

TRE CASI STUDIO SULLA CONSERVAZIONE VIRTUALE

Applicare la realtà virtuale al Patrimonio Culturale

THREE CASE STUDIES IN VIRTUAL PRESERVATION

Applying virtual reality to Cultural Heritage

Kai Reaver

ABSTRACT

Il presente articolo documenta tre casi studio che sperimentano tecniche di Conservazione Virtuale su Beni Culturali per la salvaguardia di aspetti 'materiali' che nel prossimo futuro possono essere compromessi irrimediabilmente dagli effetti prodotti dai cambiamenti climatici. Attraverso l'uso di scanner 3D, fotogrammetria e software di renderizzazione, lo studio documenta come le tecnologie emergenti possano essere usate congiuntamente per la restituzione virtuale su scala reale di Beni Culturali, da presentare in mostre digitali o per l'archiviazione documentale. Sebbene la Conservazione Virtuale richieda un sostanziale cambiamento di metodi e strumenti di lavoro, il contributo sostiene che il realismo ottenuto possa compensare l'eventuale perdita della materia del Bene e consentire comunque alle generazioni future la fruizione del Patrimonio Culturale. L'articolo conclude illustrando i limiti e i punti di forza dello studio e auspicando che la Conservazione Virtuale possa aiutare i tecnici nella definizione di linee guida che integrino la realtà virtuale nella pratica tradizionale.

The paper documents three case studies researching the techniques of Virtual Preservation upon various Cultural Heritage sites in order to preserve material aspects that, in the near future, can be irreparably damaged by the impact of climate change. Through the use of 3D scanners, photogrammetry, virtual reality, and rendering software, the study documents how emerging technologies may be used together to digitally recreate full-scale Cultural Assets for digital exhibition and archival. Although Virtual Preservation demands a substantial change of established working methods and tools, the paper argues that the realism obtained can compensate for the loss of the material of the Asset and still allow future generations to experience Cultural Heritage sites. The article concludes on illustrating the limitations and strengths of the study and foreseeing that Virtual Preservation can help experts to establish guidelines integrating virtual reality into traditional practice of Architectural Heritage and Preservation.

KEYWORDS

conservazione, sperimentale, realtà virtuale, conservazione virtuale, scansione 3D

preservation, experimental, virtual reality, virtual preservation, 3D scanners

Kai Reaver is an american-norwegian Architect and Researcher at the AHO (The Oslo School of Architecture and Design) working on developing conceptual and practical frameworks for the convergence of physical and digital space. His focus is on the nominally titled Digital City as it manifests at the intersection of interaction, computation, architecture and city planning. He places a specific emphasis on the evaluation of augmented reality and digital media as embedded infrastructural components of collective urban experience, design and planning, while analysing the respective regulatory policies these technologies entail with respect to the public realm, user privacy and data distribution. He has worked for multiple international architecture, design, and technology companies in the US and Europe, and has taught and lectured widely in public and academic settings. E-mail: Kai.Reaver@aho.no

Il presente contributo muove dalla necessità che spesso si presenta di valutare se le restituzioni virtuali abbiano un sufficiente grado di accuratezza e forniscano un livello di fruizione adeguato tale da compensare, in caso di eventi catastrofici dovuti a cambiamenti climatici o altri fattori ambientali, la perdita di Beni e siti culturali, garantendo così la trasmissione dei valori 'materiali' (sebbene virtuali) alle generazioni future. I temi trattati dalla presente ricerca, muovono da una serie di assunti: 1) è ampiamente condiviso da scienziati e ONG internazionali che i cambiamenti climatici rappresentano una grave minaccia per il Patrimonio Culturale 'materiale' (Gruber, 2011); 2) le più recenti innovazioni tecnologiche forniscono interessanti strumenti per la rappresentazione e la comprensione dello spazio fisico (Picon, 2015), e in particolare la scansione 3D e la realtà virtuale e aumentata offrono nuove opportunità per la catalogazione e l'archiviazione di spazi ed edifici anche su/di vasta scala (Buthke et alii, 2020); 3) è sempre maggiore la consapevolezza fra gli esperti del Patrimonio e della conservazione che è necessario individuare nuovi metodi sperimentali per fermare e prevenire il degrado dei Beni Culturali, anche tramite ricerche applicate a casi studio (Negussie, 2012); 4) nell'ambito della ricerca e della formazione in architettura, la 'conservazione sperimentale' si è aperta di recente all'opportunità per valutare nuovi metodi, tecnologie e strategie formative sia in relazione al cambiamento climatico sia alle ITC (Otero-Pailos, Fenstad Langdalen and Arrhenius, 2016; Fig. 1). Queste quattro affermazioni introduttive vengono di seguito illustrate dettagliatamente.

Primo assunto: minaccia del clima ai Beni Culturali. Negli ultimi decenni, la letteratura scientifica ha prodotto un elevato numero di ricerche che provano da un lato gli effetti preoccupanti del cambiamento climatico terrestre, dall'altro la responsabilità delle attività umane in questo cambiamento (Colette, 2007), così come numerose sono le Organizzazioni internazionali, nazionali e locali che hanno promosso programmi finalizzati a valutare e gestire, alle scale diverse, gli impatti del cambiamento climatico. Molti report arrivano alla conclusione che l'aumento della temperatura globale, l'abbondanza delle precipitazioni, la siccità, le tempeste, la temperatura e l'acidificazione degli oceani, l'innalzamento del livello del mare mettono a ri-

schio la conservazione del Patrimonio Culturale Mondiale (Colette, 2007), pregiudicandone valori, integrità e autenticità. Infatti, mentre l'aumento del livello del mare minaccia i Beni lungo le coste, l'aumento della temperatura del suolo mette a rischio la conservazione delle testimonianze archeologiche. Inoltre, è condiviso che il cambiamento climatico avrà un impatto sociale e culturale sulle comunità, le quali cambieranno il modo di vivere, di lavorare, di socializzare negli edifici e all'esterno, fino a quando decideranno di spostarsi e abbandonare il proprio territorio (e Patrimonio Culturale) per migrare verso zone più sicure e dal clima più confortevole (Colette, 2007).

Seconda affermazione: disponibilità di tecnologie per la restituzione virtuale. Parallelamente a una maggiore consapevolezza del cambiamento climatico e del suo impatto sull'ambiente costruito, i recenti progressi nel campo delle ITC offrono nuovi sistemi di georeferenziazione, reti di comunicazione mobile, dispositivi informatici indossabili, strumenti per la scansione 3D e la realtà virtuale capaci di fondere lo spazio fisico e quello digitale in un'unica esperienza altamente fruibile e senza soluzione di continuità (Barford, 2015; Graham et alii, 2016). Tali applicazioni interessano anche i Beni Culturali, che possono essere documentati attraverso un alto numero di dati puntuali armonizzati (Buthke et alii, 2020) per poi essere fruiti da esperti e da utenti in realtà ricostruite. Queste tecnologie consentono la strutturazione di una varietà di nuovi e interessanti modelli concettuali, utili non solo per comprendere lo spazio architettonico ma anche per attivare pratiche progettuali di tipo multidisciplinare e per fornire strumenti di valutazione più adeguati agli stakeholders (Bratton, 2016).

Terza affermazione: metodi sperimentali e casi studio. Sebbene, nel breve termine, siano state promosse diverse politiche per prevenire gli impatti del cambiamento climatico sul Patrimonio Culturale Mondiale, secondo l'opinione degli esperti ad oggi sono state condotte poche ricerche sperimentali sul tema (Sesana et alii, 2018). Già nel report del 2007, il World Heritage Committee afferma che sono necessarie ulteriori ricerche sugli effetti del cambiamento climatico, sia sul Patrimonio fisico sia sui processi sociali e culturali di cui essi fanno parte (Colette, 2007). Lo stesso report suggerisce che i casi studio potrebbero essere utilizzati co-

me siti pilota sperimentali per lo sviluppo di strategie appropriate, ricavando una serie di principi chiave sui quali si possono sviluppare risposte adattive e sostenibili al cambiamento climatico, tra cui «[...] la creazione di obiettivi di pianificazione gestionale flessibili per consentire di rivalutare le priorità in risposta al cambiamento climatico» (Colette, 2007, p. 33). Nello specifico, è da segnalare che ci sono ancora poche ricerche che indagano sulle tecniche di Conservazione Virtuale per la salvaguardia del Patrimonio prima della potenziale distruzione.

Quarta affermazione: ricerca architettonica e conservazione sperimentale. La ricerca e la formazione in Architettura richiedono oggi una maggiore attitudine alla sperimentazione per dare risposte concrete alle sfide dei cambiamenti della società e alle potenzialità offerte dalle ITC. Nel 2012, la European Association of Architectural Education definisce l'Architettura come «[...] la disciplina dedicata alla creazione, trasformazione e interpretazione dell'ambiente costruito, e all'organizzazione degli spazi su diverse scale» (EAAE, 2012). All'interno di questo documento la EAAE afferma che «[...] l'architettura sta facendo fronte alle sfide del cambiamento climatico, globalizzazione, urbanizzazione e trasformazione sociale, che necessitano di ricerche indispensabili». Questa necessità di attivare sperimentazioni sottolinea l'opportunità per gli studi di Architettura di approfondire ulteriormente la ricerca di modelli e pratiche alternative, così come ampiamente descritto nella Experimental Preservation (Otero-Pailos, Fenstad Langdalen and Arrhenius, 2016). E sebbene la sperimentazione architettonica sta espandendo rapidamente i propri orizzonti grazie alle nuove tecnologie e ai media (de Lange and de Waal, 2019), appare chiaro che più adeguate strategie sulla resilienza adattiva dei Beni Culturali debbano richiedere più numerosi e differenti quadri sperimentali rispetto a quelli oggi disponibili.

Supporto allo studio | Il presente studio è stato mosso dal desiderio di analizzare la validità dei metodi sperimentali che utilizzano tecnologie emergenti per la conoscenza, la digitalizzazione, l'archiviazione e la rappresentazione virtuale dei siti, rispetto a uno scenario – altamente probabile – in cui i cambiamenti climatici potrebbero causare gravi e ingenti danni al Patrimonio Culturale. Sull'argomento, la lette-



Fig. 1, 2 | Typical image of a user inside of a virtual preservation case study; Typical image of laboratory setting engaged in study of virtual preservation in a research setting (credits: K. Reaver, 2018).



Fig. 3 | Typical 3d scanning scenario: Leica BLK360 Scanner; Interface on Ipad Pro (credit: K. Reaver, 2018).

Fig. 4 | Image of Case study 1: Physical site of Case Study 1; Point cloud virtual representation (credit: K. Larsen, 2016).

Fig. 5 | Images of the Virtual Preservation experience of Case Study 1 (credit: K. Reaver, 2016).



ratura mostra posizioni molto distanti fra gli esperti della conservazione e il mondo della ricerca tecnologica, soprattutto per la riluttanza dei primi ad accettare una perdita del Patrimonio a causa del cambiamento climatico, ma anche per la presunta immotivata necessità d'individuare soluzioni 'radicali' e sperimentali (Sesana et alii, 2018).

Tra i motivi di questa differenza di vedute si potrebbe pensare al fatto che i professionisti della conservazione – basata tradizionalmente su attività di manutenzione, di restauro e di ricostruzione (Aubrey, 2013) – non hanno acquisito le competenze e/o compreso le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie digitali, in costante e rapida evoluzione. Non accettare la possibilità che il Patrimonio Culturale possa perdere la propria consistenza materica a causa dei cambiamenti climatici, e promuovere come unica soluzione interventi di miglioramento delle prestazioni della materia, l'utilizzo di materiali sostenibili e di fonti energetiche rinnovabili, rappresenta un grande limite dei 'conservatori'. In vero, la ricerca ha individuato pochi tecnici a conoscenza delle potenzialità offerte dalle nuove tecnologie nella creazione di archivi digitali, ed è stato proprio questo numero esiguo che ha motivato lo studio in questione (Sesana et alii, 2018; Fig. 2).

Le attività di ricerca sono iniziate nel 2016, dapprima con esperimenti di realtà virtuale e scansione 3D, e con l'individuazione dei casi studio, ovvero Beni Culturali di pregio architettonico: il primo percorso di ricerca, (intitolato Places, Objects, Tools) è stato condotto presso l'AHO – The Oslo School of Architecture and Design. Successivamente, sul tema della Conservazione Virtuale l'Autore ha fatto parte di Unità di Ricerca, prestando consulenze, partecipato a mostre (tra cui alcune d'arte a New York), e tenuto corsi come guest professor a Bangkok, in Thailandia, dove ha potuto approfondire alcuni temi di ricerca; ulteriori approfondimenti sono stati maturati nell'ambito del progetto Digital Urban Living Research e nel Dottorato di Ricerca da titolo Evaluating the

Use of Mixed-Reality in Architecture and Urban Planning: Four Case Studies. Infine, nel 2018 presso l'AHO sono iniziate le prime attività specifiche sulla Conservazione Virtuale e nel 2019 l'Autore è entrato a far parte di un'Unità di Ricerca che ha per oggetto il Padiglione dei Paesi Nordici a Venezia.

Tra le diverse soluzioni sperimentali che possano contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici, si è optato per la Conservazione Virtuale in quanto la stessa si differenzia in termini sostanziali dalla pratica tradizionale di conservazione e salvaguardia dell'architettura, seppure – a meno dei valori 'materiali' – come quest'ultima ha l'obiettivo di garantire la trasmissione dei valori 'immateriali' alle generazioni future, siano esse semplici fruitori e o studiosi (Sposito and Scalisi, 2018). Nello specifico, lo studio ha inteso indagare, all'interno di un potenziale scenario di disastro ambientale su vasta scala con perdita della materia antica, la combinazione di tecnologie e metodi di conservazione virtuale per tracciare una nuova definizione di Patrimonio Architettonico, anche se sotto forma di bit. In quest'ottica, i casi studio di seguito riportati possono definire linee guida e metodologie per supportare la pratica professionale e, in senso più ampio, le decisioni politiche (Fig. 3).

Metodo dello studio | Lo studio ha applicato la realtà virtuale ai Beni Culturali esistenti di tipo architettonico, per i quali erano soddisfatte le seguenti necessità chiave: i) idoneità alla sperimentazione di metodi di conservazione virtuale; ii) acquisizione di dati fisici e metrici tramite scansione 3D, rilevamenti e creazione di modelli; iii) fruizione virtuale dei Beni a grandezza naturale e realismo dello spazio digitale acquisito. Lo studio è stato condotto, in anni diversi, su tre Beni differenti: 1) la Fattoria a Rælingen, nelle campagne di Oslo in Norvegia, nel 2016; 2) vari siti storici e religiosi a Bangkok in Thailandia, nel 2017; 3) il Padiglione dei Paesi Nordici nei Giardini di Venezia in Italia, nel 2019. I casi studio sono stati individuati perché ugual-

mente significativi ai fini della ricerca, seppur per motivi differenti. Tutti e tre erano sottoposti all'azione aggressiva del proprio contesto o di altri stress ambientali che avrebbero potuto causare danni significativi o addirittura la perdita del Bene in un prossimo futuro; parimenti, i tre Beni sono di rilevanza storica, il che li rende suscettibili di conservazione per motivi culturali, storici o religiosi. Infine, tutti i casi studio hanno una dimensione che consente di eseguire il rilievo in pochi giorni e di restituirli digitalmente con una certa facilità in relazione alla dimensione del file, alle attrezzature e alla manodopera disponibili.

Dal punto di vista tecnico, la scansione 3D per ogni sito è stata effettuata svariate volte (a causa di una iniziale inesperienza dell'operatore) ma alla fine si è ottenuto un rilievo in alta definizione che, grazie anche a una corposa documentazione fotografica, è stato restituito tramite software fotogrammetrici e di rilevamento digitale, come il pacchetto Adobe Recap. Per la generazione di nuvole di punti 3D è stato utilizzato lo strumento di scansione Leica, con il relativo software per iPad Pro, che è stato anche post-elaborato in Autodesk Recap. La registrazione audio è stata testata con il software di audio integrato, utilizzato in molti studi.

Per ogni caso studio, i modelli scannerizzati sono stati riprodotti digitalmente a grandezza naturale con metodi di realtà mista, per meglio visualizzare il Bene. I modelli di nuvole di punti e le mesh fotogrammetriche sono stati elaborati e poi importati in Unity, dove sono stati restituiti tramite il plugin SteamVR in esperienze di realtà virtuale apprezzabili con il visore HTC Vive. Ogni caso studio è stato presentato durante un evento a utenti esperti che hanno espresso il proprio feedback confrontando l'esperienza maturata negli spazi reali e in quelli virtuali. I feedback ricevuti, documentati ed elaborati per gli approfondimenti di ulteriori ricerche, confortano la qualità dei primi esperimenti come applicazioni utili alla definizione di possibili linee guida per una Conservazione Virtuale.



Fig. 6 | User inside of Case Study 1 Virtual Preservation experience (credit: T. Kleven, 2016).



Fig. 7 | Student inside of a virtual preservation of a religious heritage site from Case Study 2 (credit: J. Harugi, 2017).



Fig. 8 | Heritage site recreated through Photogrammetry, Case Study 2, and External reviewer inside of the experience (credit: F. Swita, 2017).

Caso Studio 1: Fattoria abbandonata, Rælingen (Norvegia), 2016 | Questo caso è stato il primo esperimento che ha provato a restituire in realtà virtuale a scala reale un Bene Culturale esistente. Il Bene è stato scelto per la sua importanza in quanto edificio storico norvegese abbandonato da prima della guerra, quando veniva usato come bottega e pensione. L'interesse per il Bene è legato al suo pessimo stato di conservazione, prossimo al crollo per l'erosione degli agenti atmosferici; allo stesso tempo, la dimensione contenuta e i diversi punti di osservazione esterna, ne rendevano l'acquisizione con scanner 3D Faro una operazione piuttosto agevole. La Fattoria abbandonata poteva quindi fornire un'opportunità di ricerca per un caso di Conservazione Virtuale che, nel breve periodo, avrebbe potuto non esistere più o essere gravemente danneggiata (Figg. 4, 5).

Il processo di digitalizzazione del Bene e la sua restituzione in realtà virtuale sono stati presentati in una mostra con tre diversi allestimenti presso l'AHO e durante l'open day per potenziali studenti. Sebbene questo primo studio sia stato condotto principalmente per testare la capacità di scansione e di generazione di modelli di dati su Beni Culturali, esso ha reso possibili diverse utili considerazioni. La prima riguarda il modello: l'alta risoluzione ha prodotto una esperienza virtuale molto realistica, anche mentre l'utente si muoveva all'interno del Bene. Diversi fruitori sono stati intervistati prima e dopo l'esperienza virtuale, e la maggior parte delle osservazioni rivelavano che lo studio era molto vicino a farli sentire come se si trovassero fisicamente dentro l'architettura storica (Fig. 6). Di contro, si è acquisita la consapevolezza che la scansione di una nuvola con un elevato numero di punti produce un'enorme quantità di dati, file molto grandi che richiedono hardware con processori molto potenti e una notevole quantità di ore di lavoro.

L'edificio è crollato poche settimane dopo la realizzazione dello studio. Questo drammatico evento ha consentito però di riflettere sul fatto che, come nel caso della Fattoria a Rælin-

gen, l'esperienza della Conservazione Virtuale può permettere ai visitatori di entrare in un Bene che non esiste più e di fruirlo come se fosse ancora accessibile. Questa considerazione, unita alla consapevolezza che la tecnologia disponibile può fornire una esperienza accurata e molto realistica, ha ulteriormente accresciuto l'idea che la Conservazione Virtuale può offrire opportunità uniche al settore.

Caso Studio 2: Università di Chulalongkorn, Bangkok (Tailandia), 2017 | Il secondo caso di studio ha approfondito il primo sotto diversi aspetti. Per la prima volta si è attivato uno studio sulla Conservazione Virtuale all'interno di un Laboratorio di ricerca in un contesto formativo. Il Laboratorio – Virtual Environments and Architectural Backups (Ambienti Virtuali e Supporti Architettonici) – è stato tenuto dall'Autore all'interno del programma INDA, presso l'Università Chulalongkorn di Bangkok in Thailandia. Il presente caso di studio è stato anche il primo a interessare più Beni all'interno di uno specifico territorio, e a sperimentare il rilievo con le tecniche fotogrammetriche e del suono.

Bangkok è una città sottoposta a gravi stress climatici (con previsioni per il futuro terribili a causa della sua vicinanza alla costa), clima tropicale e alta densità di popolazione. In questo contesto ambientale, agli studenti è stato chiesto di localizzare un Bene Culturale che secondo loro sarebbe stato a rischio di scomparsa nei successivi dieci anni, di creare i relativi modelli fotogrammetrici e infine di restituire il loro Bene Culturale in realtà virtuale, mostrandolo all'interno di uno spazio espositivo (Fig. 7). È stata scelta la fotogrammetria per la sua capacità di ricreare velocemente modelli con software presenti in commercio e hardware economici e facili da usare.

Lo studio si è concentrato principalmente sul come realizzare una Conservazione Virtuale con fotogrammetria generata da fotocamere e smartphone, in un contesto educativo con un folto gruppo di studenti. I risultati sono stati più che soddisfacenti, poiché la fotogrammetria (più

facile da usare rispetto allo scanner 3D) ha prodotto superfici mesh invece di nuvole di punti, con rappresentazioni sufficientemente dettagliate e precise. Tuttavia, se da un lato la fotogrammetria ha mostrato considerevoli vantaggi in termini di flessibilità d'uso e precisione per i modelli più semplici, dall'altro non ha raggiunto gli stessi risultati per spazi più articolati e con geometrie più complesse.

Ciò ha imposto che la restituzione virtuale fosse fatta unendo le singole parti attraverso più oggetti mesh, penalizzando così l'accuratezza raggiunta nel precedente caso studio. Al contempo, si è scoperto, tramite questa limitazione iniziale, che i siti virtuali potrebbero essere riconfigurati per fornire una distribuzione più precisa dei vari Beni al loro interno. Questa intuizione è stata quindi testata su visitatori e sui colleghi per stabilire fino a che punto le rappresentazioni virtuali penalizzassero la comprensione del Bene Culturale rispetto alla sua controparte fisica (Fig. 8).

Caso Studio 3: Padiglione dei Paesi Nordici, Venezia (Italia), 2019 | L'ultimo caso studio è stato realizzato sugli sviluppi della ricerca derivante dai primi due casi analizzati, il che ha permesso di apportare migliorie importanti in termini di tecnologia, di manodopera e di fruibilità del Bene Culturale. Sono state quindi utilizzate attrezzature d'avanguardia, in riferimento alla primavera 2019, quali lo scanner 3D Leica BLK 360, Autodesk Recap, iPad Pro e l'ultima versione del software di Unity, incluso un plug-in personalizzato per la conversione di nuvole di punti di grandi dimensioni su realtà virtuale. La manodopera era costituita da un gruppo di otto studenti del corso sugli studi di conservazione del Padiglione dei Paesi Nordici nei Giardini di Venezia (progettato dall'architetto Sverre Fehn; Fig. 9), oltre che da tre componenti del personale addetto al Bene, incaricati della sua custodia e manutenzione.

Il Padiglione dei Paesi Nordici a Venezia è un Bene dal grande valore storico e culturale, da tempo sottoposto ad azioni di degrado, do-



Fig. 9 | Images of field studies 3d scanning of Case Study 3 (credit: J. Doria, 2019).

Fig. 10 | Images from inside the virtual preservation experience of Case Study 3 (credit: A. Rosseland, 2019).

vute alla natura lagunare della città di Venezia, tanto che un angolo della costruzione ha ceduto per l'erosione del piano di fondazione. Poiché Venezia è una delle città europee più a rischio d'inondazione, il Bene è stato di rilevante interesse per sperimentare la Conservazione Virtuale (Fig. 10). Sul caso studio è stato fatto il primo tentativo di rappresentazione virtuale a massima risoluzione di un grande edificio: è stata, infatti, rilevata una nuvola con una densità di punti così elevata da riprodurre fedelmente la qualità dei materiali. La scansione 3D – integrata con le tecniche del suono da più punti – ha richiesto due giorni di lavoro e ha contato ben 25 punti di scansione.

La restituzione virtuale del Padiglione è stata poi presentata a Oslo all'interno di un evento che ha fornito l'occasione a una selezione di esperti di attivare un dibattito sulla storia e sul restauro del Bene (Figg. 11, 12). A seguito di questo studio, è stato avviato un dialogo continuo con il Museo Nazionale Norvegese, in particolare per la pianificazione della Biennale di Architettura 2020 a Venezia, il restauro del pavimento originale in piastrelle nere (Fig. 13), la ricerca di possibili danni al manufatto e la simulazione di future mostre all'interno del padiglione.

Conclusioni | Durante lo svolgimento della ricerca, tra il 2016 e il 2019, il flusso di lavoro per la Conservazione Virtuale si è sempre più semplificato. E se durante il primo caso studio, nel 2016, è stato difficile trovare ricerche simili nel panorama globale, al momento della redazione del presente articolo diverse sono le aziende che lavorano sul tema. Alcuni lavori degni di nota nell'ambito della Conservazione Virtuale sono, a titolo indicativo e non esaustivo, il Versailles VR, un progetto di Google Arts, i lavori di CYArk e gli studi del gruppo MIT Heritage. Il crescente interesse per la Conservazione Virtuale porta a supporre che la scannerizzazione e la restituzione virtuale dei Beni Culturali crescerà man mano che la tecnologia diventerà sempre più nota e disponibile.

Ad oggi, ancora pochi studi hanno evidenziato efficacemente le potenzialità delle tecniche di Conservazione Virtuale come una soluzione per sopperire alla potenziale perdita di materia di un Bene Culturale a causa degli effetti del cambiamento climatico. Ciò è probabilmente da attribuire alle limitate conoscenze e competenze sull'argomento, o al fatto che i settori della conservazione, dell'innovazione tecnologica e dell'emergenza ambientale devono

ancora interagire attivando studi di questo tipo: tale presupposto può incentivare ulteriormente la ricerca e la sperimentazione. Attualmente, numerosi sono i limiti posti dalla Conservazione Virtuale. Uno dei principali è che, in molti casi, le informazioni raccolte non sono abbastanza accurate da poter ricreare una fedele e completa documentazione del Bene Culturale, essendo condizionate dalla capacità tecnica degli operatori e dai costi elevati dell'hardware per il rilievo, l'archiviazione e la restituzione virtuale. Inoltre, studi completi e dettagliati sui Beni Culturali richiedono budget elevati, per le trasferte e per il tempo necessario alla digitalizzazione.

Tra i punti di forza che avvalorano la bontà dello studio, vi è certamente da segnalare la possibilità di creare copie di Beni Culturali fedeli all'originale e a grandezza naturale, capaci di permettere una fruizione virtuale ma al contempo realistica, come è risultato dai sondaggi agli esperti intervenuti durante le mostre citate. Sebbene la ricerca abbia interessato Beni Culturali diversi e di differenti Paesi (Norvegia, Italia e Thailandia), dalla complessità e significatività varia, con costi d'investimento e di strumenti utilizzati mai uguali, per ogni caso studio il feedback è stato positivo, proponendo una valida alternativa al potenziale problema di perdita della materia a causa degli effetti del cambiamento climatico. Infine, altro punto di forza è rintracciabile nel fatto che, in ragione della natura digitale di questo Patrimonio 'non materiale', la Conservazione Virtuale può essere impiegata sia per riprodurre le diverse fasi evolutive del Bene sia per immaginarlo all'interno di un contesto nel quale simulare le sue capacità di resilienza al cambiamento climatico.

Ciò che si auspica è che il presente studio possa stimolare nuovi test nel settore della Conservazione Virtuale ma anche altri usi sperimentali che interessano differenti questioni cogenti. Si profilano così la nascita di una nuova figura professionale e di una metodologia di documentazione e restituzione virtuale del Bene che può fornire utili indicazioni nella fase progettuale e decisionale del processo di conservazione, e aiutare i conservatori nella definizione di linee guida che integrino la realtà mista nelle proprie pratiche. È probabilmente l'alba di un nuovo tipo di fruizione e partecipazione emotiva degli utenti con uno strumento educativo-formativo alla portata di tutti, ma soprattutto si pensa di aver creato il presupposto per far maturare una nuova consapevolezza sul-

l'efficacia di strumenti e di tecnologie utili a documentare il valore 'immateriale' di un Bene Culturale e a preservarne, anche se virtualmente, il valore 'materiale'.

This article arrives from the need to evaluate if virtual simulations have sufficient accuracy and user experience to compensate for – in case of catastrophic events due to climate change and other environmental factors – the destruction of a vast amount of cultural and Cultural Heritage, thus allowing to pass on to future generations their 'material' values, even if only virtually. The arguments for this research can be summed up through the following statements: 1) a broad understanding among international scientists and NGOs that climate change poses a severe threat to the 'material' Cultural Heritage (Gruber, 2011); 2) recent technological developments provide interesting tools to represent and understand physical space (Picon, 2015), and specifically 3D scanning, virtual and augmented reality provide new opportunities to catalogue and archive buildings and physical spaces even in/at full scale (Buttke et alii, 2020); 3) a growing acknowledgement within heritage experts and preservationists to find new, experimental methods to stop and prevent cultural heritage destruction, specifically through research applied to case studies (Negussie, 2012); 4) within architectural education and research, the field of 'experimental preservation' has recently opened to the opportunity to evaluate new methods, technologies, and pedagogical strategies in relation to both climate change and ITCs (Otero-Pailos, Fenstad Langdalen and Arrhenius, 2016; Fig. 1). These four introductory statements may be explained in further detail as follows.

First statement: climate threat to Cultural Heritage. In the past few decades, scientific literature has assembled a growing body of research showing, on the one hand, the alarming effects of Earth's climate change and, on the other, the role that human activities play in this change (Colette, 2007), and many international, regional, and national organizations developed dedicated programs to assess and manage, at different scales, the impacts of climate change. Multiple reports conclude that increased global temperature, heavy precipitation, droughts, storminess, ocean temperature and acidification, and sea-level rise jeopardize

the conservation of World Heritage Cultural Sites (Colette, 2007), affecting their values, integrity and authenticity. In fact, while the increase of sea-level threatens many coastal sites, the increasing of soil temperature jeopardizes the conservation of archaeological evidence. In addition, it is a common opinion that climate change will have a social and cultural impact on communities, that will change the way they live, work, and socialize in building sites and outdoors, possibly migrating and abandoning their territory (and Cultural Heritage) to move towards safer areas with a more pleasant climate (Colette, 2007).

Second statement: availability of technologies for virtual simulation. In parallel with increased knowledge of climate change and its impact upon the built environment, recent advancements within ITCs offer new georeferencing systems, mobile communications networks, wearable computing devices, 3D scanning devices, and virtual reality capable of merging physical and digital spaces into a single, seamlessly, highly accurate experience (Barford, 2015; Graham et alii, 2016). This is particularly applicable to Cultural Heritage, which can be documented through a high degree of coordinated and accurate data (Buthke et alii, 2020) to then be enjoyed by experts and users in reconstructed realities. These technologies allow to organize a range of interesting new conceptual frameworks, useful not only to understand architectural space, but also to implement multidisciplinary planning practices, and to provide stakeholders with more adequate tools for assessment (Bratton, 2016).

Third statement: experimental methods and case studies. While, in the short term, several actions have been promoted to prevent the impacts of Climate Change on World Heritage, according to experts' opinion, there is limited experimental research accomplished to date on the subject (Sesana et alii, 2018). Already in the 2007 World Heritage Committee report it was claimed that there is a need for more research on the effects of Climate Change on both the physical heritage and the social and cultural processes that they are a part of (Colette, 2007). The report also suggested that the case studies could be used as experimental pilot sites for the development of appropriate strategies, a number of key principles can be obtained, on which sustainable adaptive responses to Climate Change can be developed, including «[...] designing flexible management planning objectives to enable priorities to be re-evaluated in response to Climate Change» (Colette, 2007, p. 33). Specifically, it is particularly noteworthy that there is still little research to date on virtual preservation techniques utilized to preserve our Heritage before its potential destruction.

Fourth statement: architectural research and experimental preservation. Nowadays, architectural education and research demand a higher disposition to experimentation to give concrete responses to the challenge posed by societal change and the potentials of ITCs. The 2012 European Association of Architectural Education defined architecture as «[...] the discipline devoted to the creation, transformation

and interpretation of the built environment and the articulation of space at various scales» (EAAE, 2012). Within this charter, the EAAE stated that «[...] architecture is facing challenges of climate change, globalization, urbanization, and social transformation that necessitate vital research». This need for experimentation highlights the opportunity for architectural studies to further deepen the research of alternative models and practices, as extensively described in Experimental Preservation (Otero-Pailos, Fenstad Langdalen and Arrhenius, 2016). Although the horizons of architectural experimentation are expanding rapidly with the development of new technologies and media (de Lange and de Waal, 2019), it appears to be clear that more adequate strategies on adaptive resilience of Cultural Heritage should require more and different experimental frameworks than the ones currently available.

Background for the Study | The study emerged from the desire to investigate the validity of experimental methods using emerging technologies, for the knowledge, digitalization, archival and virtual simulation of sites, in a – highly probable – scenario in which climate change will cause severe mass heritage loss. On the topic, the literature indicated that preservation experts and the world of technology research have very different views. Mostly, the experts are reluctant to accept the mass loss of Heritage due to climate change, and also the presumed unjustified need for 'radical', experimental solutions (Sesana et alii, 2018).

One of the reasons for this difference of views might be the fact that preservation experts – that is traditionally based on maintenance, restoration and reconstruction activities (Aubrey, 2013) – have not acquired the competences and/or understood the potential of the new digital technologies, in constant and quick evolution. Denying the possibility that Cultural Heritage may lose its physical consistency due to climate change and promoting measures to improve the performances of the materials, and the use of sustainable materials and renewable energy sources as the only solutions, is a major limitation of 'preservationists'. Actually, the research identified that few preservationists knew the capacity offered by new technologies to create digital archives; and it was precisely this small number to drive this study (Sesana et alii, 2018; Fig. 2).

The research course started in 2016, first with virtual reality and 3D scanning experiments and the identification of case studies, meaning Architectural Cultural Heritage: the first research course (titled Places, Objects, Tools) was carried out at AHO – The Oslo School of Architecture and Design. Subsequently, on the subject of Virtual Preservation the Author was part of the Research Unit, he carried out a consultancy, participated in exhibitions (including some art exhibitions in New York), and taught as a guest professor in Bangkok, Thailand, where he was able to investigate some research topics; further in-depth studies have been carried out in the Digital Urban Living Research project and in a PhD entitled Evaluating the Use of Mixed-Reality in Architecture and

Urban Planning: Four Case Studies. Finally, in 2018 the first specific activities on Virtual Preservation were started at AHO and in 2019 the author joined a Research Unit whose object is the Nordic Pavilion in Venice, Italy.

Among the different experimental solutions that can tackle the effects of climate change, Virtual Preservation was chosen since it is substantially different from the traditional practice of conservation and preservation of architecture, although – excluding 'material values' – the latter aims to guarantee the transmission of 'immaterial' values to future generations, whether they are users or scholars (Sposito and Scalisi, 2018). Specifically, the study is meant to investigate, within a potential scenario of large-scale environmental disaster with the loss of ancient heritage, the combination of virtual preservation technologies and methods to set a new definition of Architectural Cultural Heritage, even in the form of Bits. In this context, the following case studies could create guidelines and methodologies to support professional practice and, more widely, policy-making (Fig. 3).

Methodology of the Study | The study applied virtual reality to Architectural Cultural Heritage, which met the following key requirements: i) suitable to experiment with virtual preservation methods; ii) acquisition of physical and metric data through 3D scanning, surveying and modelling; iii) virtual experience of the Cultural Assets at full-body scale and fair representation of the archived space. The study has been carried out, in different years and in different Assets: 1) Farmhouse in Rælingen, in Oslo's countryside, Norway, 2016; 2) various heritage and religious sites in Bangkok, Thailand, 2017; 3) the Nordic Pavilion in the Gardens of Venice, Italy, 2019. The case studies were chosen because they were significant to the research, for different reasons. All case studies were challenged by a context that presented some form of erosion of other environmental stress, which could cause significant damages or even loss of the Asset in a near future. At the same time, the case studies have historical interest, which makes them liable to preservation relevance for cultural, historical, or religious reasons. Finally, all case studies are of a scale that allowed to perform a survey within a few days and to be easily digitally replicated in terms of file size, and available equipment and manpower.

From a technical point of view, the 3D scanning for every site has been carried out many times (due to the initial inexperience of the technician), eventually, a high-definition survey was obtained, by collecting numerous photographs, and was recreated using photogrammetric software and digital survey software, such as the software packages of Adobe Recap. The Leica scanning tool, including its software for iPad Pro, was used for generating 3D point clouds, which was also post-processed in Autodesk Recap. Sound recording was tested with embedded sound recording software, used in several studies.

In each case study, the scanned models were digitally recreated at full-scale using mixed reality methods to better view the Asset. The point cloud models and photogrammetry mesh-

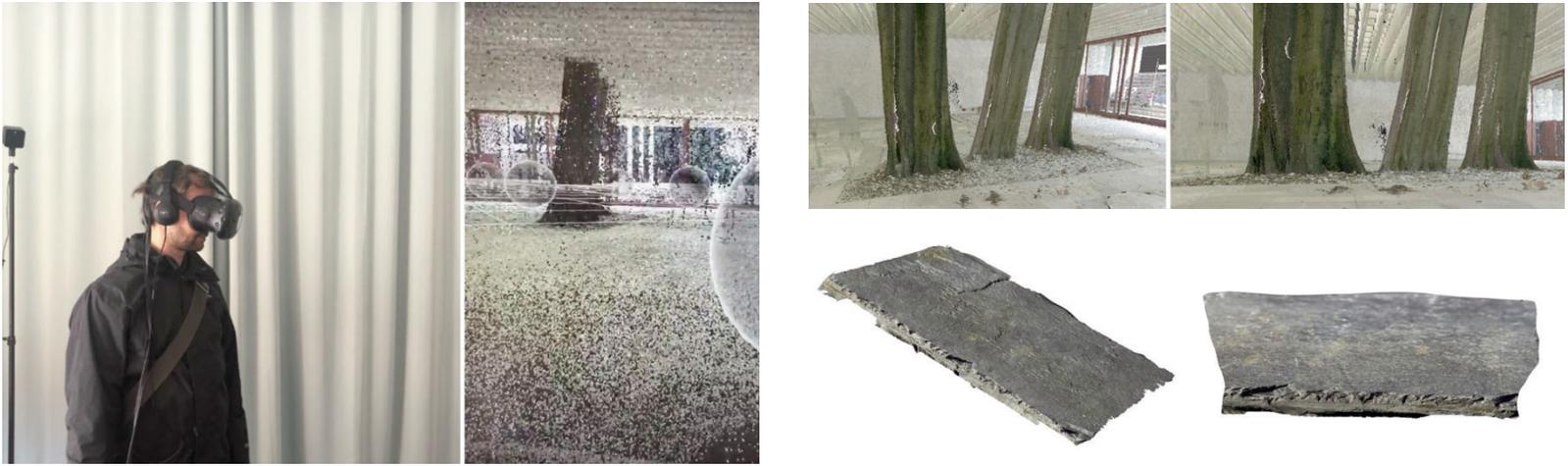


Fig. 11 | User inside of the Virtual Preservation experience of Case Study 3, and Image of Point Cloud (credit: K. Reaver, 2019).

Fig. 12 | Examples from within the virtual preservation experience of Case Study 3 (credit: E. Wilhelmsen, 2019).

Fig. 13 | Example of a floor tile from Case Study 3 after being processed in Photogrammetry (credit: A. Rosseland, 2019).

es were processed and then imported into Unity, where they were reconstructed as virtual reality experiences through the SteamVR plugin, enjoyable through the HTC Vive VR headset. Each case study was presented in a setting with expert participants, that provided their feedback comparing the experiences of the real and the virtual spaces. This feedback, documented and processed for further research, confirmed the quality of the first experiments as useful implementations to define possible guidelines for Virtual Preservation.

Case Study 1: Abandoned Farmhouse, Rælingen (Norway), 2016 | This case was the first experiment attempting to create a full-scale virtual preservation of an existing Cultural Asset in virtual reality. The Asset was chosen due to its significance as a historic Norwegian building abandoned before the war, when had been used as a shop and a guesthouse. The Asset represented a specific interest due to its poor conservation; it was in a state of near collapse due to erosion of atmospheric agents; at the same time, its small size and the many points of external observation, made the acquisition with a 3D scanner quite easy. Therefore, the abandoned Farmhouse could also present the opportunity to research a virtual preservation case which, in the short term, would be non-existent or significantly damaged (Fig. 4, 5).

The digitization process of the Asset and its recreation to virtual reality were displayed in an exhibition with three settings at the AHO and during an open day for prospective students. While this first study was carried out primarily to test the ability to scan and generate data models of Cultural Assets, it enabled several useful remarks. The first, about the model: the high resolution provided a highly realistic virtual experience, even when the user was moving within the Asset. Multiple users were polled during and after the virtual experience, and most observations concluded that the study was very close to making them feel like they were in the actual historic architecture (Fig. 6). Conversely, it was understood that point cloud scan of such magnitude produces a very large

amount of data, very large files that require hardware with powerful processors and a considerable amount of work hours.

The building collapsed a few weeks after the study was performed. However, this dramatic event has allowed us to think about how the experience of Virtual Preservation, as in the case of the Rælingen farm, allows visitors to enter an Asset that no longer exists and to enjoy it as it still was. This realization – combined with the awareness that the available technology could provide an accurate and very realistic experience – further increased the idea that Virtual Preservation can provide unique opportunities to the field.

Case Study 2: Chulalongkorn University, Bangkok (Thailand), 2017 | The second case study expanded on the first in numerous ways. For the first time, it was carried out a study on Virtual Preservation within a research workshop in an educational setting. The workshop – Virtual Environments and Architectural Backups – was carried out by the Author within the INDA programme at the Chulalongkorn University, in Bangkok, Thailand. This case study was also the first to expand itself upon a variety of sites within a designated territory and experiment survey with sound and photogrammetry techniques.

Bangkok is a city under severe climate stress with dire future predictions due to its coastal proximity, tropical climate, and high population density. In this environmental setting, students were asked to locate a Cultural Asset which they thought would disappear within the next ten years, to create their photogrammetry models and, finally, to recreate their Cultural Asset in virtual reality to display it in an exhibitory setting (Fig. 7). Photogrammetry was chosen due to its ability to create models quickly with off-the-shelf software, and cheap and easy to use hardware.

The study focused primarily on how to perform Virtual Preservation through photogrammetry created with cameras and smartphones in an educational setting with a large group of students. The results were very satisfactory, since photogrammetry (easier to use than the 3D scan-

ner) produced mesh surfaces instead of point clouds, with quite detailed and precise representations. While, on the one hand, photogrammetry showed significant gains in terms of flexibility of use and accuracy of simpler models, on the other, it did not achieve the same results for more complex spaces with more complex geometries.

This required to make the virtual reproduction by combining the single pieces through multiple mesh objects, penalizing the accuracy achieved in the previous case study. At the same time, it was discovered that through this initial limitation, the virtual sites could be reconfigured to provide a more precise distribution of the various Assets in the sites. This realization was therefore tested upon visitors and peers to establish to which extent the virtual representations were detrimental to the understanding of the Cultural Asset in relation to its physical counterpart (Fig. 8).

Case Study 3: Nordic Pavilion, Venice (Italy), 2019 | The final case study was built upon the research developments coming from the first two examined, allowing to make significant upgrades in terms of technology, manpower, and access to the Cultural Asset. Therefore, it was used state-of-the-art equipment, as of Spring 2019, including the Leica BLK 360 3D scanner, Autodesk Recap, iPad Pro, and the newest software versions of Unity, including a custom plugin for converting large point clouds to virtual reality. The manpower included a group of eight students from the research course on the preservation of the Nordic Pavilion in Giardini in Venice (designed by the architect Sverre Fehn; Fig. 9), and three dedicated staff members of the Asset, charged with its caretaking and maintenance.

The Nordic Pavilion in Venice is an Asset with significant cultural and historic value, it has been affected by forces of destruction, due to Venice's lagoon situation, so much so that the building has sunk in one corner due to the foundation plan erosion. Since Venice is one of Europe's most endangered cities with flooding, the Asset was of particular interest to ex-

periment with Virtual Preservation (Fig. 10). The case study was the first attempt at creating a full resolution virtual representation of a large building: in fact, it was surveyed a cloud with a density of points so high as to faithfully reproduce the quality of the materials. The 3D scanning – complemented with sound techniques from multiple points – required two days of work and consisted of twenty-five scanning points

Also, the virtual recreation of the Pavilion was exhibited in Oslo, within an event that provided the opportunity for a selection of experts to trigger a debate on the history and restoration of the Asset (Fig. 11, 12). Following this study, a continuous dialogue with the Norwegian National Museum has arisen, notably for the planning of the 2020 Architecture Biennale in Venice. Among these studies include the experimentation with restoration of the original, black tiled floor (Fig. 13), the investigation of possible damages to the pavilion, and the possibility of simulating planned exhibitions within the pavilion in the future.

Conclusions | During the course of the research, between 2016 and 2019, the workflow for Virtual Preservation has become consistently easier. While during the first 2016 case study it was difficult to find similar projects worldwide, at the date of the publication of this article there are several companies working on the field. Notable efforts within Virtual Preservation include, but are not limited to, Versailles VR, a Google arts project, the efforts of CYArk, and studies within the MIT Heritage group. This increased interest in Virtual Preservation leads to assume that virtual scanning and recreation of Cultural Assets will increase as the technology becomes increasingly known and available.

References

Aubrey, D. (2013), *Theories of Architectural Conservation – A Guest Post by Douglas Read*. [Online] Available at: vialucispress.wordpress.com/2013/02/01/theories-of-architectural-conservation-a-guest-post-by-douglas-read/ [Accessed 25 October 2019].

Barford, W. (ed.) (2017), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, 2nd edition, CRC Press, Boca Raton (USA).

Bratton, B. H. (2016), *The Stack – On Software and Sovereignty*, MIT Press, Cambridge (MA).

Buthke, J., Larsen, N. M., Pedersen, S. O. and Bundgaard, C. (2020), “Adaptive Reuse of Architectural Heritage”, in Gengnagel, C., Baverel, O., Burry, J., Ramsgaard Thomsen, M. and Weinzierl, S. (eds), *Impact – Design with All Senses. DMSB 2019*, Springer, Cham, pp. 59-68. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-29829-6_5 [Accessed 30 October 2019].

Colette, A. (ed.) (2007), *Climate Change and World Heritage – Report on predicting and managing the impacts of climate change on World Heritage and Strategy to assist States Parties to implement appropriate management responses*, Report 22, UNESCO World Heritage Centre. [Online] Available at: whc.unesco.org/document/8874 [Accessed 3 November 2019].

de Lange, M. and de Waal, M. (eds) (2019), *The Hackable City – Digital Media and Collaborative City-Making*

To date, still very few studies have successfully highlighted the potential of Virtual Preservation techniques as a solution to compensate the potential material loss of a Cultural Asset due to the effects of climate change. This is probably due to the limited knowledge and skills on the subject, or to the fact that the fields of conservation, technological innovation and environmental emergency have yet to cooperate by activating this type of study: this assumption can foster further research and experimentation. Currently, Virtual Preservation sets numerous limitations. One of the primary limitations is that, in many cases, the information collected is not accurate enough to recreate a full historically correct documentation of a Cultural Asset, being conditioned by the technical ability of the operators and by the high costs of the hardware for the survey, storage and virtual representation. Moreover, full and detailed studies on Cultural Assets require high budgets, for travelling and for the time necessary to digitalization.

One of the strengths that confirms the validity of the study is certainly the possibility to create full-scale and close to the original copies of Cultural Assets, allowing to enjoy them virtually but realistically, as emerged through polling the experts during the above-mentioned exhibitions. Although the study concerned several Cultural Assets of different Countries (Norway, Italy, and Thailand), with different degrees of complexity and significance, different levels of investment and equipment involved, overall the feedback for each case study was positive, offering a viable option to the problem of potential material loss due to the effects of climate change. Finally, another strength can be found in the fact that, by virtue of the digital nature of this ‘immaterial’ Heritage, Virtual Preservation

ing in the Network Society, Springer, Singapore. [Online] Available at: link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-2694-3 [Accessed 3rd November 2019].

EAAE – European Association of Architectural Education (2012), *EAAE Charter on Architectural Research*. [Online] Available at: www.eaae.be/about/statutes-and-charter/eaae-charter-architectural-research/ [Accessed 20 October 2019].

Graham, J., Blanchfield, C., Anderson, A., Carver, J. and Moore, J. (eds) (2016), *Climates – Architecture and the Planetary Imaginary*, Lars Müller Publishers, Baden.

Gruber, S. (2011), “The Impact of Climate Change on Cultural Heritage Sites: Environmental Law and Adaptation”, in *Carbon and Climate Law Review*, vol. 5, issue 2, pp. 209-219. [Online] Available at: doi.org/10.21552/CCLR/2011/2/181 [Accessed 20 October 2019].

Negussie, E. (ed.) (2012), *Changing World, Changing Views of Heritage: heritage and social change – Proceedings of the ICOMOS Scientific Symposium, 30 October 2010*, Dublin, Ireland. [Online] Available at: www.icomos.org/images/DOCUMENTS/ADCOM/ICOMOS_Scientific_Symposium_DUBLIN_2010.pdf [Accessed 10 September 2019].

Otero-Pailos, J., Fenstad Langdalen, E. and Arrhenius, T. (eds) (2016), *Experimental Preservation*, Lars Müller Publishers, Baden.

Picon, A. (2015), *Smart Cities – A Spatialised Intelligence*, Wiley, Hoboken.

can be used both to recreate the different evolution stages of the Asset and to imagine it in a setting to simulate its ability of resilience to climate change.

Hopefully, this study can encourage new tests in the field of Virtual Preservation but also other experimental uses concerning different imperative matters. Therefore, it is imagined the rise of a new professional position and a new documentation method and virtual representation of the Asset, that can provide useful indications in the planning and decisional phases of the preservation process, as well as help preservationists establishing guidelines to integrate mixed reality in their practices. It probably is the beginning of a new way for the users to enjoy and emotionally participate with a didactic-educational tool accessible to all, but mostly, it is thought that it was set the basis to increase a new awareness on the effectiveness of tools and technologies useful to document the ‘immaterial’ value of a Cultural Asset and preserve, even virtually, its ‘material’ value.

Sesana, E., Gagnon, A. S., Bertolin, C. and Hughes, J. (2018), “Adapting Cultural Heritage to Climate Change Risks: Perspectives of Cultural Heritage Experts in Europe”, in *Geosciences*, vol. 8, issue 8, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/geosciences8080305 [Accessed 10 September 2019].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2018), “Processo conservativo e significatività. Un approccio metodologico per la progettazione dei sistemi di protezione nei siti archeologici | Conservation process and significance. A methodological approach to plan shelters in archaeological sites”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 4, pp. 45-58. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/462018 [Accessed 19 November 2019].