

Bologna, 20 Luglio 2021

*Oggetto: Affare assegnato n. 808 (impatto dei cambiamenti climatici sui beni culturali e sul paesaggio). Invio Contributo in risposta alla Nota Prot. n. 489/7<sup>a</sup>*

## **IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI BENI CULTURALI E SUL PAESAGGIO**

*Alessandra Bonazza, Paola De Nuntiis, Alessandro Sardella  
Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bologna*

L'anno Europeo del Patrimonio Culturale (**EYCH2018**), attraverso le sue numerosissime iniziative ha acceso i riflettori sul Patrimonio Culturale (storico e artistico costruito, paesaggio naturale in relazione con l'uomo, tradizioni culturali che caratterizzano l'identità di un territorio e della sua comunità), considerato risorsa rilevante per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile, equo e inclusivo della società (**Agenda Globale per lo Sviluppo Sostenibile, 2030**)<sup>1</sup> e per questo da tutelare e salvaguardare (Obiettivo 11.4 - Potenziare gli sforzi per proteggere e salvaguardare il Patrimonio Culturale e naturale del mondo).

E' riconosciuto a livello globale quanto il nostro Patrimonio Culturale sia a rischio a seguito dell'esposizione a calamità naturali e antropiche, in particolare in seguito ai cambiamenti climatici e soprattutto agli eventi estremi correlati. L'Europa meridionale ed in particolar modo il Mediterraneo dovrà fronteggiare nei prossimi decenni gli impatti dei cambiamenti climatici legati soprattutto all'innalzamento delle temperature, all'aumento della frequenza degli eventi estremi (siccità, ondate di calore, precipitazioni intense) e alla riduzione e al cambiamento del regime delle precipitazioni a scala stagionale o annuale con ricadute socio-economiche enormi (**IPCC 2014a**)<sup>2</sup>.

L'impatto dei cambiamenti climatici sul Patrimonio Culturale è stato lungamente ignorato sia a livello della ricerca internazionale che sul piano politico, aspetto questo particolarmente critico essendo i Beni Culturali una risorsa non rinnovabile che rappresenta la nostra identità e che deve essere trasmessa alle future generazioni. Nell'ultimo report AR5 del 2014<sup>3</sup> l'IPCC, pur riconoscendo un ruolo decisivo alle conoscenze e alle pratiche culturali nel rispondere alle strategie di adattamento climatico, menziona il Patrimonio Culturale esclusivamente nella nota 59 in cui si considera l'impatto economico diretto e indiretto della perdita dei beni culturali a seguito dei cambiamenti climatici, ma essendo di difficile valutazione e monetizzazione è scarsamente considerato nelle stime delle perdite. Purtroppo, nonostante la consapevolezza questo tema non è sufficientemente affrontato con misure e strategie specifiche dedicate alla sua salvaguardia, né è definito adeguatamente nei piani nazionali di riduzione e gestione del rischio di catastrofi [1, 2]. Il contrasto ai cambiamenti climatici nel settore del Patrimonio Culturale si attua incrementando la resilienza.

Le prime ricerche specifiche sono state realizzate nell'ambito del Progetto **Noah's Ark** (FP6, 2004-2007), con la quantificazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sui materiali del Patrimonio

---

<sup>1</sup> *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, a cura di UNITED NATIONS, A/RES/70/1, 2015, pp. 41.

<sup>2</sup> IPCC (2014a) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

<sup>3</sup> *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, a cura di R.K. PACHAURI-L.A. MEYER. IPCC, Geneva, 2014, pp. 151.

Culturale esposti all'aperto, concentrandosi in particolare sui processi di danno cumulativo lento, come la recessione superficiale e lo stress termico sui marmi, l'accumulo biologico su pietre silicatiche e la corrosione dei metalli. In quest'ambito è stato introdotto il concetto innovativo di climatologia del patrimonio culturale [3, 4] ed è stato prodotto un Atlante di vulnerabilità con mappe europee realizzate applicando i modelli climatici globali e regionali Hadley (con risoluzione di griglia rispettivamente di 295 x 278 km e 50 x 50 km) negli scenari A2 (Scenari di emissione SRES IPCC utilizzati in TAR e FAR) [5-8]. Abbinando la climatologia con la scienza della conservazione sono state inoltre fornite le strategie di gestione per mitigare gli effetti del cambiamento climatico sul patrimonio culturale [5].

Ulteriori progressi nel campo sono stati poi raggiunti con il progetto **Climate for Culture** (FP7, 2009-2014) che ha prodotto scenari dei climi interni futuri negli edifici storici correlando modellazione climatica regionale ad alta risoluzione e strumenti di simulazione per gli edifici [9, 10] e ha valutato inoltre il potenziale impatto dell'aumento del livello del mare sul patrimonio costiero europeo. In questo caso il *downscaling* della risoluzione della griglia fino a 12 x 12 km è stato ottenuto utilizzando il modello atmosfera-oceano accoppiato a livello regionale REMO [11, 12].

Nell'affrontare la valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici su complessi monumentali ed edifici storici, il *downscaling* nella risoluzione degli output dei modelli globali e regionali rimane ancora una questione aperta: la risoluzione spaziale e temporale dei parametri climatici e di inquinamento estraibili dai modelli climatici comporta che le proiezioni future di fenomeni di degrado, sviluppati a scala locale sul patrimonio costruito, necessitano di ulteriori studi di approfondimento. D'altro canto, previsioni altamente affidabili richiedono una base di dati standardizzata a livello globale/regionale e serie temporali lunghe almeno 30 anni. Sulla base di un approccio *user-driven* sono disponibili scenari personalizzabili a livello locale, che rispondono alle esigenze dei diversi target di stakeholders coinvolti nella tutela e gestione del Patrimonio Culturale a rischio per effetto dei cambiamenti climatici. Solo di recente la ricerca ha iniziato a concentrarsi sullo sviluppo di proiezioni di eventi estremi legati ai cambiamenti climatici e al rischio a cui è sottoposto conseguentemente il Patrimonio Culturale [13, 14]. La complessità di questo tema di ricerca risiede in primo luogo nel significativo aumento delle incertezze nella modellazione di scenari futuri di eventi estremi, come piogge intense, tempeste, inondazioni, siccità prolungata, ondate di calore [15, 16].

Per una valutazione completa del rischio è necessario introdurre il concetto di valutazione della **vulnerabilità** dei beni esposti [17]; l'analisi della vulnerabilità rappresenta un compito fondamentale e non semplice per perseguire la resilienza ai disastri [18, 19]. La vulnerabilità può essere caratterizzata da parametri che contemplano diversi aspetti (ad esempio fisica, sociale, economica, ambientale e istituzionale) ed è fortemente dipendente dalla scala (ad esempio un sistema considerato invulnerabile, ad esempio una città, può includere sottosistemi vulnerabili, come edifici specifici) e dalla sua evoluzione (la vulnerabilità varia nelle stagioni e con il tempo, nonché in funzione della cronologia degli eventi). La vulnerabilità, in termini pratici, può essere interpretata come la combinazione di tre fattori principali di un sistema: suscettibilità, esposizione e resilienza [20] che devono essere caratterizzati per poterne fornire una valutazione. Dall'analisi dello stato dell'arte e delle lacune ancora esistenti nella conoscenza del settore, risulta urgente investire risorse e sforzi nella produzione di strumenti e soluzioni per migliorare la preparazione del Patrimonio Culturale nell'affrontare eventi estremi legati ai cambiamenti climatici.

Ciò anche a sostegno del Piano d'azione (2015-2030) per l'attuazione della **Priorità 4 del Sendai Framework**<sup>4</sup> per la riduzione dei rischi di catastrofi (Migliorare la preparazione alle catastrofi per

---

<sup>4</sup> COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Action Plan on the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 A disaster risk-informed approach for all EU policies SWD(2016)205 final/2, [http://ec.europa.eu/echo/sites/echo-site/files/1\\_en\\_document\\_travail\\_service\\_part1\\_v2.pdf](http://ec.europa.eu/echo/sites/echo-site/files/1_en_document_travail_service_part1_v2.pdf)

una risposta efficace e per realizzare pratiche di “Build Back Better” nelle fasi di recupero, ripristino e ricostruzione) dove, tra le misure è previsto lo sviluppo di buone pratiche per l'integrazione del Patrimonio Culturale nelle strategie nazionali di riduzione del rischio di catastrofi che devono essere sviluppate dagli Stati membri dell'UE [1, 21].

## **Progetti Interreg Central Europe ProteCHt2save e STRENCH**

In quest'ambito si inseriscono i risultati derivanti dal progetto Interreg Central Europe **ProteCHt2save** (2017-20) [22], e dal successivo progetto di capitalizzazione **STRENCH** (2020-22) [23], che mira proprio a promuovere l'inclusione di misure dedicate al Patrimonio Culturale nei piani nazionali di riduzione del rischio di catastrofi. L'obiettivo generale del progetto è stato quello di migliorare le capacità del settore pubblico e privato di mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici e dei rischi naturali sui siti del patrimonio culturale, inclusi i complessi monumentali, gli edifici storici e le collezioni in essi ospitate nelle aree urbane e costiere dei paesi dell'Europa centrale. Il progetto si è concentrato principalmente sullo sviluppo di soluzioni concrete e personalizzate (valutazione della vulnerabilità e mappatura del rischio attraverso la creazione di una specifica piattaforma Web GIS <https://www.protecht2save-wgt.eu/>) per migliorare la resilienza del Patrimonio Culturale nei confronti degli eventi estremi legati ai cambiamenti climatici, supportando le autorità regionali e locali nella predisposizione di misure di preparazione e di piani di evacuazione in caso di emergenza [14, 24]. Nello specifico, tre principali strumenti sono stati sviluppati:

- 1) mappe di identificazione delle aree a rischio nell'Europa centrale dove il Patrimonio Culturale è esposto a piogge intense, inondazioni e siccità prolungata, ed in particolare proiezioni climatiche dei rischi su scala regionale con elevata risoluzione spaziale (12 x 12 km) nel prossimo (2021-2050) e nel lontano futuro (2071-2100) basate su indici climatici estremi appositamente selezionati,
- 2) valutazione della pericolosità effettuata principalmente a livello territoriale completata dalla valutazione della vulnerabilità a scala dell'edificio tenendo conto delle criticità fisiche e gestionali delle categorie di beni oggetto dello studio,
- 3) strategie transnazionali per la salvaguardia del Patrimonio Culturale esposto a eventi climatici estremi, verificate con attività dimostrative nei casi di studio selezionati.

Attualmente nell'ambito del Progetto **STRENCH** sono in fase di sviluppo applicazioni con **tecnologie satellitari** per la valutazione degli impatti degli eventi estremi legati ai cambiamenti climatici (Servizi CAMS e C3S del programma Copernicus).

## **Studio DG-EAC Safeguarding cultural heritage from natural and man-made disasters**

Sempre con l'obiettivo di integrare il Patrimonio Culturale nelle strategie nazionali di riduzione del rischio di catastrofi sviluppate dagli Stati Membri dell'UE, lo studio finanziato dalla **DG-EAC**<sup>5</sup> e coordinato dall'Italia ha ulteriormente contribuito allo sviluppo di buone pratiche attraverso tre specifici obiettivi:

- 1) Fornire una panoramica delle informazioni disponibili a livello europeo e internazionale sulla valutazione e prevenzione dei rischi per la salvaguardia del Patrimonio Culturale a seguito di catastrofi naturali e di origine antropica.

---

<sup>5</sup> *Safeguarding Cultural Heritage from Natural and Man-Made Disasters - A comparative analysis of risk management in the EU*, a cura di Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture (European Commission) - A. BONAZZA, I. MAXWELL, M. DRÁČKÝ, E. VINTZILEOU, C. HANUS, C. CIANTELLI, P. DE NUNTHIS, E. OIKONOMOPOULOU, V. NIKOLOPOULOU, S. POSPÍŠIL, C. SABBIONI, P. STRASSER, 2018, pp. 207.

2) Mappare le strategie e le pratiche esistenti in tutti i 28 Stati Membri con particolare attenzione ai centri di competenza e agli strumenti esistenti, mediante un sondaggio proposto ad esperti di enti di ricerca pubblici e privati, organizzazioni internazionali e nazionali orientate alla politica (tra cui UNESCO, ICCROM, ICOMOS, Consiglio d'Europa, Europa Nostra, Ministero della cultura nazionale, ecc.) e alla protezione del Patrimonio Culturale (es. caschi blu, scudo blu, autorità nazionali, regionali e locali, protezione civile, associazioni private).

3) Proporre, attraverso l'analisi dei punti di forza e di debolezza, raccomandazioni su possibili misure per migliorare a livello europeo la gestione del rischio per il patrimonio culturale.

Infine, ha permesso di mettere in evidenza le lacune ancora da colmare per integrare pienamente le misure di protezione del Patrimonio Culturale con le strategie di gestione del rischio a tutti i livelli della piramide gestionale (politico, amministrativo ed operativo). Nello Studio sono stati considerati diversi fattori di rischio di origine naturale o antropica (cambiamenti climatici, alluvioni, frane, incendi, inquinamento atmosferico, ma anche terremoti, eruzioni vulcaniche, conflitti armati e traffico illecito), con particolare attenzione all'impatto dei cambiamenti climatici indotti dall'attività umana (recessione superficiale ed erosione, biodegrado, stress termico, decoesione e fratturazione dovuta a cristallizzazione dei sali). Le attività svolte hanno evidenziato che l'integrazione del Patrimonio Culturale nelle strategie nazionali di riduzione del rischio di catastrofi sviluppate dagli Stati Membri dell'UE subisce la:

- Mancanza di coordinamento tra le diverse strategie e politiche (europee, nazionali e regionali) di gestione del rischio nella maggior parte dei Paesi.
- Mancanza di collegamento nella catena di responsabilità, dall'elaborazione delle politiche all'applicazione pratica.
- Scarsa rilevanza del settore Patrimonio Culturale nella pianificazione della gestione del rischio.
- Mancanza di integrazione delle misure di protezione del Patrimonio Culturale con le strategie di gestione del rischio.

Per massimizzare le sinergie tra i livelli politico, amministrativo e operativo nel campo della consapevolezza dei disastri è necessario un approccio integrato, che coinvolga pienamente tutti i livelli indicati.

## **Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici**

I risultati scientifici raggiunti nei progetti citati precedentemente sono stati inoltre al centro della SNACC (Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, <https://www.minambiente.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0>), realizzata in Italia e raro esempio in Europa di strategia nazionale per la riduzione del rischio di disastri, che ha incluso il Patrimonio Culturale tra i settori a rischio indicando le azioni di mitigazione specifiche e gli obiettivi strategici. La pubblicazione del PNACC Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici del 2018 è ancora in via di approvazione, ma ha l'intento di rendere operativa la Strategia Nazionale attraverso l'aggiornamento conoscitivo e la progettazione di azioni di adattamento ai diversi livelli di governo.

La SNACC sottolinea che la valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sui beni culturali si basa sull'individuazione dei parametri climatici prioritari che causano danni sia ai beni collocati all'esterno (patrimonio costruito, complessi monumentali, siti archeologici, ecc.) che all'interno (musei, chiese, ipogei, ecc.). Il rapporto contiene l'identificazione dei principali processi di degrado, che si verificano sui materiali che costituiscono il patrimonio collocato prevalentemente all'aperto: a) corrosione sui metalli; b) danno meccanico e crescita fungina su legno; c) recessione superficiale, annerimento, stress termico, alterazione causata dal gelo, cristallizzazione dei sali, biodegrado su pietra, mattoni e malte. Inoltre tramite l'uso di funzioni di danno vengono fornite valutazioni quantitative degli effetti dei cambiamenti climatici lenti (es. recessione di superficie) [6-8]. Dalle conoscenze scientifiche emerge il ruolo predominante dell'acqua come fattore di degrado diretto e indiretto dei materiali costituenti i beni culturali. Eventi estremi, con frequenza in aumento e

precipitazioni intense sotto forma di alluvioni e tempeste, risultano i responsabili di danni anche strutturali soprattutto negli elementi ornamentali degli edifici storici (guglie, pinnacoli, sculture, finiture, ecc). I modelli previsionali indicano che la dissoluzione chimica dei materiali lapidei carbonatici sarà dovuta principalmente all'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica nelle precipitazioni con un conseguente e un aumento massimo della recessione superficiale pari al 30% in Italia. Le regioni mediterranee e soprattutto le isole maggiori potranno essere soggette a un elevato rischio da stress termico (termoclastismo), con valori che potrebbero superare i 200 eventi all'anno alla fine del secolo e con danni amplificati dall'erosione eolica proprio sui siti archeologici e sui materiali del barocco leccese e siciliano. Anche la decoesione dei materiali da costruzione porosi è prevista aumentare per effetto dell'incremento dei cicli di cristallizzazione/solubilizzazione di sali non solo in Italia, ma in tutta Europa. Il Patrimonio Culturale collocato invece sulle coste italiane sarà soggetto all'aumento dell'incidenza degli eventi estremi, all'innalzamento del livello del mare e ai fenomeni di erosione costiera con probabile perdita di accessibilità ai siti archeologici e ai complessi monumentali costieri. L'aumento degli eventi estremi potrebbe causare allagamenti soprattutto dei siti ipogei e dei centri storici. Per quanto riguarda il paesaggio, l'aumento della temperatura sta creando problemi di trasformazione, con lo spostamento in quota dei limiti altitudinali delle fasce di vegetazione, e processi di desertificazione nell'area mediterranea.

Nelle aree alpine, prealpine e appenniniche l'aumento di temperatura previsto potrebbe presentare non solo delle minacce, ma anche delle opportunità, si pensi al recupero di piccoli borghi semiabbandonati (patrimonio culturale diffuso) e alla possibile ricolonizzazione da parte di cittadini in fuga dalle ondate di calore urbane. La riduzione dei cicli di gelo-disgelo correlato all'aumento della temperatura previsto potrebbe comportare anche un minor degrado dei materiali da costruzione, ma l'aumento della frequenza di eventi estremi correlati alle precipitazioni richiederebbe nelle stesse aree una buona cura del patrimonio immobiliare pubblico ed ecclesiastico, soprattutto quello caratterizzato da strutture lignee.

Tra le azioni principali di adattamento ai cambiamenti climatici individuate dal PNACC specificatamente per il Patrimonio Culturale e utili a favorire l'incremento della resilienza del territorio italiano vi è la formazione sia su tecniche edilizie tradizionali e artigianali integrate alle tecnologie avanzate sia sulla conoscenza del valore del patrimonio e dei danni materici causati dai cambiamenti climatici.

Una manutenzione ordinaria e il monitoraggio continuo in situ, dei materiali e del loro degrado permette di valutare lo stato di conservazione dei manufatti, soprattutto quelli esposti in siti urbani e soggetti ad annerimento, *soiling* o biodegrado, programmando gli interventi di restauro solo quando strettamente necessari. Inoltre l'implementazione di modelli di danno permetteranno di produrre scenari futuri su scala locale basati su indicatori quantitativi di vulnerabilità e scenari multirischio per sistemi complessi quali centri storici urbani, complessi monumentali, paesaggi culturali e siti archeologici. I costi della manutenzione e del restauro del Patrimonio possono essere affrontati anche ricorrendo a agevolazioni fiscali o a collaborazioni sinergiche pubblico-privato, ma non tutto potrà essere salvato, e questo aspetto deve sempre essere tenuto in considerazione, soprattutto quando non si può delocalizzare un manufatto dall'area soggetta ai cambiamenti climatici. Per integrare in modo esaustivo le misure esistenti in materia di adattamento ai cambiamenti climatici indirizzate alla tutela del Patrimonio Culturale nelle strategie e nei piani nazionali è necessario proseguire nella ricerca in quest'ambito con attività mirate all'implementazione dell'utilizzo dei risultati in azioni concrete di tutela e salvaguardia supportate da specifiche direttive politiche di gestione e riduzione del rischio.

La recente partecipazione italiana al kick-off della **Task Force dell'UE per i distretti storici urbani climaticamente neutri e resilienti**<sup>6</sup> agli effetti del cambiamento climatico e ai rischi naturali, contribuisce a condividere con gli attori della ricerca, delle buone pratiche e della politica i risultati del progetto **STRENCH**. Promuove l'applicazione di specifiche strategie di resilienza (piattaforma WebGIS, mappe di rischio, metodologia per la classificazione della vulnerabilità, strategie per la

---

<sup>6</sup> Kick-off Session EU Task Force for Climate Neutral and Resilient Historic Urban Districts  
June 23, 2021 <https://savingculturalheritage.eu/events?c=search&uid=TYPYF6Dh>

riduzione del rischio di catastrofi) per e con la collaborazione delle comunità locali di borghi storici e paesaggi culturali minacciati dagli effetti dei cambiamenti climatici. L'obiettivo della Task Force è di fornire supporto alle autorità europee e ai decisori per lo sviluppo di politiche, strategie e procedure comuni basate sullo sviluppo e l'adozione di soluzioni avanzate e concrete per sostenere l'adattamento ai cambiamenti climatici.

## Bibliografia

- [1] Bonazza A., Maxwell I., Drdácý M., Vintzileou E., Hanus C., Ciantelli C., De Nuntiis P., Oikonomopoulou E., Nikolopoulou V., Pospíšil S., Sabbioni C., Strasser P., 2018. Safeguarding cultural heritage from natural and man-made disasters. ISBN978-92-79-73945-3, <https://doi.org/10.2766/224310>.
- [2] Dastgerdi A.S., Sargolini M., Pierantoni, 2019. Climate Change Challenges to Existing Cultural Heritage Policy. Sustainability, 11(19), 5227, <https://doi.org/10.3390/su11195227>.
- [3] Grossi C. M., Bonazza A., Brimblecombe P., Harris I., Sabbioni C., 2008. Predicting twenty-first century recession of architectural limestone in European cities. Environ. Geol. 56, 455-461, <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1442-6>.
- [4] Grossi C. M., Brimblecombe P., Menendez B., Benavente D., Harris I., Deque M., 2011. 927 Climatology of salt damage on stone buildings. Sci. Total Environ., 409, 2577–2585, 928 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.03.029>.
- [5] Sabbioni C., Brimblecombe P., Cassar M., 2010. The Atlas of Climate Change Impact on European Cultural Heritage - Scientific analysis and management strategies, Anthem Press, London/New York, pp.146. ISBN 978927909800-0, <https://doi.org/10.2777/11959>.
- [6] Bonazza A., Sabbioni C., Messina P., Guaraldi C., De Nuntiis P., 2009. Climate change impact: mapping thermal stress on Carrara marble in Europe. Sci. Total Environ., 407, 4506-4512, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.04.008>.
- [7] Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., Grossi C. M., Brimblecombe P., 2009. Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe. Sci. Total Environ., 407, 2039-2050, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.067>.
- [8] Gomez-Bolea A., Llop E., Arino X., Saiz-Jimenez C., Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., 2012. Mapping the impact of climate change on biomass accumulation on stone. J. Cult. Herit., 13, 254-258, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.10.003>.
- [9] Hujibregts Z., Kramer R.P., Martens M.H.J., van Schijndel, A.W.M., Schellen, H.L., 2012. A proposed method to assess the damage risk of future climate change to museum objects in historic buildings, Building and Environment, 55, 43–56. DOI:10.1016/j.buildenv.2012.01.008.
- [10] Kramer R., van Schijndel J., Schellen H L., 2013. Inverse modeling of simplified hygrothermal building models to predict and characterize indoor climates. Building and Environment, 68, 87-99. DOI:10.1016/j.buildenv.2013.06.001
- [11] Leissner J., Kilian R., Kotova L., Jacob D., Mikolajewicz U., Broström T., Ashley-Smith J., Schellen H., Martens M., van Schijndel J., Antretter F., Winkler M., Bertolin C., Camuffo D., Simeunovic G., Vyhldal T., 2015. Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations. Heritage Science, 3, 38-52 DOI: 10.1186/s40494-015-0067-9.
- [12] Jacob D., Elizalde A., Haensler A., Hagemann S., Kumar P., Podzun R., Rechid D., Remedio A.R., Saeed F., Sieck K., Teichmann C., Wilhel, C., 2012. Assessing the transferability of the regional climate model REMO to different coordinated regional 954 climate downscaling experiment (CORDEX) regions. Atmosphere, 3, 181–199. DOI: 10.3390/atmos3010181.
- [13] Padeletti G., HERACLES Consortium Staff., 2018. Heritage Resilience Against Climate Events on Site - HERACLES Project: Mission and Vision. In: Moropoulou, A., Korres, M., Georgopoulos, A., Spyrakos, C., Mouzakis, C., Eds. Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage. TMM\_CH 2018. Communications in Computer and Information Science, Springer, Cham, 2020; 961, pp. 360-375. ISBN 978-3-030-12956-9, DOI:10.1007/978-3-030-12957-6\_26.
- [14] Sardella A., Palazzi E., von Hardenberg J., Del Grande C., De Nuntiis P., Sabbioni C., Bonazza A., 2020. Risk mapping for the sustainable protection of cultural heritage in extreme changing environments. Special Issue Assessing the Impact of Climate Change on Urban Cultural Heritage. Atmosphere, 11(7), 700, <https://doi.org/10.3390/atmos11070700>.
- [15] Rangwala, I., Palazzi, E., Miller, J.R., 2020. Projected Climate Change in the Himalayas during the Twenty-First Century. In: Himalayan Weather and Climate and their Impact on the Environment. Dimri, A., Bookhagen, B., Stoffel, M., Yasunari, T., Eds.; Springer, Cham, 2020; pp. 51-71. ISBN 978-3-030-29683-4. DOI:10.1007/978-3-030-29684-1\_4
- [16] Palazzi E., von Hardenberg J., Terzago S., Provenzale A., 2015. Precipitation in the Karakoram- Himalaya: a CMIP5 view. Clim Dyn, 45(1-2), 21–45. DOI: 10.1007/s00382-014-2341-z.
- [17] IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- [18] Kasperson J.X., Kasperson R.E., Turner B.L. II, Schiller A.M.D., Hsieh W., 2005. Vulnerability to global environmental change, in Kasperson, 2005; pp. 245-85.
- [19] Sesana E., Gagno A.S., Bonazza A., Hughes J.J., 2020. An integrated approach for assessing the vulnerability of World Heritage Sites to climate change impacts. *J. Cult. Herit.* 41, 211-224, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.06.013>.
- [20] Daungthima W.; Kazunori H., 2013. Assessing the flood impacts and the cultural properties vulnerabilities in Ayutthaya, Thailand. *Procedia Environ. Sci.* 17, 739–748. 28]
- [21] Ciurean R.L., Schröter D., Glade T., 2013. Conceptual 998 frameworks of vulnerability assessments for natural disasters reduction, INTECH Open Access Publisher, Croatia. <https://doi.org/10.5772/55538>.
- [22] United Nations. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. United Nations 1024 Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR); 2015.
- [23] Interreg Central Europe ProteCHt2save website. <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/ProteCHt2save.html> (accessed 02.12.2020).
- [24] Interreg Central Europe STRENCH website. <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/STRENCH.html> (accessed 21.06.21)
- [25] Bonazza A., Sardella A., Kaiser A., Cacciotti R., De Nuntiis P., Hanus C., Maxwell I., Drdäcký T., Drdäcký M. 2021. Safeguarding cultural heritage from climate change related hydrometeorological hazards in Central Europe. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 63, 10245. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102455>.