

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Restauro e
Valorizzazione del Patrimonio
a.a. 2020/2021

**Nuove tecnologie per la documentazione metrica
e la visualizzazione del Patrimonio Culturale**



Relatore

Prof.ssa Manuela Mattone

Correlatore

Prof. Fulvio Rinaudo

Candidato

Valeria Milazzo

INDICE

Abstract	7
1. Introduzione	9
Evoluzione storica del concetto di patrimonio culturale	9
Preservare e fruire il patrimonio oggi	14
2. Tecniche per il rilievo metrico, modellazione e prototipazione	25
Il rilievo metrico	25
La fotogrammetria digitale	27
La tecnica del laser scanning	31
3. Applicazioni per la Conservazione e il restauro del patrimonio culturale	59
Interventi di restauro	63
I sistemi informativi informatici	65
Casi applicativi per la conservazione programmata e il restauro virtuale	71
Casi applicativi relativi a interventi volti alla conservazione e al restauro di beni culturali	86
4. Comunicare il patrimonio culturale: strumenti e metodi	95
Il turismo culturale e i musei interattivi e multimediali	96
Il turismo culturale e i musei virtuali	98
Il Digital Storytelling	103
Impatto del Covid-19 sul turismo	105
Casi applicativi per il turismo culturale nei musei	108
Casi applicativi per la fruizione da remoto e per scopi didattici	115
5. Opportunità e problematiche	121
Ricostruzioni virtuali tra veridicità e fruizione	122
Autenticità del bene digitale	123
Il riuso della riproduzione del bene culturale	125
Conclusioni	130
Riferimenti bibliografici e sitografici	133

ABSTRACT

Il Codice dei Beni Culturali esplicita che «la tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale concorrono a preservare la memoria della comunità nazionale e del suo territorio e a promuovere lo sviluppo della cultura»¹. La seguente tesi intende analizzare come alcune delle più recenti innovazioni tecnologiche nel campo dei beni culturali quali il rilievo metrico, la modellazione e la prototipazione, possano contribuire alla conservazione, valorizzazione e fruizione del patrimonio culturale. Nell'ultimo decennio le tecnologie digitali hanno subito una forte accelerazione nel campo dei beni culturali, confermandosi in differenti campi di applicazione: nel rilievo metrico, il laser scanner e la fotogrammetria favoriscono la digitalizzazione del patrimonio, facilitano l'interoperabilità tra studiosi, permettono lo sviluppo di metodologie di intervento sull'esistente e la fruizione culturale, mentre la prototipazione è volta a produrre elementi fisici estremamente dettagliati a favore del restauro di un bene, a ricreare oggetti e ambienti non più esistenti o accessibili e a favorire la fruizione culturale anche ai non vedenti, riproducendo i beni esposti nei musei.

I risultati di questi processi, quindi, sono elementi utili per una maggiore diffusione della conoscenza, il loro studio, il loro monitoraggio e la programmazione degli interventi necessari, favoriscono la comprensione e la fruizione del patrimonio.

In questa ricerca si intende analizzare le potenzialità che questo sviluppo tecnologico può offrire, vagliando anche le criticità della gestione dei processi in ambito professionale e nel turismo culturale.

1. < <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/beniCulturali> >

1. INTRODUZIONE

«Per conservare l'uomo fu il primo a porre dei valori nelle cose, per primo egli creò un senso alle cose, un senso umano! Perciò si chiama 'uomo', cioè: colui che valuta»².

Friedrich Nietzsche

Evoluzione storica del concetto di patrimonio culturale

L'accezione odierna di patrimonio culturale è il risultato di un'evoluzione storica che ha origine con la Rivoluzione francese, ma già nel V secolo a.C. Roma, considerandosi l'erede della Grecia classica, sviluppa una embrionale presa di coscienza del valore storico, artistico ed estetico dell'eredità greca, e intraprende così le prime attività di collezionismo.

Nel corso del XII secolo si consolida la consapevolezza secondo la quale i monumenti costituiscono un principio di identità civica e di identificazione emotiva, racchiuse all'interno della nozione di *utilitas publica*³, fondamento giuridico del diritto romano. L'etimologia del termine 'patrimonio' deriva dalle parole latine *pater* e *monere*, ciò che appartiene al padre e viene affidato ai figli come identità familiare, ampliandosi successivamente anche come appartenente ad un gruppo sociale, diventando un bene della nazione. Ai beni che godono del concetto di patrimonialità sono esclusi quelli appartenenti al paganesimo, che non godendo più di ammirazione e protezione vengono snaturati e abbandonati. Un cambio di rotta si ha sul finire del Medioevo e durante l'Umanesimo e Rinascimento, in cui i monumenti assumono valore per la loro componente ideale, per il loro spirito e per il portato memoriale di cui sono investiti⁴; il timore per la loro perdita fa sì che la Chiesa emani le prime prescrizioni finalizzate

2. F. Nietzsche, *Così parlò Zarathustra. Un libro per tutti e per nessuno*, Milano, Monanni, 1927, p.65.

3. G. Becatti, W. Koehler, *Enciclopedia dell'Arte Antica*, in Enciclopedia Treccani, 1996.

4. L. Dal Pozzolo, *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018.

alla loro protezione: nasce così la nozione di monumento storico⁵. La prima normativa inerente la tutela risale al 1571 nel Ganducato di Toscana, in cui si vieta agli acquirenti di palazzi antichi la rimozione di iscrizioni e insegne e, nel 1602, l'esportazione in altre città dello Stato di pitture appartenenti ad autori non più in vita.

Il controllo del mercato antiquario diviene un problema sentito a causa della continua esportazione e di grande importanza è l'editto Albani del 1733, che blocca una grossa vendita di sculture e stabilisce il divieto di esportazione a favore della fruizione pubblica⁶, indicando oltre al «pubblico decoro di quest'alma città di Roma», anche «il gran vantaggio del pubblico, e del privato bene»⁷.

La volontà di coinvolgere la propria nazione fa sì che nel 1734 vengano aperti al pubblico i musei Capitolini per volontà di Papa Clemente XI, generando l'inaugurazione dei primi musei d'arte, tra cui il Louvre nel 1793, che inizia la sua attività con 573 opere, ampliando la propria collezione durante l'impero napoleonico.

In Francia la Rivoluzione francese rappresenta un vero punto di rottura temporale e politico in cui si elabora un concetto chiave: se da una parte la rivoluzione incita alla distruzione di tutto ciò che si collegava all'*Ancien Régime*, dall'altra l'Assemblea costituente, con il decreto del 13 ottobre 1790, ordina il censimento e la selezione dei monumenti e delle opere d'arte meritevoli e destinate ad essere raccolte nei musei, separandole da ciò che può essere venduto o distrutto.

Le prime norme sul tema della tutela accompagnano e regolano eventi che si susseguono nel corso della storia e non fa eccezione

5. F. Chaoy evidenzia come il concetto di monumento storico sia un'elaborazione progressiva e laboriosa che comincia nel XV secolo dalla cultura europea, in particolare in Italia e ancora più precisamente a Roma, dove i papi hanno preso in carico l'eredità dell'Impero romano e pubblicato delle Bolle per proteggerli. Questo concetto emerge nel tempo come investimento di attenzione e di valore in quanto testimonianza di una certa cultura e di una certa civiltà.

6. G. Salituro, *Beni culturali e quadri normativi. L'itinerario storico*, Soveria Mannelli, Rubbettino editore, 2006.

7. FAI scuola, *La legislazione dei beni culturali e del paesaggio*, 2017, p.3.

l'editto del Cardinal Pacca che, nel 1820 a seguito delle razzie di opere d'arte da parte di Napoleone Bonaparte, proibisce l'esportazione da Roma e dallo Stato di qualunque oggetto d'arte ma, soprattutto, l'editto obbliga la denuncia di tutti gli oggetti antichi e di arte appartenenti a privati, con una disposizione annuale di verifica da parte di funzionari.

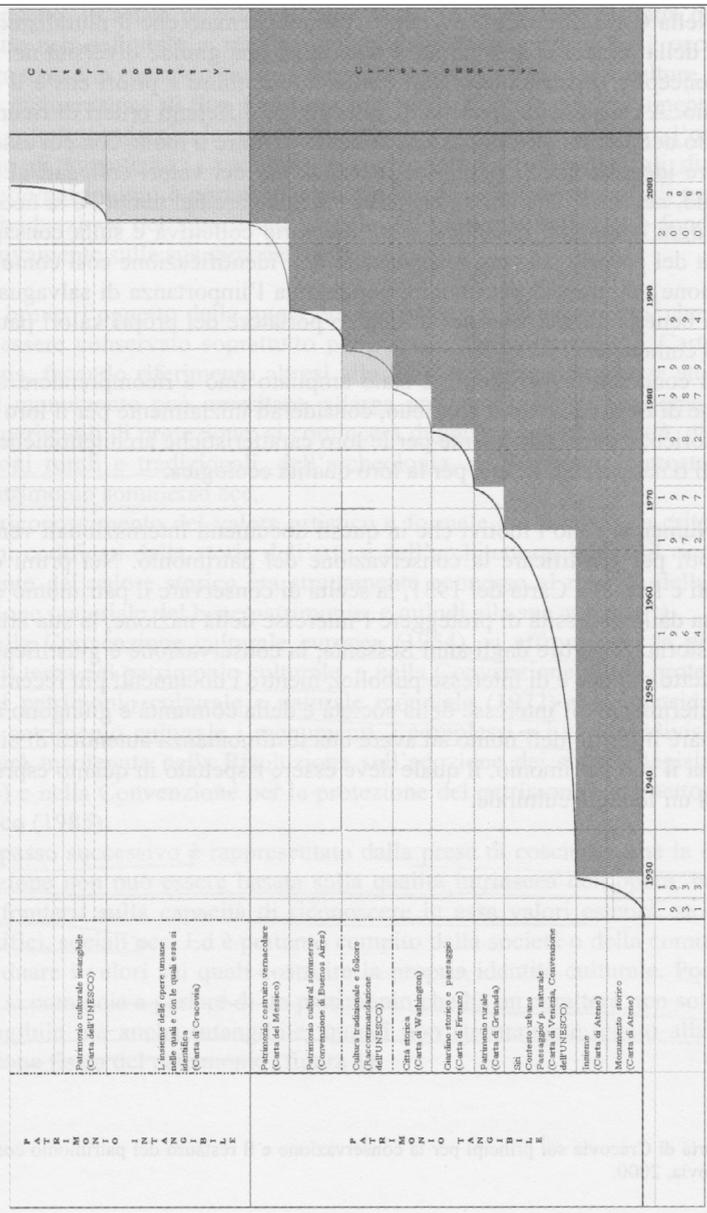
Per provvedere alla tutela dei monumenti viene costituita a Parigi la figura istituzionale dell'Ispettore generale dei Monumenti Storici ma ci si rende presto conto che la sua figura ha un ruolo limitato e non sufficiente alla salvaguardia del patrimonio. Su iniziativa del governo, nel 1837, viene quindi costituita la Commissione Nazionale dei Monumenti Storici (Commission National des Monuments Historiques), con il compito di valutare le richieste di restauro e dare disposizioni precise su come restaurare i monumenti, indicando anche i progettisti che devono eseguire il progetto.

Il percorso iniziato con la Rivoluzione francese si afferma pienamente nel corso della Restaurazione, durante la quale il patrimonio diventa un fattore di coesione sociale, perno di un ingranaggio che darà vita a successive Carte, Convenzioni e leggi. Un primo traguardo a livello europeo si ha nel 1933 con la Carta di Atene, in cui si sottolinea come la conservazione del patrimonio sia interesse di tutti gli Stati firmatari e per questa ragione sia necessario uniformare le legislazioni così da non far prevalere l'interesse privato su quello pubblico. Con la Carta di Venezia del 1964, a cui partecipano tre Paesi non europei e adottata dall'ICOMOS⁸ nel 1965, e con la Convenzione del patrimonio mondiale dell'UNESCO del 1972, si mette in discussione la concezione di patrimonio culturale, tipicamente monumentale, ampliando la salvaguardia anche a quei valori simbolici, culturali e sociali testimonianze di culture differenti.

Per quanto concerne l'Italia, a livello normativo nel 1939 vengono emanate due leggi aventi per oggetto la tutela delle «cose

8. <https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf> [Consultato il 23 gennaio 2021]

Fig. 1 - L'evoluzione cronologica dell'estensione del concetto di patrimonio secondo le Carte, le Raccomandazioni e le Convenzioni internazionali adottate



d'interesse Artistico o Storico»⁹ e la tutela del paesaggio¹⁰, note come leggi Bottai, dal nome del ministro Giuseppe Bottai. La prima è volta a disciplinare la tutela dei beni culturali, facendo riferimento a tutto ciò che ha rilevanza per la storia della nazione e di godibilità pubblica intesa come diritto alla pubblica fruizione, la seconda è la prima legge interamente dedicata al paesaggio.

Anche se più volte citata, la locuzione bene culturale è entrata solo recentemente nella legislazione italiana: infatti nelle leggi Bottai si parla ancora di “cose d’arte”, facendo riferimento ad opere significative dal punto di vista estetico e con caratteristiche di materialità e di bellezze naturali. Il riconoscimento ufficiale di questo concetto si ha con la Convenzione dell’Aja nel 1954¹¹, ratificata in Italia nel 1958, nella quale si definiscono le categorie appartenenti ai beni culturali¹² per la loro salvaguardia in caso di conflitto armato, e con gli atti della Commissione Franceschini del 26 aprile 1964, in cui sancisce che la coscienza e i valori del patrimonio culturale debbano essere presenti nella vita di ogni cittadino in quanto elemento della sua educazione civica. Nelle dichiarazioni generali della Commissione Franceschini si dichiara che appartiene al patrimonio culturale ogni bene che

9. L. n° 1089/1939 in materia di *Tutela delle cose d’interesse Artistico o Storico*.

10. L. n° 1497/1939 in materia di *Protezione delle bellezze naturali*.

11. L. n° 279/1958, art.1 in materia di *Protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato*.

12. Convenzione per la protezione dei Beni Culturali in caso di conflitto armato, L’AJA,1954, capitolo 1, Art.1 *Definizioni generali concernenti la protezione - Definizione dei beni culturali* : «*Ai fini della presente Convenzione, sono considerati beni culturali, prescindendo dalla loro origine o dal loro proprietario: a) i beni, mobili o immobili, di grande importanza per il patrimonio culturale dei popoli, come i monumenti architettonici, di arte o di storia, religiosi o laici; le località archeologiche; i complessi di costruzione che, nel loro insieme, offrono un interesse storico o artistico; le opere d’arte, i manoscritti, libri e altri oggetti d’interesse artistico, storico, o archeologico; nonché le collezioni scientifiche e le collezioni importanti di libri o di archivi o di riproduzione dei beni sopra definiti; b) gli edifici la cui destinazione principale ed effettiva è di conservare o di esporre beni culturali mobili definiti al capoverso a), quali i musei, le grandi biblioteche, i depositi di archivi, come pure i rifugi destinati a ricoverare, in caso di conflitto armato, i beni culturali definiti al capoverso a); c) i centri comprendenti un numero considerevole di beni culturali, definiti ai capoversi a) e b), detti “centri monumentali”.*».

costituisca testimonianza materiale avente valore di civiltà¹³, prova dell'ancora incompleta apertura a tutto ciò che appartiene oggi al patrimonio culturale; si deve attendere infatti la Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale del 2003 per vedere riconosciuta l'interdipendenza del patrimonio immateriale con il patrimonio culturale materiale e i beni naturali.

Sempre del 2003 è la carta UNESCO per la conservazione del patrimonio digitale, ormai entrato nelle nostre vite e descritto come insieme di «risorse culturali, formative, scientifiche e amministrative [...] create in digitale, o convertite in forma digitale a partire da risorse analogiche già esistenti»¹⁴; lo scopo è garantire che questa tipologia di patrimonio rimanga accessibile al pubblico, sia per quanto concerne l'accesso ai materiali digitali, sia che essi siano fruibili nel corso del tempo. Il patrimonio digitale infatti, come i beni materiali e naturali, necessita di essere conservato, tutelato e “restaurato”, evitando che diventi obsoleto.

Il rischio di questo patrimonio è «l'incertezza circa le risorse, le responsabilità e i metodi di mantenimento e conservazione, e l'assenza di una legislazione di riferimento»¹⁵.

Il processo che conduce a considerare un bene meritevole di tutela è alimentato dall'interesse verso la cultura e l'epoca a cui esso risale e verso la società di cui esso è espressione. Ciò fa presupporre una ulteriore implementazione del patrimonio nel futuro.

Preservare e fruire il patrimonio oggi

Nella contemporaneità, i beni culturali si rispecchiano in nuove forme di conservazione e fruizione del sapere: l'era digitale ha potenziato le possibilità di acquisizione e gestione delle informazioni in vari campi, come quello bibliotecario, architettonico, turistico, museale e didattico.

13. Atti della Commissione Franceschini, 1967, Parte Prima, Dichiarazione 1, in tema di *Patrimonio culturale della Nazione*.

14. Convenzione per la salvaguardia del patrimonio digitale, 2003, art.1 in materia di *Patrimonio digitale come patrimonio comune*.

15. *Ibidem*.

Questi settori lavorano in sinergia e necessitano di meccanismi che consentano l'interoperabilità dei dati, obiettivo raggiungibile anche attraverso la digitalizzazione del patrimonio, che permette di potenziare la ricerca e la diffusione dei dati, garantendo così la preservazione e la fruizione degli stessi.

La spinta data dal digitale ha mobilitato molte realtà, tra le quali il MiBACT¹⁶, che gestisce sia la parte di preservazione del patrimonio attraverso il SICaRweb, piattaforma dedicata a studiosi e operatori del settore per «documentare i cantieri di restauro dalla progettazione alla redazione del consuntivo scientifico»¹⁷, sia la fruizione dei beni attraverso il “Piano strategico di sviluppo del turismo”¹⁸ e il “Piano Triennale per la Digitalizzazione e l’Innovazione dei Musei”¹⁹. Altresì si evidenziano l’Istituto Centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale - Digital Library²⁰, che cura il coordinamento e promuove programmi per digitalizzare il patrimonio culturale, e la Commissione europea tramite “L’agenda digitale europea”²¹, che mira a stabilire il ruolo chiave delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione. A livello internazionale, associati con l’UNESCO, si pongono all’attenzione due realtà: l’ICOM (International Council of Museum), impegnata a «preservare, ad assicurare la continuità e a comunicare il valore del Patrimonio Culturale e naturale

16. Dal 26 febbraio 2021 MiC.

17. SICaRweb – Sistema Informativo per i Cantieri di Restauro <<http://sicar.beniculturali.it:8080/website/>> [Consultato il: 5 ottobre 2020]

18. Piano strategico di sviluppo del turismo: <https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1481892223634_PST_2017_IT.pdf> [Consultato il: 17 novembre 2020].

19. Piano triennale per la digitalizzazione e l’innovazione dei musei: <[musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l-Innovazione-dei-Musei.pdf](https://www.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l-Innovazione-dei-Musei.pdf)> [Consultato il: 19 novembre 2020].

20. Digital Library: <<https://www.beniculturali.it/ente/istituto-centrale-per-la-digitalizzazione-del-patrimonio-culturale-digital-library>> [Consultato il: 20 novembre 2020].

21. Agenda digitale europea: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0245&from=it>> [Consultato il: 20 novembre 2020].

mondiale, attuale e futuro, materiale e immateriale»²², e l'ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), impegnata a «promuovere la conservazione, la protezione, l'uso e la valorizzazione del patrimonio culturale mondiale»²³.

Le innovazioni tecnologiche hanno stravolto la concezione di tempo e di spazio: se da un lato chiunque può conoscere il patrimonio e fruirlo indipendentemente dal luogo in cui si trova e in tempi molto brevi, dall'altro gli studiosi possono operare risparmiando tempo e risorse a favore della conservazione dei beni.

Essere in un luogo, quindi, non è più sinonimo di presenza fisica. Le potenzialità degli strumenti a disposizione permettono sia l'interoperabilità di più figure professionali indipendentemente dal luogo, sia il risparmio di tempo grazie alla più facile condivisione di informazioni.

Su scala europea, si stima che il 57% del patrimonio culturale debba essere ancora digitalizzato e reso accessibile alla comunità di ricerca e al singolo fruitore²⁴; i *digital service*²⁵ sono sempre più orientati a soddisfare le esigenze della comunità scientifica e degli utenti, espandendo le possibilità di accesso a risorse documentali.

Tramite il Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities European Research Infrastructure Consortium (DARIAH), che vede la collaborazione, tra gli altri, del MiBACT, del CNR e dell'ENEA, si è avviato un supporto per la conservazione e gestione dei dati e della documentazione, condividendo l'obiettivo di standardizzarne le modalità e di agevolare la loro fruizione da parte del settore scientifico e culturale. Ciò permette la comunicazione e la collaborazione

22. < <http://www.icom-italia.org> > [Consultato il 21 gennaio 2021]

23. Agenda digitale europea: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0245&from=it>> [Consultato il: 20 novembre 2020].

24. Enea, *Archiviazione di dati digitali nell'infrastruttura cloud ENEA*, 2016.

25. F. Stephan, 2016, «*The term Digital Services refers to the electronic delivery of information including data and content across multiple platforms and devices like web or mobile. Information is presented in a way that is easy to use and understand and typically involves transactional services such as submitting forms for processing and receiving benefits*».

a distanza, che si traduce in ambiente di lavoro comune, con l'accesso a servizi e risorse indipendentemente dalla posizione fisica degli utenti.

«Condividiamo culture millenarie. Quindi anche la responsabilità di preservarle. L'amicizia è anche condivisione, e noi stiamo condividendo i nostri tesori. [...] Per i giovani è l'occasione di conoscere, direttamente, questo patrimonio dell'umanità, che l'Italia custodisce con passione. Per le Istituzioni, è l'opportunità per creare nuove forme di cooperazione.»

Sergio Mattarella, Presidente della Repubblica Italiana,
Università Statale di Tbilisi, 17 luglio 2018

Rendere condivisibile il patrimonio attraverso piattaforme digitali è un passo essenziale per tutelarlo e valorizzarlo, per fornire a figure professionali e ai cittadini la conoscenza, per potenziare il turismo e lo sviluppo di servizi. Nel turismo culturale e nella didattica non è più sufficiente la contemplazione dell'opera, ma c'è la volontà e la possibilità di approfondire l'aspetto percettivo e di giungere a un livello maggiore di conoscenza che possa coinvolgere un più ampio spettro di utenti. In questa direzione si muovono progetti come Europeana, portale europeo che permette di esplorare le risorse digitali di musei, biblioteche, archivi e collezioni audiovisive, e INDICES, per la valutazione dell'impatto sociale ed economico dell'accesso ai beni e ai servizi culturali europei.

La condivisione tramite web del patrimonio influenza direttamente il turismo culturale, definito come «il bisogno delle persone di confrontarsi con la diversità, per aumentare il livello di conoscenze, generare nuove esperienze e nuovi incontri» (WTO, 1985), generando un flusso turistico nel quale la tecnologia ha sempre un ruolo: l'*heritage tourism* è un turismo esperienziale, che necessita di coinvolgere e stimolare l'utente e in tal direzione i musei stanno orientando le loro offerte, favorendo l'inserimento di percorsi interattivi e intuitivi.

Le possibilità di utilizzo di modelli tridimensionali si diramano in una comunicazione istantanea con qualsiasi centro di ricerca e con qualsiasi studioso, nel poter misurare la materia e nella possibilità di stampa in 3D, offrendo potenzialità di studio e di cooperazione di grande interesse, fino alla possibile «ricostruzione integrale di beni culturali laddove questo abbia un qualche significato»²⁶ e, successivamente, anche per la valorizzazione e fruizione culturale.

Tecnologie per il rilievo metrico, la modellazione e la prototipazione

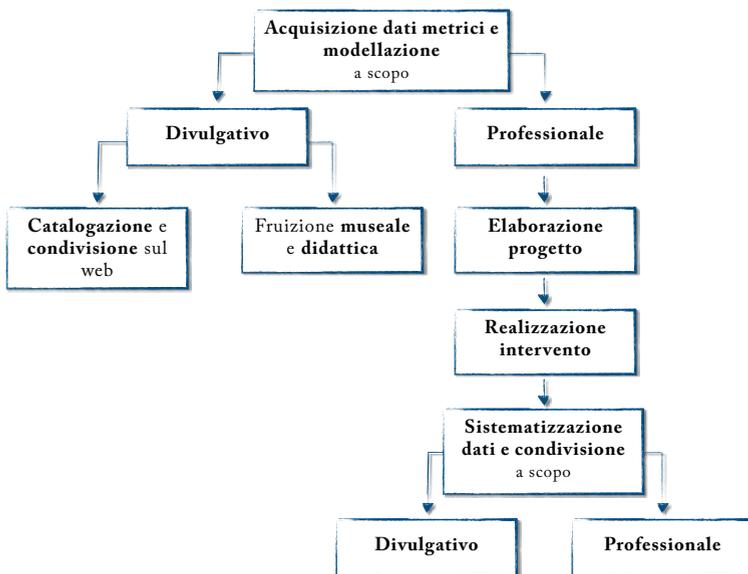


Fig. 2.

Per permettere lo studio, il restauro e la condivisione del patrimonio culturale il punto di partenza è l'uso consapevole degli strumenti per l'acquisizione dei dati dimensionali, che permettono indagini non invasive con evidenti ricadute sul piano della preservazione.

26. L. Dal Pozzolo, *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018, p.152.

L'acquisizione viene effettuata tramite il rilievo indiretto, a cui appartengono la fotogrammetria digitale e laser scanner. Il laser scanning rientra nei sistemi ottici attivi, anche chiamati *range-based techniques*, in cui è presente una coppia sorgente-sensore: la prima emette un pattern illuminante e il sensore acquisisce il segnale di ritorno riflesso dalla superficie dell'oggetto sottoforma di matrice bidimensionale. La fotogrammetria digitale rientra invece nei sistemi ottici passivi, chiamati *image-based techniques*, nei quali le proprietà geometriche del manufatto vengono ricostruite mediante un sensore che rileva la radiazione emessa o riflessa dall'oggetto in maniera naturale, senza cioè l'utilizzo di sorgenti artificiali, e le trasforma in immagini.

I dati acquisiti vengono poi elaborati con specifici software che consentono di ottenere elaborati tridimensionali (favorendo la percezione visiva del bene), di ricavare piante, prospetti e sezioni, di ricreare condizioni ambientali specifiche, di simulare gli effetti di molteplici ipotesi di intervento, di adottare tempistiche varianti, correzioni e integrazioni e programmare interventi di restauro o manutenzione.

Un ulteriore uso del modello tridimensionale si ha attraverso la prototipazione, tecnologia basata sulla deposizione o polimerizzazione di materiale strato per strato, comunemente chiamata stampante 3D. Nel restauro viene utilizzata per creare prototipi funzionali al controllo qualità e alla pre-visualizzazione, per la riproduzione di elementi mancanti, danneggiati o distrutti, per la creazione di supporti per il trasporto di elementi fragili e anche per la sostituzione temporanea di oggetti che richiedevano un intervento immediato di restauro.

Queste tecnologie e i loro prodotti trovano applicazione anche nelle attività di fruizione connesse al turismo e alla didattica. Essi infatti giocano un ruolo attivo, generando nuovi linguaggi comunicativi a diversi livelli, soddisfacendo i bisogni dell'utente ricercatore o turista.

Il cambiamento della fruizione culturale si deve all'evoluzione del rapporto tra il patrimonio e l'utente: il singolo fruitore dispone di differenti canali culturali nel web che mettono a disposizione il patrimonio digitalizzato, mentre i musei, tramite la «relazione



Fig.3. Partner digitali di Cultura Italia. Fonte: <[http://www.culturaitalia.it/opencms/export/sites/culturaitalia/attachments/FONTI DATI 2018_01.pdf](http://www.culturaitalia.it/opencms/export/sites/culturaitalia/attachments/FONTI_DATI_2018_01.pdf)> [Consultato il: 04 marzo 2021].

diretta e mediata tra il visitatore e l'opera esposta, [...] vedono l'introduzione delle tecnologie digitali finalizzate a migliorare e arricchire l'esperienza di visita, veicolando più contenuti e in maniera personalizzata»²⁷. I prodotti digitalizzati vengono inseriti nei siti culturali di cui si è precedentemente parlato, catalogando così i beni culturali a favore della consultazione da parte di utenti non specializzati con lo scopo di diffondere la conoscenza del patrimonio culturale: a livello europeo si segnala la piattaforma di Europea, a livello nazionale Cultura Italia, mentre a livello regionale²⁸ ognuno predispone di un suo portale, seguendo gli indicatori ufficiali della ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione del MiBACT.



Cultura Italia è una rete collaborativa di istituzioni pubbliche e private che coinvolge diversi attori della cultura italiana con lo scopo di rendere visibile a livello nazionale e internazionale i propri contributi e iniziative. Tramite la gestione di un catalogo, raccoglie e indicizza i dati forniti dai partner [fig.3], quindi i dati originali persistono sul sito web del fornitore: Cultura Italia pubblica l'immagine in anteprima corredata di dati identificativi e del link al sito web della piattaforma origine e l'utente può visualizzare in modo completo tutte le informazioni per una completa fruizione. Per completare il cerchio, questa piattaforma

27. D. Spallazzo, A. Spagnoli, R. Trocchianesi, *Il museo come organismo sensibile*, Dipartimento INDACO, Politecnico di Milano, 2009.

28. Dal 30 giugno al 2 luglio 2020 si sono tenuti tre incontri organizzati da ICCD su la catalogazione dei beni culturali in ambito regionale e il rapporto con il Catalogo nazionale < www.iccd.beniculturali.it/it/159/eventi/4810/la-catalogazione-dei-beni-culturali-in-ambito-regionale-i-sistemi-informativi-regionali-e-il-rapporto-con-il-catalogo-nazionale > [Consultato il 15 settembre 2020].

è il principale erogatore di contenuti italiani a Europeana, quindi è il tramite tra le istituzioni culturali italiane e il portale europeo. Esistono anche piattaforme digitali volte all'inserimento di informazioni sullo stato di conservazione dei beni e di documentazione cantieri di restauro, dalla progettazione alla redazione del consuntivo scientifico, dando la possibilità a progettisti e studiosi di collaborare agendo direttamente sull'opera digitale interrogandola²⁹.

I sistemi informativi utilizzati in ambito professionale sono:

- L' HBIM³⁰ (Historic Building Information Modeling), inizialmente impiegata in ambito urbano per edifici di nuova costruzione (BIM), ha esteso il suo campo di applicazione anche per l'analisi del costruito, anche se spesso il modello 3D risulta più semplificato rispetto a quello che si produce tramite un rilievo metrico. Permette di aggiungere informazioni georeferenziabili al fine di aumentare il contenuto informativo e di capirne le correlazioni spaziali;
- Il GIS³¹ (Geographical Information System), per la georeferenziazione, gestione e l'archiviazione dei dati, permette di comporre, gestire ed esaminare dati spaziali, associando a ogni elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche;
- Il SICarweb, un sistema informativo online per la documentazione dei cantieri di restauro, consente di

29. Support Microsoft, Introduzione alle query, «Una query consente di estrarre le informazioni memorizzate in tabelle diverse e di assemblarle per visualizzarle in una maschera o in un report. Una query può essere utilizzata per richiedere risultati relativi ai dati inclusi nel database o per richiedere l'esecuzione di un'azione sui dati oppure per entrambe le attività. Con una query è possibile rispondere a una semplice domanda, eseguire calcoli, combinare dati di tabelle diverse, nonché aggiungere, modificare o eliminare dati da un database».

30. A. Scianna, M. Serlorenzi, S. Gristina, M. Filippi, S. Paliaga, *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, Archeologia e Calcolatori, Supplemento 7, 2015.

31. Il GIS è uno strumento computer-based che permette di realizzare analisi spaziali tramite la rappresentazione digitale di un'area geografica combinata con una serie di altre informazioni di tipo alfanumerico che dipendono dalla tipologia di studio che si vuole condurre.

- documentare e aggiornare in tempo reale lo stato di avanzamento dei lavori, dalla progettazione alla redazione del consuntivo scientifico, e il monitoraggio dello stato di conservazione e la programmazione degli interventi successivi;
- Il SIGeCweb, una piattaforma che gestisce l'intero flusso della catalogazione, dalla produzione e diffusione degli standard catalografici, alla catalogazione di beni (architettonici, archeologici, paesaggistici, fotografici, musicali, etc.), con ulteriore risvolto nella pubblicazione delle schede per la fruizione culturale;
 - Il WebGIS, che diffonde informazioni geografiche attraverso il web, raggiunge un vasto ventaglio di utenti, anche non specializzati, e permette di immettere, manipolare, sviluppare e indagare dati georeferenziati in qualsiasi punto della terra tramite una connessione.

2. TECNICHE PER IL RILIEVO METRICO, MODELLAZIONE E PROTOTIPAZIONE

«Oggi che tutto è, o potrebbe essere, “digitale” [...], il prodotto finale andrebbe analizzato non solo nel suo aspetto, ma nei processi, nella struttura, nel funzionamento e nelle modalità di presentazione/fruizione e anche in una prospettiva di tipo storico»³².

Caterina Davinio

Il rilievo metrico

Con “rilievo metrico” si intende un insieme di operazioni tecniche e pratiche volte a descrivere tridimensionalmente un complesso o un particolare architettonico fisicamente definito nello spazio³³.

Un progetto di rilievo deve seguire un percorso programmato, sistematizzato e organizzato per fasi; l'organizzazione è divisibile in macroaree, che individuano sei approcci multidisciplinari per la conoscenza e la comunicazione dell'oggetto di studio³⁴ [fig.4].

Parlare oggi di *rilievo metrico* significa produrre un modello digitale tridimensionale: un campionamento dello spazio, denso e accurato, rappresentante la realtà con punti di cui sono note le coordinate. Attraverso sistemi a scansione, alla fotogrammetria digitale e ai rilievi topografici, si ottengono le nuvole di punti, definibili come «la rappresentazione di un modello tridimensionale dell'oggetto rilevato in cui sono note le coordinate di ciascun punto misurato»³⁵.

32. C. Davinio, *Virtual mercury house. Planetary & interplanetary events.*, Ediz. italiana, Roma, Polimata, 2012, p. 131.

33. F. Rinaudo, *Nuove frontiere della fotogrammetria digitale per il rilievo metrico dell'architettura*, in *Conoscere, Conservare, Valorizzare*, Napoli, Arte Tipografica Editrice, 2013, p. 189.

34. S. Brusaporci, *Sistemi Informativi Integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del Patrimonio Architettonico Urbano*, a cura di M. Centofanti, Roma, Gangemi, 2010, p.75.

35. La Fortezza da Basso di Firenze - nuove tecnologie per il rilievo e il restauro: < <https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/droni-sapr/201568-applicazioni/fotogrammetria.aspx> > [Consultato il: 08 febbraio 2021].

Documentazione	Ricerca storica				
Pianificazione	Pianificazione e progettazione del rilievo				
Rilievo	Schizzi	Foto	Rilievo Topografico	Fotogrammetria	Laser scanner
Elaborazione	Fotoraddrizzamento		Pulizia dei dati	Registrazione scanner	Nuvola di punti
	Nuvola di punti segmentata		Importazione nuvola di punti in BIM		Costruzione di un modello BIM
Restituzione	modelli 3D e ortografici			Modello parametrico HBIM	
	Simulazione		Resoconto scritto	Archiviazione	Documentazione

Fig.4. Rappresentazione grafica del flusso di lavoro, in M. Lo Turco, M. Mattone, F. Rinaudo, *Metric survey and bim technologies to record decay conditions*, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W1, pp 261–268, 2017.

Oltre alle consuete piante, sezioni e prospetti, le ortofoto costituiscono la base su cui gli storici, gli archeologi e gli architetti possono annotare le proprie osservazioni e proposte di intervento. Il valore di questi dati risiede anche nel fatto che, anche se generati per uno specifico obiettivo, essi possano essere utilizzati per motivi addizionali non immaginabili nel momento dell'acquisizione, incluso fornire nuove domande e opportunità e indirizzare verso nuove priorità. Nel programmare la campagna di rilievo, è necessario definire l'obiettivo del lavoro a priori, e quindi il *grado di dettaglio* (precisione) e l'*accuratezza* necessari.

Il *grado di dettaglio* è la capacità di uno strumento di fornire la stessa risposta in relazione alla stessa sollecitazione a parità di condizioni di misura. Ogni strumento ha un grado di *tolleranza*, cioè il margine di errore consentito o accettato, che varia a seconda del tipo di rilievo e del tipo di restituzione grafica che devono essere effettuate [fig.5].

L'*accuratezza* invece è la differenza che esiste tra valore vero e valore misurato, può essere espressa in valore assoluto ed è un

parametro fornito dal costruttore o a seguito della taratura dello strumento. Definendo questi parametri si evita di commettere l'errore di effettuare un rilievo con una tolleranza elevata quando è necessario avere dei dati metrici più precisi, e viceversa, ed è importante anche per il post - processamento dei dati acquisiti, in quanto ottimizzare la mole di dati può evitare di incorrere in problematiche relative al sistema di elaborazione (elaboratore e software).

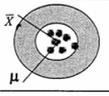
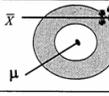
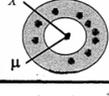
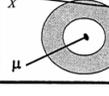
PRECISIONE ($x_i - \bar{x}$)	ACCURATEZZA ($\bar{x} - \mu$)	
	Elevata	Scarsa
Elevata		
Scarsa		

Fig.5. Differenza tra precisione e accuratezza.

Fonte: < <http://ctntes.arpa.piemonte.it> >

La fotogrammetria digitale

La fotogrammetria è la tecnica che consente di «definire la posizione, la forma e le dimensioni degli oggetti utilizzando le informazioni contenute in opportune immagini fotografiche degli stessi oggetti, riprese da punti diversi»³⁶.

La caratteristica fondamentale che un modello 3D digitale deve possedere è quello di essere metricamente corretto: affinché gli elementi dell'oggetto ripreso possano essere riprodotti correttamente, è necessario che essi siano ben visibili sul fotogramma. La ripresa fotografica quindi necessita una calibrazione dello strumento e deve essere effettuata a una distanza tale da permettere un livello di dettaglio consono in fase di restituzione dei dati, a seconda della scala di rappresentazione precedentemente programmata.

36. R. Cannarozzo, L. Cucchiarini, W. Meschieri, *Misure, rilievo, progetto*, Quinta edizione, Bologna, Zanichelli, 2017.

Il processo di calibrazione della fotocamera stima i parametri fisici intrinseci (la lunghezza focale, l'offset dal punto principale e i fattori di distorsione dell'obbiettivo) e di individua la posizione del piano di riferimento concorde con la fotocamera.

Due fondamentali settori di applicazione, che richiedono attrezzature di acquisizione, metodologie e competenze differenti sono la *fotogrammetria aerea*, che tratta la documentazione del territorio, e la *fotogrammetria terrestre*, in cui gli oggetti inquadrati sono solitamente edifici oppure oggetti. I vantaggi riscontrabili con l'utilizzo di questa tecnica sono la velocità di acquisizione dei dati, budget ridotto (in quanto il costo di una macchina fotografica non comporta una grossa spesa), e maggiore accessibilità.

Calibrazione di camere digitali non metriche

Una calibrazione accurata della fotocamera è un prerequisito essenziale per l'estrazione di informazioni metriche tridimensionali precise associate a una buona qualità delle immagini. Per ricostruire la posizione di un punto (coordinate oggetto) partendo dalle coordinate immagine corrispondenti, (misurate su due o più fotogrammi) è necessario conoscere l'*orientamento interno* del fotogramma, cioè la posizione del centro di presa relativamente al piano dell'immagine, e l'*orientamento esterno*, cioè la posizione e l'orientamento delle immagini rispetto ai due sistemi di coordinate (dell'oggetto e della fotocamera), calcolabile se sono disponibili punti noti nello spazio dell'oggetto, chiamati *punti di controllo*. Per definire la prospettiva centrale è richiesta la determinazione di 9 parametri incogniti: 6 dell'orientamento esterno e 3 dell'orientamento interno, caratteristici della fotocamera utilizzata e calcolabili con opportune procedure di calibrazione³⁷.

37. E. Tufarolo, *Auto-calibrazione di fotocamere digitali amatoriali applicata a tecniche di acquisizione multi-scala in fotogrammetria dei vicini*, «Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia», 152, 2014, pp. 113-129.

La geometria interna di una telecamera è descritta da tre parametri principali:

- La costante della fotocamera c , uguale alla lunghezza focale, elemento essenziale dell'obiettivo fotografico che gestisce quanta parte della scena verrà catturata e quanto saranno grandi gli elementi;
- Il punto principale (x_0, y_0) , definito dall'intersezione del piano dell'immagine e la linea perpendicolare allo stesso ed è passante per il centro di proiezione;
- Le correzioni alle distorsioni dell'immagine.

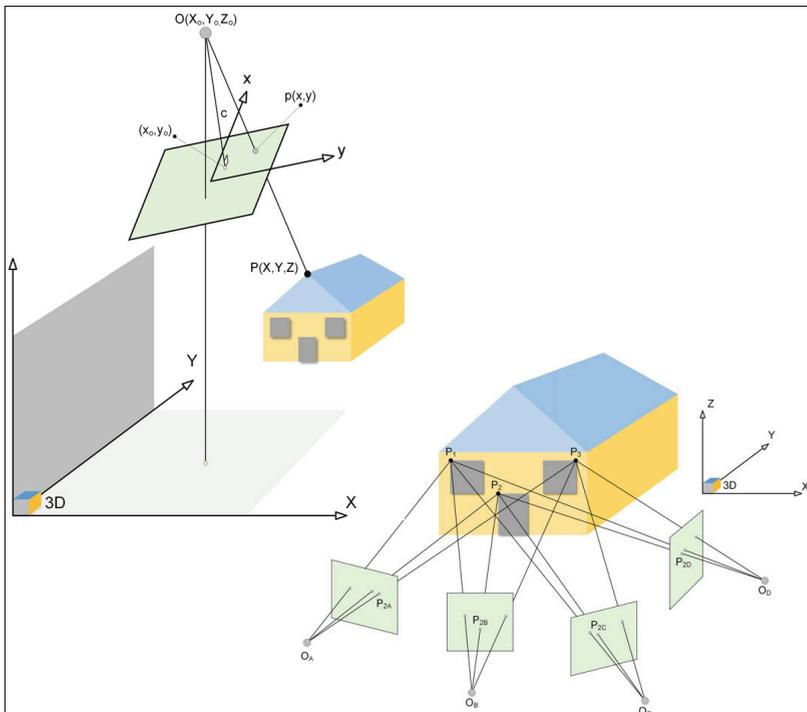


Fig.6. A sinistra: La relazione tra l'immagine e il sistema di coordinate dell'oggetto; a destra: proiezione centrale di più riprese fotografiche. Fonte: G. Solari, S.-H. Chen, M. Di Prisco, I. Vayas, Photogrammetric Survey for the Recording and Documentation of Historic Buildings, Springer, 2020.

Come si evince dalla fig.6, ogni punto oggetto P si riflette su un punto immagine p e da una singola immagine non è possibile ricavare la coordinata sull'asse z , perciò è indispensabile effettuare più riprese da punti differenti.

I parametri di orientamento esterno descrivono la posizione e il percorso del fascio di raggi 3D in relazione al sistema di coordinate dell'oggetto determinati utilizzando i punti di controllo, mentre i valori di orientamento interno sono specifici per ciascuna telecamera e possono essere determinati e forniti dal produttore della telecamera o possono essere determinati da l processo di calibrazione.

Una telecamera è considerata calibrata se i seguenti parametri sono ben noti: distanza principale, offset del punto principale e distorsione dell'obbiettivo. Quando un raggio di luce attraversa l'obbiettivo uscirà con un'angolazione diversa da quella iniziale. Poiché gli angoli di entrata e di uscita non sono identici, il sistema è dissimile dalla prospettiva centrale ideale, e quindi i punti dell'oggetto non sono proiettati nella posizione appropriata nello spazio dell'immagine. Per la massima precisione nella fotogrammetria a distanza ravvicinata, è necessario considerare queste variazioni delle distorsioni dell'obbiettivo.

Distorsione radiale della lente. Questo tipo di distorsione causa errori radiali durante la misurazione sul piano dell'immagine. Esistono distorsioni radiali simmetrici e asimmetrici, ma sono i primi a imporre le maggiori variazioni e possono essere di segno positivo o negativo, mentre l'ampiezza dipende dalla distanza radiale dal centro dell'immagine. Il segno positivo nelle distorsioni radiali porta i punti a trovarsi più vicini al centro dell'immagine, viceversa il segno negativo riproduce i punti lontano dal centro: la prima (+) è chiamata *distorsione a cuscinetto* mentre la seconda (-) *distorsione a barilotto*³⁸.

Una ulteriore distorsione è quella *decentrata*, che si verifica a causa della disposizione errata, cioè il disallineamento, degli assi dei vari obbiettivi interni lungo un asse comune [fig.7].

38. G. Solari, S.-H. Chen, M. Di Prisco, I. Vayas, *Photogrammetric Survey for the Recording and Documentation of Historic Buildings*, Springer, 2020.

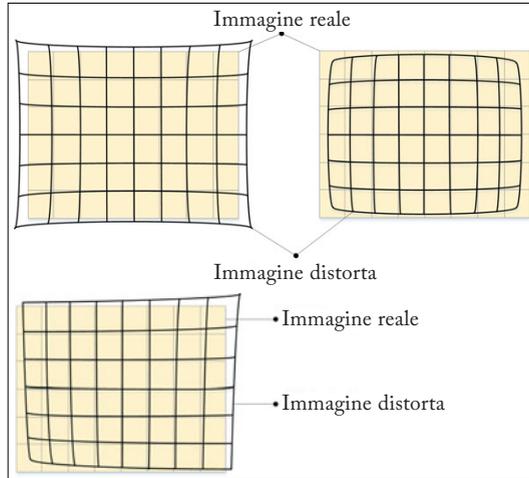


Fig.7. Distorsioni radiali. Fonte: G. Solari, S.-H. Chen, M. Di Prisco, I. Vayas, *Photogrammetric Survey for the Recording and Documentation of Historic Buildings*, Springer, 2020.

La tecnica del laser scanning

Il termine L.A.S.E.R. deriva dall'acronimo "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*", si tratta infatti di un sistema che trasforma l'energia da una forma primaria (elettrica, ottica, chimica, termica o nucleare) in un fascio monocromatico e coerente di radiazioni elettromagnetiche di elevata intensità³⁹.

I laser si possono classificare, a seconda della natura del materiale attivo utilizzato, in laser a stato solido, a gas, a semiconduttore, a liquido e laser a elettroni liberi; per quanto concerne il rilievo architettonico si utilizzano quelli a semiconduttore.

Interazione tra energia e materia

Quando la radiazione luminosa colpisce una superficie, essa viene in parte assorbita, in parte trasmessa e in parte riflessa. Quest'ultima è quella più utile ai fini del rilevamento, in

39. L. Bornaz, *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in *Laser scanning terrestre*, Udine, CISM, 2004, p. 1.

particolare la parte riflessa nella stessa direzione di incidenza, in quando questa porzione di energia permette di misurare la distanza tra il punto di emissione e il punto acquisito.

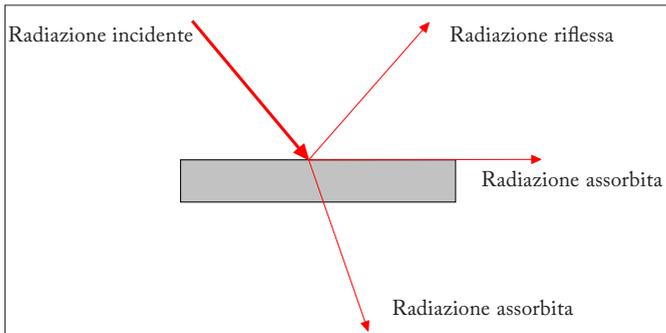


Fig.8. Ripartizione dell'energia incidente. Fonte: L. Bornaz, Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione, in Laser scanning terrestre, Udine, CISM, 2004.

Il raggio laser è definibile come «una radiazione luminosa concentrata monocromatica formata da onde parallele in fase tra loro»⁴⁰. I fasci emessi dal laser possono sì essere considerati paralleli, ma sono caratterizzati da una leggera divergenza, considerata irrisoria entro certe distanze, che «si traduce in un lieve disturbo nella determinazione del punto acquisito ed è funzione della grandezza dell'area di impatto del laser e della geometria della superficie colpita»⁴¹.

I sensori laser scanner terrestri

I laser scanner oggi presenti sul mercato sono svariati e con caratteristiche differenti, perciò la scelta dello strumento deve essere effettuata in base alle esigenze del caso studio: essa dipende dalla precisione che si deve ottenere e dai prodotti che si devono restituire, che a loro volta dipendono dallo scopo per cui viene fatto il rilievo. Ciò influenza la scelta per quanto

40. L. Bornaz, *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in *Laser scanning terrestre*, Udine, CISM, 2004, p. 9.

41. *Ibidem*.

concerne il tempo di esecuzione delle scansioni, la portata del laser e i principi di acquisizione. Essi si possono principalmente dividere in *triangolatori* e *distanziometrici*: i *laser scanner triangolatori* di ultima generazione non utilizzano raggi laser, ma proiettano una luce strutturata. Sono costituiti da un proiettore e due telecamere e vengono utilizzati per oggetti di piccole dimensioni e per la prototipazione rapida. Durante il processo di digitalizzazione, l'oggetto viene illuminato con motivi di strisce parallele bianche e nere di larghezza variabile e la fotocamera registra il pattern, scattando un'immagine di ciascuna proiezione. Grazie alla loro precisione sono utilizzati per l'archiviazione dei reperti archeologici o rilievi di monumenti, statue, particolari architettonici, etc.

Il sistema alla base è un triangolo formato da emettitore-oggetto-ricevitore [fig.9] e per ottimizzare le prestazioni, il triangolo formato tra l'emettitore e le altre due fonti deve essere il più possibile equilatero.

I *laser scanner distanziometrici* [fig.10] sono spesso paragonati alle stazioni totali topografiche. La misurazione delle coordinate avviene tramite il sistema sferico con angolo zenitale, azimutale e una distanza spaziale, simile a una stazione totale. Esiste però una sostanziale differenza tra i due: effettuando un rilievo topografico vengono misurate le coordinate di punti particolari, in genere la

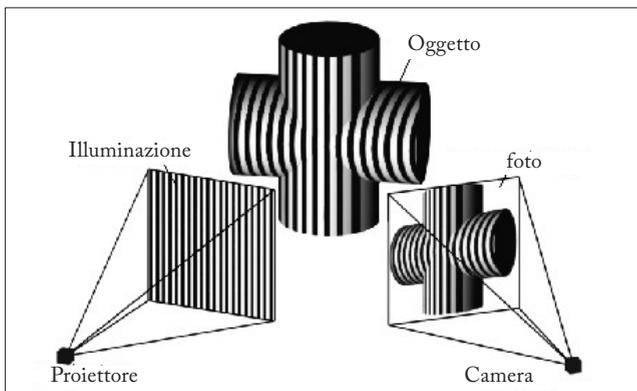
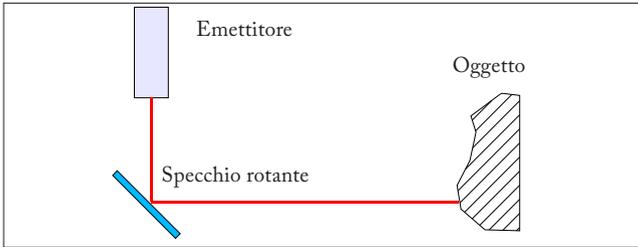


Fig.9. Schema di funzionamento di un laser scanner a luce strutturata. Fonte: < <https://www.3dnatives.com/en/structured-light-projection-3d-scanning/> >



*Fig.10. Schema di funzionamento di un laser scanner distanziometrico. Fonte: L. Bornaz, *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in *Laser scanning terrestre*, Udine, CISM, 2004.*

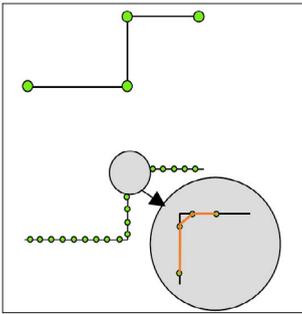


Fig.11. Andamento di una parete rilevata con una stazione totale (in alto) e con uno scanner 3D (in basso). Fonte: <<http://www.geomaticaeconservazione.it>>

sagoma dell'oggetto stesso, come spigoli, fessure, etc., mentre nel rilevamento laser scanner non c'è possibilità di scegliere i punti da rilevare, vengono definite l'area che si vuole acquisire e la densità di punti desiderata, quindi lo scanner campiona lo spazio in modo denso ma acritico [fig.11].

La meccanica dello strumento e l'unione di un distanziometro permettono di ottenere una direzione di acquisizione e una distanza lungo la direzione stessa, avente come risultato un insieme di punti sparsi nello spazio comunemente chiamata *nuvola di punti*.

Fanno parte della seconda categoria gli *scanner a tempo di volo*, usati nel campo architettonico e ambientale, che consentono di effettuare misure fino a centinaia di metri con precisioni sub-centimetriche: viene misurato il tempo di volo che trascorre tra l'emissione del fascio laser e il suo ritorno al sensore. Conoscendo la velocità della luce e moltiplicandola per la metà del tempo di volo trascorso tra emissione e ricezione si ottiene la distanza

dall'oggetto. Ogni laser scanner è caratterizzato da alcuni parametri specifici che ne determinano la scelta in funzione delle esigenze legate alla singola campagna di rilievo; le principali caratteristiche che differenziano i vari strumenti sono le seguenti:

- *Accuratezza*: influenzata dalle caratteristiche intrinseche dello strumento e dalle condizioni ambientali, l'accuratezza complessiva dello strumento è formata dalle singole accuratezze delle componenti dello strumento. Nei *laser scanner distanziometrici* l'accuratezza varia in maniera lineare con la distanza e con i valori che dipendono dalla tecnologia laser utilizzata, mentre per gli *scanner triangolatori*, questa diminuisce con il quadrato della distanza. Come precedentemente descritto, l'impulso laser viene direzionato sull'oggetto indagato tramite la rotazione di specchi deflettori e, di conseguenza, ogni deviazione angolare nella rotazione degli specchi corrisponderà ad un errore di posizionamento;
- *Risoluzione*: la velocità e il passo delle rotazioni possono essere impostate dall'operatore, determinando così la risoluzione della scansione, cioè la densità dei punti rilevati a una certa distanza e la qualità del dato acquisito. Questi due parametri determinano la durata della scansione, che può variare da circa trenta secondi fino a varie decine di minuti per scansioni complete a 360°;
- *Portata*: il valore massimo di distanza a cui il sensore può effettuare la misura dipende dalle caratteristiche del segnale emesso, dalla direzione con cui il raggio laser incide sulla superficie, dalle caratteristiche di riflettività del materiale e dalle condizioni ambientali;
- *Velocità di scansione*: dipende dal tipo di misura dello strumento, dalla velocità dei sistemi ottico-meccanici interni, dalla risoluzione che si vuole ottenere, dal campo visivo di acquisizione scelto, dalla distanza dall'oggetto;
- *Campo di scansione*: in base all'asse intorno al quale può ruotare il sistema ottico-meccanico si ottengono diversi campi visivi. Possono variare da intervalli angolari, sia orizzontali che verticali, ben definiti (40x40°, 360°x80°) a campi quasi sferici (360°x320°).

Ulteriori caratteristiche che possono influire sulla scelta del prodotto da utilizzare sono la facilità di trasporto, la maneggevolezza, l'uso integrato di strumentazione fotografica e la possibilità di gestione direttamente in situ delle scansioni tramite software dedicati.

Per avviare il progetto di una campagna di acquisizione, si deve quindi individuare il tipo di laser in base alle esigenze di studio, ma non solo. Importanza fondamentale assume anche il soggetto da acquisire in base alla sua geometria e dimensione. Se i punti acquisiti dal laser si trovano mediamente a una distanza relativa inferiore rispetto alla dimensione delle discontinuità dell'oggetto, queste saranno visibili nel modello tridimensionale, mentre se i punti acquisiti hanno tra di loro una distanza superiore alla dimensione delle discontinuità presenti sull'oggetto, queste non saranno visibili nel modello 3D acquisito. Per questa ragione è necessario progettare il passo di scansione e la distanza di acquisizione per ogni posizione di rilievo.

Quando si intende acquisire un oggetto avente una semplice geometria, la distanza di presa non è l'aspetto più importante da considerare, ma lo è la densità di punti: se l'oggetto è particolarmente semplice non necessita di scansioni a elevata densità in quanto si avrebbe un'informazione eccessiva e una pesantezza di dati da elaborare.

Nel caso di un oggetto avente dimensioni ridotte, una scansione può essere sufficiente a descrivere l'oggetto nella sua interezza, altrimenti è necessario effettuare più scansioni da punti di vista differenti, procedimento da effettuare anche nel caso in cui frontalmente a una facciata vi sia un ostacolo e la parte retrostante non possa essere misurata.

Modellazione dei dati acquisiti

La fase d'acquisizione è seguita dall'elaborazione dei dati, la creazione del modello tridimensionale, l'estrazione degli elementi caratteristici e la riduzione del rilievo ad elementi classificabili e rappresentabili attraverso un disegno 2D o 3D.



Fig.12. Successione di operazioni per la modellazione della nuvola di punti.

Alle operazioni visibili all'interno dello schema [fig.12], può essere aggiunta una ulteriore fase in cui si integrano dati e/o modelli provenienti da altre acquisizioni, come i dati fotogrammetrici, utili per colmare e/o arricchire il dato di partenza.

Per permettere queste operazioni è necessario considerare la scala (o le scale) di rappresentazione finale del modello in base a lo scopo per il quale è concepito, dipendente ovviamente dalla risoluzione iniziale di acquisizione, programmata a priori, ma che può discendere anche da una scelta posteriore, per esempio se lo scopo della modellazione non è solo il restauro, ma anche la fruizione culturale, che non necessita quindi della stessa qualità.

Preparazione dei dati: allineamento, filtraggio e unione

◊ *Allineamento e georeferenziazione.* Quando si ha a che fare con campagne di acquisizione di grandi dimensioni, è necessario effettuare numerose scansioni, in cui le singole nuvole di punti ottenute sono riferite a un sistema di coordinate di tipo strumentale, cioè la cui origine coincide con il centro di emanazione del raggio laser. Per ottenere una rappresentazione

uniforme, tutte le nuvole di punti devono essere inserite in un sistema di riferimento comune [fig.13]; successivamente è possibile effettuare un'integrazione con dati geospaziali e riferiti a un sistema cartografico⁴².



Fig.13. Nuvola di punti 3D costituita da tre range scan allineati. Fonte: M. Sgrenzaroli, G.P.M. Vassena, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner Volume 1*, Brescia, Starrylink Editrice, 2007.

◊*Filraggio ed editing preliminare.* Le operazioni successive di editing riguardano l'eliminazione del "rumore"⁴³ e l'eliminazione di tutti quei punti non utili alla ricostruzione della superficie; queste operazioni sono le più delicate, poiché ne dipende la correttezza dell'intera ricostruzione.

42. M. Barbarella, M. Fiani, *Monitoring of large landslide by terrestrial laser scanning techniques: field data collection and processing*, European Journal of Remote Sensing, Taylor & Francis, 2013, pp.126-151. < <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.5721/EuJRS20134608?needAccess=true> >.

43. Scostamento irregolare dei punti rispetto alla superficie dell'oggetto rilevato. Dipende da diversi fattori di interferenza di tipo strumentale (eccessiva divergenza del fascio laser rispetto alla superficie, vibrazioni dello strumento), da fattori di posizionamento (eccessiva vicinanza dell'oggetto rilevato) e da fattori ambientali (interferenze per la presenza di elementi ad elevata riflettività, condizioni non ottimali di luce e umidità).

La prima viene eseguita in modo del tutto automatico tramite specifici strumenti di *smoothing* presenti nei software più comuni, mentre l'eliminazione dei punti non pertinenti (per esempio il cielo) può essere condotta sia automaticamente che manualmente. Questo approccio non è sufficiente, in quando spesso ci si imbatte in quelli che vengono definiti *non-ground points*, cioè quei punti che si trovano all'interno delle superfici rilevate e che solitamente corrispondono a manufatti ed elementi estranei (vegetazione, recinzioni, mezzi in movimento, persone, ecc.) i quali vengono acquisiti e memorizzati indistintamente durante le scansioni.

Esistono diverse metodologie che ne permettono la rimozione: può essere in parte effettuata manualmente selezionando, tramite ispezione visiva, i gruppi di punti da eliminare, oppure esistono metodi che si basano su una individuazione e classificazione automatica, o ancora è possibile ricorrere ad algoritmi basati sul riconoscimento dei contrasti cromatici tra differenti aree tramite i dati RGB derivanti dalle fotocamere digitali.

◊*Unione delle scansioni.* Questa operazione è del tutto automatica e non presenta particolari difficoltà, sennonché la sovrapposizione di tutte le scansioni provoca una sovrabbondanza e ridondanza dei punti fra loro. Tale disuniformità nella disposizione di punti deve essere opportunamente corretta al fine di ottenere una maglia di punti più regolare.

Ricampionamento e produzione del modello tridimensionale

◊*Ricampionamento.* Regolarizzare i punti e ridurre il loro numero è necessario per ottenere un dato più omogeneo e quindi di più facile gestione. Il processo è volto alla diminuzione la densità spaziale dei punti per eliminare il dato ridondante, rendendo la nuvola congruente rispetto alla scala nominale del rilievo da svolgere. La nuvola di punti viene inserita all'interno di un cubo, a sua volta diviso in otto cubi equivalenti; il processo di suddivisione si interrompe quando non si trova più alcun punto in un cubo o quando viene raggiunto un livello massimo prestabilito. In questo modo è possibile eliminare automaticamente punti troppo vicini, riducendone così il numero totale.

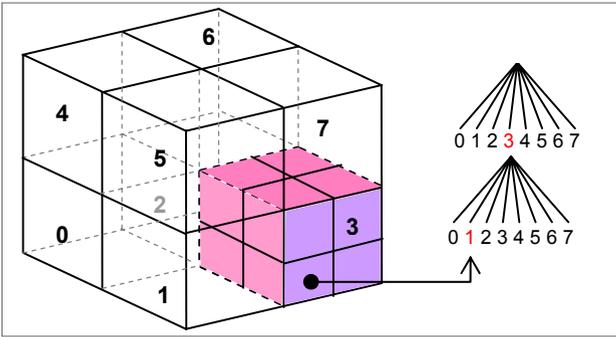


Fig.14. Principio di suddivisione. Fonte: D. Girardeau-Montaut, M. Roux, R. Marc, G. Thibault, Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner, Workshop Laser scanning 2005, 12-14 September.

◊*Generazione di superfici.* Questa fase può essere effettuata tramite due differenti procedure automatiche svolte interamente dal software di elaborazione: attraverso la *triangolazione* o *mesh poligonali*. Detta anche *triangolazione di Delaunay*⁴⁴, la triangolazione consiste nella generazione di una maglia continua di triangoli che descrivono geometricamente la superficie; ogni triangolazione massimizza il più piccolo angolo tra tutte le triangolazioni possibili. Tramite il TIN (*Triangulated Irregular Network*), generata da un algoritmo di interpolazione di Delaunay [fig.15], si riesce a descrivere in modo più uniforme l'andamento delle superfici naturali.

La triangolazione risulta tuttavia insufficiente alla descrizione di elementi aventi forme complesse: si ricorre quindi alle mesh poligonali, particolari triangolazioni che necessitano di processi più laboriosi e sono definibili di tipo tridimensionale, vale a dire che a una coordinata (x,y) possono essere associate più coordinate (z), dando modo di rappresentare in modo più efficiente la morfologia di qualsiasi elemento.

44. Una triangolazione di un insieme finito di punti viene detta *di Delaunay* se il cerchio circoscritto ad ogni triangolo è vuoto, ovvero nessun punto P vi giace all'interno.

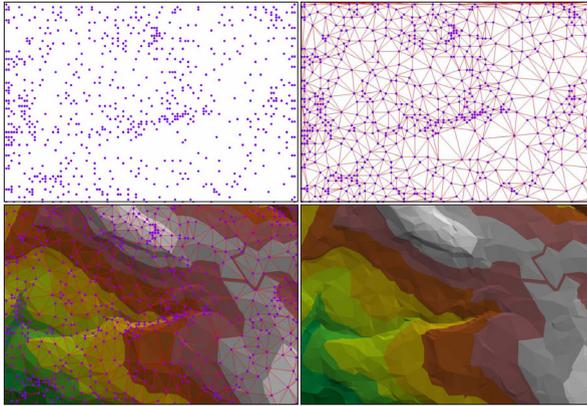


Fig.15. Step grafici per ottenere il modello TIN. Fonte: < <https://www.afdrones.it/rilievo-di-un-terreno-e-rappresentazione-con-triangoli/> >

✧ *Texturizzazione e visualizzazione del modello.* I modelli processati da dati laser scanner possono contenere una informazione cromatica associata, proveniente dall'acquisizione fotogrammetrica delle camere digitali integrate.

Data la qualità limitata delle immagini e che non tutti i laser scanner dispongono di questa integrazione, si può ricorrere a una apposita campagna fotogrammetrica.

La possibilità di applicare immagini bidimensionali su una geometria tridimensionale permette di migliorare il contenuto informativo, in quanto un modello foto-realistico semplifica la visualizzazione delle geometrie.

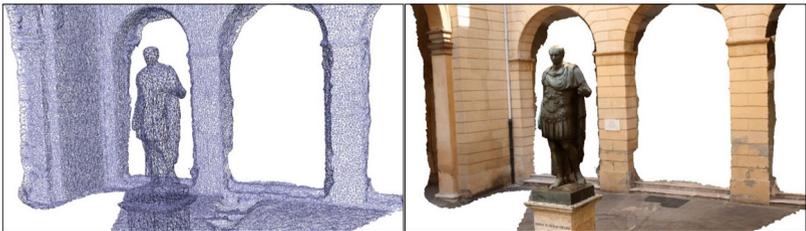
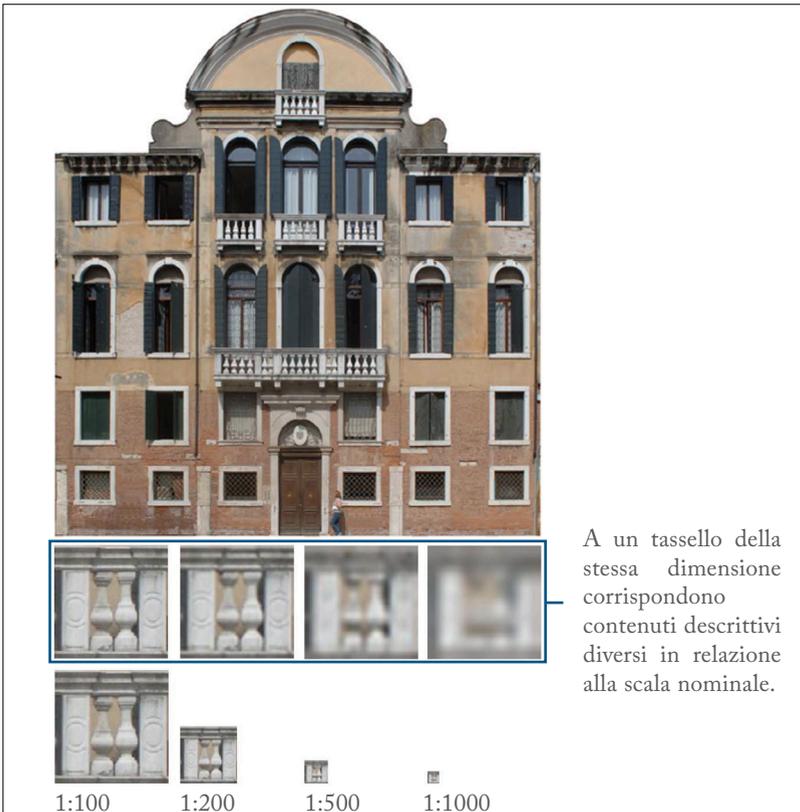


Fig.16. Mesh e texturizzazione. Fonte: < <https://3dmetrica.it/fotogrammetria-con-photoscan-parte-7-mesh-e-texture/> >

Modellazione multi-scala e multi-risoluzione

Tra gli aspetti più significativi, vi è anche l'opportunità di disporre in un'unica rappresentazione di informazioni metriche e qualitative a diversi livelli, utilizzabili per estrarre parametri dimensionali utili allo studio, al restauro e alla sua rappresentazione.

Modelli che presentano più livelli di informazione geometrica possono essere generati da sistemi di acquisizione e procedure di modellazione differenti, nei quali coesiste la presenza di più scale di rappresentazione e di più risoluzioni geometriche.



A un tassello della stessa dimensione corrispondono contenuti descrittivi diversi in relazione alla scala nominale.

Fig.17. Texture multiscala. Fonte: F. Guerra, A. Adami, P. Vernier, Realizzazione di modelli multiscala della città attraverso l'integrazione di tecniche 3D, in Conferenza nazionale ASITA, Bolzano, 2006.

È possibile distinguerli in:

- Modelli multi-scala. Le scale di rappresentazione derivano in genere dal rilievo, effettuato a diversa scala nominale secondo oggetti che hanno differente necessità di definizione di dettaglio. Per esempio, un sito archeologico necessita di scale di rappresentazione 1:2000, 1:1000, 1:500; un monumento, 1:200, 1:100, 1:50, 1:20, oggetti quali statue o frammenti di architettura, 1:10, 1:5, 1:1. Se tali soggetti (sito, architetture, oggetti particolari) devono convivere all'interno di modelli complessi, con una conseguente rappresentazione unitaria a diverse scale, si devono individuare sia delle strategie di rilievo che di integrazione, finalizzate alla multi-risoluzione.
- Modelli multi-risoluzione. Si deve bilanciare la componente geometrica e quella raster per garantire il mantenimento delle caratteristiche metriche e percettive dettate dalla scala nominale della rappresentazione;
- Modelli multi-scala e multi-risoluzione.

Estrazione dei dati

Dal modello tridimensionale «si ottiene, con rigore scientifico, la collocazione spaziale di ogni discontinuità della materia, delle sue componenti e dei suoi colori»⁴⁵ e si possono estrapolare differenti entità geometriche, a differenti scale di rappresentazione e in diversi formati, utilizzabili da altri specialisti che possono impiegarli per i loro studi.

Un utilizzo non secondario è quello relativo alla comunicazione e alla diffusione, sia scientifica che culturale, del manufatto e dei risultati degli studi condotti. La condivisione dei dati primari o dei modelli che ne derivano consente ai ricercatori di tutto il mondo di poter usufruire di una grande fonte di informazioni; a livello culturale, come già affrontato nel primo capitolo, ci sono molte realtà nazionali e internazionali che si stanno impegnando per digitalizzare il patrimonio a scopo divulgativo e per ottenere una partecipazione attiva dell'utente.

45. S. Sgariglia, *L'Athenaion di Siracusa: una lettura stratigrafica tra storia e segni*, Siracusa, LetteraVentidue, 2009, p.137.

Prototipazione rapida

Per realizzare un oggetto si possono adottare principalmente tre tipi di elaborazione radicalmente diversi: il *processo sottrattivo*, il *processo additivo* [fig.18] e la *formatura*. Il processo sottrattivo e la formatura sono quelli maggiormente diffusi, dove nel primo si elimina da un blocco il materiale non necessario fino a ottenere l'oggetto finale, mentre nel secondo viene utilizzato uno stampo nel quale viene colato il materiale.

Il processo additivo è caratterizzato da differenti processi di produzione molto diversi tra loro, ma accomunati da tre principi:

- Il prodotto viene realizzato partendo da un modello digitale tridimensionale;
- L'oggetto viene prodotto attraverso la sovrapposizione di strati di materiale;
- Il processo di produzione crea oggetti tridimensionali.

Ogni oggetto viene considerato dal software come costituito da tante sezioni orizzontali di spessore infinitesimo, convertendo così la gestione di stampa da tridimensionale in bidimensionale.

Alcuni dei vantaggi che presenta questo processo rispetto alle controparti possono essere riassunti in:

- Numero inferiore di elaborazioni tra il modello digitale e la produzione dell'oggetto;
- Minore necessità di risorse umane;
- Ampia varietà di forme geometriche stampabili;
- Elevata velocità di produzione di elementi elementari o complessi;
- Ottimizzazione del materiale utilizzato;
- Possibilità di ricostruire elementi danneggiati di oggetti reali.

Come il laser scanner, anche l'*additive manufacturing* è dipendente dalla precisione e accuratezza.

I fattori che influenzano questi due parametri sono:

- La precisione dimensionale, cioè i valori quantitativi forniti dai produttori delle stampanti e dai fornitori di materiale, che dichiarano l'accuratezza attesa. Tutte le tolleranze indicate si riferiscono a parti ben progettate su macchine ben calibrate.

- La deformazione o restringimento, cioè la probabilità che una parte si deformi o si restringa durante la fase di stampa. Ciò dipende in larga misura dalla progettazione, tuttavia alcuni processi producono parti intrinsecamente più a rischio di deformazione o restringimento.
- Il supporto, cioè la quantità di supporto utilizzato, che determina l'accuratezza di stampa di una superficie o di un elemento. Il suo svantaggio è quello di influire sulla finitura superficiale, poiché deve essere rimosso.

Altre caratteristiche da tenere in considerazione sono la grandezza della stampante, che limita quindi le dimensioni degli oggetti, la fragilità degli elementi, dipendente dal tipo di materiale utilizzato e il prezzo complessivo della stampante e del processo.

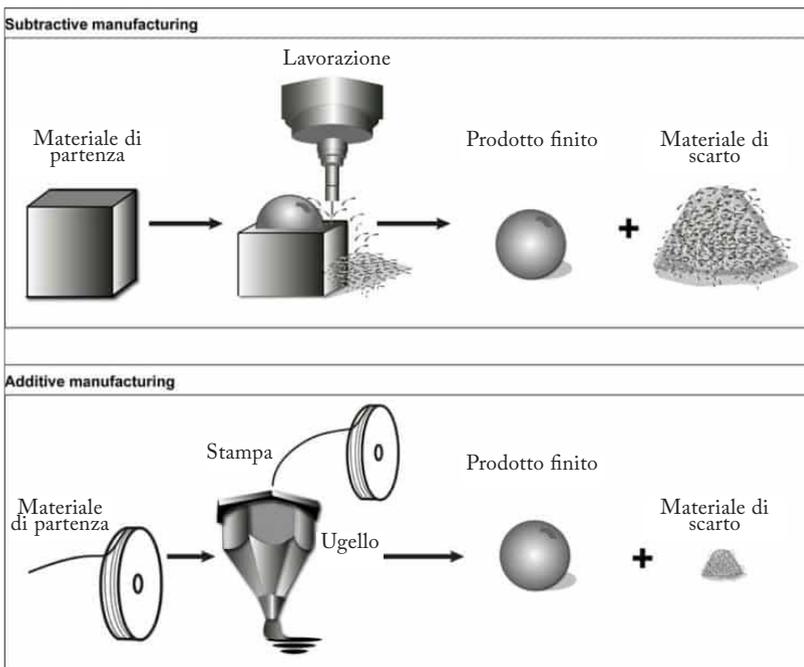


Fig.18. Sopra, produzione sottrattiva; Sotto, produzione additiva. Fonte: < <https://www.3dz.it/wp-content/uploads/2019/05/SM-vs-AM-768x632.jpg> >

TECNOLOGIE	Processo	Materiale utilizzato	Complessità	Velocità	Grandezza massima dei pezzi
Fused Deposition Modeling (FDM)	Strato di plastica fusa	Filamenti ABS, policarbonato, resina, nylon	++++	Discreta	30×30×50
Selective Laser Sintering (SLS)	Polvere plastica fusa a laser	Carta, plastica, metallo, vetro, ceramiche, compositi	+++	Veloce	30×40×60
Stereolithography (SLA)	Polimerizzazione scannerizzato da laser UV	Liquido polimerico, compositi	+++	Veloce	30×30×50
Photopolymer Jetting (POLYJET)	Getto inkjet con liquido fotopolimerico	Metallo, plastica, cera	+++	Veloce	39×31×19
Selective Laser Melting (SLM)	Polvere metallica fusa a laser	Metalli: rame, alluminio, tungsteno etc.	++	Discreta	28×28×36
Electron Beam Melting (EBM)	Polvere a selezione fusa tramite fascio di elettroni	Metalli: cobalto, cromo, nichel	+++	Veloce	20×20×20
Electron Binder Jetting (BJ)	Polvere distribuita tramite getto	Ceramica, metalli, plastica, sabbia, compositi	+	Veloce	40×20×10
Continuous Fibre Fabrication (CFF)	Doppio ugello posa/fusione	Plastica, carbone composito, nylon	++++	Discreta	32×43×16
Material Jetting (MJ)	Metodo inkjet con materiali ceramici	Cera	++	Lenta	30×18×20

Legenda:

+ Semplice; € Economico;
 ++ Discreto; €€ Discreto;
 +++ Complesso; €€€ Dispendioso;
 ++++ Molto complesso. €€€€ Molto dispendioso.

Accuratezza	Finitura della superficie	Punti di forza	Debolezze	Prezzo	Area di applicazione
Discreta	Discreta	Durabilità, ideale per modelli concettuali	Bassa risoluzione	€€	Aerospaziale, automotiva, industriale, medica
Buona	Discreta	Resistenza, durabilità, flessibilità	Necessità di post-elaborazione	€€	Aerospaziale, automotiva, prodotti di consumo
Molto buona	Molto buona	Alta resistenza; geometrie complesse	Solo materiali polimerici	€€€	Aerospaziale, automotiva, beni di consumo
Molto buona	Buona	Più materiali nello stesso momento	Solo materiali polimerici, non durevole	€€€	Dispositivi medici, prototipi
Discreta	Discreta	Manifatture ad alta densità	Prezzo, necessità di post-elaborazione	€€	Prodotti dentali, componenti meccanici
Discreta	Scarsa	Poco stress termico	Materiali limitati	€€€	Prodotti dentali, impianti medici, automotive
Discreta	Discreta	Non necessita di struttura di supporto; stampa multicolore	Fragile con limitate proprietà meccaniche	€	Architettura, strutture meccaniche
Discreta	Discreta	Parti robuste; non necessita di post-processo	Posizionamento limitato delle fibre	€€€	Aerospaziale
Molto buona	Buona	Alta risoluzione	Limitati materiali simili alla cera, necessità di supporto	€€	Prototipi per test

Fig.19. Tabella comparativa sulle Tecnologie di Stampa 3D. In evidenza quelle che verranno approfondite. Fonte: < <https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-IT.pdf> >

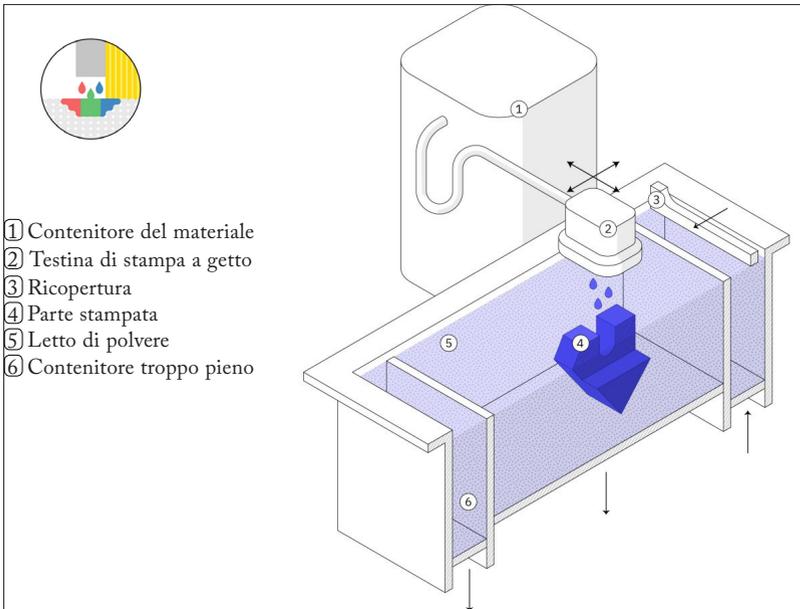
Binder Jetting (BJ)

Fig.20. Schema di una stampante 3D Binder Jetting. Fonte: < <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/> >

Nella tecnologia *Binder Jetting*, viene depositato un legante strato dopo strato sul letto di polvere, unendo queste aree insieme per formare una parte solida. I materiali comunemente usati sono metalli, sabbia e ceramica che si presentano in una forma granulare.

Il processo parte dalla deposizione, da parte di una lama di ricopertura, di un sottile strato di polvere sulla piattaforma di stampa. Un carrello con ugelli a getto, simili agli ugelli utilizzati nelle stampanti comunemente utilizzate, deposita selettivamente goccioline di un agente legante che legano insieme le particelle di polvere; in caso di un modello a colori, anche l'inchiostro colorato viene depositato durante questa fase. La dimensione di ciascuna goccia è di circa 80 μm di diametro, quindi è possibile ottenere una buona risoluzione.

Quando lo strato è completato, la piattaforma di stampa si sposta verso il basso e la lama ricopre nuovamente la superficie; il processo quindi si ripete fino al completamento dell'intera parte.

Al termine del processo, l'oggetto viene incapsulato nella polvere e lasciato polimerizzare, quindi la parte viene rimossa dal macchinario, la polvere in eccesso viene pulita tramite aria pressurizzata e l'oggetto subisce una fase di post-processamento, in base al tipo di materiale utilizzato.

Nel *Binder Jetting*, l'altezza dello strato dipende dal materiale: per i modelli a colori l'altezza tipica dello strato è di 100 micron, per le parti metalliche 50 micron e per stampi in sabbia 200-400 micron. Il volume di costruzione è tra i più grandi rispetto alle altre tecnologie di stampa 3D, fino a 2200 x 1200 x 600 mm e il prodotto non necessita di strutture di supporto: la polvere circostante fornisce al pezzo tutto il supporto necessario, agevolando quindi la fase di post-produzione, dalla quale derivano le imprecisioni geometriche.

Un vantaggio chiave rispetto ad altri processi di stampa 3D è da attribuire all'incollaggio, che avviene a temperatura ambiente, quindi le distorsioni dimensionali legate agli effetti termici non sono un problema.

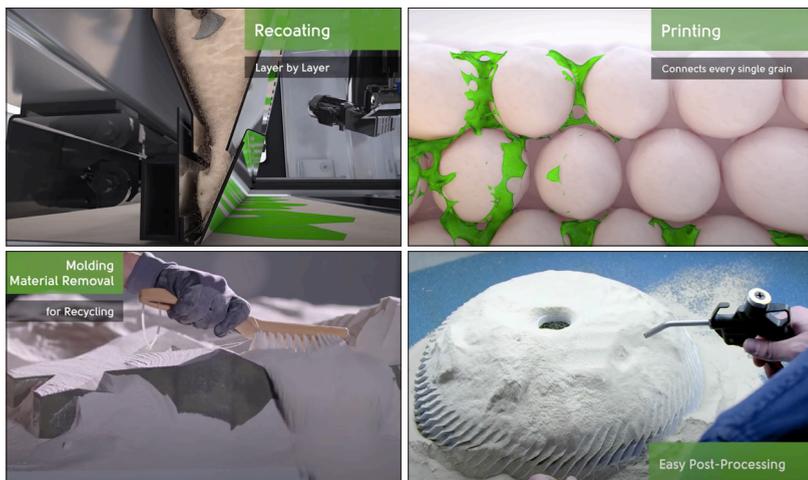


Fig.21. Fasi del processo di stampa. Fonte: < <https://www.exone.com/en-US/case-studies/what-is-binder-jetting> >

Selective Laser Sintering (SLS)

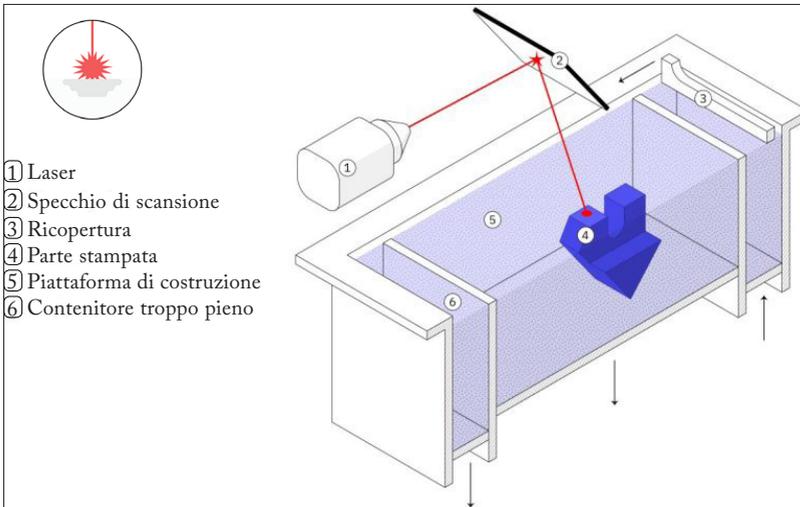


Fig.22. Schema di una stampante SLS. Fonte: < <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/#sls> >

La sinterizzazione laser selettiva (SLS) è un processo di produzione additiva che sinterizza selettivamente le particelle di una polvere polimerica, fondendole insieme strato per strato, e offre una elevata libertà di progettazione, elevata precisione e produce parti con proprietà meccaniche buone e coerenti, a differenza di FDM o SLA.

Nella stampante SLS il contenitore della polvere e l'area di stampa vengono riscaldati appena al di sotto della temperatura di fusione del polimero, una lama distribuisce un sottile strato di polvere sulla piattaforma di stampa e il laser scansiona il contorno dello strato e fonde insieme le particelle della polvere polimerica.

Quando lo strato è completo, la piattaforma di stampa si sposta verso il basso e la lama ricopre la superficie; il processo si ripete quindi fino al completamento dell'intera parte.

Dopo la stampa, le parti sono completamente incapsulate nella polvere non sinterizzata e il contenitore deve raffreddarsi prima che possano essere rimosse; operazione che può richiedere una notevole quantità di tempo (fino a 12 ore). Le parti vengono

quindi pulite con aria compressa o altri mezzi di sabbiatura a cui può susseguire una ulteriore lavorazione, mentre la polvere rimanente non sinterizzata viene raccolta e può essere riutilizzata. Un vantaggio chiave, come per la BJ, è che non necessita di strutture di supporto. L'altezza dello strato è 100-120 micron con una eccellente forza di adesione tra i vari strati, efficiente resistenza alla trazione e modulo, paragonabile al materiale sfuso, ma sono più fragili a causa della porosità interna della parte finale. La porosità conferisce alle parti SLS la caratteristica finitura superficiale granulosa, possono cioè assorbire l'acqua, quindi essere facilmente tinte in una vasta gamma di colori ma anche che richiedono una post-elaborazione speciale se devono essere utilizzate in un ambiente umido.

Altre peculiarità riguardano i restringimenti, le deformazioni e l'*oversintering*. Quando lo strato appena sinterizzato si raffredda, le sue dimensioni diminuiscono e si accumulano tensioni interne. Il restringimento dal 3 al 3,5% è tipico in SLS, ma è risolvibile durante la fase di preparazione della costruzione, regolando le dimensioni del progetto di conseguenza.

L'*oversintering* invece si verifica quando il calore radiante fonde la polvere non sinterizzata attorno a un elemento. Ciò può comportare la perdita di dettagli in piccole caratteristiche, come fessure e fori e dipende sia dalle dimensioni dell'elemento che dallo spessore della parete. Ad esempio, una fessura di 0,5 mm di larghezza o un foro con un diametro di 1 mm verrà stampato correttamente su una parete spessa 2 mm, ma queste caratteristiche scompariranno quando lo spessore della parete è di 4 mm o più.

Il materiale SLS più utilizzato è il poliammide 12 (PA 12), noto anche come nylon 12, che può essere riempita con vari additivi (come fibre di carbonio, fibre di vetro o alluminio) per migliorare il comportamento meccanico e termico della parte prodotta.

L'aspetto delle parti stampate in SLS può essere migliorato secondo uno standard molto elevato utilizzando vari metodi di post-elaborazione, come la lucidatura dei supporti, la tintura, la verniciatura a spruzzo e la laccatura.

Fused Deposition Modeling (FDM)

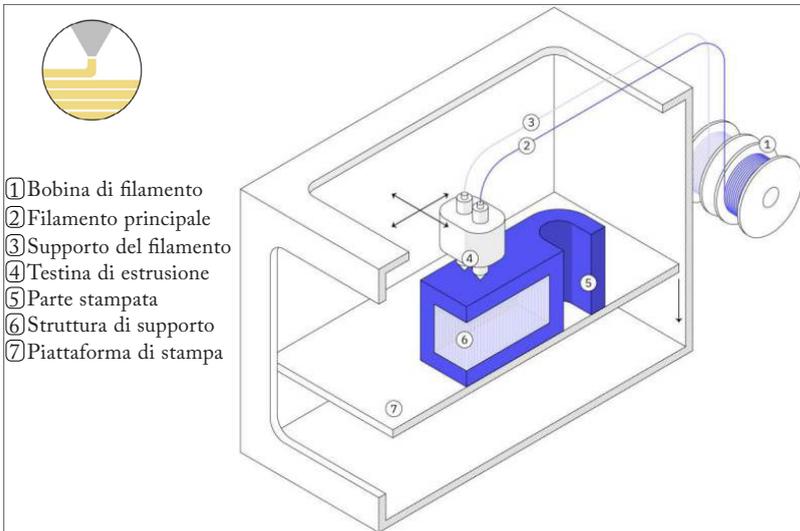


Fig.23. Schema di una stampante con modellazione a deposizione fusa. Fonte: <https://www.binarioprint.it/stampa-3d-preventivo-online/stampa-3d-polveri-sls-sinterizzazione/>

Con la modellazione a deposizione fusa, una bobina di filamento viene caricata nella stampante e collegata alla testa di un estrusore con libertà di movimento secondo gli assi x,y,z . Raggiunta una certa temperatura, il materiale fonde e viene depositato strato per strato sulla piattaforma, dove si raffredda e si solidifica. A volte il raffreddamento dello strato del materiale viene accelerato mediante l'uso di ventole fissate sulla testa di estrusione e, quando un livello è completo, la piattaforma di stampa si sposta verso il basso e il processo si ripete fino al completamento dell'oggetto. Solitamente è prevista una post-elaborazione, che consiste nella rimozione delle strutture di supporto o la levigatura della superficie. FDM è il modo più conveniente per produrre parti e prototipi termoplastici, ma presenta la più bassa precisione dimensionale e di risoluzione rispetto alle altre tecnologie di stampa 3D.

La maggior parte di queste stampanti consente la regolazione di diversi parametri del processo, inclusa la temperatura sia

dell'ugello che della base, la velocità di costruzione, la velocità della ventola di raffreddamento e l'altezza dello strato, che può variare tra i 50 e i 400 micron, mentre la dimensione di costruzione disponibile è comunemente di 200 x 200 x 200 mm e di 1000 x 1000 x 1000 mm per le macchine industriali.

La deformazione è uno dei difetti più comuni di questa stampante in quanto il materiale estruso si raffredda durante la solidificazione e le sue dimensioni diminuiscono: diverse sezioni della stampa si raffreddano a velocità diverse, provocando l'accumulo di tensioni interne che tirano verso l'alto lo strato sottostante, provocandone la deformazione.

Un ruolo fondamentale lo gioca la struttura di supporto, essenziale per creare geometrie con sporgenze, senza la quale il materiale non reggerebbe. Viene solitamente stampato nello stesso materiale della parte, ma esistono anche materiali di supporto solubili che permettono di migliorare notevolmente la qualità superficiale della parte, ma aumenta il costo complessivo di una stampa, poiché il costo del materiale è maggiore e sono necessarie macchine con doppia estrusione.

Uno dei principali punti di forza è l'ampia gamma di materiali disponibili, che possono variare da termoplastiche di base (come PLA e ABS) a materiali tecnici (come PA, TPU e PETG) e termoplastiche ad alte prestazioni (come PEEK e PEI).

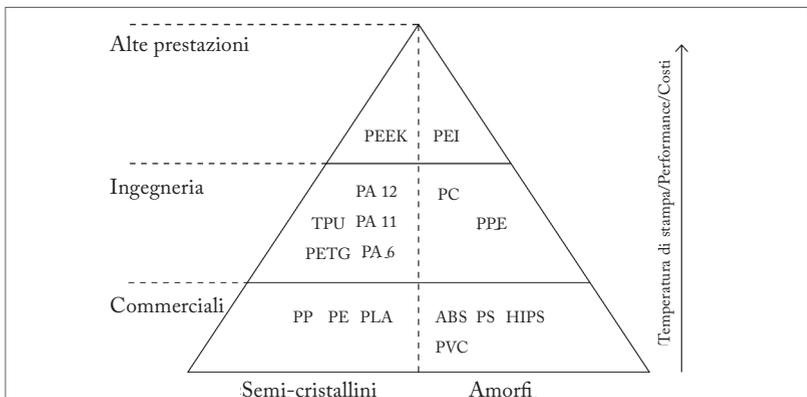


Fig.24. Piramide in materiali termoplastici disponibili in FDM. Più in alto è il materiale, migliori sono le sue proprietà meccaniche. Fonte: < <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/> >

Stereolithography (SLA)

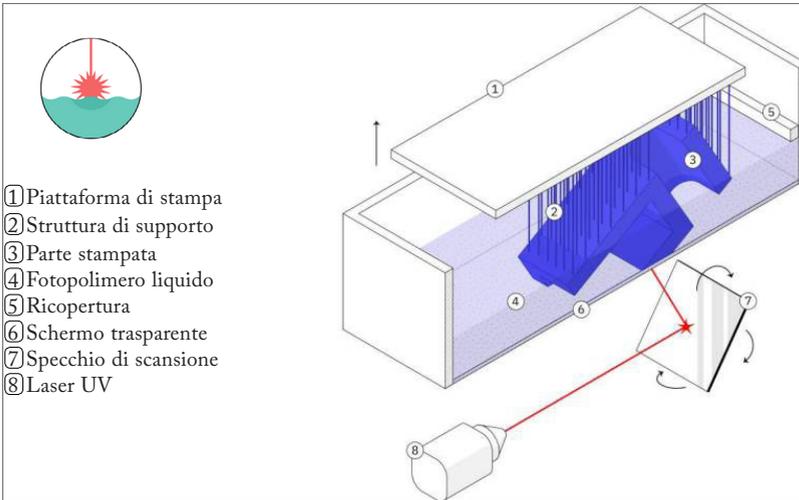


Fig.25. Schema di una stampante stereolitografica. Fonte: < <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/> >

La stereolitografia è un processo di produzione additiva che appartiene alla famiglia della fotopolimerizzazione con vasca: se sono necessarie parti di altissima precisione o con finitura superficiale liscia, SLA è la tecnologia di stampa 3D più conveniente disponibile.

L'oggetto viene formato tramite un raggio laser ultravioletto che polimerizza selettivamente una resina polimerica termoindurente e fotosensibile in forma liquida: il processo di fabbricazione avviene tramite il posizionamento della piattaforma di costruzione nel serbatoio del fotopolimero liquido, a una distanza di uno strato di altezza per la superficie del liquido, dove un laser UV crea lo strato polimerizzando e solidificando selettivamente la resina fotopolimerica. Quando uno strato è finito, la piattaforma si muove e una lama ricopre la superficie; il processo quindi si ripete fino al completamento della parte. Dopo la stampa avviene una ulteriore esposizione alla luce UV se sono richieste proprietà meccaniche e termiche molto elevate.

Per questa tipologia di stampante la maggior parte dei parametri

sono fissati dal produttore e non sono modificabili, se non l'altezza dello strato e l'orientamento dell'oggetto, che ne determina la posizione del supporto. Le macchine SLA industriali possono produrre parti molto grandi, fino a 1500 x 750 x 500 mm, mentre l'altezza tipica dello strato in SLA varia tra 25 e 100 micron: altezze inferiori degli strati catturano le geometrie curve in modo più accurato ma aumentano il tempo (e il costo) di costruzione e la probabilità di una stampa non riuscita, mentre l'altezza dello strato di 100 micron è adatta per le applicazioni più comuni.

La struttura di supporto è sempre richiesta nello SLA e sono stampate con lo stesso materiale della parte con rimozione manuale dopo la stampa. Ci sono due principali configurazioni della macchina SLA: l'orientamento dall'alto verso il basso e l'orientamento dal basso verso l'alto. Le stampanti SLA *top-down* posizionano la sorgente laser sopra il serbatoio, la piattaforma di costruzione inizia nella parte superiore della vasca di resina e si sposta verso il basso dopo ogni strato, quindi la parte viene costruita rivolta verso l'alto. Le stampanti *bottom-up* posizionano la sorgente luminosa sotto il serbatoio di resina e la parte è costruita a "faccia in giù", sono più facili da produrre e utilizzare, ma le loro dimensioni di costruzione sono limitate in quanto le forze applicate alla parte potrebbero causare il fallimento della stampa; le stampanti *top-down* invece possono scalare fino a dimensioni di costruzione molto grandi senza una grande perdita di precisione.

Uno dei maggiori problemi relativi alla precisione delle parti prodotte tramite SLA è il *curling*, simile alla deformazione in FDM: durante la solidificazione / polimerizzazione, la resina può ritirarsi leggermente e possono svilupparsi grandi tensioni interne tra il nuovo strato e il materiale precedentemente solidificato, che si traducono in un arricciamento del pezzo.

Le parti SLA possono essere rifinite secondo uno standard molto elevato utilizzando vari metodi di post-elaborazione, come levigatura e lucidatura, rivestimento a spruzzo e finitura con olio minerale.

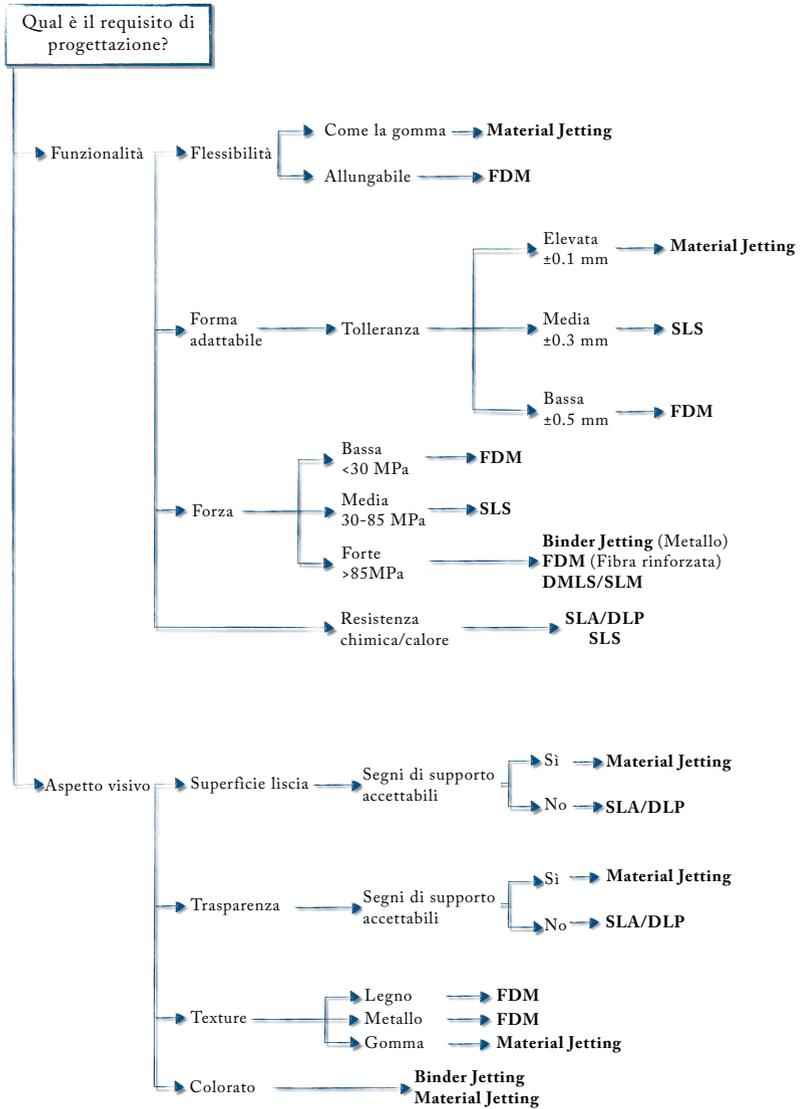


Fig.26. Guida per la scelta della stampante 3D.

Processo produttivo

⇧*Esportazione del modello.* Tramite il processo fotogrammetrico e laser scanning è possibile ottenere modelli tridimensionali utili alla prototipazione rapida. Per poter elaborare i dati è necessario esportare il modello in formato “.stl” (*Standard Triangle Language*), che utilizza la triangolazione dei punti per rappresentare le superfici di un modello solido; il modello 3D viene quindi convertito in linguaggio macchina (G-code⁴⁶) tramite un processo detto *slicing*.

Se si esporta il modello con una risoluzione troppo bassa si rischia di avere triangoli visibili sulla superficie in fase di stampa, viceversa, aumentare troppo la risoluzione non porta alcun vantaggio aggiuntivo, in quanto i dettagli molto fini non possono essere stampati in 3D, quindi la dimensione del file verrà aumentata inutilmente, rendendo più difficile la gestione e l'elaborazione.

⇧*Test di verifica, orientamento, distribuzione e G-code.* Questa fase riguarda la preparazione dei modelli digitali in cui si correggono eventuali errori, come spessori, fori, angoli e mesh, si inseriscono le strutture di supporto (manuale o automatica), si posiziona il modello sulla superficie di stampa secondo l'orientamento più appropriato e si genera il G-code.

⇧*Estrazione e post-elaborazione.* Una volta concluso il processo di stampa, è possibile estrarre l'elemento che sovente richiede operazioni di rifinitura, in base alla tecnologia impiegata e al tipo di materiale utilizzato:

- Rimozione delle strutture di supporto;
- Sabbiatura;
- Coating;
- Polimerizzazione.

46. Codici che permettono la traduzione del modello in istruzioni che la stampante è in grado di comprendere e interpretare.

3. APPLICAZIONI PER LA CONSERVAZIONE E IL RESTAURO DEL PATRIMONIO CULTURALE

«Il fine è, deve essere, di tutelare restaurando meglio che si può, ma anche meno che si può. Il miglior restauro è quello che non si fa, che non c'è bisogno di fare perché quadri e monumenti sono stati monitorizzati attentamente nel corso del tempo: in altre parole, perché su quei quadri e su quei monumenti è stata condotta una coerente e razionale opera di conservazione preventiva [...] il restauro è un intervento post factum, cioè riconosce un danno avvenuto e prova a limitarne (non a cancellarne) le conseguenze. Il vero problema, dunque non è eseguire restauri sempre migliori, ma fare in modo che le opere abbiano sempre meno bisogno di restauro».

Salvatore Settis

La conservazione si può definire come «l'insieme delle misure e degli interventi programmati e mirati a mantenere integra la condizione fisiologica e contestuale dei materiali costituenti il manufatto artistico accettandone il suo naturale declino»⁴⁷. Dal latino *conservatio*, il termine fa riferimento alla necessità di salvaguardare dal decadimento e dalla perdita un qualsiasi manufatto avente valore storico-artistico, archeologico, architettonico o paesaggistico tramite azioni, improntate sul rispetto e sulla protezione, che hanno come fine quello di trasmettere il patrimonio alle generazioni future.

Il restauro, invece, deriva dal latino *restauratio*, che indica rinnovamento, rifacimento, ripristino; l'obiettivo è quindi quello di eliminare le cause di degrado e le modifiche effettuate nel corso della storia dell'edificio e di restituirne la leggibilità.

Conservazione e restauro sono due lati della stessa medaglia, cioè entrambi svolgono operazioni volte al mantenimento dell'integrità del bene culturale nel corso del tempo, preferendo attuare opere di conservazione attraverso azioni programmate rispetto a opere di restauro.

47. C. Giannini, R. Roani, M. Picollo, G. Lanterna, D. Tapete, *Dizionario del restauro e della diagnostica*, Firenze, Nardini, 2010, p.55.

L'attività di conservazione programmata non deve essere intesa come semplice risultato di una sommatoria di azioni semplici ed effettuate in modo acritico; la qualità degli interventi è funzione della capacità di effettuare «azioni coerenti a partire da una conoscenza puntuale del bene e delle dinamiche che lo caratterizzano»⁴⁸. L'acquisizione della conoscenza non deve essere un processo a intermittenza, sconnesso da quelli avvenuti in precedenza e da quelli che verranno effettuati in futuro, ma costantemente in evoluzione. Ragionare in questi termini significa costruire un quadro strategico e coinvolgere soggetti diversi, ma anche impegnarsi a utilizzare le piattaforme digitali che ne permettono la condivisione.

Il *restauro virtuale*, definito come l'insieme di metodologie integrate *Computer Graphic* finalizzate alla modellazione virtuale di un bene culturale, consente sia la simulazione degli interventi e la loro programmazione, sia (soprattutto in campo archeologico) la ricostruzione ideale di un manufatto, agevolando la visualizzazione originaria dell'opera indipendentemente dal suo stato di conservazione e senza ricorrere a interventi invasivi.

Conservazione programmata

Nei beni culturali si fa sempre più riferimento al concetto di 'conservazione' piuttosto che di 'restauro' in quanto il fine deve essere la riduzione delle condizioni di rischio attraverso la pianificazione e realizzazione di interventi appropriati e compatibili per garantirne una migliore conservazione nel tempo. La manutenzione, come il restauro, necessita una programmazione che definisca metodi e strumenti e che preveda costanti controlli e monitoraggi. La Carta di Cracovia (2000) al punto 2 enuncia che «la manutenzione e riparazione sono una parte fondamentale del processo di conservazione del patrimonio. Queste operazioni devono essere organizzate tramite la ricerca

48. S. Della Torre, M. P. Borgarino, R. Moioli, *Dal restauro alla conservazione programmata del patrimonio storico architettonico*, Politecnico di Milano - Dipartimento ABC, 2011, p.7.

sistematica, le ispezioni, il controllo, il monitoraggio e le prove. Il possibile degrado deve essere previsto e descritto nonché sottoposto ad appropriate misure di prevenzione», è quindi di fondamentale importanza la conoscenza approfondita del bene a livello storico, le sue trasformazioni, le caratteristiche costruttive e materiche, lo stato di conservazione e gli interventi pregressi⁴⁹. L'art. 4 del Codice dei Beni culturali recita che «al fine di garantire l'esercizio unitario delle funzioni di tutela, ai sensi dell'articolo 118 della Costituzione, le funzioni stesse sono attribuite al Ministero per i beni e le attività culturali, [...] che le esercita direttamente o ne può conferire l'esercizio alle regioni [...]» impegnandosi anche a garantire la messa a punto e l'adozione delle metodologie per la documentazione digitale, come dimostra nel 2005 il MiBACT avviando una sperimentazione dei software ARISTOS⁵⁰ e SICaRweb, rendendo quest'ultimo obbligatorio per i lavori finanziati dal Ministero a partire dal 2011⁵¹. Altresi, all'art. 29 il Codice esplicita che «la conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro»⁵², quindi, facendo anche

49. M. Mattone, *Per una più diffusa sistematizzazione delle informazioni relative agli interventi di Restauro: il ruolo dell'Università*, in «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.3: *Tutela, pratica, codici e norme, Esperienze*, a cura di M. De Vita, Andrea Pane, Roma, Edizioni Quasar, 2020.

50. Utilizzato per la raccolta di documenti archivistici relativa alla storia della tutela delle opere d'arte, con particolare attenzione al restauro e alle sue problematiche.

51. M. Mattone, *Per una più diffusa sistematizzazione delle informazioni relative agli interventi di Restauro: il ruolo dell'Università*, in «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.3: *Tutela, pratica, codici e norme, Esperienze*, a cura di M. De Vita, Andrea Pane, Roma, Edizioni Quasar, 2020.

52. Comma 2: «Per *prevenzione* si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto»;
Comma 3: «Per *manutenzione* si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti»;

Comma 4: «Per *restauro* si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale e al recupero del

riferimento agli articoli 40 e 221 del D.P.R. 544/1999⁵³, è necessario stilare un'approfondita documentazione sul lavoro svolto e programmare le successive attività di prevenzione e manutenzione. Tuttavia il D.P.R. non è obbligatorio e non fornisce indicazioni chiare sul livello di dettaglio e sulle modalità della compilazione, che risulta spesso non esaustiva; inoltre, non prevedendo una sistematizzazione dei dati, la documentazione viene conservata presso la stazione appaltante e trasmessa in copia alla soprintendenza, risultando così non facilmente reperibile. Successivi interventi normativi, come la riforma dei contratti pubblici del 2016 e il decreto attuativo 154/2017, non risolvono né migliorano queste lacune. I piani di manutenzione e di conservazione programmata offrono un percorso lineare volto a una conoscenza continua e incrementabile. Sistemi informatici sistematizzati e in continuo aggiornamento possono ovviare la dispersione di informazioni, quindi forse il problema risiede nella difficoltà di collaborazione e nel mettere a disposizione il proprio lavoro, le conoscenze e scoperte.

bene medesimo, alla protezione e alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale».

53. Art.40: Comma 1: «Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico».

Comma 2: «Il piano di manutenzione assume contenuto differenziato in relazione all'importanza e alla specificità dell'intervento, ed è costituito dai seguenti documenti operativi: il manuale di uso; il manuale di manutenzione; il programma di manutenzione».

Art. 221: Comma 1: «Al termine del lavoro viene predisposta dal direttore dei lavori una relazione finale tecnico-scientifica, quale ultima fase del processo della conoscenza e del restauro e quale premessa per un eventuale e futuro programma di intervento sul bene, con l'esplicitazione dei risultati culturali e scientifici raggiunti, e la documentazione grafica e fotografica dello stato del manufatto prima, durante e dopo l'intervento; l'esito di tutte le ricerche e analisi compiute e i problemi aperti per i futuri interventi»;

Comma 2: «La relazione è conservata presso la stazione appaltante ed è trasmessa in copia alla soprintendenza competente».

Interventi di restauro

Restauro virtuale

Il *restauro virtuale* può essere definito come l'insieme di metodologie virtuali finalizzate alla visualizzazione e restituzione degli interventi possibili su un bene culturale.

Partendo dalla modellazione digitale del manufatto si ha una visione chiara e immediata della sua morfologia e del suo stato di conservazione, permettendo la simulazione degli interventi direttamente sul modello consentendo quindi la valutazione di differenti approcci e strategie. A seconda del tipo di intervento possono essere effettuati differenti modelli virtuali:

- *Modello dello stato di fatto.* Restituzione bi- tridimensionale di tutte le parti dell'edificio come base di lavoro;
- *Modello di ricomposizione.* Possibilità di assemblare parti frammentate di un monumento del quale si hanno le parti. In questo modo si possono visualizzare le informazioni volumetrico-spaziali e svolgere le relative valutazioni;
- *Modello di completamento.* Anche se non utilizzato per l'effettivo intervento di restauro, la restituzione e integrazione delle parti mancanti permette lo studio del bene e la fruizione culturale. Per esempio, in archeologia, la maggior parte degli elementi in esame sono allo stato di rudere e lo studio ricostruttivo è ritenuto di grande importanza;
- *Modello di recupero.* In caso di modelli di edifici caratterizzati da differenti destinazioni d'uso e/o ampliamenti, se ritenute di scarso valore storico-artistico possono essere oggetto di recupero della sua unità formale originale;
- *Modello di integrazione e ricollocamento.* In caso di elementi scultorei originali rimossi dalla loro collocazione originaria, è possibile lo studio del loro ricollocamento;
- *Modello di compatibilità estetica.* In caso di interventi che prevedono inserimenti architettonici per l'adeguamento funzionale è possibile visualizzare le soluzioni progettuali adottate;

- *Modello di pulitura.* Visualizzazione degli interventi di pulitura sul bene. Il modello permette di visualizzare sia il tipo di intervento che deve essere effettuato sia l'esito dello stesso, potendo allegare informazioni interrogabili.

Restauro materiale

Alla programmazione e simulazione degli interventi conservativi è possibile associare la prototipazione rapida, volta a svolgere opere di restauro integrativo, cioè interventi su opere lacunose con obiettivo principale il recupero di un'immagine completa in ogni sua parte.

Ottenuto il modello 3D digitale è quindi possibile utilizzare la tecnologia della prototipazione rapida per riprodurre elementi in modo accurato. La grande varietà tecnologica, di materiale e la versatilità delle stampanti 3D permettono di ottenere diversi gradi di dettaglio a costi più o meno elevati.

Il concetto di *versatilità* è molto importante in quanto le applicazioni delle stampanti 3D nel campo dei beni culturali sono molteplici; se ne citano alcune:

- Riproduzione di elementi mancanti o danneggiati di edifici storici;
- Riproduzione di frammenti di monumenti danneggiati;
- Sostituzione permanente o temporanea di monumenti originali per salvaguardarne l'integrità o per permetterne il restauro;
- Riproduzione di elementi o ambienti non più esistenti;
- Stampaggio dei negativi da utilizzare come stampi;
- Produzione di supporti per il trasporto di elementi fragili.

Da tenere in considerazione è la natura dei materiali che vengono messi in contatto con l'opera nel restauro integrativo e delle loro prestazioni nel corso del tempo; infatti se non è fondamentale che il materiale stampato in 3D sia lo stesso dell'opera originale, è invece fondamentale che sia funzionale al compimento ottimale dell'intervento e compatibile.

I sistemi informativi informatici

I sistemi BIM e GIS gestiscono informazioni differenti e con diversi livelli di dettaglio, comportando notevoli problemi di interoperabilità geometrica e semantica. Negli ultimi anni si sta studiando come questi due sistemi informatici possano entrare in relazione, ma in questo capitolo verranno analizzati separatamente.

Geographic Information System

La *SIT* (*Sistema Informativo Territoriale*), comunemente chiamato GIS dall'inglese *Geographic Information System*, è un sistema volto alla rappresentazione di elementi in maniera georeferenziata e integra differenti operazioni di database mostrandole attraverso una visualizzazione geografica (mappe), memorizzando le differenti informazioni tramite i *layers*. Documentare i restauri eseguiti su un'opera e conservare le informazioni relative al suo stato di conservazione per monitorarne le condizioni, costituiscono le due esigenze principali nel ramo conservativo. La conservazione delle informazioni si è sviluppata grazie alla sempre più numerosa quantità di dati, spesso difficilmente utilizzabili su interventi successivi, perché frammentari o non disponibili.

L'utilizzo del GIS consente di rielaborare i dati e le conoscenze acquisite, organizzandole e rendendole fruibili nel corso del tempo in modo da consentire il monitoraggio periodico, la conservazione programmata ed eventuali situazioni di emergenza.

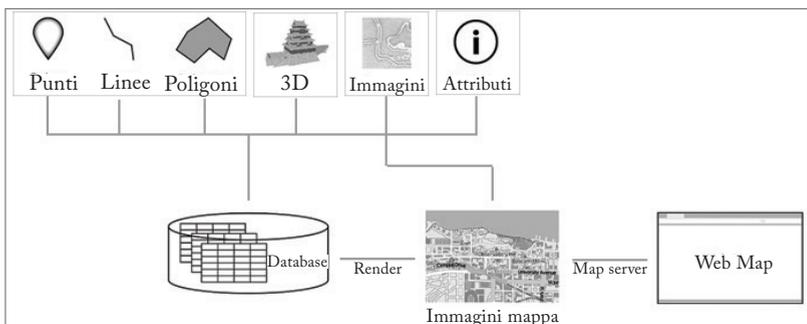


Fig.27. Composizione del SIT. Fonte: < [https://it.wikipedia.org/wiki/Geographic information system](https://it.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system) >

◊*Carta del Rischio*. Tra le esperienze più storiche del GIS vi è la Carta del Rischio del Patrimonio culturale, avviato negli anni Novanta e applicato al territorio con lo scopo di elaborare un sistema che permettesse di individuare i beni più esposti al rischio di degrado o perdita e di programmarne gli interventi necessari. Il sistema informativo e la banca dati sono dimensionati assumendo il monumento come elemento minimo georeferenziale e il comune come elemento minimo della scala territoriale.

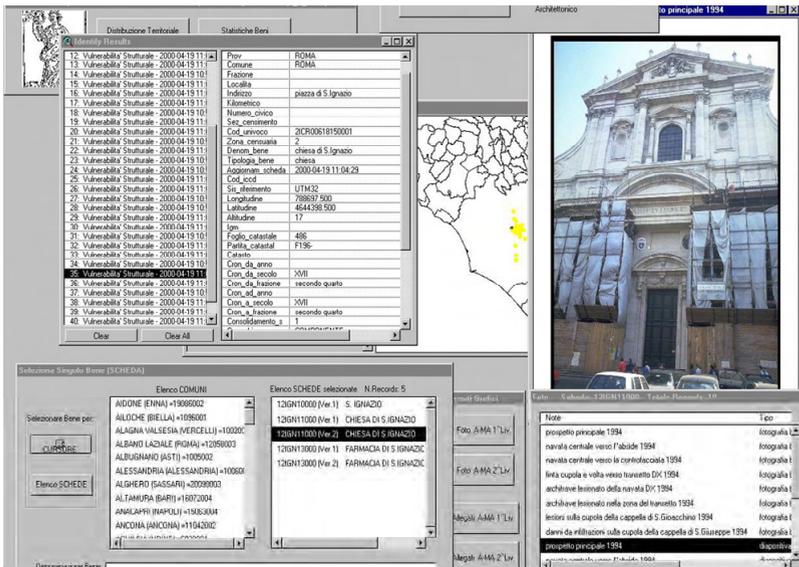


Fig.28. Schermata della piattaforma. Fonte: G. Accardo, C. Cacace, R. Rinaldi, *Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio*, in *ARKOS – Scienza e Restauro dell'Architettura*, Nardini Editore Anno VI – Nuova Serie- Aprile/giugno, 2005.

I Fattori di Rischio sono suddivisi in:

- Pericolosità Territoriale (P), che indica il livello di possibile danno da parte di una determinata area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno dei beni;
- Vulnerabilità Individuale (V), che indica il livello di esposizione del bene ai fattori ambientali in base al suo stato di conservazione.

La Carta del Rischio è quindi un sistema GIS che permette di «acquisire dati, organizzarli, analizzarli, individuare legami tra le cause dei fenomeni dannosi e gli effetti prodotti, utilizzando un riferimento topografico spaziale univoco e coerente, rappresentato dalla cartografia geografica di base (rilievi montuosi, fiumi, strade, etc) in cui, attraverso l'indirizzo geografico, si è compreso anche la localizzazione territoriale dei beni culturali»⁵⁴.

◊*SICaRweb (Sistema Informativo per i Cantieri di Restauro)*. Configurandosi come un sistema informativo *open-source* e *online*, permette la raccolta e sistematizzazione della documentazione (grafica, fotografica, alfanumerica), la georeferenziazione e la gestione dei cantieri di restauro, organizzate tramite schede tematiche.

L'organizzazione del SICaRweb permette di collegare, raggruppare e georeferenziare tutti i dati seguendo le esigenze del singolo manufatto. Permette agli operatori di mappare e consultare rappresentazioni bidimensionali misurabili delle aree del degrado identificate e degli interventi effettuati, di lavorare su dati geometrici o topo-iconografici e con informazioni alfanumeriche, tutto in tempo reale, favorendo la collaborazione tra diverse figure professionali. In tal modo il sistema garantisce una visione unitaria del bene in tutte le sue parti e permette di eseguire calcoli e statistiche, offrendo così un supporto valido per il monitoraggio e per la pianificazione di interventi futuri. A cantiere concluso è così disponibile tutta la documentazione prodotta, organizzata, archiviata e consultabile attraverso ricerche incrociate garantite dal sistema⁵⁵, che si presenta dunque come un grande archivio in cui confluiscono la documentazione storico-artistica, quella tecnico-scientifica e la restituzione grafica.

54. G. Accardo, C. Cacace, R. Rinaldi, *Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio*, in «ARKOS – Scienza e Restauro dell'Architettura», Nardini Editore Anno VI – Nuova Serie- Aprile/giugno, 2005, p.4.

55. F. Fabiani, R. Grilli, V. Musetti, *Verso nuove modalità di gestione e presentazione della documentazione di restauro: SICaR web la piattaforma in rete del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo*, in «Bollettino Ingegneri», Collegio degli Ingegneri della Toscana, 2016, 3.

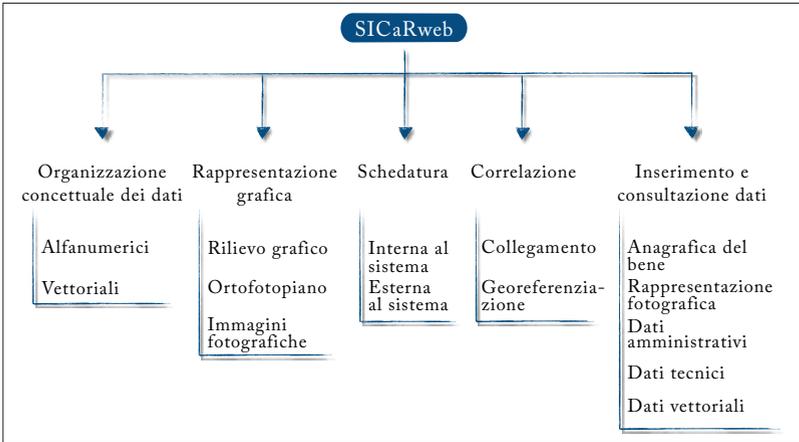


Fig.29. Schema strutturale del SICaRweb.

I dati gestiti sono suddivisi in alfanumerici e vettoriali. I primi sono strutturati in schede e raggruppati in differenti categorie:

- Dati generali
- Progetto/Consuntivo scientifico
- Diagnostica
- Interventi
- Archeologia dell'architettura
- Documentazione fotografica
- Dati esterni a SICaR

I dati vettoriali (o geometrici) sono invece costituiti dalla rappresentazione in scala dell'oggetto (ortofotopiani, rilievi, foto ecc.), che funge da base su cui l'utente può disegnare o importare file con estensione.dxf, suddivisi livelli e accorpati in Categorie e Sotto-categorie.

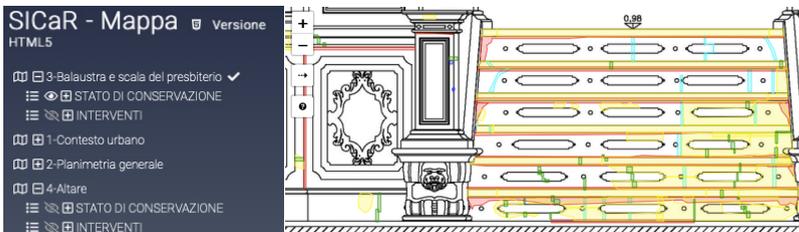


Fig. 30. Chiesa di Sant'Eufisio. Schermata dell'analisi dello stato di conservazione.

Fonte: < <http://sicar.beniculturali.it> >.

Building Information Modeling

Il BIM è un sistema informatico nato per le nuove costruzioni che consente ai professionisti di progettare, costruire e gestire gli edifici e le infrastrutture in modo più efficiente.

È possibile modellare elementi tridimensionali che includono dati associati a caratteristiche fisiche e funzionali, permettendo a più figure professionali di collaborare su modelli coordinati e fornendo a ciascuno informazioni precise su come ogni aspetto si colloca nel progetto globale, in modo da procedere in modo più efficiente.

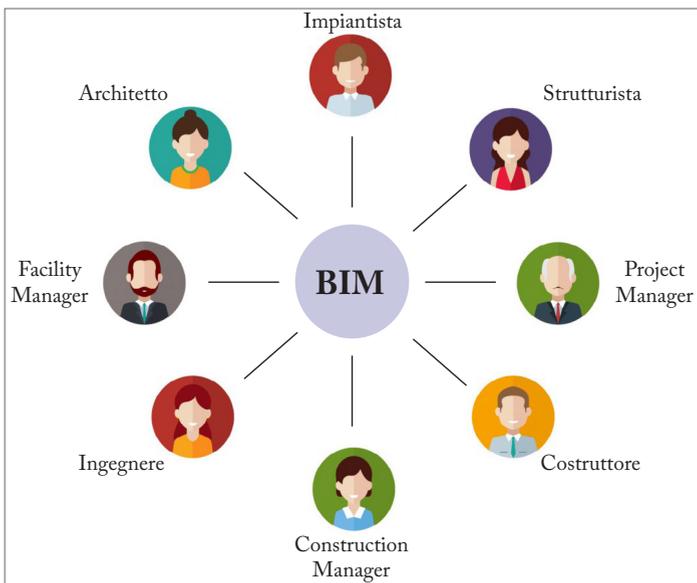


Fig.31. Interoperabilità BIM. Fonte: < <https://download.acca.it/Files/ebook-guida-al-bim.pdf> >.

I dati di un modello definiscono gli elementi del progetto e ne stabiliscono il funzionamento e le relazioni tra i vari componenti: quando un elemento del modello viene modificato, tale modifica viene applicata in tutte le viste (sezioni, prospetti).

Il BIM fornisce sia informazioni dettagliate sulla fattibilità di un progetto, migliorando l'efficienza e l'efficacia della fase di costruzione, sia una panoramica più precisa delle future attività di

gestione operativa, di manutenzione e ristrutturazione dell'edificio. L'obiettivo fondamentale del BIM è la definizione della rappresentazione complessiva del manufatto nel suo intero ciclo di vita, ottenibile precisando i dati dimensionali, qualitativi e quantitativi all'interno del modello o dei suoi singoli elementi. Un modello BIM infatti può contenere al suo interno informazioni relative ai diversi aspetti che lo caratterizzano (geometrici, energetici, strutturali, ecc.).

◊*HBIM (Heritage Building Information Modeling)*. Per l'analisi del costruito il BIM può consentire l'inserimento di conoscenze storiche e di ipotizzare interventi di manutenzione e restauro rappresentando l'edificio attraverso informazioni metriche ed elementi parametrici, cioè elementi ripetibili⁵⁶. Affinché il lavoro in BIM sia il più possibile efficace è necessario acquisire il più elevato numero di dati e informazioni specifiche partendo da una analisi storica, mentre per la raccolta di informazioni geometriche possono essere utilizzate le tecnologie quali il laser scanner, che consente di agevolare notevolmente la modellazione dei vari elementi e dei suoi componenti: si tratta di una fase delicata e complessa in quanto da una superficie tridimensionale, costituita da mesh, occorre passare a un modello 3D parametrico, composto da oggetti (muri, finestre, porte, etc.) che molto spesso non presentano caratteristiche di regolarità e ripetitività. Moderni software sono in grado di supportare le operazioni di generazione del modello BIM da nuvole di punti attraverso specifiche funzioni di vettorializzazione, ma ancora non ci sono i presupposti che permettano un uso efficace del BIM per il patrimonio costruito.

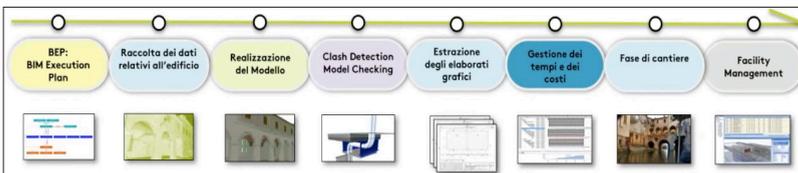


Fig.32. Fasi del processo HBIM. Fonte < <https://www.youtube.com/watch?v=Mebf8xYgvAk> >

56. Terzo Seminario Interdisciplinare Economia e Tecniche della Costruzione 5 Giugno 2020, < https://www.youtube.com/watch?v=qeKvE_eevkU >

Casi applicativi per la conservazione programmata e il restauro virtuale

Qui di seguito vengono riportati cinque casi applicativi come esemplificazione dell'uso delle nuove tecnologie per la conservazione programmata e il restauro virtuale.

SCHEDA I. ESEMPIO INTERFACCIA SICARWEB - FACCIATA DELLA CHIESA CERTOSA DI CALCI, PISA.

DAL SITO DEL SICARWEB È POSSIBILE EFFETTUARE UNA RICERCA TRAMITE TESTO E CATEGORIA DI LAVORO. NELLA SECONDA FIGURA È RAPPRESENTATA LA PRIMA INTERFACCIA CON I RELATIVI DATI E COLLEGAMENTI.

[+] FILTRI DI RICERCA

Scheda

- tutte
- documentazione fotografica
- opere mobili
- edifici
- cantieri di restauro
- studi diagnostici
- progetti di restauro
- cantieri pilota
- cantieri scuola

Testo da ricercare

Ordina per

Identificativo

Tipo ordinamento

Ascendente

N. Risultati

10

Scheda: cantieri di restauro

Autore: Valentina Musetti

Data: 2011

Tipo di bene: Architetonico

Descrizione:

La facciata è stata oggetto di un intervento di restauro conservativo promosso dalla Soprintendenza per le province di Pisa e Livorno, finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa e realizzato della azienda Restauroidalia Srl. L'intervento, realizzato dall'agosto del 2001 al giugno del 2002, ha interessato la facciata nella sua interezza: il paramento marmoreo, i gruppi scultorei, la vetrata, la scalinata d'accesso, gli affreschi, il portale e gli elementi architettonici e decorativi.

Inizio/fine lavori: agosto 2001 - giugno 2002

[+] GEOREFERENZIAZIONI (4)

[-] ANALISI (14)

[-] STATI DI CONSERVAZIONE (5)

[-] STUDI DIAGNOSTICI

[-] ALLEGATI (2)

[+] EDIFICI

[+] DATI DISPONIBILI PER IL GRUPPO DI LAVORO "PISA - CERTOSA DI CALCI"

TRAMITE “VERSIONE COMPLETA SCHEDA” È POSSIBILE OSSERVARE TUTTI I DATI INERENTI IL BENE, DALLO STATO DI CONSERVAZIONE, L'ANALISI, GLI INTERVENTI EFFETTUATI E COLLEGAMENTI ESTERNI.

Opera immobile

Riferimento Interno	SCHEDA A
Catalogo Generale ICCD (NCT)	09/00141112
Denominazione	Certosa di Calci
Dati catastali	Foglio 15/ Particella 71/ Sub. 2/63/64/66/67/68/72/73/154/171
Tipo	Certosa
Qualificazione	conventuale
Epoca	(inizio XIV secolo)
Ambito culturale	Maestranze pisane
Uso	Comprende il Museo di Storia Naturale e del Territorio gestito dall'Università degli Studi di Pisa - concessione d'uso dal 1978 -
Notizie storiche	<p>La costruzione dell'imponente complesso della Certosa di Calci è frutto di una serie di interventi che si sono susseguiti a partire dal 1366.</p> <p>L'attuale conformazione è quella settecentesca voluta dal Priore Maggi e portata a compimento da Niccolò Stassi.</p> <p>XIV SEC. (1366-1375)</p> <p>La fondazione della Certosa risale al 1366, quando un ricco mercante pisano lasciò la propria eredità per la costruzione del Cenobio. Alla fine del secolo il complesso, chiuso entro un muro di cinta costruito nel 1370, aveva già raggiunto l'impianto tipico delle case certosine. Fu costruita prima la chiesa e la cella del Priore (1375-1386), poi le altre celle intorno al chiostro grande (1375-1392), il refettorio (1378), le abitazioni dei Conversi (1383), il Capitolo (1386), e una foresteria (1392). Le celle erano costruite con le donazioni di famiglie devote. Ognuno occupava uno spazio rettangolare dove l'abitazione e il laboratorio si sviluppavano secondo un impianto a L per lasciare lo spazio al giardino, sistemato secondo il gusto personale del monaco che la occupava. Un portico con loggia faceva da transazione tra l'abitazione e il giardino; un altro portico, adiacente, era costruito verso il chiostro. Così, una volta definito il perimetro dell'area, l'accostamento delle celle, e quindi di tutti i frammenti di portico,</p>

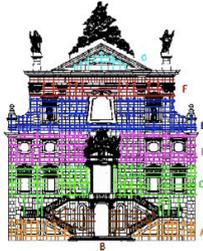
Stato di conservazione

Prima del restauro, le sculture presentavano numerosi fenomeni di degrado: depositi atmosferici di vario spessore, pellicole ad ossalato e consistenti attacchi biologici, diffusi su buona parte della superficie e penetrati nel substrato; questi risultavano di colore variabile dal nero, al bruno, al verde. Nei sottosquadri erano presenti, se pur non diffuse, croste nere. L'esposizione agli agenti atmosferici, alla pioggia battente e all'azione eolica, avevano provocato fenomeni di consunzione del marmo e di ossidazione degli elementi metallici. Erano inoltre presenti stuccature e integrazioni cementizie improprie.

Immagini



Analisi



Sigla campione/Area indagata	RT 0054/4
Data analisi/misurazione	2001
Data prelievo	24 luglio 2001 - 30 agosto 2001
Tipo analisi	Non Distruttiva > Indagine georadar
Operatore	IRMA DIAGNOSIS s.r.l. - Firenze - per conto di Restauro Italia s.r.l.
Descrizione metodologia	Sono state effettuate numerose scansioni verticali ed orizzontali suddivise in diverse "zone" in funzione della presenza dei ponteggi contrassegnate da lettere da A a G. Si è cercato di effettuare una copertura completa dell'area, con passate radar distanziate mediamente di 50 cm l'una dall'altra, sebbene in alcuni casi le scansioni siano state interrotte e presentino delle discontinuità a causa degli ingombri dovuti alla presenza dell'impalcatura. Il dato radar viene acquisito in forma grezza, senza cioè che vengano impostati dei fattori correttivi del segnale, evitando così errori di impostazione nelle fasi di acquisizione. Successivamente il dato viene inserito all'interno di un framework composto da processore, data-base e interfaccia CAD per la sua processazione (applicazione di algoritmi di pulitura del clutter del segnale), posizionamento su cartografia tramite la referenziazione impostata

L'intervento

Si è pertanto proceduto, dopo un'attenta campagna diagnostica, alla rimozione delle stuccature e ricostruzioni non idonee avvalendosi di mezzi meccanici e successiva stuccatura delle fessure e microfessure e delle porzioni tra gli elementi scultorei; al trattamento con agente biocida per l'eliminazione di attacchi algali, con iniezioni, impacchi e a pennello, in percentuale e tempi di posa adeguati alla consistenza del deposito da rimuovere, e rifinitura con bisturi e strumenti di precisione; alla pulitura delle porzioni interessate da croste nere con mezzi chimici e meccanici e rifinitura con bisturi e strumenti di precisione; al consolidamento a bario; alla riadesione di elementi scultorei staticamente non più idonei a mezzo di impregnature e resine adeguate previa pulitura delle interfacce; alla stuccatura delle commettiture; alla patinatura finale delle stuccature con terre naturali disciolte in resina acrilica applicata a pennello; al trattamento degli elementi metallici con prodotto convertitore e applicazione del protettivo finale; all' applicazione di protettivo superficiale finale.

Immagini



Collegamenti con altre schede

Dati Esterni

Titolo	Intervento di Restauro Italia sulla facciata della chiesa della Certosa di calci
Autore del dato	Francesca Fabiani, Francesca Falchini - Restauro Italia srl
Descrizione	Articolo "Splende di nuovo la Certosa di Calci" tratto dal periodico "VersiliaProduce" ANNO XIII 2005 n. 51, p.9
Tipo di contenuto	altro
URL/allegato	../group_resources/111/uploads/2017_01_28_11_12_49.pdf
Nome file originale	1135779691-Versilia_Produce.pdf_2.pdf.pdf
Data	2005

SICaR - Mappa Versione HTML5

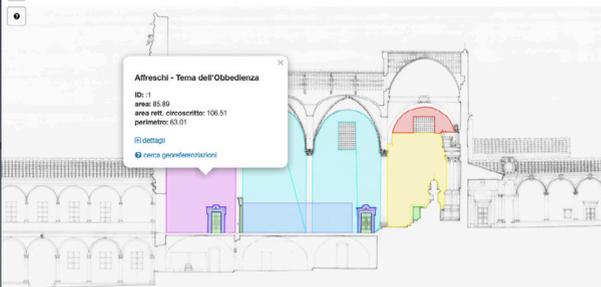
- AD1 CERTOSA pianimetria degli orti
- AD01 CERTOSA pianta I livello
- AD02 CERTOSA sezione
- AD03 FUNZIONI ORIGINARIE
- AD04 CANTIERI DI RESTAURO
- AD05 GESTIONE DEGLI SPAZI 2011
 - AD0501 concessa in uso gratuito e perpetuo (art. 1045 del codice di procedura civile)
 - AD0502 non soggetti in uso gratuito e perpetuo ai sensi dell'art. 1045
 - AD0503 comuni concessa in uso perpetuo e gratuito (art. 1045 del codice di procedura civile)
 - AD0504 comuni concessa in uso perpetuo e gratuito (art. 1045 del codice di procedura civile) (1)
- AD06 CERTOSA pianta II livello
- AD07 AD0701 FUNZIONI
- AD08 FUNZIONI ORIGINARIE
- AD09 CANTIERI DI RESTAURO
- AD10 ARCHITETTURA FUNZIONARI (1)
- AD11 GESTIONE DEGLI SPAZI 2011
- AD12 CERTOSA pianta III livello
- AD13 CERTOSA pianta IV livello e coperture
- AD1401 CERTOSA sezione longitudinale B9'
- AD1402 CANTIERI DI RESTAURO
- ED1 REFETTORIO pianta
- ED2 REFETTORIO sezione AA
- ED3 REFETTORIO sezione BB
- ED4 REFETTORIO sezione CC
- AD2 CERTOSA sezione orti AA
- ED03 CHIESA scala d'ingresso - sez. AA



20.36404 - 4.376

SICaR - Mappa Versione HTML5

- AD1 CERTOSA pianimetria degli orti
- AD02 AREE VERDI
- AD03 COLTIVAZIONI IN ATTO - 2005
- AD04 SPECIE ANBROSE ISOLATE
- AD05 SISTEMA DI CANTALIZZAZIONE
- AD06 MANUFATTI
- AD07 CANTIERI ARCHITETTURICI E FUNZIONARI
- AD08 DOCUMENTAZIONE FOTOFONOVISIVA
 - AD0801 cartografia fotografica (2004-2005) (part)
 - AD0802 GESTIONE DEGLI SPAZI 2011
- AD09 CERTOSA pianta I livello
- AD10 CERTOSA pianta II livello
- AD11 CERTOSA pianta III livello
- AD12 CERTOSA pianta IV livello e coperture
- AD1401 CERTOSA sezione longitudinale B9'
- ED1 REFETTORIO pianta
- ED2 REFETTORIO sezione AA
- ED3 REFETTORIO sezione BB
- ED4 REFETTORIO sezione CC
- AD2 CERTOSA sezione orti AA
- ED03 CHIESA scala d'ingresso - sez. AA
- ED04 CHIESA scala d'ingresso - sez. BB
- ED05 CHIESA scala d'ingresso - sez. BB
- ED06 CHIESA facciata con balaustra
- ED07 CHIESA facciata - sezione sulla scala
- ED08 CHIESA facciata - sezione sulla scala
- ED09 CHIESA facciata - sezione sulla scala
- ED10 CHIESA scala d'ingresso



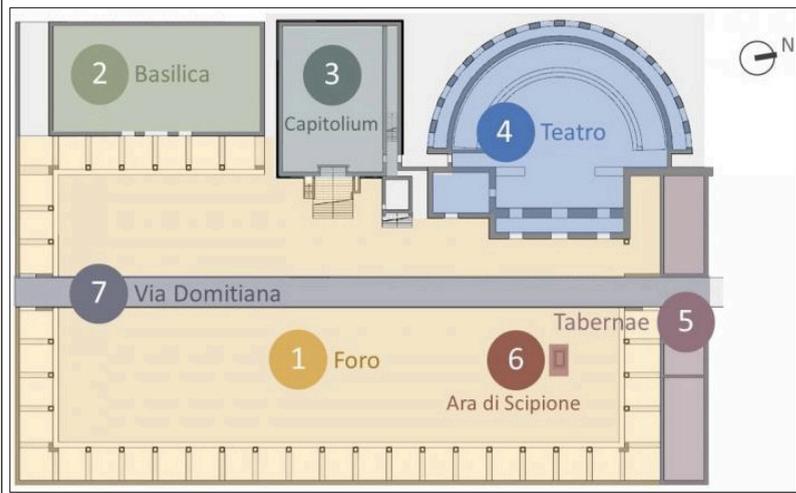
Atteschi - Tema dell'Obbedienza
ID: 1
area: 85.89
area net. dislocottor: 106.51
perimetro: 63.01
[i] dettagli
[c] cerca generalizzazioni

47.60672 - 1.5628

SCHEDA 2. HBIM. DIGITALIZZAZIONE DEL PARCO ARCHEOLOGICO DI LITERNUM, GIUGLIANO IN CAMPANIA (NA).

SITA NEL TERRITORIO A NORD DEL SITO ARCHEOLOGICO DI CUMA, LITERNUM FU FONDATA NEL 194 A.C., INSIEME A PUTEOLI E VOLTURNUM, COME COLONIA MARITTIMA PRESSO LA SPONDA SINISTRA DEL LAGO PATRIA E ASSEGNATA A TRECENTO VETERANI DELLA SECONDA GUERRA PUNICA, PROBABILMENTE APPARTENENTI ALL'ESERCITO DI PUBLIO CORNELIO SCIPIONE L'AFRICANO, CHE VI SI RIFUGIÒ ESULE IN UNA VILLA FORTIFICATA E, SECONDO LA TRADIZIONE, VI FU SEPOLTO.

IL PARCO ARCHEOLOGICO DI LITERNUM È COSTITUITO DA SETTE COMPONENTI PRINCIPALI: IL FORO, LA BASILICA, IL CAPITOLIUM, IL TEATRO, LE TABERNAE, L'ARA DI SCIPIONE E LA VIA DOMITIANA.



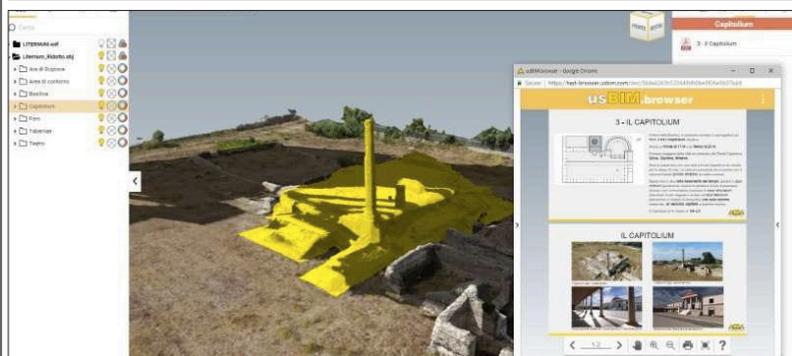
ACCA, IN COLLABORAZIONE CON CITTÀ METROPOLITANA DI NAPOLI E L'UNIVERSITÀ DI NAPOLI FEDERICO II – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA (DIARC), HA SVILUPPATO UN PROGETTO AVANZATO DI DIGITALIZZAZIONE DEL PARCO ARCHEOLOGICO DI LITERNUM, BASATO SU RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE E SULLA NUVOLO DI PUNTI, CHE HA CONSENTITO LA RICOSTRUZIONE DELL'ANTICA CITTÀ ROMANA E LA NAVIGAZIONE ANCHE IN REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA. L'INTERO PROCESSO SI BASA SU 3 FASI FONDAMENTALI:

- IL RILIEVO DELLO STATO DI FATTO: A PARTIRE DA FOTO REALIZZATE CON DRONE SI È PROCEDUTO ALL'APPLICAZIONE DELLA FOTOGRAMMETRIA, OTTENENDO LA NUVOLO DI PUNTI E IL MODELLO MESH CON TEXTURE DELL'ESISTENTE;
- LA RICOSTRUZIONE VIRTUALE 3D DELL'ANTICA LITERNUM: DOPO UN ATTENTO STUDIO DI TIPO ARCHEOLOGICO SI È PROCEDUTO A RICOSTRUIRE IL MODELLO CON UN SOFTWARE DI PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA BIM;
- MODELLAZIONE DEI VOLUMI: MODELLAZIONE EFFETTUATA GRAZIE ALL'USO DI APPOSITA PIATTAFORMA BIM.



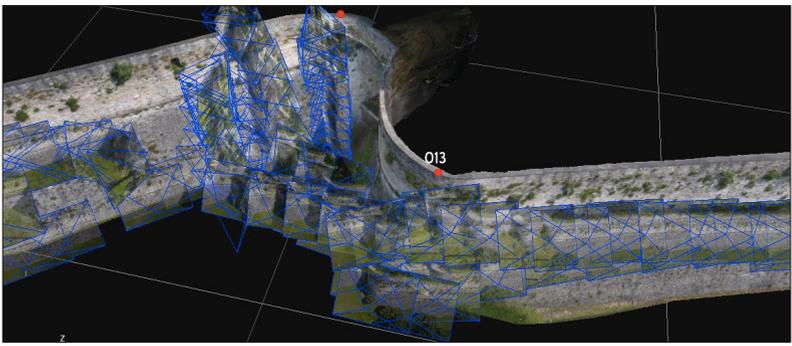
LO STATO ATTUALE È STATO RILEVATO CON UN DRONE CHE HA CONSENTITO DI ACQUISIRE UNA SERIE DI RIPRESE FOTO E VIDEO. LE FOTO SONO STATE SCATTATE SEGUENDO LE REGOLE CLASSICHE PER LA FOTOGRAMMETRIA. PER GLI SCOPI DA PERSEGUIRE NON È STATO NECESSARIO INTEGRARE IL RILEVO CON LASER SCANNER.

NELLA FASE SUCCESSIVA, LE FOTO SONO STATE ELABORATE CON UN OPPORTUNO SOFTWARE DI FOTOGRAMMETRIA, OTTENENDO NUVOLA DI PUNTI E SUCCESSIVAMENTE MESH CON TEXTURE. IL MODELLO OBJ (MESH CON TEXTURE) È STATO OPPORTUNAMENTE SCALATO E SUCCESSIVAMENTE SUDDIVISO NELLE SETTE COMPONENTI PRINCIPALI AI QUALI È STATA ASSOCIATA UNA SCHEDA PDF CON LE RELATIVE INFORMAZIONI.

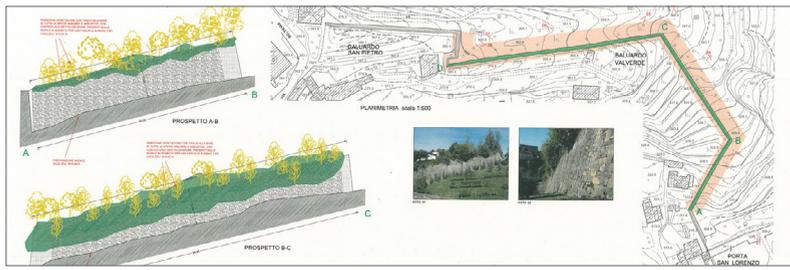
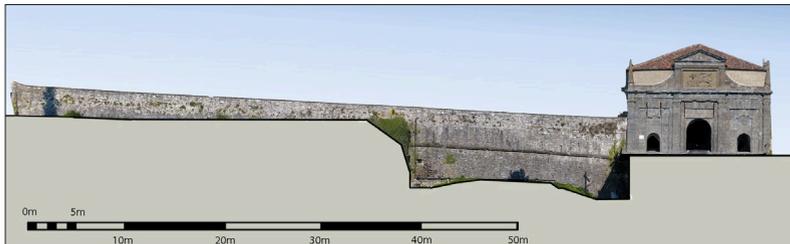
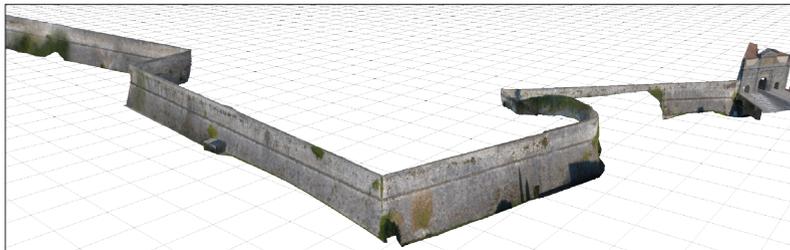


SCHEDA 3. PIANO DI CONSERVAZIONE DELLE MURA VENEZIANE DI BERGAMO.

LA CINTA MURARIA COSTRUITA NEL XVI DALLA SERENISSIMA REPUBBLICA DI VENEZIA È OGGI OGGETTO DEL PIANO DI CONSERVAZIONE DELLE MURA. REDATTO DALL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO IN COLLABORAZIONE CON L'UFFICIO DEI LAVORI PUBBLICI DEL COMUNE VENGONO PRESE COME RIFERIMENTO LE "LINEE GUIDA PER IL PIANO DI MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO" PROMOSSE DALLA REGIONE LOMBARDIA. GLI INTERVENTI DI CONSERVAZIONE SONO PRECEDUTI DA PERIODICHE FASI DI ANALISI EFFETTUATE TRAMITE ISPEZIONI DIRETTE IN LOCO E ATTRAVERSO UN CICLICO MONITORAGGIO DEL DEGRADO MATERICO CON L'UTILIZZO DEL RILEVAMENTO 3D CON FOTOGRAMMETRIA AEREA.



IL PIANO DI CONSERVAZIONE È UNO STRUMENTO CHE DEVE ESSERE AGGIORNATO NEL TEMPO, QUINDI NECESSITA DI UNA RACCOLTA EFFICACE DI DATI, IN GRADO DI SISTEMATIZZARE INFORMAZIONI DI DIVERSA NATURA, METRICA E QUALITATIVA. È STATO EFFETTUATO UN RILIEVO FOTOGRAMMETRICO CHE HA CONSENTITO ALLO STATO ATTUALE UN RILIEVO IN SCALA 1:200, CHE DOVRÀ SUCCESSIVAMENTE RAGGIUNGERE, DOVE NECESSARIO, LA SCALA 1:50. IL MODELLO TRIDIMENSIONALE OFFRE MIGLIORI OPPORTUNITÀ DI GESTIONE DEL LAVORO E, VISTA LA SCALA TERRITORIALE, LA COSTRUZIONE DI UN MODELLO BIM O GIS PERMETTEREBBE UNA MIGLIORE GESTIONE DELLA PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI.



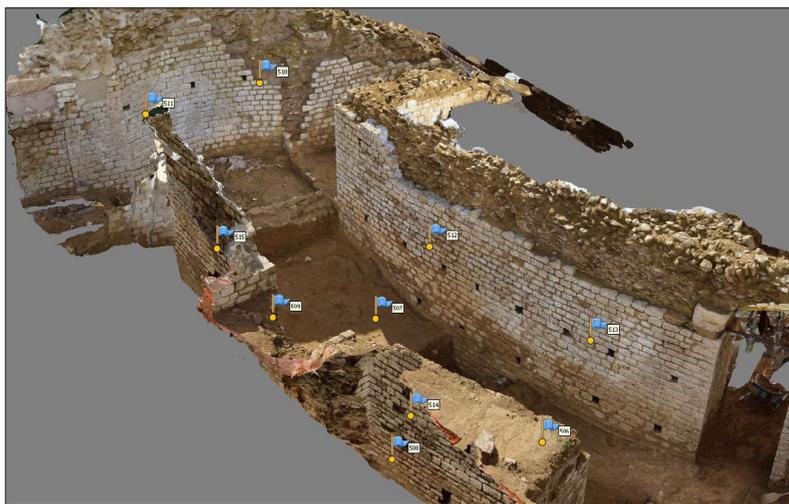
SCHEDA 4. SCAVO ARCHEOLOGICO, ANFITEATRO DI VOLTERRA (FI).

L'ANFITEATRO È STATO CASUALMENTE SCOPERTO NELL'ESTATE DEL 2015 NEL CORSO DI ALCUNI LAVORI DI RIPRISTINO DI UN CORSO D'ACQUA A SEGUITO DI UN NUBIFRAGIO. LA SCOPERTA DEL COMPLESSO, CHE DOVREBBE RISALIRE AL I SECOLO D.C., RISULTA DI PARTICOLARE IMPORTANZA IN QUANTO NON VI SONO TESTIMONIANZE SCRITTE RIGUARDO LA SUA ESISTENZA.



ATTUALMENTE È IN CORSO DI DEFINIZIONE LA CONTINUAZIONE DEI PROGETTI DI SCAVO, RESTAURO E VALORIZZAZIONE DEL MONUMENTO, MA SONO STATE EFFETTUATE LE PRIME ATTIVITÀ DI RILIEVO DA PARTE DELLA UNIVERSITÀ DI GENOVA, CHE HA DOCUMENTATO ED ELABORATO INFORMAZIONI GEOMETRICHE TRAMITE L'IMPIEGO DI DIFFERENTI SISTEMI TOPOGRAFICI CON LO SCOPO DI ACQUISIRE IL MAGGIOR NUMERO DI INFORMAZIONI NEL MINOR TEMPO POSSIBILE.

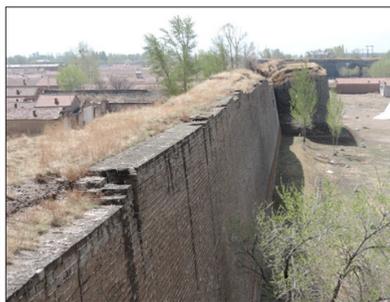
LA RICERCA ARCHEOLOGICA HA QUINDI VISTO L'IMPIEGO DI PROCEDURE DI RILIEVO IN GRADO DI PRODURRE DATI IN GRADO DI INTERAGIRE TRA DI LORO E FORMANDO COSÌ UNA BANCA DATI COSTITUITA DA DIVERSE INFORMAZIONI. I SISTEMI UTILIZZATI HANNO PRODOTTO SIA NUVOLE DI PUNTI, SIA MODELLI TRIANGOLARI DETTAGLIATI CHE, INSIEME ALL'IMPIEGO DEL COLORE, PERMETTONO DI RAPPRESENTARE LO STATO MATERICO DEL BENE. QUESTO TIPO DI RILIEVO, INSIEME AD ALTRI TIPI DI INDAGINE, HANNO CERCATO DI RISPONDERE ALLE DOMANDE EMERSE DOPO LA PRIMA FASE DI SCAVO AVVENUTA NEL 2015: LA RICERCA DEL DIMENSIONAMENTO DEL SITO, LA VALUTAZIONE DELLE PROFONDITÀ E DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE STRUTTURE. LE RISPOSTE RAGGIUNTE HANNO CONSENTITO LA PIANIFICAZIONE DELLA SECONDA FASE DI SCAVO AVVENUTA NEL 2016 E SARÀ UN SUPPORTO CHIAVE PER GLI SCAVI FUTURI.



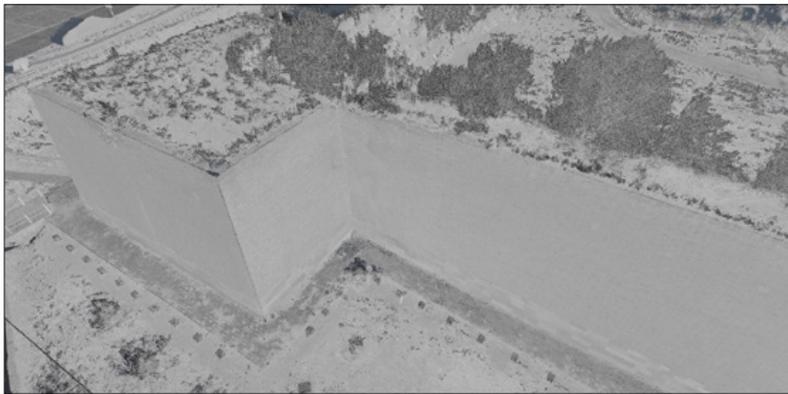
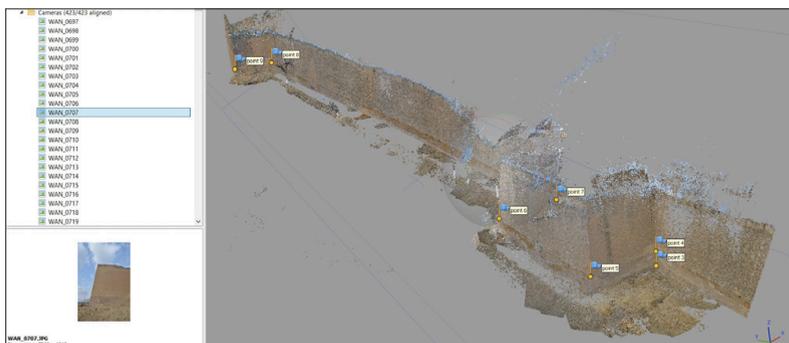
SCHEDA 5. LE MURA DELLA FORTEZZA DI WANQUAN IN CINA.

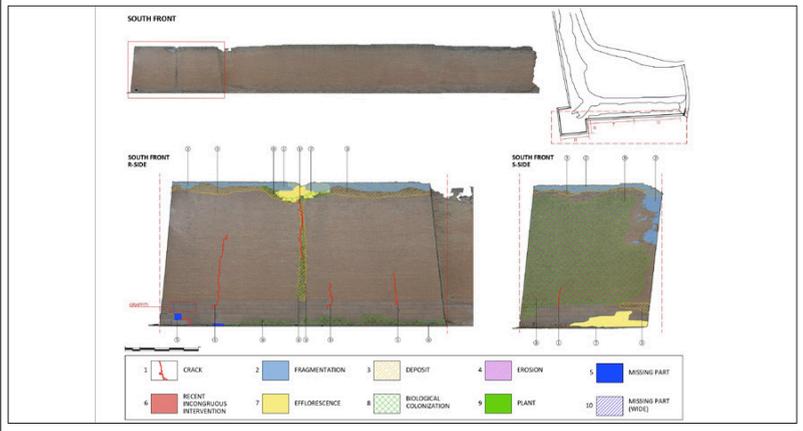
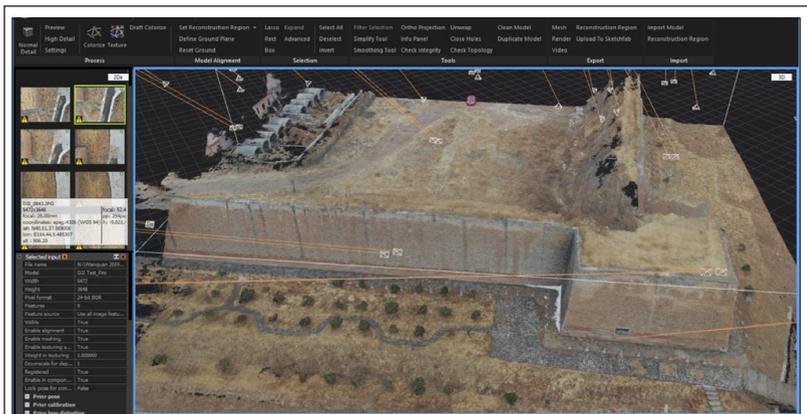
LA FORTEZZA DI WANQUAN SI TROVA NELLA LOCALITÀ DI WANQUANYOU, A CIRCA 200 CHILOMETRI A NORD OVEST DI PECHINO, CITTÀ STORICA RAPPRESENTATA DA UN CIRCUITO DI MURA RETTANGOLARE E FACENTE PARTE DI UN SISTEMA DI FORTIFICAZIONI ERETTE SUCCESSIVAMENTE ALL'ASCEA DELLA DINASTIA MING (1368-1644).

LE PARETI DELLA FORTEZZA, FORMATE DA TERRA BATTUTA RIVESTITA VERSO L'ESTERNO DA UN INVOLUCRO IN MATTONI, CINGONO UN'AREA DI 49.280 MQ E NEL GIUGNO 2006 LA FORTEZZA È STATA NOMINATA DAL CONSIGLIO DI STATO BENE CULTURALE DI INTERESSE NAZIONALE.



LE ACQUISIZIONI SUL CAMPO SI SONO TENUTE IN DUE SESSIONI NELL'ARCO DEL 2019, VOLTE A FORNIRE INFORMAZIONI QUALITATIVE E QUANTITATIVE SULLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE MURA DELLA FORTEZZA, PER POI ELABORARLE IN ITALIA NELLE SEDI FIORENTINE CHE HANNO DETENUTO L'INCARICO, DELINEANDO UN QUADRO CONOSCITIVO E GLI INTERVENTI DI RESTAURO NECESSARI. LE ATTIVITÀ DI RILIEVO SONO STATE EFFETTUATE TRAMITE LASER SCANNER, FOTOGRAMMETRIA TERRESTRE E FOTOGRAMMETRIA AEREA; LA DENSITÀ DELLA NUVOLA DI PUNTI E LA DIMENSIONE DEI PIXEL DEI FOTOGRAMMI HANNO PERMESSO LA RAPPRESENTAZIONE DEL BENE FINO ALLA SCALA 1:10, INCREMENTANDO COSÌ LA LEGGIBILITÀ DELLE TESSITURE MURARIE, DELLE ALTERAZIONI, DELLE ADDIZIONI E DELLE SOVRAPPOSIZIONI DI PRECEDENTI INTERVENTI.



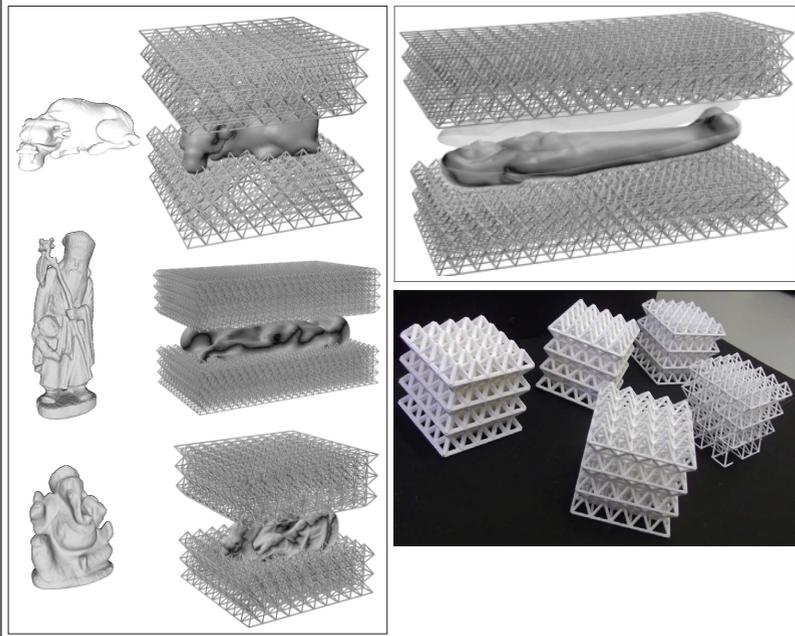


Casi applicativi relativi a interventi volti alla conservazione e al restauro di beni culturali

Vengono qui riportati tre casi applicativi come esemplificazione dell'uso delle nuove tecnologie per la conservazione e il restauro di beni culturali.

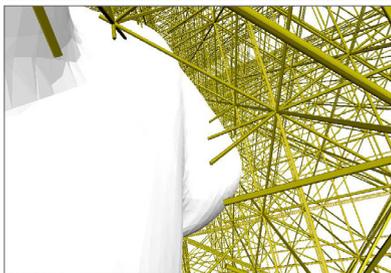
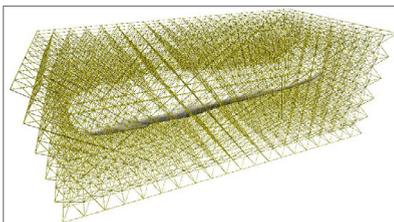
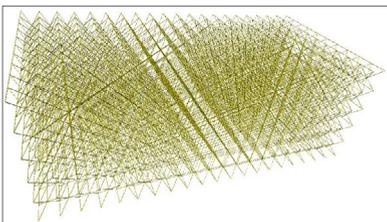
SCHEDA 6. TELAI PARAMETRICI 3D ADATTATI PER IMBALLAGGI DI MANUFATTI STORICI.

IN OCCASIONE DEL 13° SIMPOSIO INTERNAZIONALE SU REALTÀ VIRTUALE, ARCHEOLOGIA E PATRIMONIO CULTURALE VAST NEL 2012, È STATO PRESENTATO UNO STUDIO CHE TRATTA IL TEMA DEL TRASPORTO DI MANUFATTI STORICI. QUASI TUTTI I MUSEI DEVONO AFFRONTARE IL COMPITO DI PIANIFICARE E PROGETTARE SOLUZIONI DI IMBALLAGGIO QUANDO HANNO BISOGNO DI IMMAGAZZINARE O TRASPORTARE MANUFATTI IN ALTRI LUOGHI ED È UNA QUESTIONE COMPLESSA IN CUI UN'UNICA SOLUZIONE NON FUNZIONA PER TUTTE LE SITUAZIONI. GLI OBIETTIVI PERSEGUITI SONO L'ADATTAMENTO CORRETTO DELL'IMBALLAGGIO ALL'OGGETTO IN MODO DA SOSTENERNE IL PESO.



LA TECNOLOGIA DELLA PROTOTIPAZIONE PUÒ PRODURRE STRUTTURE UNICHE CHE POSSONO ADATTARSI PARAMETRICAMENTE ALLE DIMENSIONI E ALLA FORMA DI UNO SPECIFICO ARTEFATTO.

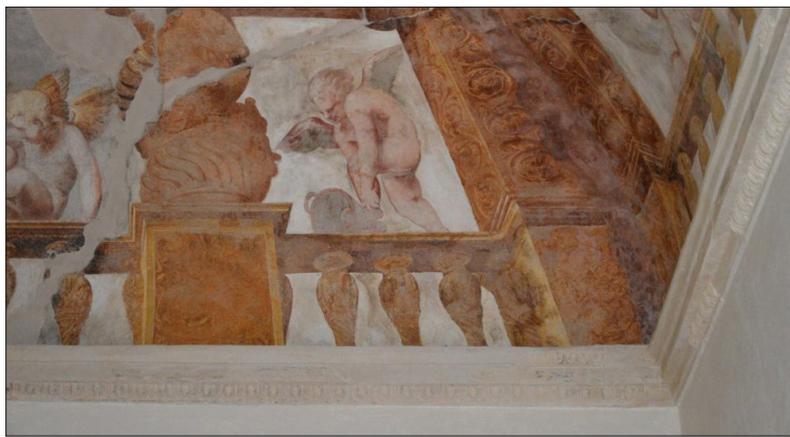
IL PASSAGGIO INIZIALE È OTTENERE UN MODELLO 3D (BASTA UN BASSO LIVELLO DI DETTAGLIO POICHÉ LA PRECISIONE MILLIMETRICA NON È QUASI MAI NECESSARIA) SUL QUALE SI PROIETTANO DEI RAGGI LA CUI DIREZIONE CORRISPONDE A QUELLA DELLE PIRAMIDI QUADRATE CHE SI DEVONO MODELLARE PER FORMARE IL SUPPORTO. IL PASSAGGIO SUCCESSIVO CONSISTE NEL CONVERTIRE I RAGGI IN UN INSIEME DI LINEE CHE VENGONO TRONCATE NEL PUNTO DI INTERSEZIONE CON IL MANUFATTO E VENGONO DIVISE IN DUE LASCIANDO UNO SPAZIO IN CUI IL MANUFATTO SI ADATTA PERFETTAMENTE ALLA CORNICE. INFINE, IL TELAIO VIENE TAGLIATO A METÀ IN MODO CHE QUESTO POSSA ESSERE APERTO E CHIUSO PER POSIZIONARE E RILASCIARE IL MANUFATTO ALL'INTERNO. IL PASSAGGIO FINALE CONSISTE NEL CONVERTIRE TUTTE LE LINEE IN PRISMI FORMANDO UNA TRAVATURA.



SCHEDA 7. PALAZZO DUCALE DI MANTOVA.

IL LAVORO SVOLTO AL PALAZZO DUCALE DI MANTOVA È STATO REALIZZATO NEL 2015 IN OCCASIONE DEL RECUPERO DELLA SALA 'CRISTOFORO SORTI'. QUEST'ULTIMA PRESENTA UNA VOLTA COMPLETAMENTE DIPINTA E, ALL'ALTEZZA DEL PIANO DI IMPOSTA È PRESENTE UNA CORNICE DECORATA DA UNA DOPPIA FASCIA: QUELLA INFERIORE PRESENTA ELEMENTI DI FORMA A OVULO, MENTRE LA FASCIA SUPERIORE È CARATTERIZZATA DA UN MOTIVO COSTITUITO DA ELEMENTI LANCEOLATI.

LA CORNICE PRESENTAVA NUMEROSE E AMPIE LACUNE, PERCIÒ L'OBIETTIVO DEL LAVORO È STATO QUELLO DI INTEGRARE LE LACUNE TRAMITE UNA SINERGIA TRA IL RESTAURO TRADIZIONALE E LE TECNOLOGIE DELL'INGEGNERIA INVERSA ATTRAVERSO LA PROTOTIPAZIONE RAPIDA.



PER RICREARE LE PARTI MANCANTI SI È DECISO DI RIPRODURLE SIA TRAMITE LA STAMPA 3D PER APPLICARLE ALL'INTERNO DELLE LACUNE, SIA ATTRAVERSO DELLE CONTROFORME (NEGATIVI), SEMPRE CON LA PROTOTIPAZIONE RAPIDA, IN MODO DA POTERLE UTILIZZARE COME STAMPI SU UNA BASE DI MALTA.

LA CAMPAGNA DEI LAVORI È STATA SUDDIVISA IN TRE FASI DISTINTE:

1. RILIEVO 3D DELLA CORNICE E CREAZIONE DEI MODELLI TRIDIMENSIONALI DIGITALI;
2. RIPRODUZIONE FISICA ATTRAVERSO LA STAMPA 3D DEI MODELLI;
3. INTEGRAZIONE DELLE LACUNE TRAMITE L'UTILIZZO DELLE RIPRODUZIONI EFFETTUATE.

LA PRIMA FASE HA VISTO LA REALIZZAZIONE DEL RILIEVO TRIDIMENSIONALE DI UNA PORZIONE BEN CONSERVATA DI ENTRAMBE LE FASCE DELLA CORNICE. IL MODELLO 3D OTTENUTO È STATO ELABORATO IN MODO DA OTTENERE DUE PRODOTTI DIFFERENTI:

- IL MODELLO 3D COME RIPRODUZIONE DIGITALE FEDELE CHE CORRISPONDE AL 'POSITIVO';
- IL NEGATIVO DEL MODELLO 3D DELLA CORNICE ORIGINALE.



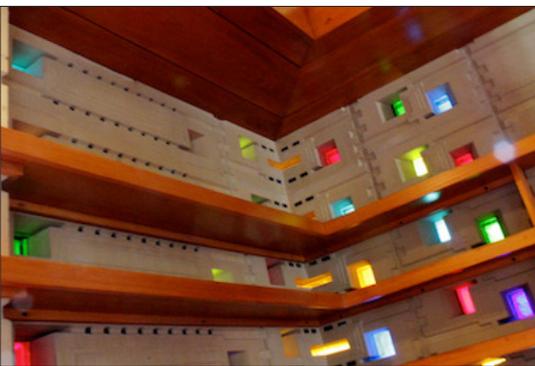
IL MODELLO STAMPATO COME NEGATIVO OVVIA AL PROBLEMA DI DOVER OTTENERE UN CALCO DELL'ORIGINALE TRAMITE GESSO, GOMMA SILICONICA O RESINE SINTETICHE, FACENDO SÌ CHE L'ACQUISIZIONE DELLA MORFOLOGIA AVVENGA SENZA ALCUN CONTATTO FISICO CON L'OGGETTO. LA SUA APPLICAZIONE È AVVENUTA SECONDO UNA TECNICA TRADIZIONALE: SU UNO STRATO DI MALTA MORBIDA È STATO APPLICATO LO STAMPO A PRESSIONE PER RICREARE LA SUPERFICIE DELLA DECORAZIONE.

PER QUANTO CONCERNE INVECE IL MODELLO 'POSITIVO' STAMPATO IN 3D, SI TRATTA DI UNA APPLICAZIONE SPERIMENTALE CHE HA COMPORTATO IL POSIZIONAMENTO DI DUE ELEMENTI ALL'INTERNO DELLE LACUNE.



SCHEDA 8. CAPPELLA ANNIE PFEIFFER, FLORIDA.

SITUATA NEL CUORE DEL CAMPUS E INTERAMENTE PROGETTATO DA FRANK LLOYD WRIGHT, LA PFEIFFER CHAPEL, CON IL SUO ICONICO CAMPANILE, È LA PRIMA CAPPELLA UNIVERSITARIA DELLA NAZIONE CON UN DESIGN ARCHITETTONICAMENTE MODERNO E CON I SUOI INTERNI DEFINITI DA IMPONENTI LUCERNARI A VOLTA. LA COSTRUZIONE DELLA CAPPELLA DURÒ DAL 1938 AL 1941 IMPIEGANDO ANCHE LA MANODOPERA STUDENTESCA CHE DURANTE LA GUERRA ERA COMPOSTA QUASI INTERAMENTE DA DONNE. WRIGHT UTILIZZA UN SISTEMA DI COSTRUZIONE CHE COMPRENDE 6000 BLOCCHI INSERENDO ARAZZI DECORATI CON 46 DISEGNI UNICI, FUSI DA ROCCIA SEDIMENTARIA E CEMENTO CHE NEL TEMPO HANNO INIZIATO A DETERIORARSI. IL PROCESSO DI RESTAURO È VOLTO ALLA SOSTITUZIONE DELLA MAGGIOR PARTE DEI BLOCCHI TESSILI SULLA PARETE OVEST DELLA CAPPELLA TRAMITE L'UTILIZZO DELLA PROTOTIPAZIONE RAPIDA.

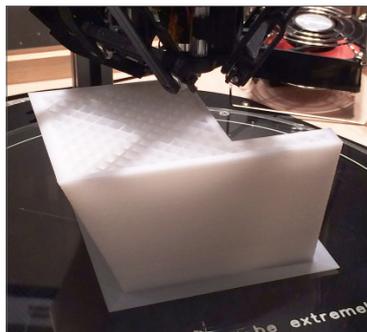
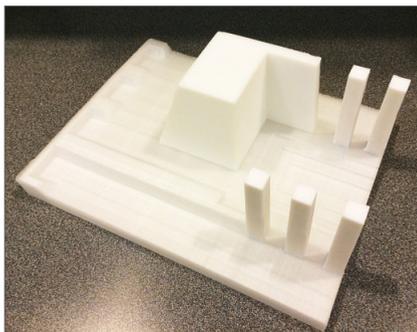


LA STRUTTURA HA SUBITO DANNI IN SEGUITO A UN URAGANO DEL 1944, UNA ERRATA CAMPAGNA DI RESTAURO DEL 1981 E DECENNI DI ESPOSIZIONE CHE HANNO COMPROMESSO GRAN PARTE DEI BLOCCHI DEL COMPLESSO, CON INFILTRAZIONI D'ACQUA CHE NE HANNO CAUSATO IL CEDIMENTO E CORROSO LE SBARRE DI FERRO CHE LI TENGONO INSIEME. IL DETERIORAMENTO È STATO AGGRAVATO DA UNA MANUTENZIONE DIFFERITA E DA RIPARAZIONI INADEGUATE.



I COSTI DI SOSTITUZIONE DEI BLOCCHI TESSILI CON METODI TRADIZIONALI RISULTAVANO PROIBITIVI, SI È PERCIÒ PROVVEDUTO A OPERARE LA SOSTITUZIONE TRAMITE LA MODELLAZIONE DIGITALMENTE DEI BLOCCHI, UTILIZZANDO LA PROTOTIPAZIONE RAPIDA PER STAMPARE DEI PROTOTIPI CHE FUNGESSERO DA 'NEGATIVI'.

ALCUNE ELEMENTI PIÙ DIFFICILI DA REALIZZARE RISULTANO I FORI PER GLI INSERTI IN VETRO FUSO. SI È PROCEDUTO A MODELLARE DEI MODULI POI STAMPATI IN 3D PER CREARE I VUOTI NEI BLOCCHI FINITI.



4. COMUNICARE IL PATRIMONIO CULTURALE: STRUMENTI E METODI

«Il problema della comunicazione, della trasmissione delle informazioni, dei 'racconti' che gli oggetti tutelati possono consentire, dovrebbe rivestire un carattere di urgenza e di importanza pari a quello della tutela medesima [...]»⁵⁷.

A. Ricci

Lo sviluppo tecnologico ha drasticamente mutato le modalità di comunicazione e di apprendimento e sempre di più, soprattutto tra i giovani, si riscontra poca attrazione verso siti archeologici, musei, esposizioni e ricerche *online* che comunicano con un approccio tradizionale, senza porre attenzione verso un criterio comunicativo in grado di raggiungere e interessare un ampio e diversificato pubblico. Un linguaggio specialistico associato a una scarna modalità di comunicazione rendono complessa la comprensione e, dunque, l'apprezzamento; se fosse invece accompagnato da una comunicazione multimediale renderebbe l'esperienza più suggestiva e soddisfacente.

Frutti di questo approccio sono le espressioni 'museo virtuale', 'museo interattivo' e 'museo multimediale', utilizzate per indicare differenti applicazioni della tecnologia in ambito museale.

Il museo virtuale è una rappresentazione digitale del museo reale e delle sue opere che utilizza il *web* per operare; il museo interattivo e multimediale è un sistema di installazioni multimediali, multisensoriali, virtuali, ecc. collocato in un ambiente fisico come accompagnamento alla visita per la comprensione dei beni esposti.

Di particolare interesse è il recente sviluppo della prototipazione che permette di introdurre nei percorsi di visita riproduzioni fisiche di ambienti e beni mobili la cui accessibilità reale è preclusa per diverse ragioni o come inclusione sociale per persone affette da cecità.

57. A. Ricci, *I mali dell'abbondanza. Considerazioni impolitiche sui beni culturali*, Roma, Lithos, 1996, p. 52.

Il turismo culturale e i musei interattivi e multimediali

Nel Codice etico professionale dell'ICOM⁵⁸ si enuncia che i musei acquisiscono, conservano, comunicano ed espongono i beni e le ricerche «che riguardano le testimonianze materiali e immateriali dell'umanità e del suo ambiente» a fini di «studio, educazione e diletto». È evidente che la comunicazione debba essere associata ad azioni mirate, che presuppongono scelte conservative e soprattutto applicative per la presentazione al pubblico⁵⁹. L'ICOMOS inoltre specifica che bisogna «facilitare la comprensione e l'apprezzamento dei siti patrimonio culturale e promuovere la consapevolezza e l'impegno pubblici nella necessità della loro protezione e conservazione» e «comunicare il significato dei siti patrimonio culturale a interlocutori diversi tramite un profondo e ben documentato riconoscimento di questo significato attraverso metodi riconosciuti di analisi scientifica e ricerche oltre alle tradizioni culturali viventi»⁶⁰.

Il principale fattore che rende problematica la comunicazione nel turismo culturale è la decontestualizzazione spaziale e temporale dei beni proposti, che «costituisce una chiave fondamentale per la loro interpretazione»⁶¹. Occorre quindi trovare modalità comunicative che favoriscano la curiosità e la comprensione del bene, promuovendo il coinvolgimento dell'interlocutore nell'esperienza conoscitiva con un ruolo attivo e non passivo, accedendo alle informazioni che ritiene più significative e

58. Il Codice etico dell'ICOM per i musei è stato elaborato dall'International Council of Museums. È il documento deontologico cui si fa riferimento nello Statuto dell'ICOM e riflette i principi generalmente accettati dalla comunità museale internazionale.

59. M.Piscitelli, *Comunicazione e fruizione del patrimonio culturale. Percorsi integrati, interattivi, multisensoriali*, Napoli, La scuola di Pitagora, 2017.

60. *The ICOMOS Charter for the interpretation and presentation of Cultural Heritage Sites*, detta Carta di Enane. Preparata sotto gli auspici del Comitato Scientifico dell'ICOMOS sull'Interpretazione e la presentazione dei siti patrimonio culturale (10 Aprile 2007). Ratificata dalla 16° Assemblea generale dell'ICOMOS, Québec (Canada), il 4 ottobre 2008.

61. M.Piscitelli, *Comunicazione e fruizione del patrimonio culturale. Percorsi integrati, interattivi, multisensoriali*, Napoli, La scuola di Pitagora, 2017, p.67.

osservando il bene nel suo contesto storico e geografico. Qui entra in gioco la ‘narrazione digitale’⁶², che utilizza la «tecnologia digitale per la parte descrittiva dell’allestimento» e «in alcuni casi particolari, il mezzo digitale della narrazione diventa anche l’oggetto unico della manifestazione, come accade per le mostre multimediali»⁶³.

Tuttavia è importante tenere presente che l’impiego delle risorse virtuali e tecnologiche viaggia su una linea sottile che separa la sua effettiva utilità dal mettere in ombra l’opera, proponendo delle narrazioni che potrebbero trasformare le visite culturali in un percorso prettamente ludico e non didattico, in cui il ‘divertimento’ nell’utilizzare la tecnologia sostituisce lo scopo per cui è stata concepita.

Alle motivazioni che indirizzano verso l’utilizzo delle narrazioni digitali si rende necessario aggiungere il ‘diritto alla cultura’, che include le persone diversamente abili⁶⁴ e vieta qualsiasi forma di discriminazione «fondata, in particolare, sul sesso, la razza, il colore della pelle o l’origine etnica o sociale, le caratteristiche genetiche, la lingua, la religione o le convinzioni personali, le

62. G. Battista, E. Sorbo, *Narrazioni digitali. Nuovi strumenti culturali e creativi per l’inclusione sociale*, in «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.1: *Tutela, pratica, codici e norme*, a cura di A. Aveta, E. Sorbo, Roma, Edizioni Quasar, 2020, p.756.

63. G. Battista, E. Sorbo, *Narrazioni digitali. Nuovi strumenti culturali e creativi per l’inclusione sociale*, in «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.1: *Tutela, pratica, codici e norme*, a cura di A. Aveta, E. Sorbo, Roma, Edizioni Quasar, 2020, p.754.

64. Nel Codice BB. CC., l’art.6 al punto 1 recita: «La valorizzazione consiste nell’esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale e ad assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso, anche da parte delle persone diversamente abili, al fine di promuovere lo sviluppo della cultura» e, ancora, le linee guida per il superamento delle barriere architettoniche nei luoghi di interesse culturale del 2008 recita: «Il testo si propone dunque come strumento per stimolare la riflessione su un tema la cui complessità viene spesso sottovalutata (si pensi ad esempio alle cosiddette “barriere percettive” quasi sempre ignorate), al fine di superare la prassi corrente della mera “messa a norma”, evidenziando come le problematiche connesse con l’accessibilità costituiscano la base stessa della progettazione e della disciplina del restauro».

opinioni politiche o di qualsiasi altra natura, l'appartenenza ad una minoranza nazionale, il patrimonio, la nascita, gli handicap, l'età o le tendenze sessuali»⁶⁵.

È possibile coinvolgere diversi *target* di utenza attraverso visite multilingue e percorsi differenti in base, per esempio, all'età e, altresì, attuare una strategia di comunicazione in grado di soddisfare le esigenze di chi soffre di una disabilità sensoriale, in quanto «per i non vedenti e per gli ipovedenti sussiste non solo una difficoltà di accesso, orientamento e sicurezza negli spostamenti in un ambiente, [...] ma altresì di conoscenza degli oggetti esposti»⁶⁶. In questo senso la stampa 3D permette la comprensione dei beni culturali, dal monumento alle opere pittoriche e fotografiche. Non essendo più necessario utilizzare i calchi per la riproduzione, i vantaggi sono evidenti sia dal punto di vista della conservazione dell'originale, sia dal punto di vista dei costi. La vista e l'udito smettono di essere il canale unico per la fruizione, dando la possibilità di conoscere opere sia bidimensionali, come un dipinto, sia tridimensionali.

Il turismo culturale e i musei virtuali

Il patrimonio culturale italiano grazie alla sua ricchezza attira ogni anno importanti flussi di visitatori, che tendono però a concentrarsi in massa su un numero limitato di attrazioni. L'utilizzo delle tecnologie digitali può essere un canale utile anche per la valorizzazione di musei e luoghi culturali che non risultano possedere abbastanza attrattività, basti pensare alla differenza sostanziale di flusso turistico tra il sito archeologico di Ercolano e quello di Pompei⁶⁷.

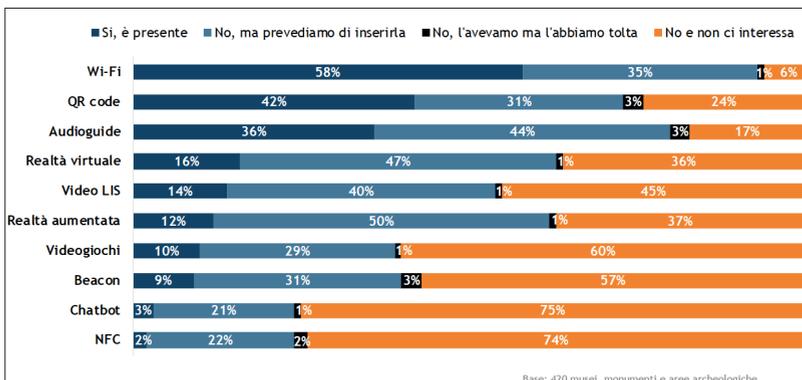
65. Carta dei diritti fondamentali dell'Unione Europea, art.21.

66. M. L. Corradetti, *La visita in un museo di una persona non vedente o ipovedente: strumenti cognitivi e rapporto con la guida museale*, in < <https://rivista.clionet.it/vol2/societa-e-cultura/polis/corradetti-la-visita-in-un-museo-di-una-persona-non-vedente-o-ipovedente> >.

67. Secondo i dati riportati dall'Ente Bilaterale Nazionale del Turismo , nel 2013 il sito di Pompei ha ricevuto oltre due milioni di visitatori contro appena trecentomila di Ercolano. Fonte: < <https://www.ebnt.it/files/documenti/studi-e->



Fig.33. Progettazione multimediale per il museo interattivo. Fonte: < <https://www.art-museum.it/allestimento-museo-multimediale.html> >.



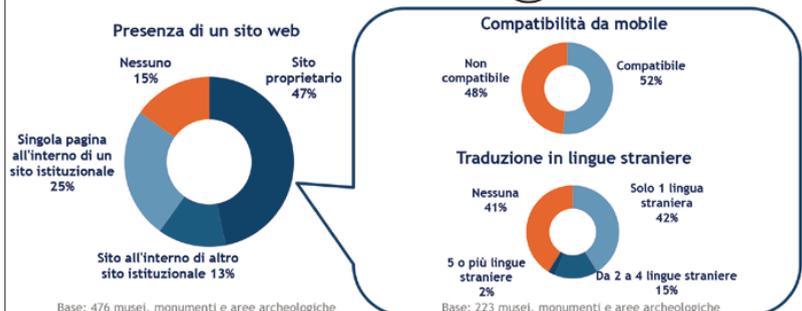
Base: 420 musei, monumenti e aree archeologiche

I siti dei musei sono ancora poco accessibili da mobile e dagli stranieri

OSSERVATORI.NET
digital innovation



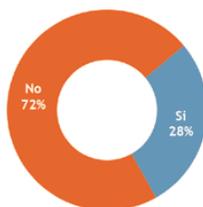
CULTURAL MANAGER JOURNEY



Poco più di un museo su quattro ha pubblicato la collezione digitalizzata su un sito web

OSSERVATORI.NET
digital innovation

Publicazione della collezione digitalizzata su un sito web



Base: 420 musei, monumenti e aree archeologiche

Base: 420 musei, monumenti e aree archeologiche

Il viaggio nella cultura è digitale: chi guida?

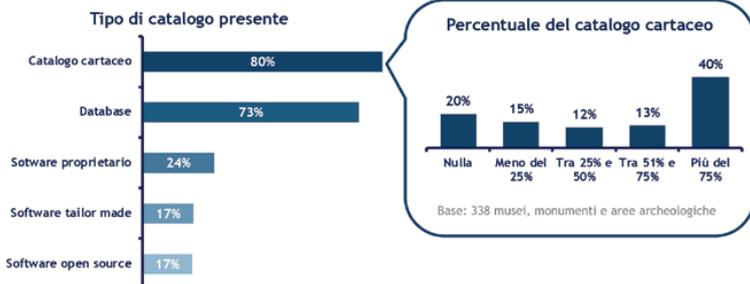
#OBAC19

23.05.2019

Fig.34. Report analisi delle potenzialità del digitale a supporto dell'ecosistema culturale italiano, 2019. Fonte: < <http://musei.beniculturali.it> >

Il catalogo è ancora per larga parte cartaceo

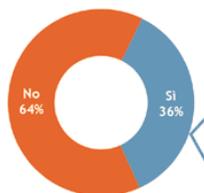
OSSERVATORI.NET
digital innovation



Le competenze sul digitale sono molto concentrate sulla comunicazione

OSSERVATORI.NET
digital innovation

Presenza di professionisti con competenze dedicate al digitale



Base: 420 musei, monumenti e aree archeologiche

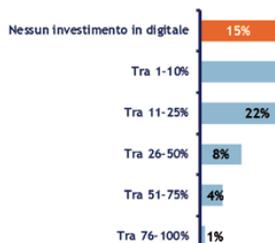


Base: 150 musei, monumenti e aree archeologiche

Gli investimenti in digitale sono ancora limitati

OSSERVATORI.NET
digital innovation

Percentuale media di investimenti destinata al digitale (strumenti digitali, personale interno, acquisto servizi esterni) nel biennio 2017-2018



Base: 420 musei, monumenti e aree archeologiche

Inoltre è evidente la volontà degli utenti di ampliare le proprie conoscenze e scoprire nuove realtà culturali, con l'aspettativa di poter unire l'esigenza di 'provare un'emozione' con quella di 'apprendere nozioni'.

La società con cui ci si deve confrontare oggi è una società dinamica e iperconnessa in cui nel quotidiano si ha sempre più a che fare con elementi virtuali, tanto nel contesto lavorativo quanto in quello personale e sociale. La fruizione culturale parte quindi dalla necessità dell'utenza di informarsi, conoscere e programmare le visite attraverso le piattaforme *online* dei musei. Ciò ha dato impulso allo sviluppo di progetti europei e nazionali che potessero motivare le istituzioni culturali all'utilizzo dei nuovi strumenti a disposizione per far conoscere le proprie realtà anche attraverso mostre virtuali da remoto, consentendo un più ampio godimento del patrimonio⁶⁸.

Il D.M. 113 del 21 febbraio 2018 per l'adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura, a proposito dell'uso delle nuove tecnologie, dichiara che «[...] la disponibilità di informazioni *online* sull'accesso al museo, sui servizi, sulle collezioni, sulle attività extra – incluso *social network*, applicazioni, ecc. – e la loro efficacia in termini di aggiornamento ed esaustività delle informazioni, diventano di primaria importanza. Tali considerazioni trovano ulteriore fondamento nell'importanza di soddisfare esigenze informative di flussi turistici più o meno distanti, di categorie particolari di utenti (ad esempio persone con disabilità che intendano verificare la possibilità di accesso e fruizione) e di aprirsi quanto più possibile a quella parte di società civile che costituisce il non pubblico e soprattutto alle giovani generazioni, che frequentano sempre meno i musei, in quanto evidentemente non attrattivi»⁶⁹.

ricerche/osservatori/osservatorio-h/dati osservatorio h i edizione 2014.pdf >.

68. D.M. 113 del 21 febbraio 2018, *Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del sistema museale nazionale*. [Consultato il: 10 maggio 2021].

69. D.M. 113 del 21 febbraio 2018, *Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del sistema museale nazionale*, p.26-27. [Consultato il: 10 maggio 2021].

La vocazione tecnologica e digitale non deve essere fine a se stessa ma un valore aggiunto per i beni culturali, migliorando l'esperienza culturale partendo anche da una strategia digitale *online*. Il *web* offre grandi opportunità per far vivere il museo anche al di fuori della sua fruizione *in situ*: le visite virtuali, la realtà virtuale e aumentata da remoto sono necessari per proporre nuovi schemi di visita, puntando a coinvolgere a distanza e a creare *community*.

Gli strumenti digitali attualmente utilizzati da ogni utente, quali PC, smartphone e rete internet, consentono una maggiore apertura e di attingere a risorse *open source* disponibili sul *web*, a materiali multimediali, a spazi virtuali di lavoro, ecc. Perciò la digitalizzazione del patrimonio culturale e la possibilità di essere condiviso e utilizzato concorrono all'ottenimento di modalità di apprendimento significativi ed efficaci, rendendo fruibile il sapere attraverso linguaggi comunicativi più affini alle nuove generazioni e configurandosi come fattore di inclusività, unendo conoscenza ed esperienza e combinando aspetti teorici con azioni pratiche, momenti di apprendimento informali e formali.

Questa constatazione permette, quindi, di ipotizzarne il loro uso da parte delle fasce più marginali di utenza, le quali nella loro sfera personale non possono permettersi di visitare città e musei, non solo in funzione compensativa, bensì reputandole come un complesso di opportunità affinché ogni soggetto si integri in un contesto laddove il virtuale si traduce in reale.

Il Digital Storytelling

Le nuove tecnologie devono avere un ruolo di accompagnamento, di integrazione e di racconto del patrimonio senza divenire loro stesse attrazione, «pena la perdita della profondità storica, della diversità culturale»⁷⁰. La democratizzazione della cultura insieme a una visione antropologica, multifunzionale e universale del patrimonio culturale, hanno innestato un certo sistema

70. L. Dal Pozzolo, *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018, p.115.

di comunicazione, volto a rendere il patrimonio soggetto alle attenzioni e alla cura che tutti possono apportare, in cui il visitatore può diventare parte attiva delle fasi di riconoscimento e salvaguardia. Intercorre dunque un solido legame tra la cultura e il turismo, rappresentato dall'apporto che l'una dà all'altro nel campo dell'innovazione tecnologica, dei percorsi partecipativi e inclusivi e nell'accessibilità e, viceversa, il turismo permette finanziamenti, condivisione delle conoscenze e innovazione⁷¹. Il patrimonio culturale segue il turismo nel campo dell'innovazione in quanto, essendo portavoce dei contenuti culturali, deve interrogarsi su quali siano le modalità più efficaci per trasmettere e far fruire tali beni. La nuova frontiera della narrazione è affidata ai sistemi tecnologici, sempre più complessi e articolati, che hanno dato vita a un nuovo campo di studio denominato *Digital Storytelling*⁷², in cui le ricostruzioni digitali di monumenti, siti, reperti o edifici vengono associate a strategie e tecniche di comunicazione e trasmissione del patrimonio culturale che rendano l'esperienza inclusiva e coinvolgente. Questa modalità di trasmissione sposta il *focus* dal bene culturale al soggetto visitatore, che diventa consumatore attivo nel processo di comprensione e, alla base del processo, c'è la necessità di coniugare la trasmissione del valore del bene con l'esigenza che la comunicazione risulti 'appetibile'.

La sfida è quella di creare contenuti che siano «non semplicemente 'verosimili', ma storicamente attendibili e plausibili quale vero plusvalore del progetto di comunicazione proposto» con la consapevolezza di dover includere «la costruzione di una coscienza condivisa del bene che implichi

71. P. Battilani, *Si fa presto a dire patrimonio culturale. Problemi e prospettive di un secolo di patrimonializzazione della cultura*, «Storia e Futuro», n°51/2017. Fonte: <<http://storiaefuturo.eu/si-presto-dire-patrimonio-culturale-problemi-prospettive-un-secolo-patrimonializzazione-della-cultura/>> [Consultato il: 5 giugno 2021].

72. Il *Digital Storytelling* è «l'elaborazione e il racconto di storie attraverso l'uso delle tecnologie digitali multimediali, ottenendo creazioni che possono includere immagini, video, testi o audio. A differenza di una presentazione multimediale, il Dst presenta un filo narrativo che tiene insieme i contenuti e un obiettivo comunicativo». Fonte: <<http://www.abc-digitale.it/wp-content/uploads/2020/05/Digital-Tool-2-DST.pdf>> [Consultato il: 5 giugno 2021].

il coinvolgimento del pubblico a molteplici livelli (tematico, filologico, esperienziale) incidendo significativamente sul riconoscimento e sull'attrattività del bene stesso»⁷³. La qualità delle informazioni trasmesse attraverso il *digital storytelling* dovrebbero prevedere differenti livelli di approfondimento in funzione del tipo di utente al quale ci si rivolge, «mutando il pubblico muta, infatti, la qualità delle domande poste e, di conseguenza, il grado di approfondimento delle risposte attese, necessitando di un sistema di informazioni quanto più flessibile, inclusivo, aperto e dinamico che consenta di variare la «scala» e l'ampiezza delle conoscenze fornite, senza per questo formulare risposte incompiute o anche solo parzialmente incomplete»⁷⁴.

Le forme interpretative e comunicative del patrimonio culturale inserite nel mondo del digitale sono frutto di un lavoro di gestione e di selezione di tutte le fasi che appartengono al bene culturale e stanno diventando sempre più elementi centrali nelle politiche di valorizzazione e fruizione, ponendo questioni e dibattiti sulla loro gestione e tutela.

Impatto del Covid-19 sul turismo

A causa della pandemia da Covid-19 che ha colpito il Paese dai primi mesi del 2020, i musei hanno subito una improvvisa interruzione delle attività quotidiane con conseguente mancanza dell'interazione fisica e personale con gli utenti e una drastica riduzione delle entrate anche nella fase *post-lockdown*, con conseguenti difficoltà di natura finanziaria e sociale.

Dovendo fronteggiare il mancato flusso di visite, i musei, con più o meno fatica e risorse, hanno dovuto dare una spinta decisiva alla relazione tra cultura digitale e cultura materiale. L'attuale crisi sanitaria ha innestato una nuova forma di fruizione del patrimonio culturale attraverso la conversione in digitale dei contenuti culturali e lo sviluppo di una nuova forma di servizi

73. R. M. Giusto, M. Buono, *La ri-scrittura del patrimonio culturale nell'Era digitale*, «Boletín de arte», n°41/2020, p.281. Fonte: < <https://revistas.uma.es/index.php/boletin-de-arte/article/view/8617> > [Consultato il: 5 giugno 2021].

74. *Ibidem*.

offerta dai musei, i quali si sono fatti carico di doversi trasformare da custodi del patrimonio a ‘ponte digitale’, che permettesse di mantenere l’accesso alla cultura che è venuta a mancare con le misure restrittive attuate.

Secondo il *report* dell’ICOM⁷⁵, almeno il 15% delle istituzioni museali ha incrementato le attività comunicative attraverso il digitale e la metà degli intervistati ha dichiarato che il proprio museo era già attivo sui *social media* o condivideva la propria collezione *online* prima del *lockdown*.

Le attività proposte online sono molteplici, dalla sponsorizzazione sui *social media* agli eventi organizzati ad hoc come *webinar* e mostre virtuali, dalle attività *educational* alla *gamification*⁷⁶, che hanno però fatto emergere da una parte il grosso divario tra i musei dovuto alle differenti condizioni economiche, qualità delle strutture e delle competenze del personale e, dall’altro, critiche su una supposta riduzione dell’elitarismo delle strutture museali⁷⁷. In altre parole, il divario finanziario tra enti museali è divenuto ancora più evidente nel momento in cui alcuni hanno reso disponibile la loro collezione online, mentre altri permangono in una situazione di ‘isolamento’ e la critica sulla riduzione dell’elitarismo di quei musei che rendono fruibile *online* i propri beni è fine a se stessa in quanto, seguendo questa logica, chi non propone la propria collezione *online* dovrebbe godere di una maggiore curiosità da parte dell’utenza, mentre, alla luce delle analisi effettuate, emerge come la condivisione digitale trovi una buona risposta da parte del turismo culturale.

75. < https://icom.museum/wp-content/uploads/2020/11/FINAL-EN_Follow-up-survey.pdf > [Consultato il: 12 maggio 2021].

76. «La *Gamification* rappresenta uno strumento estremamente efficace in grado di veicolare messaggi di vario tipo, a seconda delle esigenze, e di indurre a comportamenti attivi da parte dell’utenza, permettendo di raggiungere specifici obiettivi, personali o d’impresa. Al centro di questo approccio va sempre collocato l’utente ed il suo coinvolgimento attivo». Fonte: < <https://www.gamification.it/gamification/introduzione-alla-gamification/> >. [Consultato il: 22 giugno 2021].

77. < <https://www.ilfattoquotidiano.it/in-edicola/articoli/2020/07/18/la-venere-chiara-riduce-botticelli-a-tormentone-social/5872399/> >.

Casi applicativi per il turismo culturale nei musei

Qui di seguito vengono riportati cinque casi applicativi come esemplificazione dell'uso delle nuove tecnologie per il turismo culturale.

SCHEDA I. GALLERIA PALATINA, FIRENZE.

IL MUSEO OFFRE UN PERCORSO DI VISITA MULTIMEDIALE, FRUIBILE NOLEGGIANDO STRUMENTI DIGITALI O SCARICANDO L'APP DL MUSEO. L'APPLICAZIONE È IN GRADO DI VISUALIZZARE LA POSIZIONE DEL VISITATORE E INDICARE IL NOME DELLE SALE ESPOSITIVE IN CUI QUESTI SI TROVA. LO SCHEMA SEMPLIFICATO DELLA DISPOSIZIONE DELLE OPERE SUGGERISCE LA PRESENZA DI CONTENUTI MULTIMEDIALI E COMMENTI IN REALTÀ AUMENTATA.

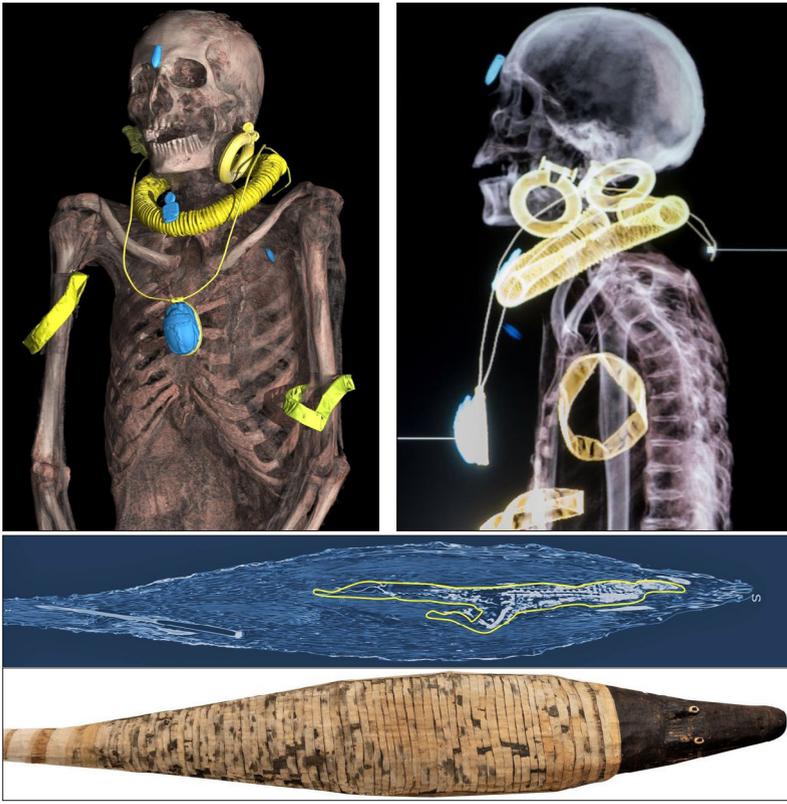


I SOGGETTI, LE STORIE E I PARTICOLARI VENGONO EVIDENZIATI DIRETTAMENTE SULLA RAPPRESENTAZIONE DELL'OPERA, FACILITANDONE LA COMPrensIONE; È POSSIBILE INOLTRE, TRAMITE L'ORIENTAMENTO DEL DISPOSITIVO VERSO L'ELEMENTO CHE SI VUOLE APPROFONDIRE, ANALIZZARE AFFRESCI E PARTICOLARI ARCHITETTONICI DEL COMPLESSO MUSEALE IN CUI CI SI TROVA. SONO DISPONIBILI PERCORSI TEMATICI PER LE SCUOLE, PER GLI ADDETTI AI LAVORI E PER IL VISITATORE LOCALE CHE VIENE INVITATO A TORNARE PER APPROFONDIRE NUOVE TEMATICHE.



SCHEDA 2. MUSEO EGIZIO, TORINO.

GLI STRUMENTI UTILIZZATI PER STUDIARE I REPERTI DEL MUSEO EGIZIO INTENDONO DOCUMENTARE CON LA MASSIMA PRECISIONE GLI SCENARI E I CONTESTI DEGLI ELEMENTI OGGETTO DI STUDIO E CONOSCERE GLI 'STRATI INVISIBILI', PERMETTENDO DI IDENTIFICARE GLI INTERVENTI DI RESTAURO. TALI INFORMAZIONI VENGONO CONDIVISE AGLI UTENTI TRAMITE L'ESPOSIZIONE MUSEALE. LO STUDIO DELLE MUMMIE DI KHA E DELLA SUA SPOSA MERIT È UN CASO ESEMPLIFICATIVO: È STATO EFFETTUATO UNO 'SBENDAGGIO VIRTUALE' CHE HA PERMETTO DI 'PORTARE ALLA LUCE' PARTICOLARI ORNAMENTI COME LO "SCARABEO DEL CUORE", OGGI FRUIBILE NELLA MOSTRA TRAMITE LA MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE.



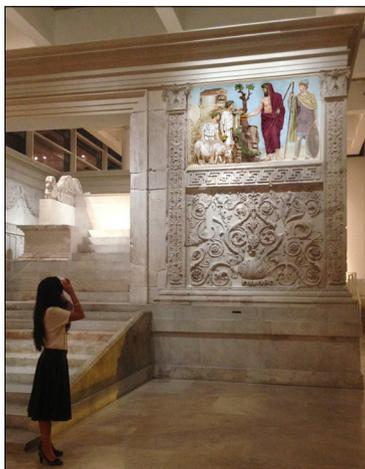
I BENI VENGONO QUINDI ESPOSTI SU DUE LIVELLI, QUELLO MATERIALE E QUELLO DIGITALE, CHE RENDE VISIBILE CIÒ CHE ALTRIMENTI NON SAREBBE APPREZZABILE E PORTANO IL VISITATORE ALL'INTERNO DEGLI SCAVI E DEI LAVORI EFFETTUATI PER I RESTAURI. CIÒ CONSENTE ALL'UTENTE DI APPREZZARE NON SOLO I BENI ESPOSTI, MA ANCHE DI COMPRENDERE COME AVVENGONO I LAVORI DI SCAVO E RECUPERO DEI REPERTI, OPERAZIONE CHE RICHIEDE UNA FORTE COLLABORAZIONE TRA GLI ESPERTI.



SCHEDA 3. MUSEO DELL'ARA PACIS, ROMA.

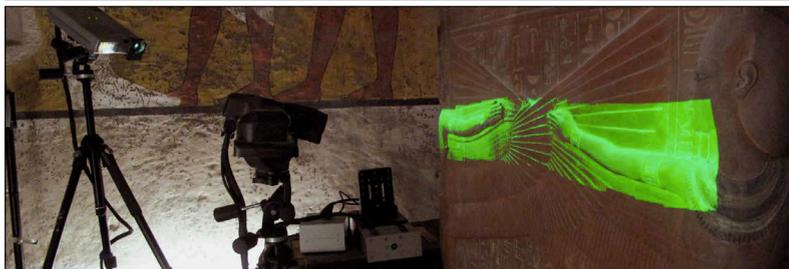
IL PROGETTO "L'ARA COM'ERA" È UN PERCORSO DI VISITA IN REALTÀ VIRTUALE PER IL COINVOLGIMENTO E L'APPRENDIMENTO DI TIPO SENSO-MOTORIO AVENTE COME PROTAGONISTA L'ALTARE DELL'ARA PACIS.

IL PERCORSO È COMPOSTO DA NOVE PUNTI DI INTERESSE SUDDIVISI IN REALTÀ VIRTUALE E REALTÀ AUMENTATA, ENTRAMBE EFFETTUATE TRAMITE VISORE. LA PRIMA OFFRE UNA RIPRESA A 360° DEL MONUMENTO ALLO STATO ATTUALE, PER POI ESSERE RIPORTATI INDIETRO NEL TEMPO E CONOSCERE LE COLORAZIONI ORIGINALI DELL'OPERA ACCOMPAGNATI DA VIDEO RAPPRESENTATIVI, LA SECONDA OFFRE UNA PASSEGGIATA INTORNO AL MONUMENTO IN CUI ELEMENTI VIRTUALI E REALI SI FONDONO ALL'INTERNO DEL PROPRIO CAMPO VISIVO.



SCHEDA 4. TOMBA DI TUTANKHAMON, EGITTO.

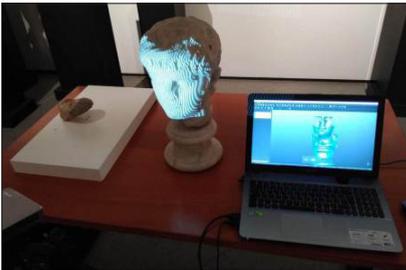
OGNI VOLTA CHE UN VISITATORE ENTRA NELLA CAMERA FUNERARIA DI TUTANKHAMON, LE MURA DI QUEST'ULTIMA SUBISCONO UN DETERIORANO A CAUSA DEI CAMBIAMENTI DI UMIDITÀ CAUSATI DAL RESPIRO E DALLA POLVERE PORTATI NELLA STANZA. ESSENDO UNA DELLE METE TURISTICHE PIÙ FAMOSE AL MONDO NON È POSSIBILE LIMITARE IL NUMERO DEI VISITATORI, PERCIÒ GIÀ NEL 1988 SI SUGGERÌ DI PRODURRE UN FACSIMILE COME DESTINAZIONE ALTERNATIVA. DAL 2009 AL 2012 LA TOMBA È STATA SCANNERIZZATA; I DATI SONO STATI ELABORATI E, NEL 2014, LA RIPRODUZIONE TRIDIMENSIONALE DELLA TOMBA È STATA POSTA ALL'INTERNO DEL MUSEO AD ESSA DEDICATO E APERTO AL PUBBLICO. LO STESSO LAVORO È STATO FATTO IN ITALIA, IN PARTICOLARE PER UNA MOSTRA A JESOLO NEL 2018, CON L'OBIETTIVO DI PERMETTERE LA DIVULGAZIONE E LA CONOSCENZA DI QUEST'OPERA ANCHE A DISTANZA.



SCHEDA 5. PARCO ARCHEOLOGICO DEL COLOSSEO, ROMA.

IL PARCO ARCHEOLOGICO HA ORGANIZZATO IL PROGETTO “IL PARCO TRA LE MANI”, UN PERCORSO TATTILE MULTILINGUE COMPOSTO DA PANNELLI ILLUSTRATIVI E DA RIPRODUZIONI IN 3D IN SCALA 1:1 DI ALCUNI ELEMENTI PRESENTI NEL PARCO ARCHEOLOGICO.

ESSENDO LE RIPRODUZIONI DESTINATE A UN PERCORSO DI VISITA TATTILE E AD ATTIVITÀ RIVOLTE AI BAMBINI, L’OBIETTIVO PRINCIPALE È STATO QUELLO DI OTTENERE DELLE RIPRODUZIONI REALISTICHE NON TANTO A LIVELLO VISIVO, QUANTO AL TATTO, IN MODO TALE CHE LA SUPERFICIE RESTITUISSE LE STESSA PERCEZIONI DEL MATERIALE ORIGINALE.

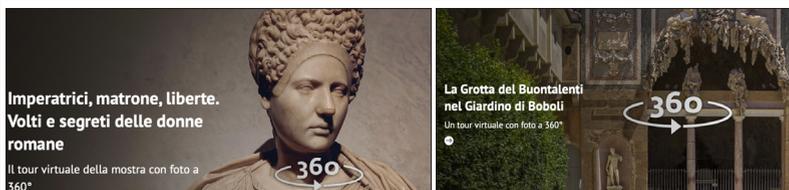


Casi applicativi per la fruizione da remoto e per scopi didattici

Qui di seguito vengono riportati due casi applicativi come esemplificazione dell'uso delle nuove tecnologie per la fruizione da remoto e per uso didattico.

SCHEDA 6. GALLERIE DEGLI UFFIZI, FIRENZE.

L'OFFERTA DATA DAGLI UFFIZI COPRE TANTI ASPETTI DELLA FRUIZIONE MUSEALE E DIDATTICA, DALLE CLASSICHE VISITE A PERCORSI TATTILI, DA VIDEO IN CUI SI RACCONTANO LE OPERE ATTRAVERSO LA LINGUA DEI SEGNI FINO AD ARRIVARE ALLE COSIDDETTE "IPERVISIONI", AGLI ARCHIVI DIGITALI E AD UN'OFFERTA PER LE SCUOLE ATTRAVERSO LA DAD (DIDATTICA A DISTANZA).



La DAD degli Uffizi porta a scuola i classici del Rinascimento. Lezioni gratuite agli studenti primari e secondari di I grado per illustrare ai ragazzi le opere più importanti delle collezioni.

Cerca

Cerca per titolo, autore, descrizione →

Filtra per museo

Gli Uffizi >

Pittura >

Architettura >

Scultura >

Gabinetto dei Disegni e delle Stampe >

Palazzo Pitti >



La Velata
Raffaello Sanzio (Urbino 1483 - Roma 1520)



Nascita di Venere
Sandro Botticelli (Firenze 1445 - 1510)



Sacra famiglia, detta "Tondo Doni"
Michelangelo Buonarroti (Caprese 1475 - Roma 1564)

LE “IPERVISIONI” SONO SUDDIVISE IN VIRTUAL TOUR 360° E IN PERCORSI TEMATICI CON AUDIO-DESCRIZIONI, IN CUI NEL PRIMO SI NAVIGA ALL’INTERNO DI ALCUNI DEGLI SPAZI MUSEALI CON LA POSSIBILITÀ DI INTERROGARE LE OPERE ED ESSERE COLLEGATI ALLA SCHEDA DI RIFERIMENTO APPARTENENTE ALL’ARCHIVIO DEGLI UFFIZI, I SECONDI SONO PERCORSI TEMATICI CREATI AD HOC CHE RACCOLGONO OPERE PRESENTI NELLA COLLEZIONE E VENGONO ILLUSTRATE ATTRAVERSO SCHEDE DESCRITTIVE E TRAMITE L’UTILIZZO DI BREVI AUDIO.

ALTRESÌ IL SITO OFFRE “LA DAD DEGLI UFFIZI”, IN CUI ALCUNI TRA I CAPOLAVORI DELLE GALLERIE VENGONO MESSI A DISPOSIZIONE DELLE SCUOLE PER IL POTENZIAMENTO DELLA DIDATTICA A DISTANZA: ATTRAVERSO UNA PIATTAFORMA ONLINE, VENGONO OFFERTE GRATUITAMENTE AGLI ISTITUTI DI I GRADO LEZIONI SULLA STORIA ED I TESORI DEL COMPLESSO MUSEALE.



1/50

Introduzione

Negli ultimi mesi del 1586, presso il monastero reale di El Escorial in Spagna, Federico Zuccari proseguì pazientemente l'illustrazione del viaggio dantesco nell'oltretomba, che dopo la spaventosa topografia dell'Inferno si apprestava ad affrontare le più tenui atmosfere del Purgatorio.

Nella geografia della *Commedia*, la montagna dedicata all'espiazione dei peccati sorge su un'isola al centro dell'emisfero australe, interamente circondata dalle acque; i suoi fianchi digradano in sette terrazze



▶ 00:00 ● 03:52 🔊

🔍 Ingrandisci l'immagine

VIENE SOTTORIPORTATA UNA SCHEDA ESEMPLIFICATIVA PER LA FRUIZIONE CULTURALE DA REMOTO.



Nascita di Venere

Autore	Sandro Botticelli (Firenze 1445 - 1510)
Data	1485 c.
Museo	Gli Uffizi
Collezione	Pittura
Collocazione	Sala 10-14
Tecnica	Tempera su tela
Dimensioni	172,5 x 278,5 cm
Inventario	Inv. 1890 n. 878

Nota come "Nascita di Venere", la composizione raffigura più precisamente l'approdo sull'isola di Cipro della dea dell'amore e della bellezza, nata dalla spuma del mare e sospinta dai venti Zefiro e, forse, Aura. La dea è in piedi sopra la valva di una conchiglia, pura e perfetta come una perla. L'accoglie una giovane donna, identificata talvolta con una delle Grazie oppure con l'ora della primavera, che le porge un manto cosparso di fiori; alla stagione primaverile rimandano anche le rose portate dai venti. Il tema del dipinto, che celebra Venere come simbolo di amore e bellezza, fu forse suggerito dal poeta Agnolo Poliziano.

E' molto probabile che il committente dell'opera sia da ricercarsi all'interno della casata dei Medici, sebbene non si abbiano notizie del dipinto prima del 1550, quando Giorgio Vasari lo descrive nella villa medicea di Castello, proprietà del ramo cadetto della famiglia Medici fin dalla metà del XV secolo. Avvalora questa ipotesi anche la raffigurazione degli alberi di aranci, considerati un emblema mediceo per l'assonanza fra il nome della famiglia e quello con cui queste piante erano note, 'mala medica'.

Diversamente dalla "Primavera", dipinto su tavola, la "Nascita di Venere" fu realizzato su tela, un supporto non di rado impiegato nel Quattrocento per pitture decorative destinate alle residenze signorili.

Botticelli prende ispirazione da statue di epoca classica per l'atteggiamento pudico di Venere, che copre la nudità con i lunghi capelli biondi, i cui riflessi di luce sono ottenuti tramite l'applicazione di oro; anche la coppia dei Venti che vola abbracciata è una citazione da un'opera antica, una gemma di età ellenistica posseduta da Lorenzo il Magnifico.

SCHEDA 7. GOOGLE ARTE E CULTURA.

GOOGLE ARTS & CULTURE È UNA PIATTAFORMA ONLINE DI RACCOLTA DI IMMAGINI IN ALTA RISOLUZIONE DI OPERE D'ARTE ESPOSTE IN ALCUNI MUSEI IN TUTTO IL MONDO E PERMETTE VISITE VIRTUALI DELLE GALLERIE IN CUI SONO ESPOSTE. IL PROGETTO È STATO AVVIATO NEL FEBBRAIO DEL 2011 DA GOOGLE, INCLUDENDO OPERE PRESENTI ALLA TATE GALLERY DI LONDRA, DAL METROPOLITAN MUSEUM OF ART DI NEW YORK AGLI UFFIZI DI FIRENZE E AI MUSEI CAPITOLINI DI ROMA. ATTRAVERSO GLI STRUMENTI DI GOOGLE ARTS & CULTURE È QUINDI POSSIBILE RACCONTARE ED ESPLORARE LA CULTURA A 360°, TRASFORMANDO L'ESPERIENZA DEGLI UTENTI IN UN'IMMERSIONE INTERATTIVA CHE COLLEGA LUOGHI E SPAZI LONTANI TRA LORO.

Esplora con Street View

From backstage at the Paris Opera to the top of the Taj Mahal

[Visualizza tutti](#)



ESPLORA
Kiyomizu-dera Temple
Kyoto, Japan



ESPLORA
The British Museum
London

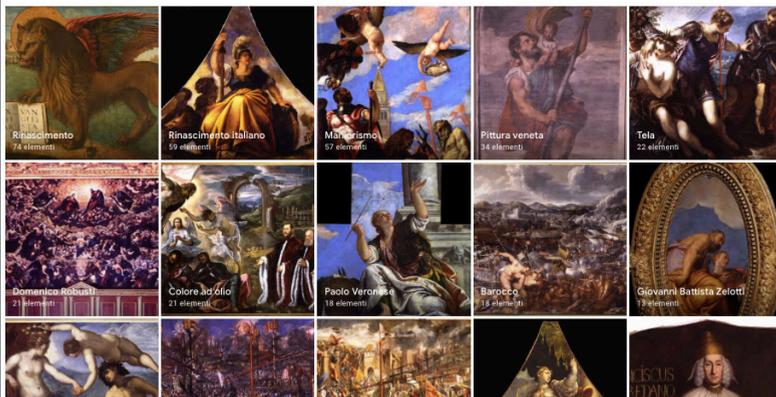


ESPLORA
Civita di Bagnoregio
Italy



ESPLORA
Mosques of Icherisheher
Azerbaijan

Palazzo Ducale | In questa collezione



Collezioni

Tutti A-Z Mappa



M
O

Musée d'Orsay, Paris
Paris, Francia



MoMA

MoMA The Museum of
Modern Art
New York, Stati Uniti



V
M

Van Gogh Museum
Amsterdam, Paesi Bassi



N
G

National Gallery of Art,
Washington DC
Washington, DC, Stati
Uniti



U
G

Uffizi Gallery
Florence, Italia



A
I

The Art Institute of
Chicago
Chicago, Stati Uniti



MUSEO SOROLLA

Sorolla Museum
Madrid, Spagna



T
M

The Metropolitan
Museum of Art
New York City, Stati Uniti



MUSEO DOLORÉS

Museo Dolores Olmedo
Mexico, Messico



RIJKSMUSEUM

Rijksmuseum
Amsterdam, Paesi Bassi



S
H

The State Hermitage
Museum
St. Petersburg, Russia



belvedere

Belvedere
Vienna, Austria



THE NATIONAL GALLERY

The National Gallery,
London
London, Regno Unito



ALTE NATIONALGALERIE

Alte Nationalgalerie,
Staatliche Museen zu
Berlin
Berlin, Germania



NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY

Smithsonian National
Museum of Natural
History
Washington, DC, Stati
Uniti



M
H

Mauritshuis
Den Haag, Paesi Bassi



NASA

NASA
Washington, DC, Stati
Uniti



M
M

The Munch Museum,
Oslo
Oslo, Norvegia



O
M

Old Masters Picture
Gallery, Dresden State
Art Museums
Dresden, Germania



KUNSTHAUS ZÜRICH

Kunsthau Zürich
Zurich, Svizzera

5. OPPORTUNITÀ E PROBLEMATICHE

«Anche il più impeccabile percorso tracciato tra i muri diroccati dal tempo non potrà dunque permettere un accesso reale se non è accompagnato dalla capacità di rendere comprensibile il senso storico di quei resti. Un senso che può e deve essere suggerito, ma che non può essere imposto dall'esterno: l'archeologia, come la storia, non proclama Verità»⁷⁸.

Daniele Manacorda

In questa tesi si è potuto comprendere come la digitalizzazione del patrimonio culturale costituisca un'importante risorsa per la formazione di archivi digitali, utili sia per le attività di restauro, la conservazione programmata e l'interoperabilità tra studiosi, sia nel campo del turismo culturale, facilitando la fruizione del patrimonio culturale.

Il restauro e la fruizione culturale fanno parte di un unico canale che sfocia nella conoscenza e trasmissione del bene alle generazioni future. L'evoluzione dell'accessibilità al patrimonio culturale, e quindi la sua divulgazione, ha permesso la comprensione del patrimonio ai più, uscendo dalla nicchia iniziatica in cui solo le *élite* culturali erano in grado di interpretare, promuovendo la crescita del turismo culturale.

L'accessibilità e la comprensione del patrimonio deve fare i conti con la politica di *marketing*. È sì richiesta la capacità di costruire mete desiderabili nella mente dell'utenza prima che intraprenda il viaggio anche attraverso il *marketing* culturale del territorio e dei siti museali, ma questo processo può facilmente svalutare il principio cardine per cui viene trasmesso il patrimonio, innestando un 'turismo rapace', polarizzato da capolavori pubblicizzati su ogni piattaforma digitale e da mete imperdibili in nome di un consumo di massa⁷⁹: «il *marketing* produce clienti,

78. D. Manacorda, *L'Italia agli Italiani. Istruzioni e ostruzioni per il patrimonio culturale*, Bari, Edipuglia, 2014, p.101.

79. L. Dal Pozzolo, *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018.

inconsapevoli e tendenzialmente infantili, mentre la conoscenza aiuta a formare cittadini consapevoli e disposti a lavorare alla propria maturazione»⁸⁰. Qual è quindi il ruolo che dovrebbe rivestire il digitale? Qual è il limite oltre il quale diventa 'consumo di massa' e non più formazione, consapevolezza, strumento per un turismo che ascolta, osserva e che da inconsapevole vuole divenire consapevole?

Le sempre più utilizzate ricostruzioni virtuali e tridimensionali hanno reso necessaria la stesura (nel 2006 e resa ufficiale nel 2009) della Carta di Londra, documento che mira all'istituzione di principi metodologici per la visualizzazione virtuale del patrimonio culturale, «a rafforzare il rigore con il quale i metodi e i risultati della visualizzazione digitale sono usati e valutati nei contesti culturali, ossia promuovendo la comprensione e il riconoscimento di tali metodi e risultati» e al mantenimento della rigosità intellettuale e tecnica della visualizzazione digitale, tenendo conto degli obiettivi per cui viene elaborata, cioè «per assistere la ricerca, la comunicazione e la preservazione dei beni culturali»⁸¹.

Attualmente ci si interroga se, nel turismo culturale, questi principi siano sempre rispettati o se, per assicurarsi maggiori entrate economiche, i poli museali tendano a utilizzare le narrazioni digitali e il patrimonio digitalizzato spettacolarizzandolo. In secondo luogo, i beni digitalizzati e le ricostruzioni virtuali sono dotati di rilievo culturale e quindi meritevoli di tutela o sono solo una mera riproduzione dell'opera originale?

Ricostruzioni virtuali tra veridicità e fruizione

Le ricostruzioni virtuali e la digitalizzazione in ambito museale vanno viste in un'ottica differente rispetto l'attività svolta per fini conservativi e di tutela: nel turismo culturale si rende necessario sviluppare delle rappresentazioni aventi un approccio narrativo,

80. T. Montanari, *Istruzioni per l'uso del futuro. Il patrimonio culturale e la democrazia che verrà*, Roma, Minimum Fax, 2014, p.28.

81. *Ibidem*.

poiché «il pubblico preferisce la narrazione all'informazione, la storia (intesa come composizione creativa) alla Storia intesa come ricostruzione scientifica del dato»⁸².

La 'comunicazione', inizialmente intesa come esposizione delle ricerche e dei risultati in modo asettico e senza un reale intento comunicativo, oggi «si manifesta come la condivisione, con pubblici diversi, degli oggetti che fanno parte della collezione e delle informazioni prodotte dalle ricerche su di essi»⁸³, a cui viene associato il concetto di 'mediazione', in particolare di 'mediazione culturale' e 'mediazione scientifica', cioè tutte le opere effettuate aventi lo scopo di definire un collegamento «fra ciò che è esposto (il vedere) e i significati che questi oggetti e siti possono assumere (il sapere)»⁸⁴.

L'uso del digitale richiede una progettazione interdisciplinare che consenta sia l'esperienza della fruizione come vero e proprio evento, sia il mantenimento della specificità tecnica, volta a formare «un sistema che si svolge alternando livelli di racconto sistemico a zoom»⁸⁵ evitando così perdite di nozioni e, tramite questa fruizione 'selettivo-focalizzata', sollecitando l'utenza all'approfondimento.

Autenticità del bene digitale

Il ruolo che riveste la digitalizzazione dei beni culturali è tutt'oggi oggetto di dibattito in quanto ci si domanda se i prodotti digitali debbano essere dotati di rilievo culturale come l'opera originale. Escludendo quindi a priori i beni nativi digitali, la controversia

82. A. Palombini, *Narrazione e virtualità: possibili prospettive per la comunicazione museale*, «DigItalia», Anno VII, Numero 1, 2012, p.12.

83. A. Desvallée, s F. Mairesse (a cura di), *Concetti Chiave di Museologia*, Istituto per i Beni artistici, culturali e naturali della Regione Emilia-Romagna; ICOM Italia, 2016, p.38.

84. *Ibidem*.

85. D. Spallazzo, A. Spagnoli, R. Trocchianesi, *Il museo come "organismo sensibile". Tecnologie, linguaggi, fruizione verso una trasformazione design-oriented*, «Un nuovo "made in Italy" per lo sviluppo del Paese. ICT per la valorizzazione dei beni e delle attività culturali» intervento al Congresso nazionale AICA, Roma, 2009, p.1.

nasce nel momento in cui si considera l'opera in digitale una mera copia del bene materiale oppure una versione arricchita e con delle potenzialità a se stanti che, dunque, possano essere considerate entità distinte, in grado di generare senso e valore differenti, essere vissute in maniera diversificata e che siano oggetto di lavoro, scambi, detenzione e maneggio in modo indipendente.

Benché il bene digitalizzato sia potenzialmente replicabile all'infinito, il ruolo che riveste, quello della fruizione e conoscenza del bene materiale, rimane un *unicum*, che ovviamente ben si può distinguere dal bene materiale. Una volta strutturato in forma digitale, con un proprio supporto e caratteri performativi «che lo rendono distinto bene complesso»⁸⁶, esso viene reso disponibile a un indifferenziato numero di utenti e offre potenzialità di riuso, assumendo una nuova ontologia.

Con questa premessa, potenzialmente si potrebbe qualificare la versione digitale di un bene culturale come 'bene puro'⁸⁷, in quanto la sua fruibilità è pressoché illimitata e la sua esclusività, quindi una sua limitazione nell'offerta, è frutto solo di una mera scelta politica e non di una condizione del bene in sé.

Se rendere il bene materiale digitale avesse come obiettivo solo quello di creare una copia dell'originale verrebbe meno l' 'aura' e l' 'autenticità' dell'opera, dell'autore, del processo di fabbricazione ecc. e, di conseguenza, vacillerebbe «la testimonianza storica della cosa. [...] In questo modo ciò che prende a vacillare è l'autorità della cosa, è il suo peso tradizionale»⁸⁸.

Come poter colmare quindi la possibile perdita della testimonianza storica intrisa nel bene materiale? Si tratta di integrare alla riproduzione una serie di potenzialità (che vanno oltre l'accuratezza e la precisione del digitale) volte a fornire

86. P. Forte, *Il bene culturale pubblico digitalizzato. Note per uno studio giuridico*, in *P.A. Persona e Amministrazione. Ricerche Giuridiche sull'Amministrazione e l'Economia*, Urbino, dell'Università degli studi di Urbino Carlo Bo, 2019, p. 253.

87. *Ibidem*.

88. M. Cammelli, *Immateriale economico e profilo pubblico del bene culturale*, in G. Morbidelli, A. Bartolini (a cura di), *L'immateriale economico nei beni culturali*, Torino, Giappichelli, 2016, p. 92.

contenuti e strumenti cognitivi in grado di colmare la mancanza della fisicità, originalità e della 'sacralità' data dall'originale, aggiungendo così nuovo valore.

Riassumendo, è possibile evitare la banalizzazione e l'impoverimento dovuti alla serialità del prodotto digitale attraverso la facilitazione di accesso, costituendo un distinto oggetto sociale, radunando in un'unica entità informazioni utili alla comprensione dell'originale, che è, in sé, limitatamente dotato⁸⁹ e non necessita di «distanza snobistica, di autorità sacrale, di regime culturale per rivelare e fornire la propria autorevolezza, la distinzione, la preziosità: la può spostare sulla densità cognitiva»⁹⁰. Questo concetto è il vero fulcro del discorso. L'aspetto tecnico e tecnologico, di cui si è parlato in questa tesi, è una parte del circuito di ingranaggi che governa la digitalizzazione. Portare in digitale i significati, il senso, le connessioni e i contesti di cui i beni culturali sono impregnati è la sfida più ardua, proprio perché essi si differenziano per opinabilità, stratificazioni, per come sono giunti fino a noi e, se le operazioni di categorizzazione e documentazione non vengono governate con coscienza, si può incorrere in una alterazione di significato limitandosi a produrre una banale fotografia dell'originale fine a se stessa.

Il riuso della riproduzione del bene culturale

A partire dalla creazione dell'Istituto Centrale per la digitalizzazione del Patrimonio Culturale (Digital Library), seguito dalla direttiva 2019/720 sul diritto d'autore nel mercato digitale⁹¹ e dalla attuale emergenza sanitaria, il tema del riuso dei

89. La Carta di Londra, documento elaborato nel 2009, al Principio 4 dichiara che «sufficienti informazioni dovrebbero essere fornite per permettere ai metodi e ai risultati della visualizzazione digitale di essere compresi e valutati in maniera appropriata rispetto ai contesti e agli scopi nei quali e per i quali sono divulgati».

90. P. Forte, *Il bene culturale pubblico digitalizzato. Note per uno studio giuridico*, in *P.A. Persona e Amministrazione. Ricerche Giuridiche sull'Amministrazione e l'Economia*, Urbino, dell'Università degli studi di Urbino Carlo Bo, 2019, p. 258.

91. Direttiva (UE) 2019/790 del Parlamento Europeo e del Consiglio

beni digitalizzati è al centro del dibattito.

Gli interrogativi sono posti rispetto alle modalità di regolamentazione della riproduzione dei beni culturali pubblici di pubblico dominio. Essa è libera solo per finalità culturali, mentre permane l'obbligo di richiedere l'autorizzazione e il pagamento di un canone in caso di riuso commerciale, in quanto, secondo l'art.108 del Codice dei Beni Culturali, si riconoscono i diritti 'dominicali' all'ente pubblico proprietario del bene, rendendo di fatto l'opera soggetta a una sorta di 'diritto d'autore'.

Il fulcro del dibattito, dunque, non è la diffusione delle immagini per fini di tutela e conoscitivi, ma il lucro e il diritto morale sull'opera. In tutto il mondo negli ultimi anni molti istituti hanno scelto di superare le *policy* tradizionali e pubblicare immagini della propria collezione ad altissima risoluzione sui propri siti, proprio per rompere la catena e permettere a chiunque di scaricare e utilizzare i dati anche per scopi commerciali⁹².

Le licenze aperte offrono inclusività ma al tempo stesso sono un canale efficace per un ritorno in termini di visibilità e attrattività; d'altronde, è vero che gli obiettivi sono la fruizione e il passaggio ai posteri del patrimonio di cui siamo custodi, ma nulla sarebbe stato fatto senza una valutazione positiva dei costi-benefici, dalla quale «puntualmente emerge che i costi di gestione e rendicontazione degli introiti sono inferiori alle stesse spese di gestione, a fronte di indubbi *benefit* per gli istituti in termini di *marketing* e di traffico nei relativi siti web»⁹³.

Nel mese di aprile del 2010 l'Unione Europea ha pubblicato lo 'Statuto per il dominio pubblico', in cui dichiara che «il dominio pubblico rappresenta una risorsa condivisa che dà

del 17 aprile 2019 sul diritto d'autore e sui diritti connessi nel mercato unico digitale <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0790&from=RO>>

92. Si possono citare il Rijksmuseum di Amsterdam, il Metropolitan Museum di New York, la National Gallery di Washington, il Museo Nazionale di Stoccolma, i musei comunali di Parigi, la Galleria Nazionale di Danimarca, la Library of Congress e, da fine 2020, la biblioteca Nazionale di Spagna.

93. M. Modolo, *Reinventare il patrimonio: il libero riuso dell'immagine digitale del bene culturale pubblico come leva di sviluppo nel post Covid*, «L'Italia e l'Europa alla prova dell'emergenza: un nuovo paradigma per la cultura», n°42/2020, p. 212.

corpo alla società contemporanea. Con la digitalizzazione della conoscenza e delle informazioni, vengono spesso utilizzati contratti legali che impediscono il libero accesso al dominio pubblico digitalizzato. Ciò va contro gli obiettivi alla base della fondazione di Europeana. Il nostro scopo essenziale consiste nel rendere liberamente accessibile ai cittadini l'eredità culturale e scientifica di dominio pubblico dell'Europa in formato digitale, allo scopo di incoraggiare lo sviluppo della conoscenza, oltre che di stimolare le imprese creative e l'innovazione». E ancora che «musei, biblioteche e archivi di tutti i tipi sono detentori della nostra eredità culturale e scientifica. Queste organizzazioni che gestiscono la nostra memoria rappresentano i guardiani della conoscenza condivisa della società. Esse giocano un ruolo essenziale nella gestione del dominio pubblico a nome dei cittadini e devono sostenere una serie di principi generali. Questi principi sono essenziali per mantenere una comprensione significativa del dominio pubblico e assicurare che continui a funzionare nell'ambiente tecnologico della società dell'informazione in rete. Tali principi non sono stati pensati per impedire alle organizzazioni di sfruttare commercialmente le opere di dominio pubblico presenti nelle proprie raccolte. Al contrario, forniscono una serie di standard minimi che assicurano il funzionamento del dominio pubblico nell'ambiente digitale»⁹⁴. Europeana chiede dunque di rimuovere qualsiasi limitazione esterna al diritto d'autore, compresi quelli sanciti dal Codice dei Beni Culturali.

Anche se in Italia è stata approvata solo nel 2013, nel 2005 la Convenzione di Faro riconosce che chiunque ha diritto a trarre beneficio e a contribuire all'arricchimento del patrimonio culturale, ma soprattutto dichiara la responsabilità di rispettarlo e che l'esercizio del diritto può essere soggetto a limitazioni soltanto per la protezione «dell'interesse pubblico, degli altrui diritti e libertà»⁹⁵. Questo punto ben si ricollega a ciò che è stato

94. Fonte: <https://pro.europeana.eu/files/Europeana_Professional/Publications/Public_Domain_Charter/Public%20Domain%20Charter%20-%20IT.pdf> [Consultato il: 7 giugno 2021].

95. Convenzione di Faro, art. 4 - Diritti e responsabilità concernenti il

precedentemente accennato, cioè al ‘diritto morale sull’opera’. Si tratta di un concetto importante a cui fare riferimento nella presa di posizione sulla liberizzazione del patrimonio culturale digitale, perché questo potrebbe portare a un uso improprio delle immagini e dei contenuti digitali. La difficoltà risiede nel capire quale sia la linea di separazione tra il concesso e il non concesso: si riporta a titolo esemplificativo il caso di un uso considerato improprio dell’immagine del David di Michelangelo, che è stata utilizzata nel 2014 dalla ArmaLite Inc per promuovere una delle sue armi di punta⁹⁶. Per contro, parlando sempre dell’immagine del David, il Tribunale di Firenze nel 2017 ha accolto il ricorso della Galleria dell’Accademia nei confronti di un’agenzia che aveva usufruito dell’immagine per propria utilità senza aver chiesto l’autorizzazione.

La copia digitale rappresenta, in potenza, una preziosa risorsa capace di accrescere il proprio valore e quello del bene culturale di base, ma nel settore pubblico è ancora percepito non come occasione di sviluppo o incentivo, ma come possibile rischio di ‘abuso’ da evitare in modo preventivo attraverso l’immissione nel web di immagini di bassa qualità, non scaricabili o non riutilizzabili. Questo *modus operandi* è frutto di «incertezze normative dal quale deriva il timore, per i direttori degli istituti, di incappare nel cosiddetto danno erariale oppure, al contrario, è alimentato dalla speranza, o meglio, l’illusione di ricavare ingenti utili dalla vendita delle immagini e dei relativi diritti, nonostante i bilanci [...] dimostrino, semmai, l’esatto contrario»⁹⁷. Anche il retaggio di un pensiero ‘proprietario’ del patrimonio

patrimonio culturale.

L’art.4 dichiara che chiunque a diritto a trarre beneficio e a contribuire ad arricchire l’eredità culturale, ponendo come limite la protezione dell’interesse pubblico e degli altrui diritti e libertà, cioè che il contributo che ogni cittadino pone nei confronti dei beni culturali non deve ledere in alcun modo, ricollegandosi così al concetto di ‘diritto morale sull’opera’.

96. Si veda l’articolo de Il Sole 24ore. < <http://america24.com/news/il-david-di-michelangelo-usato-da-un-azienda-di-armi-usa-polemica> >.

97. M. Modolo, *Reinventare il patrimonio: il libero riuso dell’immagine digitale del bene culturale pubblico come leva di sviluppo nel post Covid*, «L’Italia e l’Europa alla prova dell’emergenza: un nuovo paradigma per la cultura», n°42/2020, p. 215.

ha sicuramente un suo peso, ma anche quello di voler prevenire utilizzi indecorosi, che però sono associati all'uso delle immagini del patrimonio per scopi di lucro e non secondo l'esempio precedentemente riportato: in conclusione, «le ragioni di tutela del decoro, che in ogni caso potranno essere sempre fatte valere ex post in giudizio puntando sui diritti morali dell'autore dell'opera, sembrano piuttosto celare una diffidenza preconcepita, quanto anacronistica, nei confronti del binomio economia-cultura»⁹⁸.

98. *Ibidem*.

CONCLUSIONI

Con la presente tesi si è voluto analizzare l'apporto nel campo dei beni culturali di alcune delle più recenti innovazioni tecnologiche, quali il rilievo metrico, la modellazione e la prototipazione, esaminando le risorse e criticità del loro diffuso impiego.

Attraverso lo studio su l'evoluzione del concetto di patrimonio culturale nella storia si è evidenziato come ciò che viene considerato patrimonio culturale è sempre in continua evoluzione: ciò che in passato non era considerato meritevole di tutela oggi appartiene al nostro patrimonio culturale e, volgendo uno sguardo al futuro, si intende cercare di capire se i prodotti digitali possano essere inclusi.

La digitalizzazione e la modellazione dei beni culturali possono essere considerati uno strumento utile a perseguire la tutela del patrimonio e a promuovere una più diffusa fruizione. Per la tutela si pone l'accento sull'importanza di rendere fruibili liberamente gli elaborati prodotti dai professionisti e di come lavorare in digitale contribuisca in modo significativo all'interoperabilità tra gli esperti, alla programmazione e alla registrazione delle analisi e degli interventi effettuati sui beni. Per quanto attiene il tema della fruizione del patrimonio il digitale permette di trovare nuovi spazi di inclusione sociale e approfondimento semantico, ponendo attenzione alla rigorosità intellettuale e tecnica dei prodotti digitali proposti.

I contributi che l'uso delle nuove tecnologie apportano a professionisti e utenti conducono a intavolare un dibattito sul ruolo e regolamentazione che debbano avere gli elaborati digitali: benché siano potenzialmente replicabili all'infinito, possono essere considerati beni meritevoli di tutela?

I caratteri formativi di cui sono dotati conferiscono loro maggiore forza comunicativa e di fruizione del patrimonio esistente, generano nuove connessioni arricchendo il bene che rappresentano, dotandolo di informazioni e parametri in continua evoluzione.

Si ritiene dunque importante cercare, anche a livello normativo, soluzioni che possano offrire risposte sul loro uso e riuso nel

web, in un mondo in cui il filo conduttore che ancora lega i differenti usi delle risorse digitali è il ‘pensiero proprietario’: chi è in possesso o produttore di elaborati o beni digitalizzati non è incline alla condivisione e al loro libero accesso da parte di terzi, catena che necessita di essere spezzata.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

Capitolo_1

Bibliografia

Becatti G., Koehler W., *Enciclopedia dell'Arte Antica*, in Enciclopedia Treccani, 1996.

Bellini A. ; Torsello B. P., *Cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Venezia, Marsilio, 2005.

Brusaporci S., Trizio I., *La 'Carta di Londra' e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, «Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione», Vol 3, Issue 2, 2013.

Choay F., *L'allegoria del patrimonio*, Roma, Officina, 1995.

D'Alconzo P., *La tutela del patrimonio archeologico nel Regno di Napoli tra Sette e Ottocento*, «Mélanges de l'École française de Rome. Italie et Méditerranée, tome 113, n°2. 2001. Antiquités, archéologie et construction nationale au XIXe siècle. Journées d'études», Roma 29-30 aprile 1999, Ravello 7-8 aprile 2000.

Dal Pozzolo L., *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018.

Enea, *Archiviazione di dati digitali nell'infrastruttura cloud*, ENEA, 2016.

Granelli A., Tracò F. (a cura di), *Come le tecnologie digitali potenzieranno la rendita del nostro patrimonio culturale*, Milano, Il Sole 24 ORE, 2006.

Moioli R., Baldioli A. (a cura di), *Conoscere per conservare. 10 anni per la Conservazione*, «Quaderni dell'Osservatorio» n. 29, 2018.

Nietzsche F., *Così parlò Zarathustra. Un libro per tutti e per nessuno*, Milano, Monanni, 1927.

Niglio O., *Documenti e norme per la Conservazione dei Beni Architettonici ed Ambientali*, Roma, Aracne, 2012.

Salituro G., *Beni culturali e quadri normativi. L'itinerario storico*, Soveria Mannelli, Rubbettino editore, 2006.

Scianna A., Serlorenzi M., Gristina S., Filippi M., Paliaga S., *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, Archeologia e Calcolatori, Supplemento 7, 2015.

Spallazzo D., Spagnoli A., Trocchianesi R., *Il museo come organismo sensibile*, Dipartimento INDACO, Politecnico di Milano, 2009.

Vecco M., *L'evoluzione del concetto di Patrimonio Culturale*, Milano, Franco Angeli, 2007.

Sitografia

Agenda Digitale Europea, <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0245&from=it>>.

Catalogazione dei beni culturali in ambito regionale: i sistemi informativi regionali e il rapporto con il Catalogo nazionale, <<http://www.iccd.beniculturali.it/it/159/eventi/4810/la-catalogazione-dei-beni-culturali-in-ambito-regionale-i-sistemi-informativi-regionali-e-il-rapporto-con-il-catalogo-nazionale>>.

Dataset del Ministero per i beni e le attività culturali <[http://www.culturaitalia.it/opencms/export/sites/culturaitalia/attachments/FONTI DATI 2018 01.pdf](http://www.culturaitalia.it/opencms/export/sites/culturaitalia/attachments/FONTI_DATI_2018_01.pdf)>

FAI scuola, La legislazione dei beni culturali e del paesaggio, 2017, <<https://fai-website.imgix.net/uploads/2017/11/23151202/>>

[FAI MissionePaesaggio 2.2.pdf](#)>.

ICOM Italia, <*<http://www.icom-italia.org>*>.

La catalogazione dei beni culturali in ambito regionale: i sistemi informativi regionali e il rapporto con il Catalogo nazionale, <*www.iccd.beniculturali.it/it/159/eventi/4810/la-catalogazione-dei-beni-culturali-in-ambito-regionale-i-sistemi-informativi-regionali-e-il-rapporto-con-il-catalogo-nazionale*>.

Partner digitali di Cultura Italia, <*<http://www.culturaitalia.it/opencms/export/sites/culturaitalia/attachments/FONTI DATI 2018 01.pdf>*>.

Piano strategico di sviluppo del turismo, <*<https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1481892223634 PST 2017 IT.pdf>*>.

Piano triennale per la digitalizzazione e l'innovazione dei musei, <*<http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l-Innovazione-dei-Musei.pdf>*>.

Progetto Minerva, <*https://www.minervaeurope.org/publications/handbookwebusers_it.htm*>.

Servizio per la digitalizzazione del patrimonio culturale Digital Library, <*<https://www.beniculturali.it/ente/istituto-centrale-per-la-digitalizzazione-del-patrimonio-culturale-digital-library>*>.

SICaRweb – Sistema Informativo per i Cantieri di Restauro, <*<http://sicar.beniculturali.it:8080/website/>*>

Strategia per la crescita digitale <*http://presidenza.governo.it/GovernoInforma/documenti/piano_crescita_digitale.pdf*>

Treccani, Utilitas, <*https://www.treccani.it/enciclopedia/utilitas_%28Enciclopedia-dell%27-Arte-Antica%29/*>.

Una politica per i Beni Culturali, <https://www.treccani.it/enciclopedia/una-politica-per-i-beni-culturali_%28XXI-Secolo%29/>.

Carte e leggi

Carta di Atene, 1931.

Carta di Burra, *Carta dell'ICOMOS Australia per la conservazione dei luoghi e dei beni patrimonio culturale*, 19 Agosto 1979.

Carta di Cracovia, *Principi per la conservazione ed il restauro del patrimonio costruito*, 25 ottobre 2000.

Carta di Nara, 6 novembre 1994.

Carta di Parma, 19 novembre 2003.

Carta di Venezia, 31 maggio 1964, <https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf>.

Carta italiana del Restauro, 1972.

Carta per la Conservazione del Patrimonio Digitale, 2003.

Convenzione di Faro, 2005.

Convenzione per la protezione dei Beni Culturali in caso di conflitto armato, L'Aja, 1954, <<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1958/04/11/058U0279/sg>>.

Convenzione per la salvaguardia del Patrimonio Culturale Immateriale, 17 ottobre 2003.

Convenzione sui diritti delle persone con disabilità, Comitato italiano per l'UNICEF - ONLUS, 2006.

D.Lgl. 22 gennaio 2004, n°42, *Codice dei Beni Culturali e del*

Paesaggio, ai sensi dell'art.10 Legge 6 luglio 2002, n.137, <<https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2004-01-22;42@originale>>.

Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999 n.554, *Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici*, Gazzetta Ufficiale n.98.

La Carta di Londra per la Visualizzazione Digitale dei Beni Culturali, 7 febbraio 2008.

Legge 1 Giugno 1939, n.1089, *Tutela delle cose d'interesse Artistico o Storico*, Gazzetta Ufficiale n.184.

Legge 26 aprile 1964, n.310, *Costituzione di una Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio – Commissione Franceschini*, Gazzetta Ufficiale n.128.

Capitolo_2

Bibliografia

Barbarella M., Fiani M., *Monitoring of large landslide by terrestrial laser scanning techniques: field data collection and processing*, European Journal of Remote Sensing, Taylor & Francis, 2013.

Betrocci S., Bini M., *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Novara, Città Studi, 2012.

Bini M., Battini C., *Nuove immagini di monumenti fiorentini: rilievi con tecnologia scanner laser 3D*, Firenze, Alinea, 2007.

Bornaz L., *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione, in Laser scanning terrestre*, Udine, CISM, 2004.

Brusaporci S., *Sistemi Informativi Integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del Patrimonio Architettonico*

Urbano, a cura di M. Centofanti, Roma, Gangemi, 2010.

Cannarozzo R., Cucchiarini L., Meschieri W., *Misure, rilievo, progetto*, Quinta edizione, Bologna, Zanichelli, 2017.

Centofanti M., Brusaporci S., *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico urbano*, Roma, Gangemi, 2010.

Crosilla F., Galetto R., *La tecnica del laser scanning: teoria ed applicazione*, Udine, CISM, 2003.

Davinio C., *Virtual mercury house. Planetary & interplanetary events*, Ediz. italiana, Roma, Polimata, 2012.

Fiorani D., *Il futuro dei centri storici: digitalizzazione e strategia conservativa*, Roma, Quasar, 2019.

Giradeau-Montaut D., Roux M., Marc R., Thibault G., *Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner*, Workshop Laser scanning 2005, 12-14 settembre.

Guerra F., Adami A., Vernier P., *Realizzazione di modelli multiscala della città attraverso l'integrazione di tecniche 3D*, in Conferenza nazionale ASITA, Bolzano, 2006.

Lo Turco M., Mattone M., Rinaudo F., *Metric survey and bim technologies to record decay conditions*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5/W1.

Rinaudo F., *Nuove frontiere della fotogrammetria digitale per il rilievo metrico dell'architettura*, in Conoscere, Conservare, Valorizzare, Napoli, Arte Tipografica Editrice, 2013.

Sgariglia S., *L'Athenaion di Siracusa: una lettura stratigrafica tra storia e segni*, Siracusa, LetteraVentidue, 2009.

Sgrenzaroli M., Vassena G.P.M., *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner*, Volume 1, Brescia, Starrylink Editrice, 2007.

Solari G., Chen S.-H., Di Prisco M., Vayas I., *Photogrammetric Survey for the Recording and Documentation of Historic Buildings*, Springer, 2020.

Tufarolo E., *Auto-calibrazione di fotocamere digitali amatoriali applicata a tecniche di acquisizione multi-scala in fotogrammetria dei vicini*, «Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia», 152, 2014.

Sitografia

3D scanning through structured light projection, <<https://www.3dnatives.com/en/structured-light-projection-3d-scanning/>>

An improved workflow for image-and laser-based virtual geological outcrop modelling, <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/Sima_isprs2010.pdf>

Auto-calibrazione di fotocamere digitali amatoriali applicata a tecniche di acquisizione multi-scala in fotogrammetria dei vicini, <<https://www.openstarts.units.it/bitstream/10077/11030/1/Tufarolo.pdf>>

Caratteristiche del laser, <<http://www.geocos.it/laser-scanner/principi-di-funzionamento/>>

Centro tematico nazionale territorio e suolo, <<http://ctntes.arpa.piemonte.it>>

Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner, <<https://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/3-w19/papers/030.pdf>>

Confronto tra le più comuni tecnologie di stampa 3D, <<https://formlabs.com/it/blog/fdm-vs-sla-compare-types-of-3d-printers/#Materiali%20e%20applicazioni>>

Fotogrammetria e Photoscan, <<https://3dmetrica.it/fotogrammetria-photoscan-calibrazione-immagini/>>

Fotogrammetria, <<https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/droni-sapr/201568-applicazioni/fotogrammetria.aspx>>

Geomatica e Conservazione, <<http://www.geomaticaeconservazione.it>>

Guida ai materiali per la stampa 3D, <<https://www.ddstudioservice.com/wp-content/uploads/2015/06/eagle3d-material-guide-2016.pdf>>

Guida al Binder Jetting, <<https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting>>

Guida al FDM 3D, <<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>>

Guida alla stampa 3D tramite sinterizzazione laser selettiva (SLS), <<https://formlabs.com/it/blog/sinterizzazione-laser/>>

Guida tecnica per la stampa 3D, <<https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-IT.pdf>>

I metodi del rilievo, <http://www.rilievoarcheologico.it/manuale_rilievo8_000020.htm>

Il TIN: rappresentare con i triangoli, <<https://www.afdrones.it/rilievo-di-un-terreno-e-rappresentazione-con-triangoli/>>

Introduction to binder jetting 3D printing, <<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>>

La Fortezza da Basso di Firenze - nuove tecnologie per il rilievo e il restauro, <<https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/droni-sapr/201568-applicazioni/fotogrammetria.aspx>>.

Nuvola di punti, <<https://3dmetrica.it/pulizia-nuvola-di-punti/>>

Precisione e accuratezza, <<https://www.archeodigital.it/blog/precisione-e-accuratezza-degli-strumenti-topografici/>>

Produzione additiva e sottrattiva, stampa 3D, <<https://www.3dz.it/produzione-additiva-o-sottrattiva/>>

Progetto Nanocoat. Materiali innovativi nella stampa 3D, <http://www.innovafvg.it/fileadmin/user_innovafvg/progetti/stampa_3D.pdf>

Realizzazione di modelli multiscala della città attraverso l'integrazione di tecniche 3D, <http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Laboratori2/laboratori/pubblicazi/precedenti/2006_realizzazione-modelli.pdf>

Tecnologie 3D all'interno del restauro, <<https://www.stampa3dstore.com/le-tecnologie-3d-al-servizio-del-restauro/>>

Tecnologie di stampa 3D a confronto: modellazione a deposizione fusa, stereolitografia e sinterizzazione laser selettiva, <<https://formlabs.com/it/blog/fdm-sla-sls-scegliere-tecnologia-stampa-3d/>>

Capitolo_3

Bibliografia

Accardo G., Cacace C., Rinaldi R., *Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio*, in ARKOS - Scienza e Restauro dell'Architettura, Nardini Editore Anno VI - Nuova Serie - aprile/giugno, 2005.

Agostiano M., Concas D., *Beni culturali accessibili: una sfida aperta tra conservazione, normative e aspettative sociali*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.1 Tutela, pratica, codici e norme, Edizioni Quasar, 2020.

Boato A. *Conoscenza e indagini conoscitive nel restauro: una introduzione*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 1.1 Conoscenza previa (preventiva) e puntuale (mirata) Metodologie, Edizioni Quasar, 2020.

C. Giannini, R. Roani, M. Picollo, G. Lanterna, D. Tapete, *Dizionario del restauro e della diagnostica*, Firenze, Nardini, 2010.

Campisi M.T., *La catalogazione come strumento di gestione attiva. Dagli oggetti isolati alla rete di relazioni per la salvaguardia e valorizzazione dei Beni nei territori*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 1.3 Conoscenza previa (preventiva) e puntuale (mirata) Metodologie, Edizioni Quasar, 2020.

F. Fabiani, R. Grilli, V. Musetti, *Verso nuove modalità di gestione e presentazione della documentazione di restauro: SICaR web la piattaforma in rete del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo*, in «Bollettino Ingegneri», Collegio degli Ingegneri della Toscana, 2016.

Fantini E., *Strategie per la conservazione e gestione programmata del patrimonio portoghese. Un caso applicativo nella Facoltà di Architettura dell'Università di Porto*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 2 Programmazione e finanziamenti, Edizioni Quasar, 2020.

M. Mattone, *Per una più diffusa sistematizzazione delle informazioni relative agli interventi di Restauro: il ruolo dell'Università*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.3: Tutela, pratica, codici e norme, Esperienze, a cura di M. De Vita, Andrea Pane, Roma, Edizioni

Quasar, 2020.

Martines G. *La diagnostica per il progetto o il progetto per la diagnostica?*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 1.1 Conoscenza previa (preventiva) e puntuale (mirata) Metodologie, Edizioni Quasar, 2020.

Musso S.F., Pretelli M., *Restauro e cantieri. Conoscere, progettare, fare, gestire. Il Restauro tra saperi disciplinari e pratiche di cantiere e gestione*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 0 Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione, Premessa e Apparatati di un lavoro condiviso, Edizioni Quasar, 2020.

S. Della Torre, M. P. Borgarino, R. Moioli, *Dal restauro alla conservazione programmata del patrimonio storico architettonico*, Politecnico di Milano - Dipartimento ABC, 2011.

Sorbo E., *Definizioni normative, orizzonti prescritzionali e attori del processo di conservazione. Open Issues. Challenges. New perspectives. Ovvero per un superamento del 'materialismo radicale'*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.1 Tutela, pratica, codici e norme, Edizioni Quasar, 2020.

Sitografia

Composizione del SIT, <https://it.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system>.

Fasi di processo dell'HBIM, <<https://www.youtube.com/watch?v=Mebf8xYgvAk>>.

Guida al BIM, <<https://download.acca.it/Files/ebook-guida-al-bim.pdf>>.

Heritage BIM per la documentazione, <https://www.youtube.com/watch?v=qeKvE_eevkU>.

ICCU - Istituto Centrale per il Catalogo Unico, <<https://www.iccu.sbn.it/it/internet-culturale/contesto-europeo/>>.

Il Capitale Culturale, <<https://riviste.unimc.it/index.php/cap-cult/article/view/2532/1736>>.

La digitalizzazione del patrimonio culturale. Catalogare nel 2020, <<http://www.aedon.mulino.it/archivio/2020/3/birrozzi.htm>>.

La raccolta ragionata dei dati e delle informazioni per la gestione, la manutenzione ed il monitoraggio dei beni culturali architettonici, <<https://core.ac.uk/download/pdf/16382763.pdf>>.

Modelli 3D e semantica, <https://www.youtube.com/watch?v=3EZYBn83B_E>.

SICaRweb, <<http://sicar.beniculturali.it>>.

Sperimentazione del sistema ministeriale SICaR w/b per la gestione e la consultazione informatizzata dei dati sulla policromia, <https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Scopigno/publication/317758467_Sperimentazione_del_sistema_ministeriale_SICaR_wb_per_la_gestione_e_la_consultazione_informatizzata_dei_dati_sulla_policromia/links/59f1b91ea6fdcc1dc7b9207f/Sperimentazione-del-sistema-ministeriale-SICaR-w-b-per-la-gestione-e-la-consultazione-informatizzata-dei-dati-sulla-policromia.pdf>.

Terzo Seminario Interdisciplinare Economia e Tecniche della Costruzione 5 Giugno 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=qeKvE_eevkU>.

Carte e leggi

D.Lgl. 22 gennaio 2004, n°42, *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*, ai sensi dell'art.10 Legge 6 luglio 2002, n.137.

Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999 n. 554, Gazzetta Ufficiale n. 98.

Decreto Legislativo 18 aprile 2016 n.50, Gazzetta Ufficiale n.91.
Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n.42, Gazzetta Ufficiale n.252.

Schede

Scheda 1:

<http://sicar.beniculturali.it:8080/website/ricerca-in-sicar/>

Scheda 2:

<https://download.acca.it/Files/ebook-guida-al-bim.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=ojRgg9za0iA>

Scheda 3:

<https://www.bergamoguide.it/galleries/passeggiata-lungo-le-mura-veneziane/>

<https://muraveneziane.bergamo.it/gli-interventi/>

<https://muraveneziane.bergamo.it/le-mura-in-3d/>

Mirabella Roberti G., *Per una manutenzione mirata di sistemi complessi: uso di un modello spaziale come strumento operativo per la pubblica amministrazione*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 3.2 Committenza e patrimonio, Edizioni Quasar, 2020.

Uav photogrammetry for Cultural Heritage preservation modeling and mapping venetian walls of Bergamo, <https://aisberg.unibg.it/retrieve/handle/10446/134360/296935/isprs->

[archives-XLII-2-W9-45-2019.pdf](#)

Scheda 4:

[<https://www.ilgiornaledellarte.com/articoli/volterra-nella-cava-di-pietre-c-era-l-anfiteatro/135411.html?fbclid=IwAR02dbGB0M0_3LQQmSZ6dD6o%20xFbbFs_iqU7yP3IbVhvziQI3sIX3DlFR6Nw>](#)

[<https://www.finestresullarte.info/archeologia/anfiteatro-di-volterra-scavo-archeologico-dell-anno-2020>](#)

[<https://www.ispc.cnr.it/it_it/2020/12/16/un-team-multidisciplinare-di-professionisti-e-ricercatori-per-lanfiteatro-ritrovato-di-volterra/>](#)

Scheda 5:

[<https://www.edizioniquasar.cloud/Restauro/assets/sez.-5.3.pdf>](#)

Scheda 6:

[<http://diglib.eg.org/bitstream/handle/10.2312/VAST.VAST12.105-112/105-112.pdf?sequence=1&isAllowed=y>](#)

Scheda 7:

[<https://gazzettadimantova.gelocal.it/mantova/foto-e-video/2015/11/13/fotogalleria/mantova-ducale-terminato-il-restauro-alla-sala-cristoforo-sorto-1.12437780>](#)

[<https://milano.repubblica.it/cronaca/2015/12/03/foto/mantova-128712845/1/>](#)

[<https://milano.corriere.it/foto-gallery/cronaca/15_maggio_07/restauro-tre-dimensioni-ducale-mantova-87c988a6-f4d1-11e4-83c3-0865d0e5485f.shtml>](#)

https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:A1XavYWF8_wJ:https://mediageo.it/ojs/index.php/archeomatica/article/download/1254/1151+&cd=5&hl=it&ct=clnk&gl=it

Scheda 8:

<https://natchard.com/2012/11/14/annie-pfeiffer-chapel-blocks/>

<https://www.flsouthern.edu/news/archived/2014/general/3-d-printing-used-in-restoration-of-annie-pfeiffer.aspx>

<https://www.wmf.org/project/florida-southern-college>.

Capitolo_4

Bibliografia

Antinucci F., *Comunicare nel museo*, Bari, Gius. Laterza & Figli, 2014.

Battista G., Sorbo E., *Narrazioni digitali. Nuovi strumenti culturali e creativi per l'inclusione sociale*, «Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione», sezione 5.1: Tutela, pratica, codici e norme, a cura di A. Aveta, E. Sorbo, Roma, Edizioni Quasar, 2020.

Corradetti M. L., *La visita in un museo di una persona non vedente o ipovedente: strumenti cognitivi e rapporto con la guida museale*, «Clionet. Per un senso del tempo e dei luoghi», vol.2, Roma, BraDypUS Communicating Cultural Heritage, 2019.

Dal Pozzolo L., *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018.

Piscitelli M., *Comunicazione e fruizione del patrimonio culturale. Percorsi integrati, interattivi, multisensoriali*, Napoli, La scuola di Pitagora, 2017.

Ricci A., *I mali dell'abbondanza. Considerazioni impolitiche sui beni culturali*, Roma, Lithos, 1996.

Scaltritti M., *Comunicare i beni archeologici*, Franco Angeli Edizioni, 2013.

Sitografia

Agenda Digitale Italiana, <<http://www.funziopubblica.gov.it>>.

Archologia tecnologica. Al Museo Egizio di Torino, <<https://www.artribune.com/arti-visive/archeologia-arte-antica/2019/03/mostra-tecnologia-museo-egizio-torino/>>.

DiGi Scuola 2007/2008, <<https://www.indire.it>>.

FOR TIC3 Obiettivo DiGi Scuola, <<https://archivio.pubblica.istruzione.it>>.

Gamification, <<https://www.gamification.it/gamification/introduzione-alla-gamification/>>.

Il diritto 'alla cultura', l'accesso ad Internet e la pubblica fruizione del patrimonio culturale ai tempi del Covid-19: se non ora, quando? <<https://www.filodiritto.com/il-diritto-alla-cultura-laccesso-ad-internet-e-la-pubblica-fruizione-del-patrimonio-culturale-ai-tempi-del-covid-19-se-non-ora-quando>>.

Il fatto quotidiano, <<https://www.ilfattoquotidiano.it/in-edicola/articoli/2020/07/18/la-venere-chiara-riduce-botticelli-a-tormentone-social/5872399/>>.

Innovazione e Tecnologia: Nuove frontiere dei MiBAC, <https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1318842348697_01Lubec_11_bassaCOMPLETO.pdf>

Osservatorio Innovazione Digitale nei Beni e Attività Culturali, <<http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/06/Report->

[Convegno-Innovazione-Arte-Beni-Culturali 23-maggio-2019.pdf](#)>

Osservatorio Nazionale “Cultura e turismo: impresa e lavoro”,
<https://www.ebnt.it/files/documenti/studi-e-ricerche/osservatori/osservatorio-h/dati_osservatorio_h_i_edizione_2014.pdf>

Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD), <<https://www.miur.gov.it>>.

Piano Strategico di Sviluppo del Turismo, <https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1481892223634_PST_2017_IT.pdf>

Progettazione multimediale per il museo interattivo. Fonte:
<<https://www.art-museum.it/allestimento-museo-multimediale.html>>.

Progetto Arte in Luce, <<https://www.youtube.com/watch?v=EH4kLxORXOA>>

Report analisi delle potenzialità del digitale a supporto dell'ecosistema culturale italiano, 2019, <<http://musei.beniculturali.it>>.

Report: Museums, museum professionals and COVID-19: follow-up survey, <<https://icom.museum/wp-content/uploads/2020/11/FINAL-EN-Follow-up-survey.pdf>>

Storia e tecnologia: con la realtà virtuale l'Ara Pacis si vede con gli occhi degli antichi romani, <https://www.youtube.com/watch?v=4fq9TJ80x_U>.

Touching the Prado: a hand on approach to accessibility, <<https://advisor.museumsandheritage.com/features/touching-the-prado-a-hands-on-approach-to-accessibility/>>

Carte e leggi

Carta dei diritti fondamentali dell'Unione Europea, 7 dicembre 2000, <https://www.europarl.europa.eu/charter/pdf/text_it.pdf>.

Carta di Ename, ICOMOS <[http://icip.icomos.org/downloads/ICOMOS Interpretation Charter ENG 04 10 08.pdf](http://icip.icomos.org/downloads/ICOMOS%20Interpretation%20Charter%20ENG%2004%2010%2008.pdf)>.

D.Lgl. 22 gennaio 2004, n.42, *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*, ai sensi dell'art.10 Legge 6 luglio 2002, n.137.

D.M. 21 febbraio 2018 n.113, *Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del Sistema museale nazionale*. Gazzetta Ufficiale n.78.

Decreto Legge n. 179 del 2012 e raccordato con la Legge di conversione n. 221/2012.

Il Codice Etico dell'ICOM, <<http://www.icom-italia.org/wp-content/uploads/2018/02/ICOMItalia.CodiceEticoICOMItalia.pdf>>.

Schede

Scheda 1:

<<https://www.uffizi.it/palazzo-pitti/galleria-palatina>>

Scheda 2:

<<https://virtualtour.museoegizio.it>>

<<https://museoegizio.it/esplora/mostre/archeologia-invisibile/>>

<<https://www.corriere.it/19-marzo-12/museo-egizio-torino-archeologia-invisibile-nuova-mostra-ffc469be-44bb-11e9-b3b0-2162e8762643.shtml>>

<https://www.ansa.it/canale_viaggiart/it/regione/>

[piemonte/2019/03/12/museo-egizioapre-archeologia-invisibile_99f0d3fc-da40-421a-9e61-b84ef88eaf87.html](https://www.piemonte/2019/03/12/museo-egizioapre-archeologia-invisibile_99f0d3fc-da40-421a-9e61-b84ef88eaf87.html)

Scheda 3:

<https://www.artribune.com/progettazione/new-media/2017/03/ara-com-era-ara-pacis-realta-virtuale-aumentata-roma/>

<https://tourvirtuale.arapacis.it>

https://www.youtube.com/watch?v=4fq9TJ80x_U

Scheda 4:

<https://www.factumfoundation.org/pag/1548/the-facsimile-of-tutankhamuns-tomb-overview>

https://www.factum-arte.com/resources/files/fa/press_releases/web_tutankhamun_exhibition.pdf

<https://archeologiavocidelpassato.com/tag/copia-camera-funeraria-di-tutankhamon/>

Scheda 5:

<https://parcocolosseo.it/visita/il-parco-per-tutti/il-parco-per-la-disabilita-visiva/>

<https://www.replicatore.it/il-museo-palatino-di-roma-offre-un-percorso-tattile-per-ipo vedenti-grazie-alla-stampa-3d/>

<https://www.3d-archeolab.it/portfolio-items/percorso-tattile-ciechi-ipo vedenti-del-museo-del-palatino-di-roma/>

Scheda 6:

<https://www.uffizi.it/mostre-virtuali>

<<https://www.uffizi.it/mostre-virtuali/imperatrici-matrone-liberte>>

Scheda 7:

<<https://artsandculture.google.com/partner?hl=it>>

Capitolo_5

Bibliografia

Battilani P., *Si fa presto a dire patrimonio culturale. Problemi e prospettive di un secolo di patrimonializzazione della cultura*, «Storia e Futuro», n°51/2017.

Cammelli M., *Immateriale economico e profilo pubblico del bene culturale*, in G. Morbidelli, A. Bartolini (a cura di), *L'immateriale economico nei beni culturali*, Torino, Giappichelli, 2016.

Carbonara G., *La reintegrazione dell'immagine: problemi di restauro dei monumenti*, Roma, Bulzoni, 1976.

Dal Pozzolo L., *Il patrimonio culturale tra memoria e futuro*, Milano, Editrice Bibliografica, 2018.

Forte P., *Il bene culturale pubblico digitalizzato. Note per uno studio giuridico*, in P.A. Persona e Amministrazione. Ricerche Giuridiche sull'Amministrazione e l'Economia, Urbino, dell'Università degli studi di Urbino Carlo Bo, 2019.

Giusto R. M., Buono M., *La ri-scrittura del patrimonio culturale nell'Era digitale*, «Boletín de arte», n°41/2020.

Manacorda D., *L'Italia agli Italiani. Istruzioni e ostruzioni per il patrimonio culturale*, Bari, Edipuglia, 2014.

Modolo M., *Reinventare il patrimonio: il libero riuso dell'immagine digitale del bene culturale pubblico come leva di sviluppo nel post*

Covid, «L'Italia e l'Europa alla prova dell'emergenza: un nuovo paradigma per la cultura», n°42/2020.

Montanari T., *Istruzioni per l'uso del futuro. Il patrimonio culturale e la democrazia che verrà*, Roma, Minimum Fax, 2014.

Sitografia

Art-Bonus - Credito di imposta per favorire le erogazioni liberali a sostegno della cultura <<https://artbonus.gov.it/assets/components/artbonus/pdf/DECRETO-LEGGE%2031%20maggio%202014,%20n.%2083%20con%20successive%20modificazioni%20vigente%20al%2027.12.2017.pdf>>.

David di Michelangelo, <<http://america24.com/news/il-david-di-michelangelo-usato-da-un-azienda-di-armi-usa-polemica>>.

Digital Storytelling, <<http://www.abc-digitale.it/wp-content/uploads/2020/05/Digital-Tool-2-DST.pdf>>.

Statuto per il dominio pubblico di Europeana, <https://pro.europeana.eu/files/Europeana_Professional/Publications/Public_Domain_Charter/Public%20Domain%20Charter%20-%20IT.pdf>.

Carte e leggi

Carta di Londra, Edizione italiana, Bozza 2.1, a cura di Enrica Salvatori.

Convenzione di Faro, 2005.

Direttiva (UE) 2019/790 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 aprile 2019, diritto d'autore e sui diritti connessi nel mercato unico digitale.