

Dalla misura alla narrazione accessibile: il modello tattile della Chiesa di Santa Maria di Portonovo

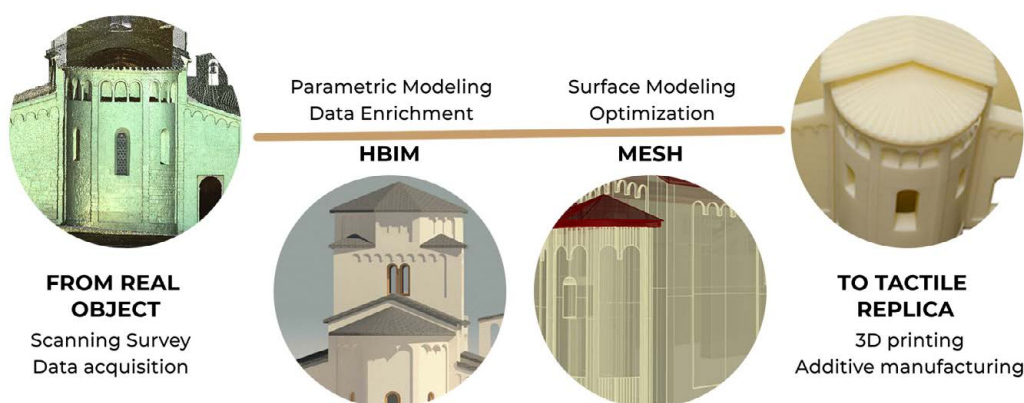
Ramona Quattrini
Romina Nespeca
Laura Coppetta
Raissa Mammoli
Deborah Licastro

Abstract

L'inclusività museale è ancora un obiettivo in via di consolidamento e, in questo contesto, i modelli tattili rappresentano un esempio virtuoso di come la tecnologia possa agevolare l'accesso al patrimonio culturale, espandendo la platea di fruitori e promuovendo una narrazione multisensoriale. La ricerca, qui presentata, propone un approccio consolidato ed efficace all'accessibilità ai beni architettonici attraverso la creazione di un modello tattile per la Chiesa di Santa Maria di Portonovo. Affrontando le sfide dell'inclusività per le persone con disabilità visiva, il progetto si basa su modelli tridimensionali *reality-based* ottenuti da dati esistenti, come il rilievo laser scanner e il modello HBIM. Le fasi di modellazione digitale, inclusa l'ottimizzazione per la stampa 3D, sono descritte, evidenziando l'utilizzo della tecnica *Filament Deposition Modeling*. Viene inoltre restituito il più ampio contesto del team di lavoro costituito che ha visto la partecipazione di istituzioni e enti di ricerca e tutela, al fine di creare un'esperienza significativa per il pubblico. I risultati ottenuti attraverso questo approccio non si riducono a esercizio tecnologico, ma implicano la considerazione della memoria tattile, la comprensione degli utenti finali e la valutazione del rapporto fra scala e dettaglio percepito. Lo studio mostra che la stampa additiva costituisce un valido supporto per la fruizione del patrimonio costruito, grazie alla creazione di modelli tattili che permettono un'esperienza utente inclusiva ed educativa.

Parole chiave

stampa additiva, modellazione 3D, accessibilità, modello tattile, narrazione multisensoriale



Workflow di lavoro:
dall'acquisizione del
reale al modello tattile.
Elaborazione degli autori.

Introduzione

I nuovi sistemi di digitalizzazione del patrimonio ci interrogano e spingono alla definizione di nuovi paradigmi di accesso e fruizione dei beni, consentendone contemporaneamente una maggiore conoscenza. A questo proposito la realizzazione di modelli tridimensionali *reality-based* consente una lettura complessiva dei beni architettonici e fornisce strumenti in grado di portare ad una maggiore diffusione della conoscenza del patrimonio stesso. Proprio per le varie possibilità che i modelli 3D offrono in termini di apprendimento, recentemente sono state sviluppate numerose ricerche per rendere più accessibile il patrimonio artistico a diversi target di utenti.

Per quanto riguarda la percezione e la comunicazione visiva ed extra visiva delle persone, il disegno ha un ruolo centrale, soprattutto per le implicazioni che esso ha a livello sociale e dal punto di vista della rappresentazione del rapporto misura/disegno/simbolo. I bisogni delle persone con disabilità sensoriale vengono indagate dall'*Universal Design* e si trasformano in esigenze figurative e di conoscenza [Empler 2013]. La grafica e la progettazione della comunicazione per le persone con disabilità visiva richiedono naturalmente la scelta di un numero limitato di segni e simboli facilmente riconoscibili e percepibili attraverso il tatto o gli altri sensi [Zerlenga et al. 2022]. I modelli tattili, basati su stampa additiva (*Additive Manufacturing -AM*), costituiscono ad oggi una soluzione efficace e relativamente economica per creare esperienze accessibili ai non vedenti anche per le arti prettamente visuali, come l'architettura. La ricerca che presentiamo qui si inquadra nel più ampio filone della trasformazione digitale del patrimonio costruito e porta a frutto una collaborazione interdisciplinare, promossa dalla Soprintendenza Marche e supervisionata dal Museo Omero. In essa si è messo a punto un metodo che è stato in grado di riutilizzare dati esistenti, quali il rilievo laser scanner e in parte il modello HBIM, arrivando poi a sviluppare una esperienza tattile volumetrica della chiesa, da poter inserire nel percorso di visita all'interno della chiesa stessa. Il modello tattile ottenuto con stampa additiva è considerato un valido supporto alla visita della chiesa, anche per i visitatori vedenti, soprattutto per le sue implicazioni didattiche.

Stato dell'arte

L'accessibilità al patrimonio culturale è fondamentale per assicurare la piena inclusione a persone con disabilità cognitiva e sensoriale.

Si è impegnato in primis, già dal 1881, l'Istituto dei ciechi Francesco Cavazza di Bologna per aiutare le persone non vedenti e ipovedenti ad integrarsi nella società, fornendo loro formazione e riabilitazione: in particolare l'istituto ad oggi sviluppa progetti di tiflodidattica delle arti visive. Dal 1985 il Museo Omero ad Ancona ha avviato una attività pionieristica in questo campo permettendo la conoscenza dell'arte attraverso il tatto e, ad oggi, rappresenta un riferimento anche internazionale per l'inclusività di non e ipo-vedenti.

Grassini, ideatore e presidente del Museo Tattile Statale Omero, ha sviluppato l'idea che l'arte tattile possa offrire un'esperienza museale totale e diretta con le opere [Grassini 2015], in quanto il tatto può diventare un efficace mezzo per apprezzare l'arte e sviluppare una sensibilità estetica [Bellini 2000]. Nel 2022 l'ICOM, dopo lungo dibattito, ha aggiornato la definizione di museo sottolineando come questo debba essere accessibile ed inclusivo (ICOM, 2022) e richiamando quindi queste caratteristiche nella missione intrinseca del museo stesso. L'accessibilità sensoriale, sia in ambito museale che architettonico, è necessaria per avvicinare più individui possibili alla bellezza che ci circonda e ricopre un ruolo fondamentale per questo sviluppo il campo del disegno e del rilievo [Passamani et al. 2018; Riavis 2020].

Il progetto *In-Visible* (2022-2024), che raggruppa vari istituti europei, tra cui il già citato Museo Omero, "mira a rispondere a questo pressante e crescente bisogno di inclusione, migliorando l'accesso ai contenuti culturali nell'istruzione superiore per le persone con bisogni speciali". I punti più rilevanti delle Linee Guida di questo piano sono sicuramente la realizzazione di piattaforme di apprendimento e la creazione di modelli 3D accessibili.

Nelle persone con difficoltà visive il tatto permette la costruzione di un'immagine mentale

e attraverso la stampa 3D è possibile cogliere concetti ed elementi che solitamente non è possibile dedurre solo con l'audio [Scianna, Di Filippo 2019; Tiberti 2020].

La stampa additiva (AM), attraverso la costruzione di copie tangibili a partire da modelli virtuali digitali, rappresenta una delle tecnologie utilizzate per rendere più accessibile e fruibile il vasto patrimonio artistico.

Infatti, l'evoluzione della tecnologia di AM ha aperto nuove opportunità per la riproduzione di modelli tattili che consentono anche alle persone con disabilità visive di accedere a siti culturali, ai reperti e qualsiasi altro oggetto del patrimonio tangibile [Rossetti et al. 2018].

La prototipazione rapida è una tecnica che permette la produzione di copie materiali di oggetti con geometrie complesse a partire dal modello matematico acquisito con tecniche laser scanner o fotografiche in tempi relativamente brevi e spesso senza essere costosa [Balletti et al. 2018; Sgherri, Anzani 2017; Xu et al. 2017].

L'AM, se assecondata dalla trasformazione del modello museale, può essere impiegata per garantire la qualità della conoscenza delle persone disabili, reintegrando il senso del tatto nelle esperienze culturali [Clini et al. 2017].

Il livello di dettaglio della stampa 3D può essere dettato da numerosi fattori da prendere in considerazione caso per caso a seconda dell'approccio di apprendimento.

Nella Chiesa di Santa Maria di Portonovo, come si vedrà, si è scelta una rappresentazione generale per far capire la volumetria nel suo complesso; in altri casi, invece, ci si concentra maggiormente su delle caratteristiche specifiche. Ad esempio, si utilizza la stampa della sezione di un modello per capire la globalità e l'intreccio dei vari ambienti o i *layers* della struttura [Hangjun 2023]. Attualmente, le tecniche più innovative per rendere il patrimonio accessibile sono la rappresentazione tattile e l'illusione di poter toccare virtualmente i beni culturali [Amoruso 2023].

Il caso studio e il progetto di educazione al patrimonio culturale “Arte-insieme”

Il caso studio (fig. 1) qui presentato è stato sviluppato all'interno del progetto “Arte-insieme. La Chiesa di S. Maria di Portonovo, un'esperienza multisensoriale”, ideato e coordinato dai Servizi Educativi dell'allora Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche, nell'ambito della VII edizione della Biennale Arteinsieme, promossa dal Museo Tattile Statale Omero e finalizzata all'integrazione scolastica e sociale delle persone con disabilità.

L'intento è stato quello di promuovere la conoscenza e la piena fruizione del patrimonio culturale del territorio, favorendo una pedagogia delle arti multisensoriale e inclusiva.

Quindi un progetto rivolto a tutti, con particolare attenzione alle persone con disabilità visiva, che trovano ancora e troppo spesso condizioni educative inadeguate e barriere di tipo culturale che ostacolano la fruizione e la conoscenza del patrimonio storico-artistico.

L'iniziativa, avviata a settembre 2017 e conclusa a giugno 2018 con un evento inaugurale, è stata sviluppata nell'ambito delle specifiche competenze della Soprintendenza in materia di educazione al patrimonio culturale in ottemperanza agli artt. 118 e 119 del Codice dei Beni Culturali sulla promozione di attività di studio e ricerca e la diffusione della conoscenza del patrimonio culturale anche tramite apposite convenzioni con scuole e università finalizzate alla predisposizione di materiali e sussidi audiovisivi tenendo conto delle particolari esigenze determinate da persone con disabilità.

Scopo delle attività previste dal progetto è stata la produzione di due efficaci strumenti conoscitivi, atti a descrivere e favorire la conoscenza del bene culturale prescelto ad una più vasta utenza: un modello tridimensionale mediante tecniche di fabbricazione additiva a cura dei dipartimenti DICEA e DIISM dell'Università Politecnica delle Marche ed un libro tattile, con tavole a rilievo e testi descrittivi anche in braille, realizzato con materiali di riciclo da una classe della scuola secondaria di primo grado “Pinocchio-Montesicuro” di Ancona. Quest'ultimo descrive il monumento scelto attraverso immagini a rilievo e collage polimerici considerando tre elementi di conoscenza fondamentali: la pianta, la facciata, la planimetria del contesto (fig. 2).

Fig. 1. Chiesa di Santa di Portonovo, contesto paesaggistico e dettagli architettonici. Elaborazione degli autori.



Fig. 2. Totem sensoriale prodotto dall'I.C. Pinocchio Montesicuro e modello tattile con descrizione in Braille. Fotografie degli autori.

Il bene culturale individuato è stato la Chiesa di Santa Maria di Portonovo, è un autentico gioiello di architettura romanica, posto in uno scenario naturale di suggestiva bellezza a stretto contatto con il mare, dunque luogo ideale per vivere un'esperienza culturale e sociale piacevole e significativa. Si tratta anche di un contesto paesaggistico che ci invita più di altri a percepire con tutti i sensi; la chiesa si trova in un luogo un tempo isolato e difficilmente raggiungibile, nell'angolo estremo della baia, seminascosta tra gli alberi della macchia mediterranea, stretta tra le pendici incombenti del Monte Conero ed il mare. L'abbazia costituisce un documento prezioso, anche in ragione della precocità e originalità della soluzione architettonica, che reinterpreta e combina più tipologie.

Databile alla fine dell'XI secolo, la chiesa, realizzata quasi tutta in pietra calcarea del Conero, è l'unica testimonianza di un potente monastero benedettino, distrutto da un terremoto e abbandonato dai monaci già nel 1320.

La soluzione planimetrica della chiesa, quasi inscrivibile in un quadrato, fonde croce greca (allusione alla grandezza cosmica della divinità) e impianto longitudinale a tre navate per l'affiancarsi di due navatelle minori.

La tendenza ad accentrare le varie parti dell'edificio, secondo ricerche spaziali di gusto orientale, è accentuata dalla presenza della cupola ellittica, rivestita esternamente da un tiburio poligonale su tamburo a pianta rettangolare, illuminata alla base da quattro bifore. All'esterno la volumetria rivela l'articolazione spaziale interna.

Misura, conoscenza e narrazione: la realizzazione del modello tattile per Santa Maria di Portonovo

La realizzazione mediante processo di AM di un facsimile in scala della chiesa di Santa Maria di Portonovo, si colloca all'interno della filiera della valorizzazione e dell'accessibilità del Patrimonio costruito che, come evidenziato nel paragrafo precedente, si sta affermando culturalmente e tecnologicamente.

La stampa del modello è stata frutto di un'operazione che ha visto la collaborazione di esperti provenienti da settori disciplinari diversi. L'integrazione dei *know how* dell'ambito del disegno, della fruizione e della prototipazione rapida, l'insieme di saperi e abilità, competenze ed esperienze di ciascun partner del progetto [1] hanno consentito di raggiungere l'obiettivo primario del lavoro: l'accessibilità al patrimonio architettonico.

La procedura di ricostruzione digitale si è composta di tre fasi chiave: il rilievo laser scanner, la modellazione HBIM *as it is* e la stampa additiva 3D, con l'ottimizzazione del modello.

La modellazione

La fase di creazione del modello digitale della Chiesa di Santa Maria di Portonovo si è basata su un rilievo geometrico realizzato con laser scanner terrestre e già ampiamente documentato in Quagliarini et al. [2017] e Quattrini et al. [2015].

Il modello numerico ottenuto dalle registrazioni delle scansioni laser scanner effettuate (fig. 3), ha rappresentato la necessaria base metrica per la successiva modellazione geometrica che fosse il più possibile coerente con il modello reale (fig. 4).

La modellazione è stata realizzata principalmente in ambiente di lavoro Revit e, in un secondo momento, integrata con il software Rhinoceros che ha consentito di definire accuratamente, seguendo la logica della modellazione matematica NURBS, le geometrie più complesse dell'architettura romanica (fig. 5).

Si è optato per realizzare un modello volumetrico degli esterni. In fase di modellazione le difficoltà maggiori si sono presentate per gli elementi architettonici a linee generatrici curve quali le absidi e gli archi e con la fase di controllo delle intersezioni tra le varie superfici delle pareti dell'edificio e della complanarità delle stesse.

La mancanza di una complanarità delle murature perimetrali esterne della chiesa, che consentisse semplici estrusioni di profili secondo percorsi definiti da curve direttrici, ha comportato la creazione delle superfici a partire da più curve di bordo (due, tre o quattro a seconda dei casi). Un'altra difficoltà è stata quella della modellazione delle absidi e degli archi per i quali non sono state create superfici a partire da semplici operazioni di rivoluzione. Le superfici degli elementi curvi, infatti, sono state create facendole passare per una serie di curve di profilo e due curve di bordo, oppure per una serie di curve di profilo che ne definissero la forma. Identicamente ci si è comportato con gli archetti pensili e le lesene delle murature perimetrali.

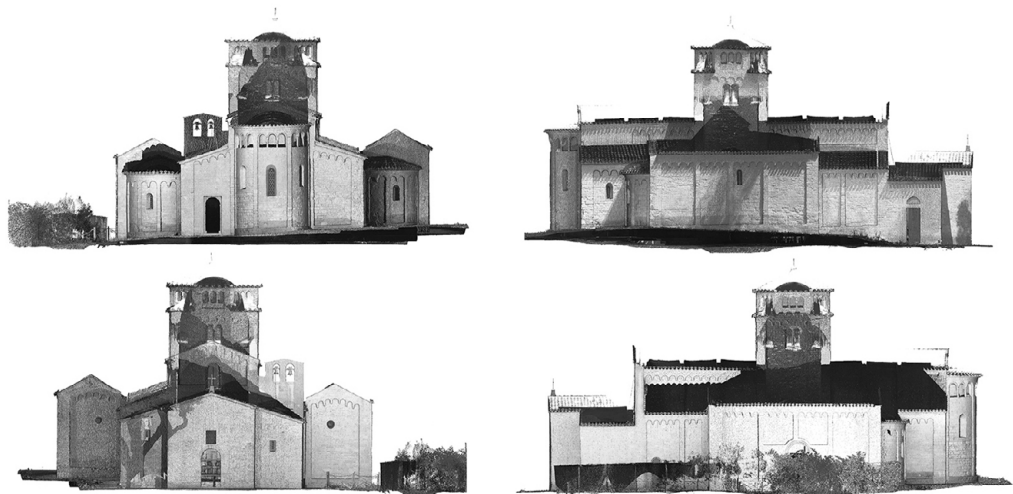


Fig. 3. Cyclone, vista della nuvola di punti della Chiesa di Santa Maria di Portonovo: prospetti. Elaborazione degli autori.



Fig. 4. Modello tridimensionale della Chiesa di Santa Maria di Portonovo. Elaborazione degli autori.

PARAMETRIC MODELING

SURFACE MODELING

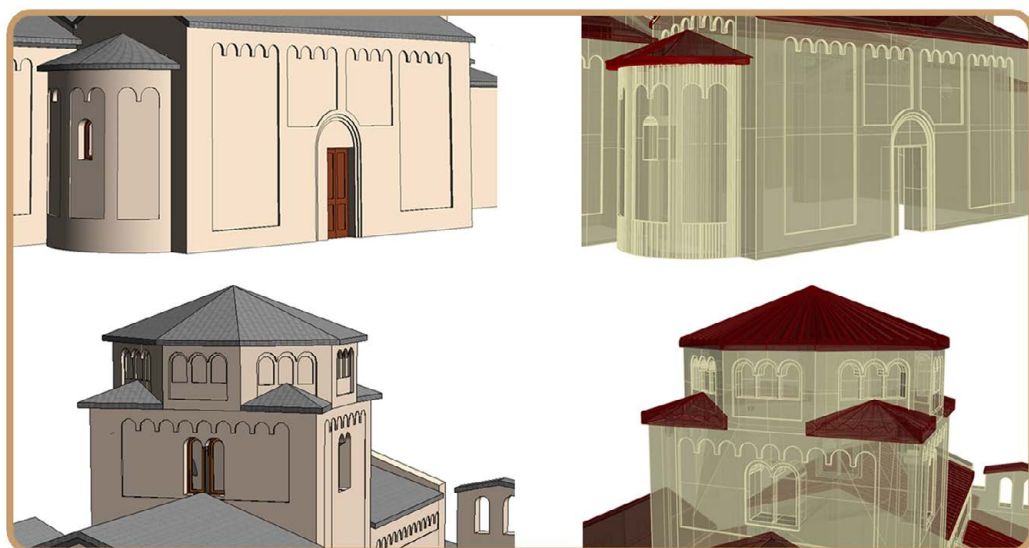


Fig. 5. Confronto del modello in ambiente di lavoro Revit (sinistra) e Rhinoceros (destra). Il modello *as built* è stato importato in Rhinoceros per la sua ottimizzazione in funzione della fase di stampa. Elaborazione degli autori.

Il modello tridimensionale *as built* ottenuto per la stampa risponde alle buone prassi necessarie ai fini di una migliore fruizione da parte del pubblico, con particolare attenzione a quello ipovedente. A tale proposito la collaborazione del Museo Omero ed in particolare del suo Presidente Aldo Grassini, sono state imprescindibili per ottenere la giusta integrazione dei *know-how* necessari. Nella fase di ricostruzione questo passaggio si è rivelato fondamentale ai fini di una modellazione consapevole: il rispetto delle soglie tattili e il non affollamento di informazioni percettive in uno spazio ristretto sono stati elementi indispensabili a garantire la corretta percezione del modello. Non sono state semplicemente create delle superfici, ma sono stati generati spessori, oggetti, sporti o curvature, che fossero esplorabili tattilmente e consentissero una vera e propria conoscenza del manufatto.

L'architettura del caso studio non presentava particolari dettagli o apparati decorativi, questo ha comportato un notevole vantaggio in fase di modellazione in quanto non è stato necessario ricorrere ad una semplificazione geometrica delle superfici per migliorarne la comprensione sia a livello tattile sia a livello visivo.

Operativamente gli spigoli sono stati smussati per evitare i contorni taglienti, lo spessore delle coperture, delle aperture (monofore, bifore e portali di ingresso) e del modesto apparato decorativo delle pareti non è mai sceso al di sotto dei 0,5 mm.

Alcune riflessioni sono state condotte sui materiali: trattandosi di un modello destinato ad un pubblico di ipovedenti ci si è interrogati, infatti, su quali espedienti impiegare per rendere anche matericamente l'oggetto architettonico.

La pietra del Conero che costituisce le murature perimetrali della chiesa è stata resa nel modello con superfici lisce, mentre per le coperture realizzate in coppi di laterizio, si è provveduto a realizzare superfici con profili ondulati che in qualche modo potessero suggerire al fruitore un'idea di discontinuità materica. Le bucatore, sia le finestre sia le porte sono state modellate come fori passanti e, nella fase finale di ricomposizione del modello, sono state tamponate con materiali diversi per agevolare la lettura del manufatto (fig. 6). Tutte queste scelte sono state supervisionate appunto da Grassini, che oltre a essere non vedente, ha una esperienza pluriennale nell'ambito della fruizione accessibile dell'arte.

Oltre a questi accorgimenti in fase di modellazione si è dovuto tenere conto della necessità di realizzazione in scala 1:50. Tuttavia, le dimensioni del manufatto, anche se ridotte in scala, non erano sufficientemente piccole per poter permettere una stampa complessiva unitaria dell'intera chiesa. Per questo motivo il modello è stato riprogettato e ripensato e i singoli elementi architettonici sono stati raggruppati in dodici macro-blocchi comprendenti tutte le murature e le relative coperture per poter poi essere assemblato successivamente. Per facilitare l'assemblaggio finale sono stati previsti fori e perni di centraggio posti in corrispondenza delle parti da assemblare così da far risultare più agevole sia il corretto posizionamento delle parti, l'una rispetto all'altra, sia il riconoscimento delle giuste parti da far combaciare.

La stampa additiva

Nel caso della Chiesa di Santa Maria di Portonovo la tecnica *Filament Deposition Modeling* (FDM) è stata preferita a quelle a polvere o solide perché permette di ottenere pezzi realizzati in breve tempo e con consumo di materiale relativamente basso, a fronte di qualità superficiali non eccellenti, ma che comunque possono essere definite più che buone. La scelta si è basata soprattutto sul fatto che questa tecnologia permette di generare strutture reticolari che possono essere utilizzate come strutture di riempimento per i blocchi relativi alle murature senza dover ricorrere al riempimento totale. Nello specifico, per ogni singolo strato, una volta depositato il materiale per formare le pareti esterne (in questo caso di spessore pari a 0.8 mm), il filamento viene rilasciato a formare tante fasce parallele, distanziate tra loro in base alla percentuale di riempimento del pezzo. Nello strato superiore, invece, quest'ultime sono disposte trasversalmente rispetto alle precedenti, al fine di generare comunque una struttura interna in grado di dare solidità all'intero pezzo, ma al tempo stesso di renderlo leggero, evitando un grosso spreco di materiale e riducendo di molto i tempi di stampa.

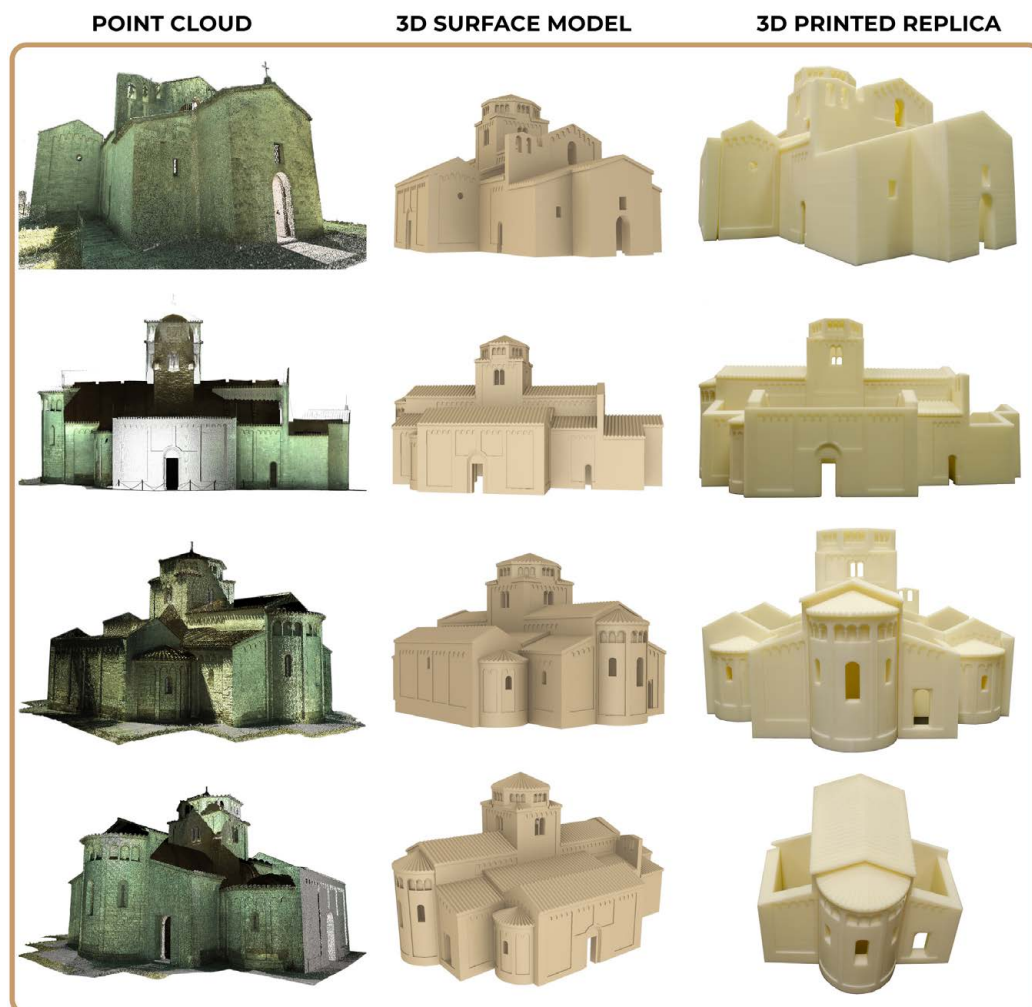


Fig. 6. Dalla nuvola di punti al modello tridimensionale alla replica tattile sensoriale. Elaborazione degli autori.

Lo strumento utilizzato per la realizzazione della chiesa è la stampante commerciale Fortus 250MC della Stratasys. Il materiale di stampa adottato per la realizzazione dei modelli è l'ABSplus P430, che garantisce ottime prestazioni meccaniche in termini di resistenza a trazione e resistenza agli urti. Per la deposizione del materiale modello è stato utilizzato anche un materiale di supporto la cui peculiarità è quella di essere solubile e che, quindi, non prevede l'intervento manuale per la sua rimozione. Infatti, al termine di ogni fase di stampa, i blocchi realizzati sono stati immersi in un bagno a base di acqua dove sono disciolti sali particolari in grado di sciogliere il materiale di supporto senza danneggiare il modello. Il processo di stampa ha previsto una prima fase in cui i file tridimensionali dei blocchi, generati con il software Rhinoceros 6 ed esportati nel formato STL, sono stati elaborati dal software di *slicing* Insight, fornito dalla Stratasys per questa specifica macchina, che è in grado di suddividere il pezzo 3D in strati generando anche il percorso che dovrà seguire la testa che depositerà il materiale scelto per la stampa. Grazie allo stesso software è stato possibile anche gestire la programmazione della stampa orientando i blocchi su un piano che rappresenta il piatto su cui poi verranno stampate le parti. La realizzazione complessiva di murature e coperture ha richiesto il consumo di quasi 2500 cm³ di materiale per il modello e di più di 1100 cm³ di quello per il supporto per una durata totale del solo processo di stampa di circa 270 ore (fig. 7).

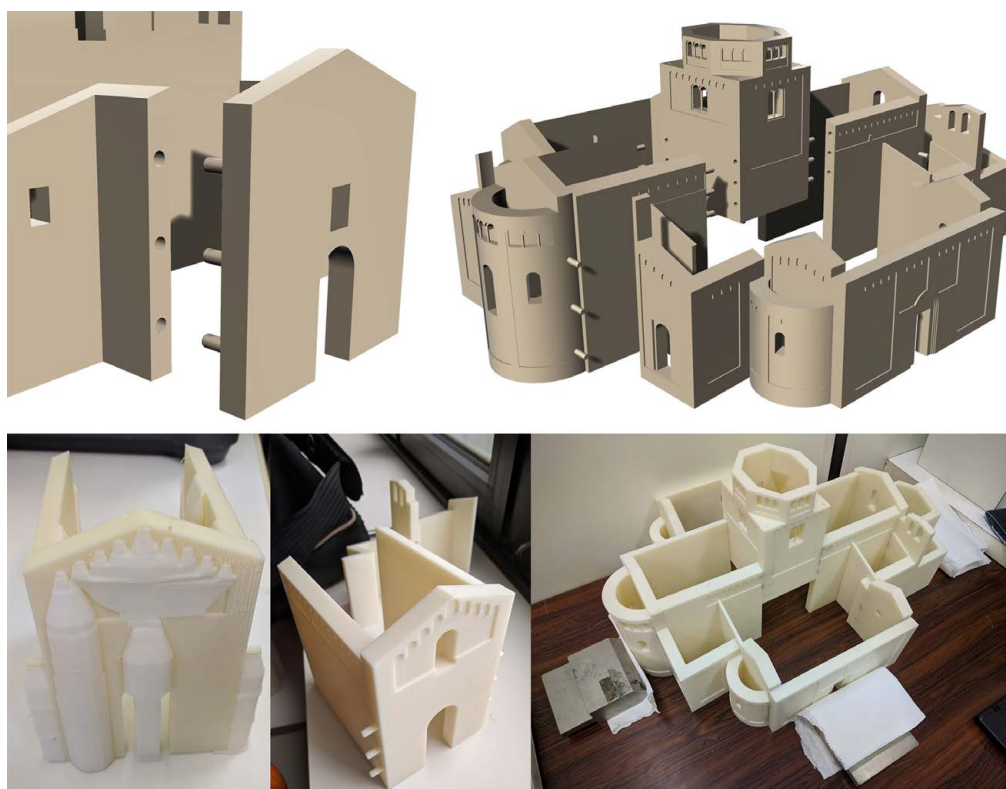


Fig. 7. Suddivisione modello 3D per la stampa (in alto) e modello stampato con i relativi supporti. Elaborazione degli autori.

Conclusioni

Come evidenziato, la creazione di un modello pienamente idoneo all'esplorazione tattile è un processo tutt'altro che automatico, in cui la misura, la conoscenza e l'ermeneutica costituiscono atti fondativi. Il risultato dell'interpretazione automatica della strumentazione va necessariamente interpretata rispetto all'armonia delle forme e dei volumi. Nelle operazioni di ricostruzione digitale, oltre alle capacità di comprensione del manufatto da parte del rilevatore, si sono tenute presenti alcune informazioni relative al profilo degli utenti destinatari del modello. Indispensabile a tal proposito è stato l'apporto del tiflogo che ha fornito la propria esperienza per valutare la scala più opportuna al fine di individuare la miglior dimensione per l'esplorazione senza sacrificare troppo la presentazione dei dettagli. Le strategie di lettura adottate, così come la possibilità di accedere alla memoria tattile, sono elementi necessari per comprendere le convenzioni grafiche alle quali far riferimento in funzione di un'accessibilità il più possibile completa del Patrimonio. Il ruolo della memoria tattile per i non vedenti è un aspetto di primaria importanza e, nel considerare l'aspetto dell'accessibilità, è bene tenere in considerazione che l'esplorazione avviene in modo sequenziale mentre, al contrario, il fenomeno della percezione visiva è simultaneo e richiede quindi meno tempo per assimilare le informazioni. Il caso studio della Chiesa di Santa Maria di Portonovo ha mostrato come i processi e le tecnologie impiegate producano benefici e abbiano un grande impatto sociale. A distanza di alcuni anni, il modello tattile è ancora conservato all'interno della chiesa e riscuote un ottimo riscontro sia dai visitatori vedenti che non vedenti, a dimostrazione del fatto che tali esperienze allargano la platea dei fruitori e incentivano la conoscenza. Nonostante alcuni casi virtuosi, purtroppo la inclusività delle esperienze artistiche non viene ancora considerata cogente, ma piuttosto una sorta di miglora cui dedicare fondi residuali. La stampa additiva con la sua grande flessibilità e duttilità, si presta perfettamente agli obiettivi di progetti di valorizzazione e accessibilità e con essa la riproduzione di un artefatto diventa una realtà tangibile, uno strumento importante per la conoscenza e la narrazione dei manufatti del patrimonio culturale.

Note

[1] "ARTEINSIEME. La Chiesa di Santa Maria di Portonovo, un'esperienza multisensoriale". Promosso da: Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche, Servizi Educativi. Modello 3D realizzato dal gruppo di ricerca Distori Heritage, responsabile scientifico prof. Paolo Clini. Prototipo 3D: responsabile dott.ssa Ramona Quattrini, realizzazione dott.ssa Raissa Mammoli. Modello mediante tecniche di fabbricazione additiva: responsabile prof. Mohamad El Mehtedi, realizzazione dott. Tommaso Mancia. Supervisione alla realizzazione del modello tattile: dott. Aldo Grassini, Presidente Museo Omero.

Riferimenti bibliografici

Amoruso G. (2023). Canova digitale: il potere della copia tra rappresentazione e immaginazione tattile. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione / Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation* <<https://doi.org/10.3280/oa-1016-c320>>

Balletti C., Ballarin M., Vernier P. (2018). Replicas in cultural heritage: 3D printing and the museum experience. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 42, n. 2. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-55-2018>>

Bellini A. (2000). *Toccare l'arte: L'educazione estetica di ipovedenti e non vedenti*. Roma: Armando Editore.

Clini P., El Mehtedi M. E., Nespec R., Ruggeri, L., Raffaelli E. (2017). A digital reconstruction procedure from laser scanner survey To 3D printing: The theoretical model of the arch Of Trajan (Ancona). In *SCIRES-IT*, vol. 7, n. 2. <<https://doi.org/10.2423/122394303v7n2p1>>

Empler T. (2013). Universal design: Ruolo del disegno e rilievo. In *Disegnare idee immagini*, n. 46, pp. 52-63. Roma: Gangemi Editore.

Grassini A. (2015). Per un'estetica della tattilità: ma esistono davvero arti visive? In *Per un'estetica della tattilità: ma esistono davvero arti visive?*, pp. 1-159. Roma: Armando Editore.

Hangjun F. (2023). Reverse modeling per la stampa 3D di complessi monumentali. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione / Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation* <<https://doi.org/10.3280/oa-1016-c351>>

Passamani I., Trotti F., Schincariol A. (2018). *Toccare il cielo con un dito. Dalla skyline intangibile alla silhouette tattile. In Rappresentazione/Materiale/Immateriale. Drawing As (In) Tangible Representation*, vol. 1, pp. 1315-1322. Roma: Gangemi editore.

Quagliarini E., Clini P., Ripanti M. (2017). Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). In *Journal of Cultural Heritage*. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.10.006>>

Quattrini R., Malinverni E. S., Clini P., Nespeca R., Orlietti E. (2015). From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. <<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-367-2015>>

Riavis V. (2020). La Chiesa di Sant'Ignazio a Gorizia tra architettura e pittura. Analisi geometrica e restituzioni per la rappresentazione tattile. In *EUT*. <<http://hdl.handle.net/10077/31056>>

Rossetti V., Furfari F., Leporini B., Pelagatti S., Quarta A. (2018). Enabling Access to Cultural Heritage for the visually impaired: An Interactive 3D model of a Cultural Site. In *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 383-391. <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.05>>

Scianna A., Di Filippo G. (2019). Rapid prototyping for the extension of the accessibility to cultural heritage for blind people. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 42, n.2/W15, pp. 1077-1082. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1077-2019>>

Sgherri E., Anzani G. (2017). The fortress of Riolo Terme, near Ravenna: Digital survey and 3D printing for cultural dissemination. In *Studies in Digital Heritage. In Cultural Heritage and New Technologies 2016*, vol.1, n. 2. <<https://doi.org/10.14434/sdh.v1i2.23228>>

Tiberti V. (2020). *Il museo sensoriale. L'accessibilità culturale e l'educazione artistica ed estetica per le persone con minorazione visiva nei musei del comune di Roma Scienze sociali*. Roma: Sapienza Università Editrice. <<https://doi.org/https://doi.org/10.13133/9788893771566>>

Xu J., Ding L., Love P.E. D. (2017). Digital reproduction of historical building ornamental components: From 3D scanning to 3D printing. In *Automation in Construction*, vol. 76, pp. 85-96. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.010>>

Zerlenga O., Masullo M., Rosina I., Cirillo V. (2022). Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione. I campanili storici di Napoli. In A. Sdegno, V. Riavis (a cura di). *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*. Atti del I convegno DAI, Genova 2-3 dicembre 2023, pp. 190-205. Alghero: Publica.

Autori

Ramona Quattrini, Università Politecnica delle Marche, rquattrini@staff.univpm.it

Romina Nespeca, Università Politecnica delle Marche, rnespeca@staff.univpm.it

Laura Coppetta, Università Politecnica delle Marche, l.coppetta@pm.univpm.it

Raissa Mammoli, Università Politecnica delle Marche, rmammoli@univpm.it

Deborah Licastro, Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche, deborah.licastro@cultura.gov.it

Per citare questo capitolo: Ramona Quattrini, Romina Nespeca, Laura Coppetta, Raissa Mammoli, Deborah Licastro (2024). Dalla misura alla narrazione accessibile: il modello tattile della Chiesa di Santa Maria di Portonovo/From measurement to accessible storytelling: the tactile model of the Church of Santa Maria at Portonovo. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3581-3602.

From measurement to accessible storytelling: the tactile model of the Church of Santa Maria at Portonovo

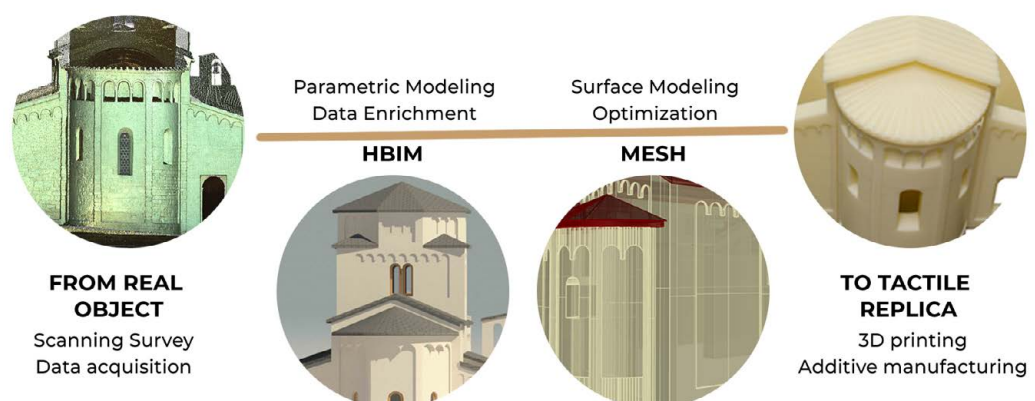
Ramona Quattrini
Romina Nespeca
Laura Coppetta
Raissa Mammoli
Deborah Licastro

Abstract

Museum inclusivity is still a consolidating goal, and within this context, tactile models represent a virtuous example of how technology can facilitate access to cultural heritage. They enable to expand the audience and promote a multisensory story-telling. The research presented here proposes a consolidated and effective approach to accessibility for architectural assets through the creation of a tactile model about the Church of Santa Maria at Portonovo. Addressing the challenges of inclusivity for people with visual impairments, the project relies on reality-based three-dimensional models obtained from existing data, such as laser scanner surveys and HBIM model. The stages of digital modeling, including optimization for 3D printing, are described, highlighting the use of the Filament Deposition Modeling technique. Furthermore, the broader context of the working team is presented, which involved the participation of institutions and research and conservation bodies, aiming to create a meaningful experience for the public. The results obtained through this approach are not limited to a technological exercise but involve consideration of tactile memory, understanding of users, and evaluation of the relationship between scale and perceived detail. The study demonstrates that additive manufacturing constitutes a valuable support for the edutainment of built heritage, thanks to the creation of tactile models that enable an inclusive and educational user experience.

Keywords

additive manufacturing, 3D modelling, accessibility, tactile model, multisensory storytelling



Workflow: from the acquisition of reality to tactile model. Authors' elaborations.

Introduction

The new systems for digitizing heritage assets question us and push towards defining new paradigms for accessing and enjoying these assets, simultaneously allowing for greater understanding. In this regard, the creation of reality-based three-dimensional models enables a comprehensive interpretation of architectural assets and provides tools that lead to a broader dissemination of knowledge about the heritage itself. Due to the various learning opportunities that 3D models offer, numerous research initiatives have recently been developed to make artistic heritage more accessible to different user groups.

Regarding the perception and visual and extra-visual communication of individuals, drawing plays a central role, especially for its social implications and in terms of the representation of the measure/drawing/symbol relationship. The needs of people with sensory disabilities are explored by *Universal Design* and are transformed into figurative and knowledge-related needs [Empler 2013]. Graphic design and communication design for people with visual disabilities naturally require the selection of a limited number of easily recognizable and perceptible signs and symbols through touch or other senses [Zerlenga et al. 2022]. Tactile models, based on Additive Manufacturing (AM), currently constitute an effective and relatively economical solution for creating accessible experiences for the visually impaired, even for predominantly visual arts, such as architecture.

The research presented here is part of the broader context of the digital transformation of the built heritage and results from an interdisciplinary collaboration, promoted by the Marche Superintendent and supervised by the Omero Museum. It has developed a method that was able to reuse existing data, such as laser scanner surveys and partly the HBIM model, to then create a volumetric tactile experience of the church, which can be integrated into the visitor's route inside the church itself. The tactile model obtained through additive printing is considered a valuable support for visiting the church, even for sighted visitors, especially for its educational implications. [RQ]

State of the art

Accessibility to cultural heritage is fundamental to ensure full inclusion for people with cognitive and sensory disabilities.

Primarily engaged in this effort since 1881, the Francesco Cavazza Institute for the Blind in Bologna has been aiding blind and visually impaired individuals to integrate into society by providing them with education and rehabilitation. In particular, the institute currently develops projects for tactile teaching of visual arts. Since 1985, the Omero Museum in Ancona has pioneered activities in this field, allowing for the understanding of art through touch and, to this day, represents an international benchmark for the inclusivity of blind and visually impaired individuals. Grassini, the founder and president of the Omero State Tactile Museum, developed the idea that tactile art can offer a total and direct museum experience with artworks [Grassini 2015], as touch can become an effective means to appreciate art and develop aesthetic sensitivity [Bellini 2000]. In 2022, after lengthy debate, ICOM updated the museum definition, emphasizing its need to be accessible and inclusive (ICOM, 2022), thus recalling these characteristics in the museum's intrinsic mission. Sensory accessibility, both in museums and architecture, is necessary to bring as many individuals as possible closer to the beauty that surrounds us, with the field of design and surveying playing a fundamental role in this development [Passamani et al. 2018; Riavis 2020]. The *In-Visible* project (2022-2024), which involves various European institutions, including the Omero Museum, "aims to address this pressing and growing need for inclusion, improving access to cultural content in higher education for people with special needs". The most relevant points of the Guidelines of this plan are undoubtedly the development of learning platforms and the creation of accessible 3D models. In individuals with visual difficulties, touch allows for the construction of a mental image, and through 3D printing, it is possible to grasp concepts and elements that are usually not deducible through audio alone [Scianna, Di Filippo 2019; Tiberti 2020].

Additive Manufacturing (AM), through the construction of tangible copies from digital virtual models, represents one of the technologies used to make the vast artistic heritage more accessible and usable.

In fact, the evolution of AM technology has opened up new opportunities for the reproduction of tactile models, allowing people with visual disabilities to access cultural sites, artifacts, and any other tangible heritage object [Rossetti et al. 2018].

Rapid prototyping is a technique that allows to produce material copies of objects with complex geometries from the acquired mathematical model using laser scanning or photographic techniques in relatively short times and often without being expensive [Balletti et al. 2018; Sgherri, Anzani 2017; Xu et al. 2017].

AM, if accompanied by the transformation of the museum model, can be used to ensure the quality of knowledge for disabled individuals, reintegrating the sense of touch into cultural experiences [Clini et al. 2017].

The level of detail of 3D printing can be dictated by numerous factors to be considered on a case-by-case basis depending on the learning approach.

In the Church of Santa Maria at Portonovo, as will be seen, a general representation has been chosen to understand the volume as a whole; in other cases, however, greater focus is placed on specific characteristics.

For example, printing a section of a model is used to understand the overall structure and interconnection of various environments or the layers of the structure [Hangjun 2023]. Currently, the most innovative techniques for making heritage accessible are tactile representation and the illusion of being able to virtually touch cultural assets [Amoruso 2023] [RM, LC].

The case study and the cultural heritage education project “Arte-insieme”

The case study (fig. 1) presented here was developed within the project “Arte-insieme. The Church of S. Maria at Portonovo, a multisensory experience,” conceived and coordinated by the Educational Services of the then Superintendence of Archaeology Fine Arts and Landscape of the Marche region, as part of the VII edition of the Biennale Arteinsieme, promoted by the Omero State Tactile Museum and aimed at the school and social integration of people with disabilities.

The intention was to promote knowledge and full enjoyment of the cultural heritage of the territory, fostering a multisensory and inclusive arts pedagogy. Therefore, it was a project aimed at everyone, with particular attention to people with visual disabilities, who still too often find inadequate educational conditions and cultural barriers that hinder the enjoyment and understanding of historical and artistic heritage.

The initiative, launched in September 2017 and concluded in June 2018 with an inaugural event, was developed within the specific competences of the Superintendence regarding education on cultural heritage in compliance with articles 118 and 119 of the Cultural Heritage Code on the promotion of study and research activities and the dissemination of knowledge of cultural heritage, also through specific agreements with schools and universities aimed at the preparation of materials and audiovisual aids, taking into account the specific needs of people with disabilities.

The aim of the activities planned in the project was the production of two effective knowledge tools, aimed at describing and promoting the understanding of the chosen cultural asset to a wider audience: a three-dimensional model using additive manufacturing techniques by the DICEA and DIISM departments of the Polytechnic University of the Marche, and a tactile book, with relief tables and descriptive texts also in Braille, made with recycled materials by a class of the “Pinocchio-Montesicuro” lower secondary school in Ancona.

The latter describes the chosen monument through relief images and polymaterial collages considering three fundamental elements of knowledge: the plan, the façade, and the planimetry of the context (fig. 2).

Fig. 1 Church of Santa Maria at Portonovo, landscape context and architectural details. Authors' elaborations.



Fig. 2 Sensory totem produced by I.C. Pinocchio-Montesicuro and tactile model with Braille description. Authors' elaborations.



The identified cultural asset was the Church of Santa Maria at Portonovo, an authentic gem of Romanesque architecture, set in a natural landscape of striking beauty in close proximity to the sea, making it an ideal place to experience a pleasant and meaningful cultural and social experience. It is also a landscape that invites us more than others to perceive with all our senses; the church is located in a once isolated and scarcely accessible place, in the extreme corner of the bay, partially concealed among the trees of the Mediterranean scrub, squeezed between the looming slopes of Monte Conero and the sea. The abbey constitutes a precious document, also due to the earliness and originality of the architectural solution, which reinterprets and combines multiple typologies.

Dating back to the late 11th century, the church, mostly built in limestone from Monte Conero, is the only testimony of a powerful Benedictine monastery, destroyed by an earthquake and abandoned by the monks as early as 1320. The planimetric solution of the church, almost inscribable in a square, merges a Greek cross (alluding to the cosmic greatness of divinity) and a longitudinal layout with three naves due to the presence of two smaller side naves. The tendency to centralize the various parts of the building, according to spatial research with oriental taste, is accentuated by the presence of the elliptical dome, externally covered by a polygonal lantern on a rectangular drum, illuminated at the base by four bifores. Externally, the volumetrics reveal the internal spatial articulation. [DL]

Measurement, knowledge, and storytelling: the creation of the tactile model for Santa Maria at Portonovo

The creation of a scaled facsimile of the Church of Santa Maria at Portonovo through the additive manufacturing process fits within the framework of the enhancement and accessibility of the built heritage, which, as highlighted in the previous paragraph, is culturally and technologically emerging. The printing of the model was the result of an operation that involved the collaboration of experts from different disciplinary sectors. The integration of *know-how* in the fields of design, utilization, and rapid prototyping, the combination of knowledge and skills, competencies, and experiences of each project [1] partner, allowed us to achieve the primary objective of the work: accessibility to architectural heritage. The digital reconstruction procedure consisted of three key phases: laser scanner surveying, HBIM modeling *as it is*, and 3D additive printing, with model optimization. [RM]

Modeling

The phase of creating the digital model of the Church of Santa Maria at Portonovo was based on a geometric survey carried out with terrestrial laser scanning, already extensively documented in Quagliarini et al. [2017] and Quattrini et al. [2015].

The numerical model obtained from the registrations of the laser scanning (fig. 3) represented the necessary metric basis for the subsequent geometric modeling, aiming to be as consistent as possible with the real model (fig. 4).

The modeling was primarily done in the Revit environment and, subsequently, integrated with Rhinoceros software, which allowed for precise definition, following the logic of NURBS mathematical modeling, of the more complex geometries of the Romanesque architecture (fig. 5). The decision was made to create a volumetric model of the exteriors. During the modeling phase, the greatest difficulties arose with architectural elements with curved generating lines, such as the apses and arches, and with the phase of controlling the intersections between the various surfaces of the building walls and their coplanarity. The lack of coplanarity of the external perimeter walls of the church, which would allow simple extrusions of profiles along paths defined by guide curves, led to the creation of surfaces starting from multiple edge curves (two, three, or four depending on the cases). Another difficulty was in modeling the apses and arches, for which surfaces were not created from simple revolution operations. The surfaces of the curved elements were created by making them pass through a series of profile curves and two edge curves, or through a series of profile curves defining their shape. Similarly, this approach was followed with the hanging arches and pilasters of the perimeter walls. The as-built three-dimensional model obtained for printing adheres to best practices necessary for better public enjoyment, with particular attention to visually impaired individuals. In this regard, the collaboration with the Omero Museum, and especially its President Aldo Grassini, was essential for integrating the necessary *know-how*. During the reconstruction phase, this step proved fundamental for mindful modeling: respecting tactile thresholds and avoiding an overcrowding of perceptual information in a confined space were indispensable elements to ensure proper perception of the model.

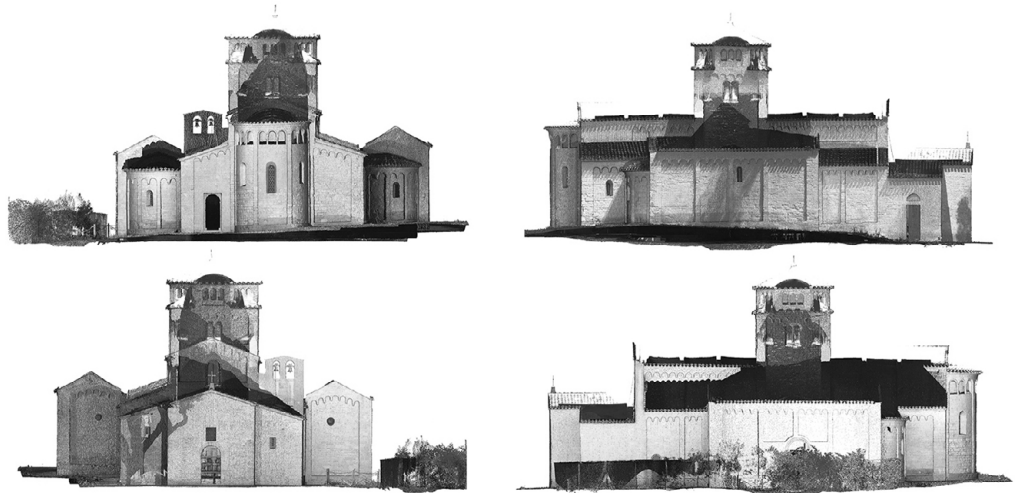


Fig. 3 Cyclone, view of the point cloud of the Church of Santa Maria at Portonovo: elevations. Authors' elaborations.



Fig. 4 3D model of the Church of Santa Maria at Portonovo. Authors' elaborations.

PARAMETRIC MODELING

SURFACE MODELING

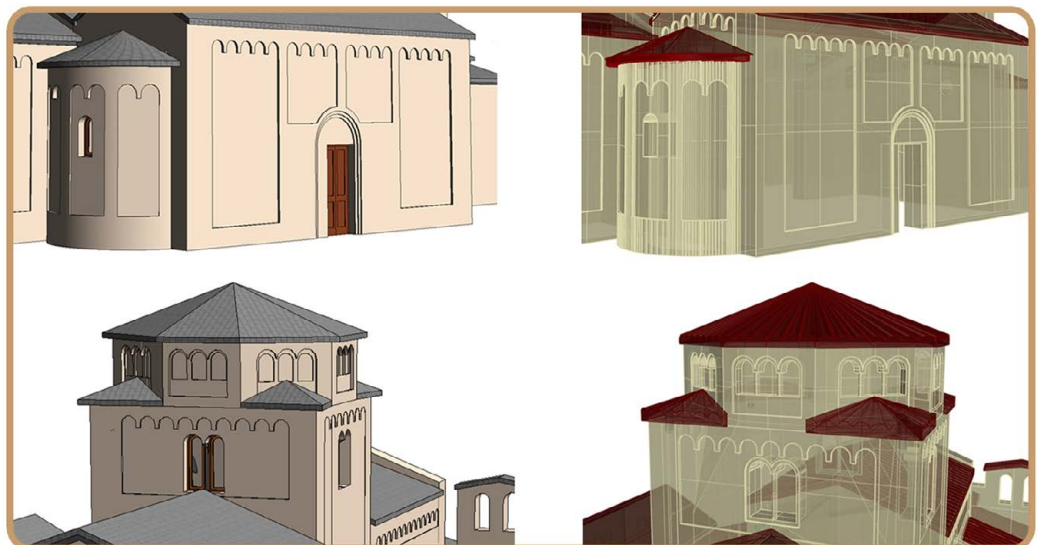


Fig. 5 Comparison of the model in the Revit workspace (left) and Rhinoceros (right). The as-built model was imported into Rhinoceros for optimization for the printing phase. Authors' elaborations.

The model was not merely created with surfaces but included thicknesses, projections, overhangs, and curvatures that could be explored tactilely, providing a genuine understanding of the structure. The architecture of the case study did not present details or decorative apparatus, which was a significant advantage during modeling as there was no need for geometric simplification of the surfaces to enhance comprehension both tactilely and visually.

Practically, edges were rounded to avoid sharp contours, and the thickness of the coverings, openings (single-lancet windows, double-lancet windows, and entrance portals), and the modest decorative apparatus of the walls never fell below 0.5 mm.

Considerations were also made regarding materials: since the model was intended for a visually impaired audience, methods were explored to convey the materiality of the architectural object. The Conero stone constituting the perimeter walls of the church was represented with smooth surfaces in the model, while the roofs made of terracotta tiles were rendered with wavy profiles to suggest a sense of material discontinuity to the user.

The openings, both windows and doors, were modeled as through holes and were filled with different materials during the final assembly of the model to facilitate the reading of the structure (fig. 6). All these choices were supervised by Grassini, who, being visually impaired himself, has extensive experience in accessible art enjoyment.

In addition to these considerations during the modeling phase, it was necessary to account for the 1:50 scale requirement.

However, even though the dimensions of the structure were reduced to scale, they were not small enough to allow for a single comprehensive print of the entire church.

For this reason, the model was redesigned and rethought, and the individual architectural elements were grouped into twelve macro-blocks, including all the walls and their respective roofs, to be assembled later.

To facilitate the final assembly, alignment holes and pins were placed at the corresponding parts to be assembled, making it easier to correctly position the parts relative to each other and to identify the matching parts. [RN]

Additive Manufacturing

In the case of the Church of Santa Maria at Portonovo, the *Filament Deposition Modeling* (FDM) technique was preferred over powder or solid techniques because it allows to produce pieces in a short time and with relatively low material consumption, resulting in surface quality that, while not excellent, can still be considered more than good.

The choice was primarily based on the fact that this technology allows for the creation of lattice structures that can be used as infill structures for the blocks representing the walls without resorting to full infill.

Specifically, for each individual layer, once the material is deposited to form the outer walls (in this case, with a thickness of 0.8 mm), the filament is released to form many parallel strips, spaced according to the fill percentage of the piece.

In the upper layer, these strips are arranged transversely to the previous ones, in order to generate an internal structure that can provide solidity to the entire piece, while at the same time making it light, avoiding a large waste of material, and significantly reducing printing times. The tool used for creating the church model is the Fortus 250MC commercial printer by Stratasys. The printing material chosen for the models is ABSplus P430, which ensures excellent mechanical performance in terms of tensile strength and impact resistance.

A soluble support material was also used for depositing the model material, eliminating the need for manual removal. After each printing phase, the blocks were immersed in a water-based bath containing specific salts capable of dissolving the support material without damaging the model. The printing process involved an initial phase where the three-dimensional files of the blocks, generated with Rhinoceros 6 software and exported in STL format, were processed by the slicing software Insight, provided by Stratasys for this specific machine. This software can divide the 3D piece into layers and generate the path that the print head will follow to deposit the chosen material. The software also allowed for managing the

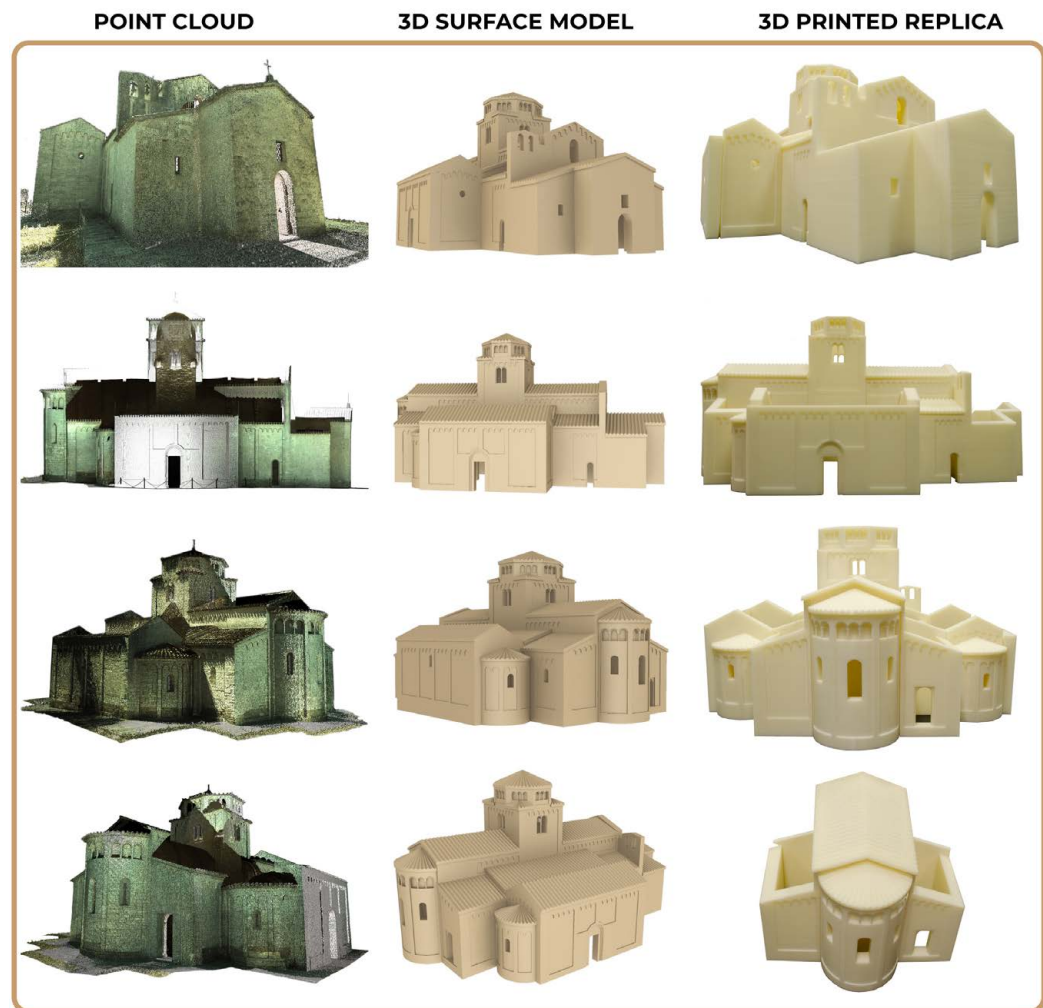


Fig. 6 From the point cloud to the three-dimensional model to the tactile sensory replica. Authors' elaborations.

print programming by orienting the blocks on a plane representing the platform where the parts would be printed. The overall production of the walls and coverings required nearly 2500 cm³ of model material and over 1100 cm³ of support material, with a total printing time of approximately 270 hours (fig. 7). [RM]

Conclusions

As highlighted, creating a model fully suitable for tactile exploration is far from an automatic process; it involves foundational acts of measurement, knowledge, and interpretation. The result of the automatic interpretation of the instrumentation must necessarily be assessed in relation to the harmony of forms and volumes. In the digital reconstruction process, in addition to the surveyor's understanding of the structure, certain information regarding the profile of the model's target users was considered. The contribution of the tiftologist was essential in this regard, providing expertise to determine the most appropriate scale to find the best size for exploration without overly sacrificing the presentation of details. The reading strategies adopted, as well as the ability to access tactile memory, are necessary

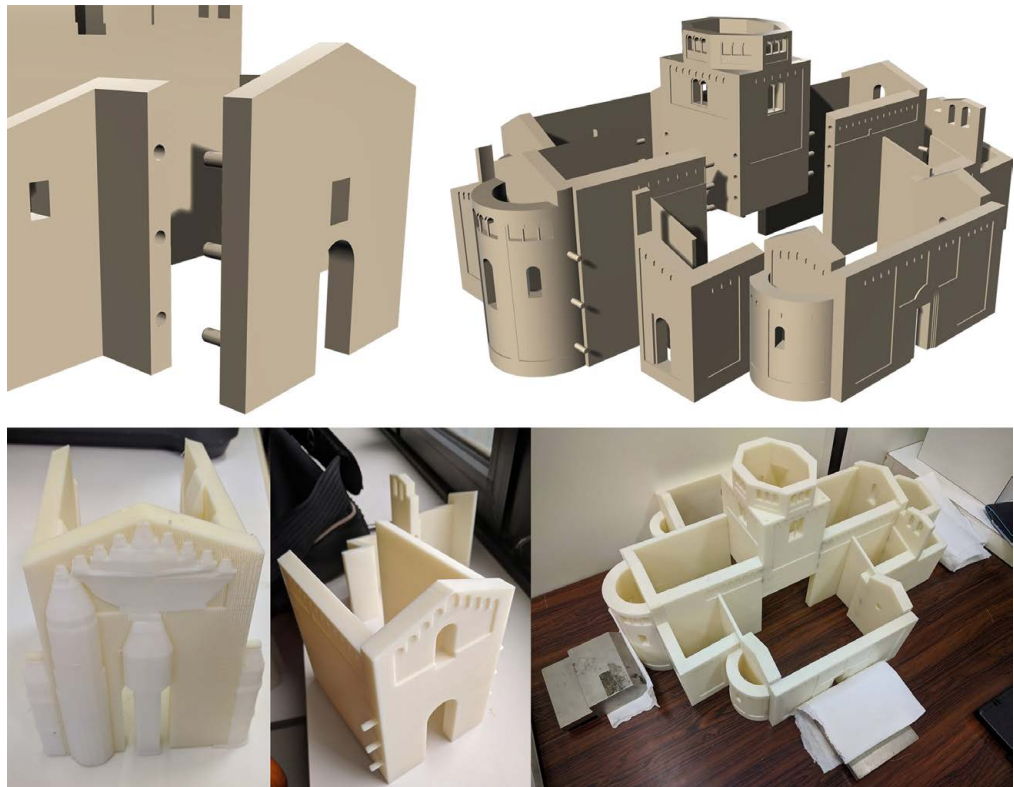


Fig. 7 Subdivision of the 3D model for printing (top) and the printed model with the corresponding supports. Authors' elaborations.

elements for understanding the graphic conventions to reference in order to achieve the most complete accessibility of the Heritage. The role of tactile memory for the visually impaired is of primary importance. When considering accessibility, it's important to note that exploration occurs sequentially, whereas visual perception is simultaneous and therefore requires less time to assimilate information. The case study of the Church of Santa Maria at Portonovo demonstrated how the processes and technologies employed produce benefits and have a significant social impact. Several years later, the tactile model is still preserved inside the church and receives excellent feedback from both sighted and visually impaired visitors, proving that such experiences expand the audience and promote knowledge.

Despite some exemplary cases, the inclusivity of artistic experiences is unfortunately still not considered imperative, but rather an enhancement to be funded with residual budgets. Additive Manufacturing, with its great flexibility and versatility, is perfectly suited to the goals of valorization and accessibility projects.

Through it, the reproduction of an artifact becomes a tangible reality, an important tool for the knowledge and narration of cultural heritage artifacts. [RQ]

Notes

[1] "ARTEINSIEME. The Church of Santa Maria at Portonovo, a multisensory experience." Promoted by: Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche, Educational Services. 3D model created by the Distori Heritage research group, scientific supervisor Prof. Paolo Clini. 3D prototype: supervised by Dr. Ramona Quattrini, created by Dr. Raissa Mammoli. Model made using additive manufacturing techniques: supervised by Prof. Mohamad El Mehtedi, created by Dr. Tommaso Mancina. Supervision of the tactile model creation: Dr. Aldo Grassini, President of the Omero Museum.

References

- Amoruso G. (2023). Canova digitale: il potere della copia tra rappresentazione e immaginazione tattile. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione / Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation* <<https://doi.org/10.3280/oa-1016-c320>>
- Balletti C., Ballarin M., Vernier P. (2018). Replicas in cultural heritage: 3D printing and the museum experience. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 42, n. 2. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-55-2018>>
- Bellini A. (2000). *Toccare l'arte: L'educazione estetica di ipovedenti e non vedenti*. Roma: Armando Editore.
- Clini P., El Mehtedi M. E., Nespec R., Ruggeri, L., Raffaelli E. (2017). A digital reconstruction procedure from laser scanner survey To 3D printing: The theoretical model of the arch Of Trajan (Ancona). In *SCIRES-IT*, vol. 7, n. 2. <<https://doi.org/10.2423/122394303v7n2p1>>
- Empler T. (2013). Universal design: Ruolo del disegno e rilievo. In *Disegnare idee immagini*, n. 46, pp. 52-63. Roma: Gangemi Editore.
- Grassini A. (2015). Per un'estetica della tattilità: ma esistono davvero arti visive? In *Per un'estetica della tattilità: ma esistono davvero arti visive?*, pp. 1-159. Roma: Armando Editore.
- Hangjun F. (2023). Reverse modeling per la stampa 3D di complessi monumentali. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione / Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation* <<https://doi.org/10.3280/oa-1016-c351>>
- Passamani I., Trotti F., Schincariol A. (2018). *Toccare il cielo con un dito. Dallo skyline intangibile alla silhouette tattile*. In *Rappresentazioni/Materiale/Immateriale. Drawing As (In) Tangible Representation*, vol. 1, pp. 1315-1322. Roma: Gangemi editore.
- Quagliarini E., Clini P., Ripanti M. (2017). Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). In *Journal of Cultural Heritage*. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.10.006>>
- Quattrini R., Malinverni E. S., Clini P., Nespeca R., Orlietti E. (2015). From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. <<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-367-2015>>
- Riavis V. (2020). La Chiesa di Sant'Ignazio a Gorizia tra architettura e pittura. Analisi geometrica e restituzioni per la rappresentazione tattile. In *EUT*. <<http://hdl.handle.net/10077/31056>>
- Rossetti V., Furfari F., Leporini B., Pelagatti S., Quarta A. (2018). Enabling Access to Cultural Heritage for the visually impaired: An Interactive 3D model of a Cultural Site. In *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 383-391. <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.05>>
- Scianna A., Di Filippo G. (2019). Rapid prototyping for the extension of the accessibility to cultural heritage for blind people. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 42, n.2/W15, pp. 1077-1082. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1077-2019>>
- Sgherri E., Anzani G. (2017). The fortress of Riolo Terme, near Ravenna: Digital survey and 3D printing for cultural dissemination. In *Studies in Digital Heritage*. In *Cultural Heritage and New Technologies 2016*, vol.1, n. 2. <<https://doi.org/10.14434/sdh.v1i2.23228>>
- Tiberti V. (2020). *Il museo sensoriale. L'accessibilità culturale e l'educazione artistica ed estetica per le persone con minorazione visiva nei musei del comune di Roma Scienze sociali*. Roma: Sapienza Università Editrice. <<https://doi.org/10.13133/9788893771566>>
- Xu J., Ding L., Love P.E. D. (2017). Digital reproduction of historical building ornamental components: From 3D scanning to 3D printing. In *Automation in Construction*, vol. 76, pp. 85-96. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.010>>
- Zerlenga O., Masullo M., Rosina I., Cirillo V. (2022). Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione. I campanili storici di Napoli. In A. Sdegno, V. Riavis (a cura di). *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*. Atti del I convegno DAI, Genova 2-3 dicembre 2023, pp. 190-205. Alghero: Publica.

Authors

Ramona Quattrini, Università Politecnica delle Marche, r.quattrini@staff.univpm.it

Romina Nespeca, Università Politecnica delle Marche, r.nespeca@staff.univpm.it

Laura Coppetta, Università Politecnica delle Marche, l.coppetta@pm.univpm.it

Raissa Mammoli, Università Politecnica delle Marche, rmammoli@univpm.it

Deborah Licastro, Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche, deborah.licastro@cultura.gov.it

To cite this chapter: Ramona Quattrini, Romina Nespeca, Laura Coppetta, Raissa Mammoli, Deborah Licastro (2024). Dalla misura alla narrazione accessibile: il modello tattile della Chiesa di Santa Maria di Portonovo/From measurement to accessible storytelling: the tactile model of the Church of Santa Maria at Portonovo. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3581-3602.