o di un crash del render, con una sequenza di immagini si può conservare la parte che va bene e renderizzare la parte mancante del video.

Le sequenze di png sono state infine convertite in un video mp4 codificato in H264 con CBR (Constant Bit Rate) di 40 Mbps.

Conclusione

La mostra “*Archeologia Invisibile*” è stata inaugurata il 12 marzo del 2019 e sarà visitabile fino al 7 giugno 2020, prorogando la fine della mostra stabilita inizialmente per il 6 gennaio del 2020, dato il grande successo di pubblico.

Il direttore del Museo Egizio Christian Greco, la Presidente della Fondazione Museo delle Antichità Egizie Evelina Christillin, e il curatore della mostra Enrico Ferraris si sono mostrati molto soddisfatti del lavoro svolto e ci hanno fatto i complimenti, confidando che la qualità del lavoro svolto ha superato le loro aspettative.

I contenuti prodotti per la mostra sono diventati parte del materiale promozionale utilizzato per la campagna pubblicitaria di “*Archeologia Invisibile*”, soprattutto il projection mapping sul sarcofago di Butehamon.

Numerose sono state le recensioni positive della stampa, sia di testate del settore che generaliste.

Inoltre in occasione della presentazione della mostra all'interno di Superquark, il programma televisivo di divulgazione culturale della rete televisiva RAI, vetrina e video della cassetta di Kha sono stati mostrati per illustrare pigmenti e analisi multispettrali.



ARCHEOLOGIA INVISIBILE: la nuova mostra del Museo Egizio di Torino racconta la "biografia degli oggetti" grazie alla scienza

Publicato il marzo 13, 2019 da [matiamancini](#)

CORRIERE DELLA SERA / CULTURA

CRONACA | DATI | STORIE | INTERVISTE | INCHIESTE | NOTIZIE SPIEGATE BENE | BUONE NOTIZIE | RADIO | TG

Appuntamenti, In evidenza, In Primo Piano / Marzo 12, 2019

Archeologia Invisibile, il Museo Egizio mette in mostra la ricerca

Figura 6.1 Alcune delle testate che hanno scritto della mostra

“*Archeologia Invisibile*” ha registrato un numero di ingressi decisamente superiore a quello della mostra precedente, “Anche le statue muoiono”, andando a raggiungere nel mese di settembre 168.940 ingressi, contro i 128.780 della vecchia mostra (che ha registrato in totale 183.338 entrate). Investire un budget maggiore per l’allestimento della mostra, dando maggiore spazio a contenuti multimediali, e le scelte stilistiche adottate da Robin nella produzione dei contenuti visivi, hanno quindi portato ai risultati attesi.

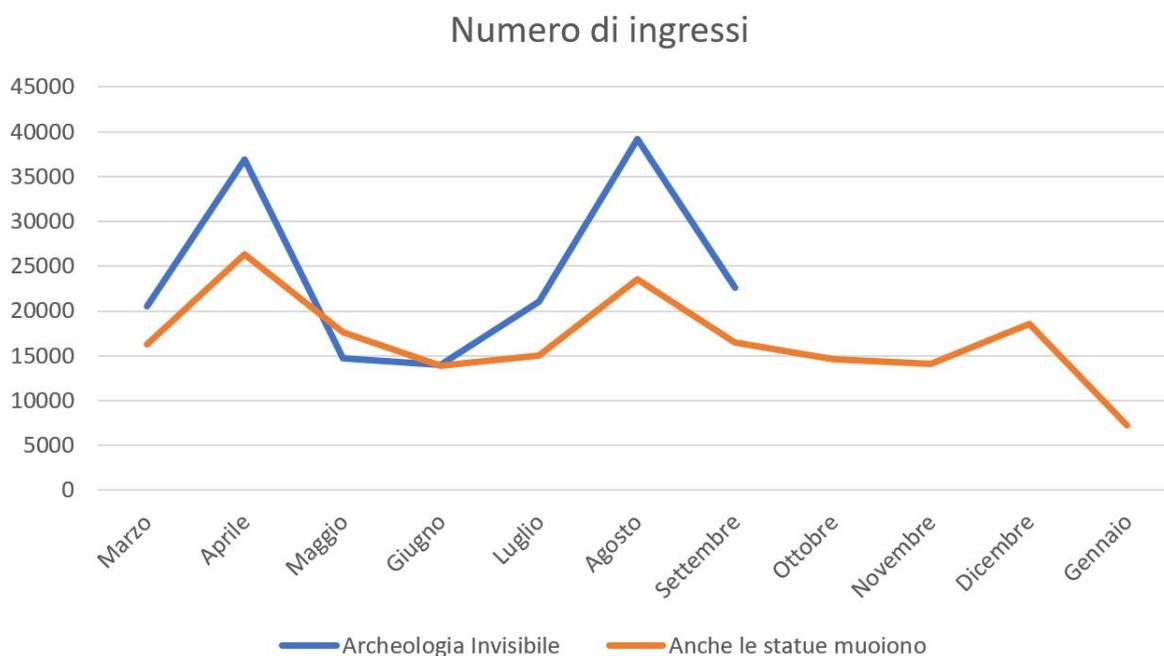


Figura 6.2 Grafico ingressi del Museo Egizio

La fotogrammetria è una tecnica che sta rivoluzionando il modo di condividere informazioni sui reperti archeologici (e non solo), proprio come avvenuto con la fotografia alla fine del diciannovesimo secolo, che ha permesso di passare dal disegno o dal dipinto a una tecnica molto più veloce per condividere immagini molto più accurate delle collezioni dei musei, con persone di tutto il mondo.

È un settore che si sta espandendo negli ultimi anni, e non sono molti i musei ad aver trattato argomenti come l'archeometria e la fotogrammetria all'interno delle loro collezioni, o ad aver integrato l'utilizzo di modelli 3D nell'esposizione dei reperti, e questo ha giocato a favore del successo di "*Archeologia Invisibile*".

Molti musei stanno iniziando a digitalizzare le loro collezioni, pubblicandole tra l'altro come contenuto open source scaricabile e utilizzabile da qualsiasi utente. Ad esempio tre musei svedesi, The Royal Armoury, Skokloster Castle and The Hallwyl Museum, dal 2013 condividono immagini attraverso licenza Wikimedia Commons e dal 2016 hanno iniziato a rendere disponibili online su Sketchfab le fotogrammetrie delle loro collezioni (che si possono anche scaricare con licenza creative commons).

Un altro esempio degno di nota è l'installazione interattiva inserita nel Museo di Antropologia Criminale di Torino, dove la collezione di ceramiche incise dai detenuti delle carceri "Le Nuove" e "La Generala" di Torino.

Le ceramiche sono state digitalizzate tramite fotogrammetria, tramite postazioni touch screen è possibile visualizzarle a 360 gradi e puntatori 3D ne mostrano i dettagli.

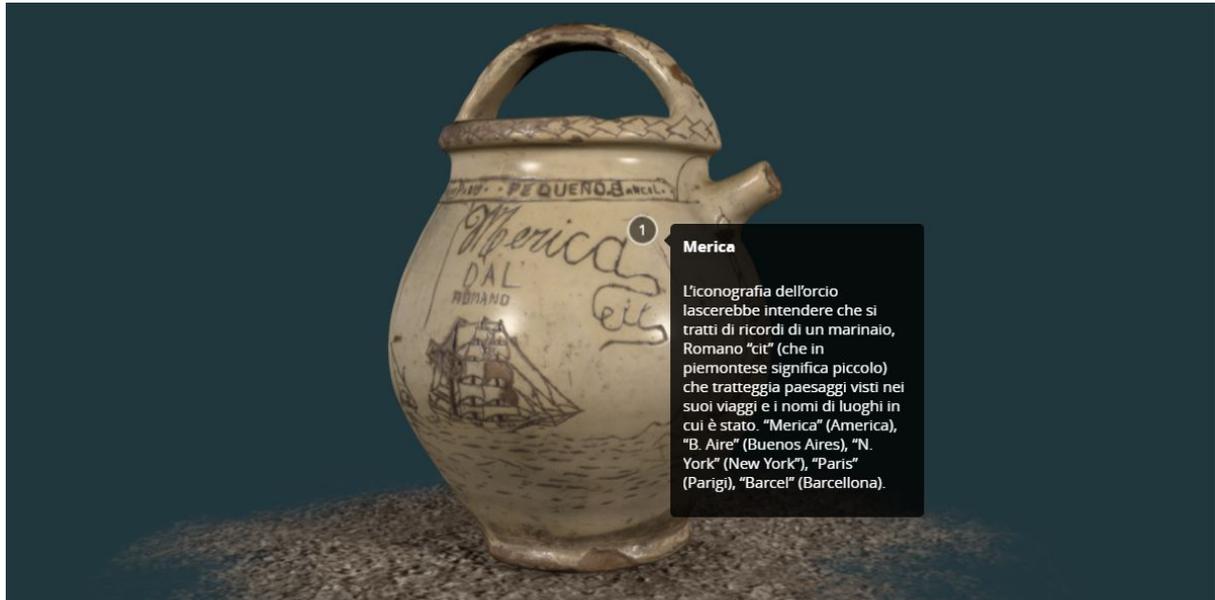


Figura 6.3 Esempio di una delle ceramiche

La fotogrammetria può essere utile in molti modi, sia per fini di documentazione sia per l'interazione con il pubblico. In una mostra, un modello 3D può mostrare angoli e dettagli che altrimenti non potrebbero essere esposti, possono mostrare l'oggetto a chi non ha modo di visitare il museo di persona, possono mostrare oggetti troppo delicati da spostare ed esporre al pubblico. Gli spettatori possono fruire degli oggetti tramite applicazioni interattive, dove possono zoomare su dettagli o ruotare l'oggetto. Per il lavoro interno del museo, la fotogrammetria permette di studiare meglio le condizioni di un oggetto, i suoi danni, modelli 3D possono essere usati a fini di studio.

Per quanto riguarda il lavoro svolto da Robin, sono emerse alcune problematiche da tenere in conto per lavorazioni future.

Il problema principale sono state le tempistiche della lavorazione: alcuni materiali necessari per concludere le lavorazioni sono arrivati tardi brevi, e modifiche ai contenuti dei video sono arrivate anche a ridosso della scadenza. Tuttavia, l'utilizzo del workflow analizzato, grazie a un'efficiente divisione del lavoro, ha reso possibile la consegna in tempo di tutti i contenuti.

Riguardo al la mia esperienza personale infine, la possibilità di sperimentare questo workflow è stata sicuramente formativa, in quanto sarà applicabile a più contesti nel futuro.

Appendice A - Fotogrammetria e mobile

Una occasione in cui le conoscenze acquisite sulla fotogrammetria sono state utilizzate è la Notte dei ricercatori 2019, a cui Robin Studio ha partecipato con un proprio stand. Durante l'evento, sono state mostrate le meccaniche con cui si realizza una fotogrammetria durante uno scavo, utilizzando il video della fiaschetta realizzato per la mostra Archeologia Invisibile.

Una dimostrazione pratica è stata poi fornita utilizzando applicazioni per computer e smartphone.

È stato mostrato come funziona Meshroom scansionando una riproduzione di una cassetta. Per rendere l'esperienza più interattiva, sono state inoltre utilizzate due applicazioni per smartphone che consentono di ottenere una scansione di un oggetto con tempi molto ridotti, ovviamente a discapito della qualità del risultato.

QLone è un'applicazione per Android e iOS che permette di scannerizzare un oggetto e crearne una mesh in tempi molto rapidi, include una visualizzazione dell'oggetto in AR utilizzando ARKit (SDK per la realtà aumentata di iOS creata da Apple nel 2017) e ARCore (per Android, creata da Google nel 2018).

Le due SDK si basano su tre principi: motion tracking, plane detection e lighting estimation.

Motion tracking: il dispositivo deve stabilire la sua posizione e la sua orientazione nello spazio, per fare questo si utilizzano i dati dei sensori di movimento (accelerometro, giroscopio, magnetometro ecc.) e della fotocamera per identificare i sei gradi di libertà del dispositivo (tre di traslazione e tre di rotazione)

Plane detection: con tecniche di riconoscimento ambientale basate su gradienti di luci e calcolo di profondità si posizionano oggetti virtuali su piani virtuali coincidenti con superfici reali precedentemente identificate

Lighting estimation: le due SDK analizzano i gradienti di luce inquadrati dal dispositivo per stimare le sorgenti di luce reale, renderizzando gli oggetti virtuali con illuminazione analoga.

La realtà virtuale è un settore che recentemente si sta espandendo molto, si prevede infatti che nel 2020 saranno spesi per la realtà virtuale oltre 30 miliardi di euro.

Per scannerizzare l'oggetto, gli sviluppatori di QLone hanno creato un layout stampabile su cui posizionare l'oggetto, inquadrandolo col telefono da più posizioni indicate in AR si crea la mesh, raffinata ripetendo il processo dopo aver modificato la posizione dell'oggetto sulla griglia per andare a inquadrare parti in precedenza nascoste.

Una volta ottenuta la mesh, è possibile esportarla in diversi formati (opzione a pagamento) o condividerla su diverse piattaforme, ad esempio sketchfab.



Figura A.1 Scannerizzazione con QLone

Capture è un'applicazione sviluppata per iOS che invece utilizza la TrueDepth camera degli ultimi iPhone, basata su sensori a infrarossi. Calcolando la distanza di ogni punto dal telefono e la posizione del telefono attraverso i suoi sei gradi di libertà, costruisce una point cloud degli oggetti inquadrati.

Appendice B - Algoritmi SIFT e AKAZE

Nella computer vision e nella processione di immagini, la ricerca di features include metodi per analizzare le informazioni dell'immagine e stabilire per ogni suo punto se una feature di un certo tipo è stata individuata oppure no.

Non esiste una definizione universale o esatta di ciò che costituisce una feature, la sua definizione spesso dipende dal problema o dal tipo di applicazione richiesta.

Detto questo, una feature viene definita come una parte "interessante" di un'immagine e le features vengono utilizzate come punto di partenza per molti algoritmi di computer vision.

L'efficacia di un algoritmo si basa sulla sua capacità di individuare le features, individuando la stessa in due o più immagini della stessa scena.

SIFT (Scale-invariant feature transform)

Brevettato in Canada da David Lowe nel 1999, si compone di cinque passi principali:

Scale-space Extrema Detection

L'algoritmo riesce a individuare features su diversa scala, per fare ciò si usa un filtro spazio-scala con il quale delle Laplace di Gaussiana (LoG) sono trovate nell'immagine con diversi valori di σ (che indica la scala). I LoG funzionano da rilevatori di zone di varie dimensioni con le stesse features. In breve, σ funziona da parametro di ridimensionamento. Quindi, possiamo trovare i massimi locali attraverso la scala e lo spazio che ci fornisce un elenco di valori (x, y, σ) , il che significa che esiste un potenziale punto chiave a (x, y) nella scala σ .

L'utilizzo di LoG è costoso, quindi l'algoritmo SIFT usa una Differenza di Gaussiana (DoG) che è un'approssimazione del LoG. La differenza di gaussiana si ottiene come la differenza della sfocatura gaussiana di un'immagine con due diversi σ , chiamati σ e $k\sigma$. Questo processo viene eseguito per diverse ottave dell'immagine nella piramide gaussiana.

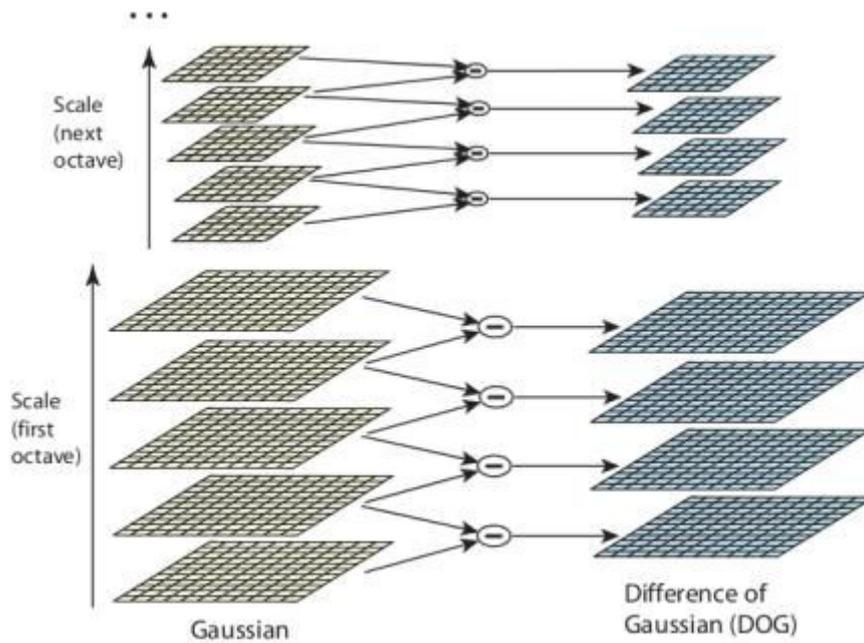


Figura B.1 Rappresentazione delle iterazioni

Una volta trovati i DoG, le immagini vengono cercate per estremi locali su scala e spazio. Ad esempio, un pixel in un'immagine viene confrontato con i suoi 8 vicini e i 9 pixel nella scala successiva e i 9 pixel nella scala precedente. Se si tratta di un estremo locale, è un potenziale punto chiave. Fondamentalmente significa che il punto chiave è meglio rappresentato in quella scala.

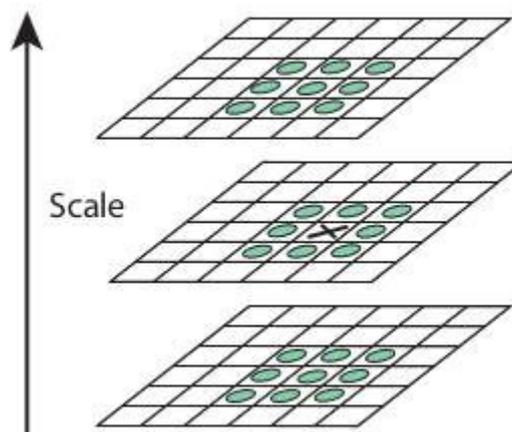


Figura B.2 Confronto dei pixel

Keypoint Localization

Una volta individuate le potenziali posizioni dei punti chiave, devono essere perfezionate per ottenere risultati più precisi. Si utilizza l'espansione in serie di Taylor della rappresentazione spazio-scala per ottenere una posizione più accurata degli

estremi e se l'intensità di questi è inferiore a un valore di soglia (0,03), vengono rifiutati. Questa soglia è chiamata `contrastThreshold` in OpenCV. Il DoG ha una risposta più alta per i bordi, quindi anche i bordi devono essere rimossi. Per questo, viene utilizzato un concetto simile al rilevatore angolare Harris. Si utilizza una matrice hessiana 2x2 (H) per calcolare la curvatura principale. Sappiamo dal rivelatore angolare di Harris che per i bordi, un valore è maggiore dell'altro. Quindi si usa una funzione semplice. Se questo rapporto è maggiore di una soglia, denominata `edgeThreshold` in OpenCV, quel punto chiave viene scartato. Si eliminano eventuali punti chiave a basso contrasto e punti chiave ai bordi e ciò che rimane sono punti di interesse ad alto contrasto.

Orientation assignment

Viene assegnato un orientamento a ciascun punto chiave per ottenere l'invarianza alla rotazione dell'immagine. Viene presa una regione intorno alla posizione del punto chiave a seconda della scala, e l'entità e la direzione del gradiente vengono calcolate in quella regione. Viene creato un istogramma di orientamento con 36 scomparti che coprono 360 gradi. È ponderato per ampiezza del gradiente e finestra circolare ponderata gaussiana con σ pari a 1,5 volte la scala del punto chiave. Viene preso il picco più alto nell'istogramma e viene considerato anche qualsiasi picco superiore all'80% per calcolare l'orientamento. Crea punti chiave con la stessa posizione e scala, ma direzioni diverse, contribuendo alla stabilità della corrispondenza.

Keypoint Descriptor

Viene creato il descrittore di punti chiave. Viene presa una regione 16x16 attorno al punto chiave. È divisa in 16 sottoblocchi di dimensioni 4x4. Per ogni sottoblocco, viene creato un istogramma di orientamento a 8 scomparti. Quindi sono disponibili un totale di 128 valori. È rappresentato come un vettore per formare il descrittore di punti chiave. Inoltre, sono state prese diverse misure per ottenere robustezza contro i cambiamenti di illuminazione, rotazione ecc.

Keypoint Matching

I punti chiave tra due immagini vengono abbinati identificando i vicini più vicini. Ma in alcuni casi, il secondo incontro più vicino potrebbe essere molto vicino al primo. Può accadere a causa del rumore o di altri motivi. In tal caso, viene preso il rapporto tra la distanza più vicina e la seconda distanza più vicina. Se è maggiore di 0,8,

vengono rifiutati. Elimina circa il 90% delle false corrispondenze mentre scarta solo il 5% delle corrispondenze corrette.

AKAZE

L'algoritmo di individuazione delle features AKAZE è composto da tre parti: calcolo del fattore di contrasto, costruzione di una rappresentazione spazio-scala non lineare e individuazione delle features.

1 - Calcolo del fattore di contrasto

Il fattore di contrasto è usato per costruire lo spazio-scala non lineare. Innanzitutto si applica uno smooth dell'immagine con un filtro gaussiano. Il secondo passo è calcolare il massimo del gradiente assoluto dell'immagine sottoposta a smooth, chiamato h_{\max} . Questo si ottiene calcolando il valore assoluto del gradiente di ogni pixel. Il terzo passo è riempire un istogramma di 300 passi con i valori dei gradienti divisi per il parametro h_{\max} . Si trova poi l'indice dell'istogramma i per cui il 70% dell'istogramma dei gradienti è coperto. il fattore di contrasto è calcolabile come

$$k = \frac{h_{\max} \cdot i}{300}$$

Figura B.3 Formula 1

2 - Costruzione di una rappresentazione spazio-scala non lineare

I livelli di spazio-scala sono costruiti risolvendo numericamente l'equazione differenziale delle derivate parziali

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \text{div}(g(|\nabla L_{\sigma}|) \cdot \nabla L)$$

Figura B.4 Formula 2

Si risolve iterativamente usando la Fast Explicit Diffusion scheme (FED) con diversi time steps τ_j .

$$L^{j+1} = (I + \tau_j A(L^j))L^j$$

Figura B.5 Formula 3

La funzione $g(|\nabla L_\sigma|)$ è chiamata formula di conduttività e $A(L)$ è la matrice di notazione di questa funzione. La funzione di conduttività è scelta per essere

$$g(|\nabla L_\sigma|) = \frac{1}{1 + \frac{|\nabla L_\sigma|^2}{k^2}} = \frac{k^2}{k^2 + |\nabla L_\sigma|^2}$$

Figura B.6 Formula 4

dove k è il fattore di contrasto. Per prevenire l'uso di due divisioni, la B.6 è stata aggiustata. Per ogni pixel, calcolare la B.6 richiede una divisione, due moltiplicazioni e due addizioni, inoltre ogni passo di FED richiede 5 moltiplicazioni e 12 addizioni/sottrazioni per ogni pixel. È questo che rende AKAZE pesante computazionalmente e di conseguenza occupa molto tempo. Lo scale-space in AKAZE è un framework piramidale. consiste di ottave e ogni ottava consiste di sottolivelli. ogni ottava è di dimensione un quarto della precedente.

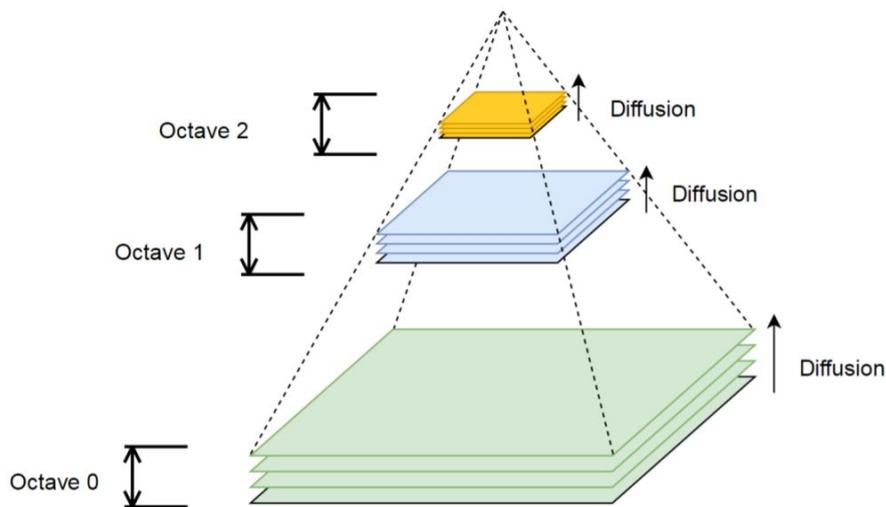


Figura B.7 Framework piramidale

3 - Individuazione delle features

AKAZE usa il determinante della Hessian blob-detector (DoH). Dopo aver costruito lo spazio scala non lineare, le immagini DoH sono calcolate a dimensioni della scala crescenti all'aumentare dei sottolivelli. Per questo akaze riduce i samples dell'immagine dopo un certo numero di sottolivelli. I punti chiave (o le features) vengono estratti confrontando i pixel nelle immagini DoH con una finestra circostante di dimensioni 3x3. Se il valore del pixel in esame è maggiore degli altri 8 pixel circostanti e di una soglia predefinita, il pixel viene confrontato spazialmente con punti chiave nello stesso sotto-livello in una finestra di raggio σ^2 per escludere ripetizioni di punti chiave presenti nello stesso cerchio. Lo stesso confronto è realizzato con il livello superiore e inferiore e il raggio dipende dal livello secondario.

Appendice C - UV unwrap LSCM e ABF

Si definisce Texture Atlas una collezione di più texture all'interno di una singola immagine. Usata principalmente nei videogiochi (aprire un file immagine per utilizzare più texture richiede meno tempo che aprire un'immagine per ogni texture), è usata anche per creare le texture dei modelli della fotogrammetria.

Nella creazione di texture atlas per modelli privi di un UV Layout il modello è scomposto in aree di forma circolare dette charts, ognuna delle quali viene parametrizzata e inserita nello spazio della texture. I metodi esistenti per la creazione di texture atlas hanno diverse limitazioni: richiedono di creare un gran numero di piccoli charts dai bordi semplici, le discontinuità tra charts creano artefatti ed è difficile ottenere chart estesi con pattern regolari.

Un texture atlas ben realizzato deve seguire i seguenti principi:

- I bordi dei chart devono minimizzare gli artefatti nella texture,
- la campionatura dello spazio della texture deve essere il più uniforme possibile
- l'atlas deve usare in modo efficiente lo spazio dell'immagine

LSCM (Least Squares Conformal Maps)

La generazione di un atlas con LSCM si può dividere nei seguenti passi:

- Divisione in charts
- Parametrizzazione, si crea una corrispondenza con uno spazio R^2
- Packing, unione dei charts in una texture

Data una superficie di ordine genus zero (approssimativamente priva di buchi), questa può essere mappata in un dominio 2D, preservando localmente gli angoli e minimizzando la distorsione del mapping. Dati questi presupposti, sono disponibili un insieme di soluzioni con 6 gradi di libertà. Una soluzione unica è data da almeno due punti, punti addizionali possono essere aggiunti per ottenere una soluzione col metodo dei minimi quadrati, che bilancia gli errori di localizzazione dei singoli punti. Su questi principi si basa il Least Squares Conformal Mapping.

Data una superficie S nelle sue coordinate 3D (x,y,z) possiamo definire una parametrizzazione {u, v} appartenente R² in modo che la superficie sia localmente definita dalla funzione di mapping f(u,v) {x,y,z}. L'approssimazione nel primo ordine di Taylor di f(u,v) è

$$\begin{aligned}\tilde{f}(u + \Delta u, v + \Delta v) &= f(u, v) + f_u(u, v)\Delta u + f_v(u, v)\Delta v \\ &= f(u, v) + \mathbf{J}_f(u, v) \begin{pmatrix} \Delta u \\ \Delta v \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Figura B.1 Formula 1

dove f_u e f_v sono le derivate parziali e $\mathbf{J}_f(u, v)$ è la matrice Jacobiana scomponibile come segue:

$$\mathbf{J}_f = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T = \mathbf{U} \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{V}^T$$

Figura B.2 Formula 2

Gli autovalori di E e σ_1 e σ_2 determinano il tipo di distorsione introdotta dal mapping f:

- f è isometrica (preserva la lunghezza) se $\sigma_1 = \sigma_2 = 1$
- f è conforme (preserva gli angoli) se $\sigma_1 = \sigma_2$
- f è equiareale (preserva l'area) se $\sigma_1 \sigma_2 = 1$

Poiché l'uguaglianza degli autovalori di J implica uguaglianza anche per quelli di \mathbf{J}^{-1} , il mapping inverso (da 2D a 3D) è conforme. Si noti che il LSCM produce un mapping approssimativamente conforme, dato che una superficie discreta non può in generale essere mappata in 2D sotto conformità stretta.

Una implementazione pratica del LSCM è applicata notando che per avere un mapping conforme bisogna avere gradienti rispetto alla parametrizzazione ortogonali e con la stessa normale:

$$\nabla v = \text{rot}_{90}(\nabla u)$$

Figura B.3 Formula 3

dove $\text{rot}90$ è una rotazione di 90 gradi (antioraria in questo caso) e i gradienti di u e v sono presi rispetto a un sistema di coordinate locali centrato in ogni triangolo della superficie. Quindi, otteniamo due equazioni per triangolo lineari nelle coordinate del vertice (u e v). Il sistema di equazioni risultante è indeterminato a meno di fissare le coordinate di due o più punti: così facendo il sistema è determinato.

ABF (Angle Based Flattening)

Nel campo della parametrizzazione delle mesh, l'impatto della distorsione angolare sulla qualità della parametrizzazione ha fatto emergere la necessità di metodi di conservazione degli angoli robusti ed efficienti.

Con la sempre crescente potenza computazionale fornita dai processori moderni, è possibile risolvere problemi non lineari in tempi ragionevoli, considerando ciò l'ABF utilizza una serie di operazioni lineari e nonlineari per minimizzare la distorsione angolare.

Considerando la mappatura di una superficie 3D in una 2D

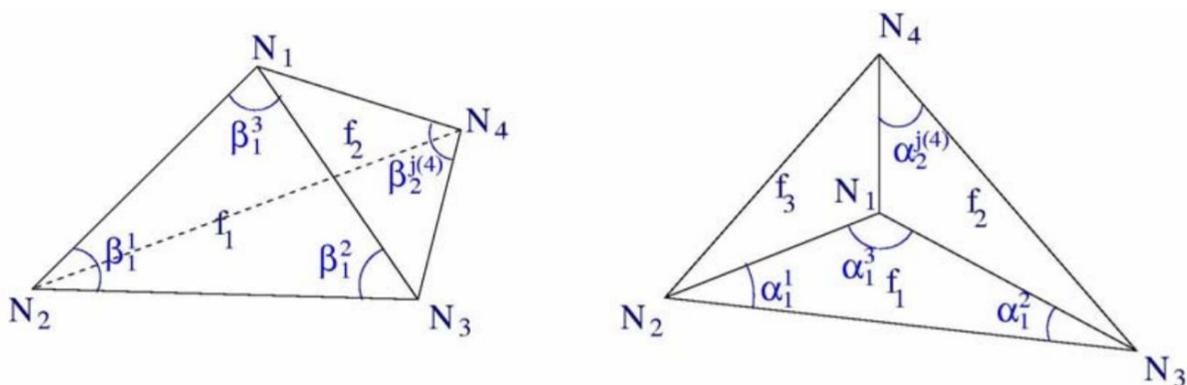


Figura B.4 Mappatura della superficie 3D

si può calcolare la distorsione ottenuta come differenza tra angoli 2D/3D:

$$\sum_{t \in T, j=1..3} w_j^t (\alpha_j^t - \beta_j^t)^2, w_j^t = \frac{1}{\beta_j^{t-2}}$$

Figura B.5 Formula 1

Il metodo ABF utilizza quattro vincoli per calcolare la mappatura 2D, che sono:

- validità triangolare

$$\forall t \in T, \quad \alpha_1^t + \alpha_2^t + \alpha_3^t - \pi = 0;$$

- planarità

$$\forall v \in V_{int}, \quad \sum_{(t,k) \in v^*} \alpha_k^t - 2\pi = 0$$

- ricostruzione

$$\forall v \in V_{int}, \quad \prod_{(t,k) \in v^*} \sin \alpha_{k \oplus 1}^t - \prod_{(t,k) \in v^*} \sin \alpha_{k \ominus 1}^t = 0$$

- positività

$$\alpha_j^t > 0$$

I vincoli sono utilizzati per minimizzare la distorsione dovuta alla mappatura.

Rispetto a LSCM, ABF permette di ottenere chart più estesi, riducendo la probabilità di artefatti, a parità di uniformità e utilizzo dello spazio.

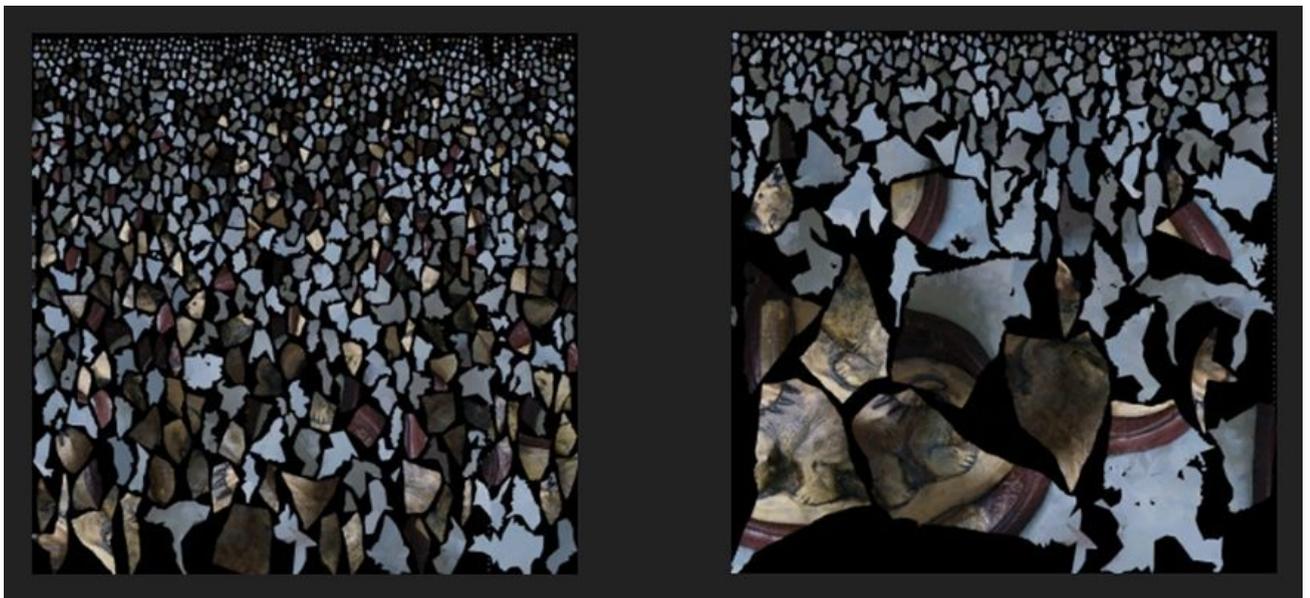


Figura B.6 Confronto tra LSCM (a sinistra) e ABF (a destra)

Bibliografia

- The Use and Application of Photogrammetry for the In-field Documentation of Archaeological Features: Three Case Studies from the Great Plains and Southeastern Alaska, Michael Chodoronek
- La aplicación de técnicas structure from motion en el registro arqueológico, Pablo Romero Pellitero Universidad de Granada, José Caballero López Universidad de Granada
- MOLAB - Strumentazione mobile CHNet: imaging multispettrale
- Cognitive control in media multitaskers, Eyal Ophir, Clifford Nass, and Anthony D. Wagner
- Meshroom Manual, July 2019 v0.4.5
- Historic England, Photogrammetric Applications for Cultural Heritage, Guidance for Good Practice
- Archeologia invisibile. Catalogo della mostra (Torino, 13 marzo 2019-6 gennaio 2020). Ediz. illustrata
- Linear Angle Based Parameterization, Rhaleb Zayer, Bruno Lévy, Hans-Peter Seidel
- Least Squares Conformal Maps for Automatic Texture Atlas Generation, Bruno Lévy Sylvain Petitjean Nicolas Ray Jérôme Maillot, ISA (Inria Lorraine and CNRS), France

Sitografia

- Mosul Museum, wrecked by Isis, is brought back to life with 3D tech
<https://www.wired.co.uk/article/mosul-museum-3d-tech-isis-art>
- Museo Egizio
<https://www.museoegizio.it/>
- Robin Studio
<https://robin.studio/>
- How Much Do Museum Exhibitions Cost?
<https://museumplanner.org/how-much-do-exhibits-cost/>
- Nota esplicativa bilancio preventivo 2019
<https://api.museoegizio.it/wp-content/uploads/2018/12/nota-esplicativa-bilancio-preventivo-2019.pdf>
- The Metropolitan Museum of Art, Annual Report for the Year 2017–2018
<https://www.metmuseum.org/-/media/files/about-the-met/annual-reports/2017-2018/annual-report-2017-18.pdf>
- Infographic: Old media vs new media
<https://channels.theinnovationenterprise.com/articles/old-media-vs-new-media-an-infographic>
- Time Spent Reading
<https://www.humanitiesindicators.org/content/indicatordoc.aspx?i=11094>
- Digital in 2019, Italia
<https://wearesocial.com/it/digital-2019-italia>
- Instant Meshes
<https://igl.ethz.ch/projects/instant-meshes/>
- Meshroom Github
<https://github.com/alicevision/meshroom>
- Is Graphics Processing Really that Important in After Effects? By Johnathan Paul
<https://www.schoolofmotion.com/blog/graphics-processing-after-effects>
- Taking collection digitisation to the next level by Kira Zumkley on 2 october 2018
<https://blog.sciencemuseum.org.uk/photogrammetry-taking-collection-digitisation-to-the-next-level/>
- Three Swedish museums experiments with photogrammetry
<https://sketchfab.com/blogs/community/three-sweedish-museums-experiments-photogrammetry/>
- Ceramiche carcerarie 3D
<http://museolombroso.unito.it/index.php/it/visita/orci-3d>
- Landmark-based surface normalization
http://www.cipa.dcu.ie/face3d/SP_MORPH/mesh_normalization.htm

