

Linee guida per la digitalizzazione 3D: la strada verso il successo

UNA GUIDA BASATA SULLO STUDIO UE VIGIE2020/654
SULLA QUALITÀ NELLA DIGITALIZZAZIONE 3D
DEL PATRIMONIO CULTURALE TANGIBILE



European Union's REKconstructed content in 3D

LINEE GUIDA PER LA DIGITALIZZAZIONE 3D: LA STRADA VERSO IL SUCCESSO
Una guida basata sullo studio UE VIGIE2020/654 sulla qualità nella digitalizzazione 3D del patrimonio culturale tangibile

Questa guida è stata progettata per aiutare chiunque nel suo percorso di digitalizzazione 3D. È in particolare rivolta ai professionisti del patrimonio culturale che stanno considerando o hanno iniziato la digitalizzazione delle loro collezioni di patrimonio culturale tangibile. La guida delinea e semplifica le metodologie raccomandate che sono evidenziate nello studio UE VIGIE 2020/654 (Studio sulla qualità nella digitalizzazione 3D del patrimonio culturale tangibile, pubblicato nell'aprile 2022) e scritta in risposta alla raccomandazione dell'UE (UE 2021/1970 su uno spazio comune europeo di dati per il patrimonio culturale, pubblicato nel novembre 2021) affinché gli Stati membri digitalizzino in 3D tutti i monumenti e i siti a rischio entro il 2030.

Questa guida è stata creata nell'ambito del progetto REKconstructed content in 3D dell'Unione Europea EUreka3D, progetto cofinanziato dall'Unione Europea (Grant Agreement n. 101100685).



Co-funded by
the European Union

Didascalia immagine di copertina:

Il peschereccio Lambousa. EU ERA and UNESCO Chairs on Digital Cultural Heritage - Cyprus University of Technology. Con il sostegno e la collaborazione del Comune di Limassol.

Prima versione: giugno 2024

ISBN: 978-84-8496-324-0

Traduzione: gennaio 2026

Linee guida per la digitalizzazione 3D: la strada verso il successo

UNA GUIDA BASATA SULLO STUDIO UE VIGIE2020/654
SULLA QUALITÀ NELLA DIGITALIZZAZIONE 3D
DEL PATRIMONIO CULTURALE TANGIBILE

Sommario

Introduzione	5
Scenari d'uso e stakeholders	5
Perché digitalizzare in 3D?	6
Una nota sulla qualità	6
Una nota sulla complessità	8
Digitalizzazione 3D: la strada verso il successo	8
1. Pianificazione del progetto	9
1.1. Gestione del progetto	9
1.2. Descrizione del progetto	11
2. Documentazione e lavoro in cantiere	12
2.1. Analisi dell'oggetto/analisi del sito	12
2.2. Soluzione tecnica	13
2.3. Metodi di registrazione 2D e 3D	14
3. Produzione e consegna	16
3.1. Produzione – gestione dei dati	17
3.2. Prodotti e risultati finali	19
3.3. Produzione	19
4. Archivio	20
Pubblicazione e diffusione	20
Lista di controllo: digitalizzazione 3D passo per passo	23

Introduzione

Questa guida è progettata per aiutare chi si avvicina ad un percorso di digitalizzazione 3D, ed è in particolare rivolta ai professionisti nell'ambito del patrimonio culturale che stanno considerando o hanno iniziato la digitalizzazione di collezioni di patrimonio culturale tangibile. La guida delinea e semplifica le metodologie raccomandate che sono evidenziate nello **studio UE VIGIE 2020/654** (Studio sulla qualità nella digitalizzazione 3D del patrimonio culturale tangibile, pubblicato nell'aprile 2022), e scritta in risposta alla **raccomandazione dell'UE** (UE 2021/1970 su uno spazio comune europeo di dati per il patrimonio culturale, pubblicato nel novembre 2021) affinché gli Stati membri digitalizzino tutti i monumenti e i siti a rischio in 3D entro il 2030. Questa guida è stata creata nell'ambito di **EUreka3D**, un progetto comunitario co-finanziato dall'Unione Europea (sovvenzione n. 101100685).

Scenari d'uso e stakeholders

L'acquisizione dei dati di beni materiali del patrimonio culturale, sia mobili che immobili, presenta diversi gradi di complessità a seconda dello scenario e del contesto. Ad esempio, scenari che riguardano piccoli artefatti in ambienti controllati sono molto diversi dalla complessità di scenari che coinvolgono relitti sottomarini o oggetti ritrovati all'interno di caverne. Ogni scenario richiede un'analisi e un'attenta pianificazione per valutare il proprio livello di complessità. Ciò consente ai project manager di prepararsi ad affrontare alcune problematiche prevedibili e completare in modo più accurato un progetto entro vincoli inevitabili (come budget, tempo, personale/professionisti, risorse, attrezzature e infrastrutture da utilizzare, ambito di riutilizzo dei modelli, ecc.).

Questa guida può aiutare in tre contesti di base:

- **Direttori di musei** che vogliono digitalizzare parte o intere collezioni in condizioni controllate;
- **Pubbliche Amministrazioni**/Proprietari di Monumenti e/o Siti intenzionati a digitalizzare oggetti immobili di grandi dimensioni;
- **Stakeholders che hanno deciso** di digitalizzare un intero sito.

Patrimonio Culturale Mobile - il patrimonio mobile spazia da fotografie e dipinti a metalli, ceramica, vetro, legno, cuoio, tessuti e altri materiali compositi. Può essere bidimensionale o tridimensionale, costituito da uno o più materiali e uno o più strati.

Patrimonio Culturale Immobile - Il patrimonio immobile è costituito da edifici, terreni e altri beni di valore storico, in genere con fondamenta fisse collegate al terreno. Oltre a castelli, case, palazzi e torri, comprende anche chiese, monasteri, rettorie, case e palazzi, architettura popolare rurale, monumenti tecnici e industriali, teatri, musei, colonne della peste e santuari, tra gli altri oggetti. In questa categoria rientrano anche le grotte e i beni culturali sottomarini quali relitti, rovine ed edifici sottomarini, che ospitano oggetti architettonici strutturalmente complessi, strutture e arredi interni mobili storicamente rilevanti.

Prima di continuare a leggere, è consigliato scaricare [lo studio completo](#) per maggiori dettagli sulle sezioni rilevanti per lo scenario di digitalizzazione.

Perché digitalizzare in 3D?

Ogni oggetto è unico e porta con sé un valore significativo della storia dell'umanità. La digitalizzazione 3D è uno strumento prezioso per conservare la memoria di un oggetto. Di conseguenza, è importante che esso venga catturato in modo professionale, corretto e quanto più completo possibile, in modo da evitare di perdere informazioni e comunicare in maniera errata il valore del patrimonio culturale, a beneficio delle generazioni future.

Per soddisfare esigenze di protezione, conservazione a lungo termine e numero massimo di utenti finali, si consiglia di digitalizzare alla massima qualità disponibile, che include la registrazione di quante più informazioni (MetaData, ParaData) e dati (dati geometrici) possibili. Questo aumenterà l'utilità della digitalizzazione e supporterà il monitoraggio e la conservazione digitale dei contenuti.

Una nota sulla qualità

La qualità non si misura semplicemente dalla risoluzione dell'output e dall'accuratezza dei modelli 3D. La completezza dei dati relativi all'oggetto e al processo di digitalizzazione è altrettanto importante.

Nella sua forma più semplice, un oggetto può essere trasformato in un modello 3D utilizzando un telefono cellulare e pubblicato online, il tutto da un singolo individuo e nel giro di poche ore. Tuttavia, il potenziale di protezione, conservazione e riutilizzo di questi modelli di base, sia a fini di ricerca che promozionali, è molto limitato. Al contrario, un livello di complessità più alto richiederà gruppi coordinati di esperti che catturino una serie di aspetti diversi, utilizzando sistemi di acquisizione specializzati ad alta definizione, in ambienti che possono sia cambiare nel tempo che sospendere qualsiasi forma di digitalizzazione per un dato periodo. Questo processo, nonostante implichi investimenti più elevati, offre un risultato effettivamente riutilizzabile da diverse comunità di stakeholders (ricercatori, settore umanistico, architetti, ingegneri, industria creativa, turisti, educatori, pubblico in generale) e che garantisce una conservazione a lungo termine del modello 3D.

Indipendentemente dalla complessità del progetto di digitalizzazione 3D, è fondamentale aspirare sempre al massimo livello di qualità della digitalizzazione nel settore dei beni culturali, in modo da produrre un risultato che non si limiti alla geometria e alle texture, ma che incorpori e recuperi la memoria di un oggetto. Ciò include le storie interconnesse e la conoscenza associata a un oggetto tangibile. Ad esempio, l'origine dei materiali e/o la tecnologia di produzione possono raccontare un'altra storia nella vita dell'oggetto. Ulteriori conoscenze, quindi, devono essere registrate nei campi ParaData e nei MetaData associati ai FileData generati nel progetto di digitalizzazione.

- **FileData:** l'insieme di file che compongono il modello 3D.
- **MetaData:** le informazioni descrittive associate all'oggetto del patrimonio culturale rappresentato nel modello 3D.
- **ParaData:** le informazioni che descrivono il processo di digitalizzazione e il contesto applicato per creare il modello 3D, che garantisce anche di eseguire controlli di qualità sul modello stesso. Include anche MetaData tecnici acquisiti automaticamente dal software.

Sezione 3.2 dello studio VIGIE: The Public Survey on Quality: offre informazioni preziose sulla qualità a partire dal feedback dei professionisti. Degna di particolare attenzione è la **Sezione 3.2.2 - Dichiarazioni degli intervistati sulla qualità**, che fornisce un approccio olistico a ciò che definisce la qualità e come può essere considerata all'interno dell'ampia varietà di aspetti relativi ai progetti di digitalizzazione 3D: accuratezza, tecnologia, attrezzature, standard, dati, elaborazione e campi speciali.

Una nota sulla complessità

Lo studio VIGIE aiuta a valutare e misurare la complessità del progetto di acquisizione dati. Alcuni dei parametri di complessità delineati nello studio e nei passaggi seguenti potrebbero essere ovvi, mentre altri potrebbero non esserlo. Una volta compresa la sua complessità, sarà possibile pianificare e consegnare il progetto in tempo e nel rispetto del budget previsto. Stimare correttamente la complessità aiuterà a identificare il gruppo di lavoro corretto, l'attrezzatura ottimale e a registrare in modo più efficace la storia completa di oggetti e siti, sia visivamente in 3D che con i dati associati, che danno significato alla digitalizzazione. Senza una piena comprensione della complessità del progetto, è possibile che i modelli 3D prodotti non siano adatti allo scopo e potrebbero essere utili solo come riferimento visivo, nella migliore delle ipotesi. Una comprensione preliminare della complessità consente inoltre di prendere decisioni informate su cosa è più o meno possibile fare nell'ambito del progetto o rivalutare la portata dell'acquisizione dati, ad es. qualità vs. quantità.

Sezione 3 dello studio VIGIE: descrive dettagliatamente i vari livelli di complessità della digitalizzazione 3D. La **sezione 3.9** e le **figure allegate (20-21a-i)** consentono di considerare i fattori rilevanti che contribuiscono alla complessità del progetto di digitalizzazione 3D. Le **Figure 22-39** consentono di costruire grafici di complessità radiale che, una volta messi insieme, forniranno una chiara indicazione visiva a voi e ai vostri stakeholders della complessità nella pianificazione e nell'avanzamento del progetto. I grafici consentiranno agli utenti finali di valutare la qualità dei modelli 3D che ne sono risultati, e alle generazioni future di avere una migliore comprensione del progetto nel caso in cui venga considerata una successiva ri-digitalizzazione.

Digitalizzazione 3D: la strada verso il successo

Sezione 2.3 dello studio VIGIE: offre una panoramica della pianificazione ideale del progetto di digitalizzazione per oggetti immobili (**Figura 1**) e mobili (**Figura 2**). Che la digitalizzazione avvenga con personale proprio o che venga eseguita da professionisti appositamente ingaggiati, la compilazione di ciascuna delle voci dei template dello studio VIGIE2020/654 fornirà tutti i dati necessari a digitalizzare con successo oggetti del patrimonio culturale in 2D/3D. Un piano di progetto completo costituisce la struttura del ParaData del processo di digitalizzazione.

Lo studio VIGIE delinea due progetti principali:

- Oggetti mobili (Beni Culturali Mobili, **cfr. par. 3.5 pag. 44 dello Studio VIGIE2020/654**).
- Oggetti immobili (Patrimonio Culturale Immobile secondo l'UNESCO **vedi pag. 46 dello Studio VIGIE2020/654**).

Ogni modello è suddiviso nelle stesse quattro aree:

- **Pianificazione del progetto**
- **Documentazione e lavoro sul sito**
- **Produzione e distribuzione**
- **Archiviazione e conservazione**

La differenza principale per gli oggetti immobili (Monumenti, Gruppi di Edifici, Siti) è che lo Studio VIGIE2020/654 li classifica come “sito”. Il lavoro in loco aumenta la complessità del processo e sono necessarie considerazioni aggiuntive.

1. PIANIFICAZIONE DEL PROGETTO

La prima sezione dei template del progetto comprende attività amministrative, divise in Gestione del progetto e Descrizione del progetto.

1.1. GESTIONE DEL PROGETTO

GESTIONE DEL PROGETTO
Titolo del progetto
Numero del progetto
Breve descrizione del progetto
Numero di campioni
Identificativo dell'oggetto
Responsabile di produzione
Identificazione del gruppo di lavoro e dei ruoli
Client
Analisi su salute e la sicurezza
Appalti esterni
Tempistiche/Scadenze

GESTIONE DEL PROGETTO

Considerazioni legali

Contratti

Accesso al sito

Permessi richiesti

Accordi sulla proprietà intellettuale

Problemi di diritto d'autore

È importante evidenziare alcuni aspetti che aumentano la complessità del progetto:

Cliente: tutti gli stakeholders durante un progetto di Acquisizione Dati si aspettano dei risultati sotto forma di prodotti finali. Il cliente può variare: dal proprietario dell'oggetto/i all'ente finanziatore, dall'ente privato a un dipartimento governativo, può essere una combinazione delle opzioni precedenti, oppure la propria organizzazione. È necessario avere linee guida chiare per garantire che il progetto soddisfi le aspettative del cliente/stakeholders con risultati di alta qualità.

Identificazione del Team e dei Ruoli: la complessità del progetto aumenterà il livello di competenza necessario al gruppo di lavoro per realizzarlo, che comporta un aumento del budget richiesto. È probabile che si debba tornare a questa sezione per valutare altre aree di complessità.

Esternalizzare: è possibile che, mentre alcuni progetti di digitalizzazione 3D possano essere realizzati internamente, i costi e le competenze tecniche necessarie per la maggior parte delle digitalizzazioni 3D di alta qualità richiedano esperti esterni per produrre la digitalizzazione o fornire altri servizi. In questi casi, a seconda delle procedure previste (ad esempio, negli enti pubblici deve essere indetto un bando), la decisione di esternalizzare può influenzare la tempistica del progetto.

Se il lavoro viene appaltato, è essenziale che l'istituzione culturale, in quanto stakeholder fondamentale, sia in grado di esprimere chiaramente aspettative e requisiti tecnici per garantire il rispetto degli standard essenziali con deviazioni minime dal progetto. Annotate accuratamente tutti gli specialisti esterni che potrebbero essere necessari per realizzare il progetto, in particolare con le digitalizzazioni "Sito". L'assunzione e il coordinamento di più appaltatori naturalmente aumentano sia la complessità che il costo del progetto.

Figure 21e e f dello studio VIGIE: per ulteriori informazioni sulle linee guida del progetto per gli appaltatori e considerazioni sulla competenza dell'appaltatore/membro del team.

Considerazioni legali / Contratti / Accesso al sito / Permessi / Diritti di proprietà intellettuale / Problemi di copyright: tutti questi aspetti devono essere considerati anticipatamente poiché possono creare seri ostacoli, anche permanenti, al progetto. Innanzitutto l'accesso al sito, la richiesta di eventuali permessi e la stipula di contratti possono impedire la digitalizzazione. In secondo luogo, i diritti di proprietà intellettuale e il diritto d'autore potrebbero inficiare la possibilità di diffondere (utilizzare) i modelli 3D finali, comportando il mancato rispetto degli accordi stipulati con gli stakeholders (vedi 1.2). Nota bene: le tempistiche di accesso al sito e permessi sono fondamentali. Anche i diritti di accesso e le questioni legate alla tempistica diventano più complessi quando si coinvolgono appaltatori esterni.

Grafici di complessità radiale rilevanti della sezione di studio VIGIE:

- **Figura 27:** Parametro dei livelli di complessità dei requisiti degli stakeholders
- **Figura 29:** Parametro dei livelli di complessità dei requisiti di progetto
- **Figura 30:** Parametro dei livelli di complessità del gruppo di lavoro

1.2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Tutti gli aspetti della descrizione del progetto sono essenziali per gli stakeholders. Questi delineano, in anticipo, le aspettative e i tempi per i risultati finali. Con una buona pianificazione, tutte queste aree dovrebbero essere fattibili e non aumentare indebitamente la complessità.

DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Descrizione dettagliata del progetto

Obiettivi principali

Risultati attesi

Fasi di sviluppo/date di completamento

Nelle prime fasi di pianificazione, è della massima importanza definire quali sono i requisiti dello stakeholder e renderli chiari fin dall'inizio. Ciò include tutti gli aspetti etici e di proprietà intellettuale (per para-, meta- e dati) con eventuali terze parti, considerando come i risultati finali verranno utilizzati

e/o riutilizzati dopo essere stati condivisi. Ad esempio, nel caso in cui il proprietario dell'oggetto sia esterno alle istituzioni (ad esempio un prestatore di un oggetto museale, o il comune per monumenti e siti) è importante concordare i termini di conservazione e riutilizzo a lungo termine delle risorse 3D. Lo stesso accordo è necessario nel caso in cui la digitalizzazione 3D venga affidata a un fornitore di servizi. Oltre a chiarire questi aspetti, nella fase di pianificazione vanno considerati altri requisiti necessari: dove e quando è prevista l'acquisizione dei dati, quali infrastrutture, dispositivi, risorse umane e budget sono necessari e qual è la qualità minima richiesta (para-, meta-) dei dati.

Dati dello studio VIGIE, figure 21a-i: Fornire flussi di lavoro dettagliati relativi agli stakeholders, agli ambienti, alle specifiche degli oggetti, alle istruzioni dell'appaltatore, alla competenza dell'appaltatore, alle specifiche delle attrezzature a cui fare riferimento nella pianificazione e nelle fasi successive del progetto.

2. DOCUMENTAZIONE E LAVORO IN CANTIERE

Questa sezione copre tre aree principali che divergono a seconda che lo scenario del progetto coinvolga un Oggetto (mobile) o un Sito (immobile). Entrambi gli scenari, tuttavia, affrontano questioni simili.

- Oggetto/Sito - Analisi
- Soluzione tecnica
- Metodi di registrazione 2D e 3D

2.1. ANALISI DELL'OGGETTO/ANALISI DEL SITO

ANALISI DELL'OGGETTO	ANALISI DEL SITO
Revisione iniziale dell'oggetto	Revisione/ricognizione iniziale del sito
Condizioni dell'oggetto	Condizioni del sito
Potenziati ostruzioni	Potenziati ostruzioni/occlusioni
Sfide fisiche	Potenziati problemi meteorologici
Registrazione di informazioni specifiche sull'oggetto	Registrazione di informazioni specifiche del sito

In questo caso, lo studio VIGIE incoraggia ad attuare un'attenta revisione del sito e/o degli oggetti in esso contenuti, sia per misurare i livelli di complessità

che per prepararsi ad eventuali complicazioni. Di conseguenza, il progetto potrebbe richiedere risorse aggiuntive, attrezzature specialistiche e una diversa pianificazione del gruppo di progetto (**vedi 1.1 Gestione del progetto**).

Questa sezione funziona in modo parallelo alla sezione successiva, assegnando la complessità in base all'analisi qui intrapresa. Di conseguenza, prima di completare la revisione dell'analisi, vanno comprese le misure di complessità delineate nell'area successiva dello studio (Soluzione Tecnica).

Potenziati problemi meteorologici: per i “siti”, il meteo è il fattore variabile chiave che è incontrollabile e ha un impatto sulla stabilità e sulla coerenza della digitalizzazione. Sono qui incluse le condizioni ambientali (controllate o meno) che possono contribuire alla complessità. Vengono prese in considerazione sia le condizioni (climatiche) a lungo termine note per interferire con l'acquisizione dei dati 3D in generale, come pioggia, neve, vento, gelo, nebbia e sole, sia le misurazioni fisiche che diventano critiche nel reporting, come temperatura, umidità, pressione barometrica, velocità/ direzione del vento, inquinamento atmosferico, ecc. (vedere figure 21g e 31 dello studio VIGIE). Le condizioni meteorologiche possono creare ritardi che vanno considerati durante la fase di pianificazione del progetto.

Grafici di complessità radiale rilevanti della sezione di studio VIGIE:

- Figura 31:** Livello di complessità del parametro Ambiente.

Sezione dello studio VIGIE da 2.7 a 2.9: offre indicazioni per l'acquisizione interna/ esterna e controllata/non controllata, inclusi alcuni consigli sulle attrezzature e sulle opzioni di rimedio (**2.9**) che aiuteranno a pianificare il lavoro nel caso di certe problematiche. **Vedi anche la sezione 2.3 Pianificazione del processo di digitalizzazione**, che fornisce alcune informazioni sulle capacità delle apparecchiature e su cosa potrebbe essere possibile per migliorare la digitalizzazione. Ad esempio, la **Figura 5** illustra l'imaging penetrativo e ciò che ciascuna tecnologia può mostrare sotto la superficie dell'oggetto.

2.2. SOLUZIONE TECNICA

SOLUZIONE TECNICA
Descrizione generale
Date di accesso confermate
Complessità dell'oggetto/Complessità architettonica (per oggetti immobili)
Complessità superficiale

SOLUZIONE TECNICA

Materiali e loro condizioni

Potenziali problemi di documentazione

Una volta eseguita l'analisi dell'oggetto/sito, è possibile effettuare una stima della complessità per il recupero dei dati su un oggetto/sito assegnando valori ai grafici radiali (vedere Una nota sulla complessità sopra).

Studio VIGIE Sezione 3.6-3.8 più Tabella 6: Fornisce informazioni dettagliate sulla complessità degli oggetti mobili. Vedere anche la **Figura 20 Passaggio dalla complessità dell'oggetto alla complessità del processo** che mostra considerazioni sulla struttura della geometria, sulla struttura della superficie e sui materiali. Un ulteriore fattore che potrebbe essere importante per il progetto è il monitoraggio dello stato strutturale, menzionato nella sezione 3.7 e i livelli di complessità sono mostrati nella **Figura 34**.

Grafici di complessità radiale rilevanti della sezione di studio VIGIE:

- **Figura 28:** Parametro dei livelli di complessità dell'oggetto.
- **Figura 33:** Parametro dei livelli di qualità del materiale.
- **Figura 34:** Parametro dei livelli di qualità del monitoraggio dell'integrità strutturale.

2.3. METODI DI REGISTRAZIONE 2D E 3D

Ciò si riferisce alle attrezzature e ai livelli di precisione, risoluzione ed errore concordati con gli stakeholders.

La valutazione del sito/oggetto combinata ai requisiti e ai vincoli del progetto consente di identificare il metodo di registrazione più adatto e la corrispondente attrezzatura di digitalizzazione.

METODI DI REGISTRAZIONE 2D E 3D

Metodi e strumenti di registrazione proposti

INTEGRITÀ DIMENSIONALE

Survey Network esistenti

Livello di precisione concordato

Livello di risoluzione concordato

Livello di errore concordato

Metodi e strumenti di registrazione proposti

L'attrezzatura è fondamentale per la qualità della digitalizzazione 3D e ogni scenario richiede hardware specializzato diverso per ottimizzare la qualità del risultato.

Per i **gestori di musei** che desiderano digitalizzare piccoli oggetti (mobili) in condizioni controllate; il metodo più comune per consentire flessibilità e qualità sono i sistemi di fotogrammetria. (**vedi pagina 17 dello Studio VIGIE**).

Lo Studio VIGIE dispone di diverse referenze per le apparecchiature che possono aiutare a identificare il metodo di registrazione corretto per il progetto:

Sezione 2.3: Pianificazione del processo di digitalizzazione.

Sezione 2.4: Categorie di registrazione attiva e passiva.

Sezione 2.5.1: Sistemi di registrazione attivi.

- Tacheometro
- Sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS)
- Scansione laser terrestre (TLS)
- Scanner laser mobili (MLS)
- Sistemi di scansione a luce strutturata (SLS).
- Sistemi di triangolazione ottica 3D
- Sistemi ibridi
- Telecamere di profondità o portata

Sezione 2.5.2: Sistemi di registrazione passiva.

- Fotogrammetria aerea
- Fotogrammetria

Sezione 2.6: Tecnologie multisensoriali e multiscansione.

Tabella 1: Vantaggi e svantaggi delle varie tecnologie di registrazione.

Tabella 8: Tecnologie di acquisizione dati 3D in relazione alla complessità degli oggetti.

Figura 26: panoramica delle fasi di pre-elaborazione.

Grafici di complessità radiale rilevanti della sezione di studio VIGIE:

- **Figura 24:** Parametro dei livelli di complessità delle apparecchiature software e hardware.
- **Figura 25:** Parametro dei livelli di complessità della pre-elaborazione.

Livello concordato di precisione/Risoluzione/Errore

I livelli di precisione geometrica sono essenziali per i progetti di digitalizzazione 3D; senza precisione, i modelli 3D potrebbero essere incompleti,

manca di dettagli o creare anomalie indesiderate che possono rendere un modello 3D inadatto all'uso di utenti finali professionali. I diversi tipi di apparecchiature utilizzate per registrare i modelli 3D avranno diversi livelli di precisione e sono ottimizzati per i diversi scenari per mostrare dettagli estremamente piccoli o, più in generale, quando si rilevano siti di grandi dimensioni. I livelli di accuratezza/risoluzione/errore vanno concordati dagli stakeholders nelle prime fasi di pianificazione del progetto. La corretta attrezzatura e i giusti metodi corretti, nelle mani di operatori esperti, dovrebbero risultare in livelli elevati di precisione e risoluzione; tuttavia, parametri quali materiali, condizioni meteorologiche e fattori ambientali possono influire seriamente sulla precisione e sul margine di errore.

Lo studio VIGIE contiene una serie di riferimenti a accuratezza/risoluzione/errore:

Sezione 2.2: Terminologia – Accuratezza e precisione.

Tabella 1: Vantaggi e svantaggi delle varie tecnologie di registrazione.

Sezione 2.10: Dati di progetto derivati.

Sezione 3.2.2: Dichiarazioni dei convenuti sulla qualità.

Tabella 4: Gradi di qualità degli oggetti (da due studi UNESCO).

Sezione 3.4: Fattori limitanti in un processo di digitalizzazione 3D.

Tabella 5A: Limiti tecnologici attuali di registrazione.

Tabella 5B: Limiti di risoluzione attuali idonei allo scopo (produzione).

Sezione 3.12.1: Incertezza come espressione generale di qualità nella digitalizzazione 3D.

Grafici di complessità radiale rilevanti della sezione di studio VIGIE:

- **Figura 35:** Parametro dei livelli di qualità della geometria 2D.
- **Figura 36:** Parametro dei livelli di qualità della geometria 3D.
- **Figura 37:** Parametro dei livelli di qualità della texture dell'immagine.
- **Figura 38:** Parametro dei livelli di qualità della scalatura dell'immagine.
- **Figura 39:** Parametro dei livelli di qualità dell'immagine spettrale.

3. PRODUZIONE E CONSEGNA

Questa sezione incorpora le considerazioni finali prima della digitalizzazione, l'importantissima registrazione dei dati durante la digitalizzazione e le attività di produzione post-digitalizzazione necessarie per la consegna finale.

- Produzione – Gestione dei dati

- Risultati e risultati finali
- Produzione

3.1. PRODUZIONE – GESTIONE DEI DATI

Una volta concordata la precisione richiesta, il metodo e l'attrezzatura di digitalizzazione corrispondenti, è necessario confermare le soluzioni di acquisizione dati e rispettare le convenzioni. Quando si decide sui formati FileData è importante mantenere la piena integrità della digitalizzazione, nonché la flessibilità per gli utenti di visualizzare il modello 3D. Di conseguenza, si consiglia di considerare sia file di dati non compressi disponibili ai professionisti su richiesta, sia formati FileData ottimizzati per consentire la diffusione e la visualizzazione dei modelli 3D da parte degli utenti finali su un'ampia varietà di piattaforme (prestando particolare attenzione alla compatibilità dei visualizzatori/visualizzatori 3D e alla sostenibilità).

PRODUZIONE - GESTIONE DATI

Soluzione di acquisizione dati confermata

Considerazioni/tolleranze sull'acquisizione dei dati

Metodo di registrazione dei dati

Convenzioni per la denominazione dei file

Convenzioni sui tipi di file

Formato file non proprietario: controllo/conversione

Registrazione dei MetaData

Registrazione dei Paradata

La **sezione 4** dello studio VIGIE descrive in dettaglio gli **standard e i formati** dei dati di digitalizzazione 3D. Ciò include:

Sezione 4.1: Tipi di dati (Dati proprietari/Dati aperti).

Sezione 4.2: Formati di dati.

Sezione 4.3: Schemi di MetaData per strutture 3D.

Sezione 4.4: Individuazione di lacune, formati aggiuntivi, standard.

Registrazione di MetaData: i modelli di MetaData descrivono surrogati digitali. È probabile che l'immissione dei MetaData venga elaborata dopo il completamento del processo di digitalizzazione, ma può essere eseguita

in anticipo su un foglio di calcolo separato o su un sistema DAM pronto per l'importazione/collegamento ai modelli 3D pubblicati. I MetaData, essendo basati su testo, sono essenziali per far scoprire i modelli tramite i motori di ricerca. Sia che i modelli 3D siano inseriti in grandi piattaforme aggregate o in piccole piattaforme locali, le informazioni pertinenti aggiunte ai MetaData faciliteranno il reperimento di una risorsa tramite ricerca diretta, ricerca filtrata o ricerca avanzata. Inoltre, i MetaData di conservazione sono dati semantici vitali che supportano la conservazione a lungo termine dei record di oggetti digitali. Si tratta di un passaggio cruciale per gli stakeholders del patrimonio culturale che investono nella digitalizzazione ed è diventato comune nella documentazione delle collezioni. Le difficoltà maggiori dei MetaData di conservazione riguardano lo sviluppo di un quadro uniforme che comprenda le informazioni semantiche necessarie e in quale formato gli oggetti dovrebbero essere modellati.

La **sezione 4.3** dello studio VIGIE descrive gli schemi di MetaData per strutture 3D.

Registrazione dei ParaData: L'importanza di registrare i ParaData, ovvero le informazioni relative al processo di acquisizione dei dati, è altamente riconosciuta nella comunità scientifica. La registrazione dei Paradata inizierà con la pianificazione del progetto e continuerà durante l'acquisizione digitale. Esempi di ParaData includono il membro del personale che ha effettuato la digitalizzazione, l'attrezzatura utilizzata, le condizioni di illuminazione e ambientali presenti al momento della digitalizzazione. Tutte le informazioni sulla complessità stimate in fase di pianificazione avranno dei ParaData di valore corrispondente durante l'acquisizione digitale.

L'acquisizione e la distribuzione di ParaData fornisce informazioni chiave di vitale importanza per alcuni utenti. Sebbene esistano diverse iniziative e sforzi focalizzati sulla descrizione dei ParaData, l'ambito del patrimonio culturale manca di uno schema formale per esprimerli; inoltre, la registrazione e manutenzione della gamma completa di ParaData possono essere onerose per alcune istituzioni culturali, soprattutto per quanto riguarda l'inserimento dettagliato dei dati amministrativi e dei loro possibili aggiornamenti. Attrezzature o altri strumenti possono aiutare a registrare automaticamente alcuni ParaData, ma è importante garantire che verranno comunque registrati i dettagli del processo di digitalizzazione.

3.2. PRODOTTI E RISULTATI FINALI

La sezione relativa ai prodotti e ai risultati finali riguarda le attività amministrative. Esistono requisiti da concordare in anticipo, confermando che il progetto fornirà un risultato specifico, un certo numero di oggetti nei formati concordati con i dati concordati. Quando il progetto viene consegnato, queste informazioni vanno verificate insieme alla data di completamento con l'approvazione del cliente.

PRODOTTI E RISULTATI FINALI

Requisiti dei risultati finali (inclusi rapporto/specifiche tecniche, MetaData e Data)

Data di completamento

Approvazione del cliente

3.3. PRODUZIONE

La produzione prevede l'elaborazione dei FileData che sono stati acquisiti e consegnati dai team di digitalizzazione. I dati RAW prodotti dalla digitalizzazione devono essere prima archiviati e poi puliti/pre-elaborati per creare un modello 3D adatto allo scopo e che soddisfi le aspettative degli stakeholders. La produzione richiede professionisti qualificati in molteplici discipline; i livelli di complessità del processo di produzione rispecchiano quelli della digitalizzazione, vale a dire che i piccoli oggetti mobili in ambienti controllati sono i meno complessi, mentre i siti completi e le strutture multiarchitettiche dettagliate costituite da interconnessioni tra aspetti interni ed esterni saranno altamente complessi da elaborare in modo accurato e richiedono personale altamente qualificato.

PRODUZIONE

Gestione della produzione

Diffusione delle istruzioni tecniche e di produzione

Conferma del metodo di produzione

Conferma delle fasi di produzione e delle date di controllo

Stato di avanzamento dei lavori

Approvazione

Consegna

4. ARCHIVIO

La parte finale del progetto riguarda il backup e la gestione dell'archivio. È di vitale importanza mantenere l'integrità dei dati durante tutto il progetto e per l'archiviazione permanente una volta completato. È opportuno stimare per eccesso lo spazio di cui il progetto può aver bisogno durante l'acquisizione digitale, insieme ai requisiti di post-elaborazione e archiviazione. Vanno considerati aspetti quali il tipo di spazio di archiviazione, se internamente o su cloud, il fornitore di tale spazio e il costo per la manutenzione/conservazione a lungo termine dei dati.

BACKUP E ARCHIVIO

Procedure di backup

Metodo di archiviazione dei dati di progetto

La digitalizzazione 3D produce molti file che richiedono grandi quantità di spazio di archiviazione digitale. L'integrità di questi dati è maggiormente a rischio mentre il progetto è in corso, ed è necessario garantire il backup puntuale dei dati durante la creazione ed elaborazione per evitare la perdita di dati e una nuova digitalizzazione, che sarà costosa e creerà ritardi.

Una volta completato il progetto, tutti i dati vanno archiviati. Con dati si intendono FileData, MetaData, ParaData, file di lavoro, modelli 3D completi di altissima qualità e dati associati, modelli 3D completi di qualità ottimizzata per una diffusione flessibile. Si consiglia di conservare una copia completa su una linea di archiviazione offline a scopo di backup.

Un aspetto ulteriore riguarda l'archiviazione di dati personali o privati. Gli individui dovrebbero essere informati e offrire il consenso firmato quando si archiviano dati personali.

Pubblicazione e diffusione

Una nota sull'uso e il riutilizzo degli oggetti del patrimonio culturale 3D

Gli oggetti digitali 3D forniscono maggiori dettagli, scala e possibilità di interazione approfondita rispetto agli equivalenti 2D. Soprattutto, le esperienze 3D possono fornire modi più coinvolgenti di esplorare il patrimonio culturale. Gli oggetti 3D sono risorse utili nell'apprendimento, nell'istruzione e nella ricerca, nell'esplorazione, nella conservazione e nel monitoraggio

di siti e monumenti del patrimonio e nelle attività di ricostruzione del patrimonio. I modelli 3D di oggetti, monumenti e siti museali possono essere riutilizzati in esperienze di realtà virtuale (VR) e realtà mista/estesa (MR, XR) o metaverso, come tour virtuali o formazione remota, e in applicazioni di realtà aumentata (AR) per l'istruzione, il turismo e i tour di città/musei. Inoltre, dai modelli 3D è possibile produrre modelli stampati (prototipazione rapida), utili per il coinvolgimento dei bambini, la manipolazione e l'insegnamento degli artefatti, esperienze sensoriali e di accessibilità da offrire ai visitatori con disabilità e altri riutilizzi creativi sfruttando la stampa 3D, contenuti e visite coinvolgenti a siti e istituzioni culturali.

Ultimo ma non meno importante, un altro settore che trae grandi benefici dalla digitalizzazione 3D è la ricerca. Questo aspetto è particolarmente rilevante per i siti del patrimonio, i monumenti e gli oggetti ritenuti a rischio. La digitalizzazione 3D consente l'analisi dettagliata e il monitoraggio di monumenti e siti e di oggetti del patrimonio culturale, sia interni che esterni o sott'acqua, compresa la misurazione, l'osservazione di dettagli non facilmente visibili a occhio nudo o in semplici registrazioni 2D, il confronto dei dettagli di oggetti correlati di tipo simile, il monitoraggio dell'impatto di fattori specifici sugli oggetti nel tempo (come vento, inquinamento, erosione, traffico di visitatori).

Infine, la scansione 3D degli oggetti è cruciale nel contrasto al traffico illecito di beni culturali: la presenza di modelli 3D nei database delle opere rubate utilizzati dalle forze di polizia e dalle dogane consente una maggiore velocità ed efficienza nell'identificazione in situ di questi oggetti.

I diversi stakeholders e le categorie di coloro che riusano i modelli 3D possono avere esigenze e requisiti diversi; tuttavia, il punto di partenza per consentire l'uso e il riutilizzo dei modelli 3D è che siano facili da trovare e da scoprire. Oltre a pubblicare e diffondere la collezione 3D sul sito web dell'istituzione, piattaforme paneuropee come Europeana, Data Space for Cultural Heritage, l'imminente European Collaborative Cloud for Cultural Heritage, e infrastrutture elettroniche e archivi dedicati alle varie comunità di ricerca offrono opportunità di condividere e collegare set di dati sul patrimonio culturale 3D per un pubblico più ampio.

Pubblicare un oggetto 3D online: aspetti tecnici

Molto spesso, l'elaborazione dei dati 3D online viene eseguita dal parte del cliente, quindi il dispositivo effettivamente utilizzato dall'utente gioca un ruolo chiave e deve essere considerato quando si progettano esperienze 3D, le quali sono influenzate da limitazioni di rete, memoria del computer o capacità di elaborazione.

L'industria 3D si è evoluta notevolmente nel corso degli anni, ma lo stesso livello di standardizzazione dei contenuti 2D non è ancora stato raggiunto. Questa mancanza di standard per l'uso dei dati 3D rende difficile decidere un formato 3D universale.

Non esiste un allineamento completo tra il software 3D per elaborare i dati 3D e il software per visualizzare o fornire esperienze 3D agli utenti. In questo caso, alcuni fornitori di contenuti potrebbero utilizzare un formato per l'archiviazione di dati 3D che potrebbe non essere la scelta migliore per la visualizzazione o la consegna agli utenti finali. Ad esempio, OBJ è un formato ampiamente conosciuto, comunemente accettato dai software 3D e dalle librerie di visualizzazione 3D, ma è meno efficiente in termini di spazio per i dati, rendendolo una scelta sbagliata se i dati da inviare su una rete sono troppo grandi. Tali casi possono trarre vantaggio da un formato binario come PLY. Alcuni algoritmi e formati 3D si concentrano sul rapporto di compressione, mentre altri si concentrano sulle prestazioni.

Di solito si tratta di un compromesso: la compressione fa un uso più efficiente dello spazio (beneficiando, ad esempio, dell'archiviazione o del trasferimento di un file) ma aumenta lo sforzo di elaborazione (sia per la compressione che per la decompressione dei dati). Questi non sono problemi intrinseci per il 3D, poiché anche i contenuti 2D ne soffrono, ma sono più importanti in 3D perché il 3D è di natura più complessa e i contenuti 3D richiedono quantità di spazio notevolmente maggiori rispetto ai contenuti 2D, il che influisce sulla loro archiviazione, elaborazione e trasferimento su una rete.

Si consiglia pertanto di considerare la creazione del modello 3D in diverse versioni e formati, in modo da soddisfare le diverse esigenze degli utenti (ad esempio, gli utenti professionali potrebbero aver bisogno di un modello a risoluzione più elevata disponibile per il download e la fruizione offline dei dati grezzi; per scopi di diffusione, una versione compressa condivisa con un visualizzatore incorporabile potrebbe essere sufficiente affinché l'utente possa godere del contenuto).

Una nota sui diritti

Gli oggetti 3D possono generare uno scenario complesso sui diritti da attribuire al modello una volta pubblicato. In termini generali, al fine di supportare il più ampio utilizzo e riutilizzo dei modelli 3D, si raccomanda di considerare un approccio ad accesso aperto. Soprattutto quando il modello 3D è una rappresentazione fedele di un oggetto del mondo reale, non è previsto che vengano imposti diritti aggiuntivi (il che significa che se l'oggetto è di pubblico dominio, anche la sua rappresentazione digitale, sia essa in 2D o 3D, dovrebbe essere di pubblico dominio). Tuttavia, potrebbero esserci dei vincoli che impediscono l'adozione di questo approccio, come legislazioni nazionali, accordi contrattuali o metodi utilizzati per creare il modello. Ad esempio, molti titolari di collezioni non dispongono delle competenze o delle attrezzature per eseguire la digitalizzazione 3D internamente e quindi il compito viene spesso affidato a fornitori di servizi incaricati di eseguire la scansione e generare i modelli. Inoltre, a seconda dei metodi utilizzati per modellare l'oggetto 3D, l'oggetto può essere il risultato del lavoro di diverse persone e, nel caso in cui venga utilizzato un metodo creativo,

proprietà intellettuale dell'artista. Ciò implica anche che lo stesso oggetto fisico può avere diverse riproduzioni 3D con caratteristiche diverse e diritti diversi (ad esempio, una digitalizzazione fedele di rovine archeologiche vs. la loro ricostruzione virtuale ricolorata in modo creativo). È quindi della massima importanza chiarire i diritti nel contratto o nell'accordo di servizio con il fornitore per consentire al possessore del contenuto di conservare la massima libertà nella condivisione del modello con una licenza di riuso.

Lista di controllo: digitalizzazione 3D passo per passo

Prima di iniziare: queste sono le domande principali a essere in grado di rispondere per un progetto di digitalizzazione 3D.

Elaborare un piano di progetto e misurare i livelli di complessità in linea con i seguenti passaggi.

Pianificazione del progetto

1. Identificare cosa si sta digitalizzando: perché è importante?
2. Quali sono i requisiti dello stakeholder. Aspettative, risultati finali e scadenze
3. Identificare e costituire il gruppo di lavoro – Personale interno? Appaltatori esterni? Livello di competenza previsto?
4. Risolvere problemi legali e altri ostacoli al successo del progetto. Ad esempio: accesso al sito, contratti e questioni legali, permessi, diritti di proprietà intellettuale e diritto d'autore.
5. Creare una descrizione dettagliata del progetto con obiettivi e tempi di sviluppo con il contributo degli stakeholders/cliente.
6. Condurre una visita in loco e una valutazione dell'oggetto, misurando la potenziale complessità meteorologica e ambientale e le sfide da risolvere, ove possibile.
7. Stimare la complessità di oggetti/siti di digitalizzazione utilizzando i grafici radiali proposti. Rivalutare i tempi, il team, le competenze e i costi.
8. Concordare metodi di registrazione (attrezzature) adatti al proprio progetto e al livello concordato di accuratezza/risoluzione richiesto dagli stakeholders.
9. Confermare soluzioni di acquisizione dati – Convenzioni sui dati
10. Considerare l'archiviazione dei dati richiesta durante l'acquisizione digitale e la post-elaborazione, compresi i backup per garantire l'integrità durante questa fase ad alto rischio, in aggiunta ai costi di sostenibilità (archiviazione/online) per il mantenimento dei modelli 3D prodotti nel progetto.

Documentazione e lavoro sul sito

11. Registrare ParaData dettagliati durante l'acquisizione digitale. Reinserire i valori esatti di qualsiasi misura di parametro precedentemente stimata e ogni altra informazione per descrivere il processo di digitalizzazione.
12. Registrare MetaData (i dettagli descrittivi dell'oggetto stesso – includono i MetaData di conservazione)
13. Valutare/convalidare la risoluzione dell'accuratezza e l'errore dell'output Raw FileData rispetto ai requisiti dello stakeholder e all'uso previsto prima di approvare.

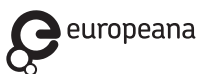
Produzione e consegna

14. Elaborare i dati file grezzi in un modello 3D realizzabile. Probabilmente sarà necessario un modello 3D a piena risoluzione e dei file associati archiviati offline per la consegna ai professionisti, su richiesta, oltre a un modello 3D ottimizzato flessibile da visualizzare su un'ampia gamma di piattaforme (visualizzatori/visualizzatori 3D).

Archiviare e conservare

15. Creare un backup di tutti i dati finalizzati. Acquisire il consenso in caso di memorizzazione di dati personali.
16. Assegnare l'etichettatura dei diritti ai modelli 3D in base alle autorizzazioni degli stakeholders coinvolti.
17. Pubblicare i modelli 3D includendo tutti i MetaData e ParaData.
18. Diffondere il progetto agli stakeholders.

PARTNER DI EUREKA3D E EUREKA3D-XR



PARTNER MULTIMEDIALE UFFICIALE





**Co-funded by
the European Union**

Il progetto EUreka3D è cofinanziato dal Programma Europa Digitale
dell'Unione Europea, GA n. 101100685

www.eureka3d.eu



@eureka_3d



@eureka3d_



@EUreka_3D



@EUreka3D