

Patrimonio culturale e cambiamento climatico. Siamo a un punto di svolta?

Johanna Leissner e Constanze Fuhrmann

IT

Introduzione.

Il patrimonio culturale ci permette di capire la nostra storia e il nostro futuro. In questa prospettiva, il 2018 è stato designato “Anno europeo del patrimonio culturale” per rafforzare ed evidenziare l’importanza che esso riveste per l’Europa e per i suoi cittadini. Esposto a rischi di varia natura, questo patrimonio va però tutelato. Degrado, agenti ambientali, incuria, conflitti armati, catastrofi naturali, demolizioni o cambi di destinazione d’uso – le cause della scomparsa di irrecuperabili testimonianze del passato sono svariate (UNESCO, 2008a, b). Oggi siamo a una svolta nella tutela del patrimonio culturale. I nostri beni culturali sono esposti a un pericolo gravissimo mai visto prima (IPCC 2007; UNESCO 2007; UNEP, UNESCO, Union of Concerned Scientists, 2016): il cambiamento climatico di origine antropica, che già oggi comporta gravi rischi per l’umanità intera. Con l’accordo sul clima di Parigi del dicembre 2015, 196 Stati hanno riconosciuto per la prima volta i rischi di tale fenomeno e hanno deciso di ridurre i gas a effetto serra.

Il cambiamento climatico minaccia il patrimonio culturale in vari modi: da un lato a causa dell’impatto diretto di condizioni meteorologiche e ambientali estreme (Cassar, 2005; English Heritage, 2008a), dall’altro tramite conseguenze indirette che possono rivelarsi ancora

Patrimoine culturel et changement climatique. Sommes-nous parvenus à un tournant ?

Johanna Leissner et Constanze Fuhrmann

FR

Introduction.

Notre patrimoine culturel nous permet de mieux comprendre notre histoire et d’appréhender notre avenir. C’est pourquoi 2018 a été proclamée « Année européenne du patrimoine culturel » pour mettre en exergue et mieux faire valoir son importance à de nombreux titres pour l’Europe et ses citoyens. Or ce patrimoine culturel est menacé par une myriade de dangers et requiert notre protection. Décrépitude, impacts environnementaux, abandon, conflits armés, catastrophes naturelles, destruction ou reconversion des sites – les causes qui conduisent à une perte irrémédiable de témoignages du passé sont nombreuses (UNESCO, 2008a, b). La sauvegarde de notre patrimoine culturel est désormais à un tournant. Un danger totalement inédit et d’une ampleur inconcevable menace nos biens culturels (GIEC 2007 ; UNESCO 2007 ; UNEP, UNESCO, Union of Concerned Scientists, 2016) : il s’agit du changement climatique provoqué par l’homme qui induit dès maintenant des risques considérables pour toute l’humanité. Dans le cadre de l’Accord de Paris sur le climat de décembre 2015, 196 États ont pour la première fois reconnu l’existence de ce dérèglement climatique engendré par nous-mêmes et décidé de réduire le volume des gaz à effet de serre.

Le changement climatique menace le patrimoine culturel de diverses manières. D’une part, sous l’impact direct

Kulturerbe und Klimawandel – sind wir an einem Wendepunkt?

Johanna Leissner und Constanze Fuhrmann

Cultural heritage and climate change: are we at the tipping point?

Johanna Leissner and Constanze Fuhrmann

DE

Einleitung.

Unser Kulturerbe lässt uns unsere Geschichte und unsere Zukunft verstehen. Deshalb wird 2018 das Europäische Kulturerbejahr ausgerufen, um seine vielschichtige Bedeutung für Europa und seine Bürger zu stärken und hervorzuheben. Doch dieses Kulturerbe ist mannigfaltigen Gefahren ausgesetzt und bedarf unseres Schutzes. Verfall, Umwelteinwirkungen, Vernachlässigung, bewaffnete Konflikte, Naturkatastrophen Abriss oder Umnutzung – die Ursachen für einen Verlust unwiederbringlicher Zeugnisse der Vergangenheit sind vielfältig (UNESCO, 2008a, b). Aber nun steht der Schutz unseres kulturellen Erbes an einem Wendepunkt. Eine noch nie dagewesene Gefahr von unvorstellbarem Ausmaß bedroht unsere Kulturgüter (IPCC 2007; UNESCO 2007; UNEP, UNESCO, Union of Concerned Scientists, 2016). Diese Gefahr ist der menschengemachte Klimawandel, der schon heute erhebliche Risiken für die Menschheit mit sich bringt. Im Dezember 2015 haben im Pariser Klimaabkommen 196 Staaten erstmals den menschengemachten Klimawandel anerkannt und beschlossen, die Treibhausgase zu reduzieren. Der Klimawandel bedroht Kulturerbe auf unterschiedliche Weise. Einerseits durch direkten Einfluss der extremen Wetter- und Umweltbedingungen (Cassar, 2005; English Heritage, 2008a). Auf der anderen Seite durch indirekte Folgen, die noch bedrohlicher ausfallen können: Ent-

GB

Introduction.

Our cultural heritage allows us to understand both our past and our future. The year 2018 has therefore been declared the European Year of Cultural Heritage to strengthen and highlight the multifaceted significance of this legacy for Europe and its citizens. However, our cultural heritage is exposed to many different risks and needs our protection. Decay, environmental impacts, neglect, armed conflicts, natural disasters, demolition, redevelopment – the causes leading to the loss of irreplaceable testimonies of the past are manifold (UNESCO 2008a, b). Now, the protection of our cultural heritage has come to a turning point. An unprecedented risk of unimaginable proportions is threatening our cultural goods (IPCC 2007, UNESCO 2007, UNEP, UNESCO, Union of Concerned Scientists 2016). This threat is human-induced climate change, which today already poses considerable risks for humanity. In December 2015, a total of 196 countries officially recognized human-induced climate change for the first time and passed a resolution to reduce greenhouse gases in the Paris Climate Agreement. Climate change threatens cultural heritage in different ways. On the one hand through the direct influence of extreme weather and environmental conditions (Cassar, 2005; English Heritage, 2008a). On the other, through indirect consequences, which can be even more drastic:

più preoccupanti: lo spopolamento di intere regioni provocato dai rifugiati climatici, la destabilizzazione dei sistemi sociali, la diminuzione delle risorse finanziarie disponibili per le misure di conservazione o la mancanza di visitatori e turisti a seguito di eventi meteorologici estremi. Questi effetti negativi del cambiamento climatico non colpiscono solo i beni culturali, minacciandone la stessa esistenza o integrità, ma hanno anche implicazioni di grande portata per i sistemi economici e sociali in cui si verificano. Per il loro valore simbolico e identitario i beni culturali rappresentano importanti punti di riferimento per la civiltà umana. La perdita o il deterioramento di queste risorse non rinnovabili possono lasciare segni profondi sulla collettività che si riconosce in essi. Monumenti e beni culturali sono inoltre importanti fonti di introiti per le economie locali. Soprattutto in regioni rurali o depresse, il settore del turismo (culturale) rappresenta uno dei fattori economici più importanti con un elevato valore aggiunto e occupazionale. L'impatto economico della perdita di queste fonti di reddito sarebbe devastante.

Di fronte alla gravità degli effetti del cambiamento climatico sul patrimonio culturale, è sorprendente osservare la scarsa attenzione prestata a tali rischi dalla politica, dalla ricerca e dalle istituzioni preposte alla tutela del patrimonio culturale. Ad eccezione di rarissimi casi che dimostrano una maggiore consapevolezza dei potenziali rischi, si ha scarsa notizia di attività ben coordinate e ad ampio raggio e di strategie lungimiranti volte ad attenuare le conseguenze del cambiamento climatico. Nel giugno del 2017, il Consiglio d'Europa (Council of Europe, 2017) ha approvato una "Strategia per il patrimonio culturale europeo nel XXI secolo", che deve ora essere tradotta in azioni concrete dai singoli Stati membri.

Cambiamento climatico e patrimonio culturale.

Per far fronte alla crescente minaccia posta dal cambiamento climatico è necessario comprendere più a fondo i rapporti tra condizioni climatiche e beni culturali, nonché la loro evoluzione in futuro. Se per settori come le assicurazioni o l'agricoltura disponiamo già di numerosi studi e progetti di ricerca sugli effetti del cambiamento climatico, per il patrimonio culturale, benché altrettanto colpito, i dati quantitativi o le prove affidabili sono praticamente inesistenti.

de conditions météorologiques et environnementales extrêmes (Cassar, 2005 ; English Heritage, 2008a).

D'autre part en raison de facteurs indirects susceptibles d'avoir des incidences encore plus graves : dépeuplement de régions entières avec la fuite de leurs « réfugiés climatiques », déstabilisation des structures sociales, baisse des fonds alloués à la préservation des sites ou absence de visiteurs et de touristes en raison de conditions climatiques extrêmes. Ces effets négatifs du changement climatique ne concernent pas que les biens culturels proprement dits en remettant en cause leur intégrité voire leur existence même. Ils ont également des conséquences à long terme sur les structures économiques et sociales dans lesquelles ils s'inscrivent. Les biens culturels sont des symboles, des repères identitaires et donc des points de références essentiels pour nos civilisations. La perte ou la dégradation de ces ressources non-renouvelables peuvent avoir des conséquences gravissimes pour les collectivités humaines qui s'y réfèrent. Par ailleurs, les biens culturels et les monuments constituent des sources de revenus capitales pour certaines économies locales. Le tourisme (culturel) est l'un des facteurs économiques décisifs avec un fort taux de valeur ajoutée et de nombreux emplois induits, surtout dans les zones rurales souffrant d'infrastructures insuffisantes. Une disparition de cette source de revenus aura des conséquences économiques redoutables.

Eu égard à ces répercussions catastrophiques que le changement climatique a sur notre patrimoine culturel, il est permis de s'étonner de ce que ces dangers soient aussi peu pris en compte par les décideurs politiques, les chercheurs ainsi que les institutions censées veiller à sa protection. Certes une prise de conscience des risques potentiels se fait jour ponctuellement ici et là et conduit à la mise en œuvre d'opérations sur des zones géographiques d'envergure avec des efforts de coordination ainsi qu'à des stratégies prospectives visant à réduire les effets du changement climatique. Toutes ces initiatives ne sont toutefois pas suffisamment rendues publiques. Certes le Conseil de l'Europe a entériné sa « Stratégie pour le patrimoine culturel en Europe au XXI^e siècle » (Council of Europe, 2017), encore faut-il que ses États-membres lui donnent une traduction concrète.

Changement climatique et patrimoine culturel.

Pour faire face à la menace croissante représentée par le changement climatique, il convient de mieux analyser les tenants et les aboutissants de ce lien entre conditions

völkerung ganzer Landstriche durch Klimaflüchtlinge, Destabilisierung sozialer Systeme, abnehmende finanzielle Ressourcen für Erhaltungsmaßnahmen oder das Ausbleiben von Besuchern und Touristen wegen extremer Wetterverhältnisse. Diese negativen Einflüsse des Klimawandels betreffen die Kulturgüter nicht nur selbst, indem sie ihre Integrität oder Existenz bedrohen. Sie haben auch weitreichende Konsequenzen für die sie umgebenden sozialen und ökonomischen Strukturen. Kulturgüter sind als Symbole und Identitätsanker wichtige Bezugspunkte menschlicher Kultur. Verlust oder Beschädigung dieser nicht erneuerbaren Ressourcen können gravierende Auswirkungen auf das auf sie Bezug nehmende Kollektiv haben. Kulturgüter und Denkmäler sind zudem bedeutende Einnahmequellen für lokale Ökonomien. Die (Kultur)Tourismusbranche ist besonders in ländlichen, strukturschwachen Regionen einer der wichtigsten Wirtschaftsfaktoren mit hoher Wertschöpfung und vielen Arbeitsplätzen. Ein Wegbrechen dieser Einnahmequelle wird verheerende wirtschaftliche Folgen mit sich bringen.

Angesichts der gravierenden Auswirkungen, die der Klimawandel auf unser Kulturerbe hat, ist es verwunderlich, welche geringe Rolle diese Gefahren in Politik, Forschung und bei den für seinen Schutz verantwortlichen Institutionen noch immer spielen. Zwar wächst vereinzelt das Bewusstsein für die potenziellen Risiken, von flächendeckenden und vor allem koordinierten Aktivitäten und vorausschauenden Strategien wie die Folgen des Klimawandels abgemildert werden können, ist aber wenig bekannt. Zwar hat der Europarat (Council of Europe, 2017) im Juni 2017 eine „Europäische Kulturerbe Strategie für das 21. Jahrhundert“ verabschiedet, doch muss diese Strategie in den Mitgliedstaaten nun mit Leben erfüllt werden.

Klimawandel und Kulturerbe.

Um der steigenden Bedrohung durch den Klimawandel zu begegnen, ist ein tieferes Verständnis der Wirkungszusammenhänge von klimatischen Konditionen und Kulturgütern und wie diese sich in der Zukunft ändern werden, notwendig. Während es in Bereichen wie der Versicherungs- oder Landwirtschaft bereits zahlreiche Studien und Forschungsprojekte gibt, die die Auswirkungen des Klimawandels behandeln, liegen für das davon ebenso betroffene Kulturerbe kaum quantitative Daten und belastbare Erkenntnisse vor. Die physikalischen Grundlagen des Klimas sind heute verstanden. Seit den 1960er Jahren haben Hundertschaften

the depopulation of entire areas due to climate refugees, the destabilisation of social systems, shrinking financial resources for conservation measures, the decline in the number of visitors and tourists due to extreme weather conditions. These negative effects of climate change not only impact cultural goods themselves by threatening their integrity or existence, they also have far-reaching consequences for the social and economic structures in which they are embedded. As symbols and identity anchors, cultural goods are important points of reference for human culture. The loss or damage of these non-renewable resources can have serious implications for the collective that relates to them. Cultural goods and historical monuments are, moreover, important sources of income for local economies. The (cultural) tourism sector is one of the most important economic factors, creating high added value and numerous jobs, particularly in rural and structurally weak regions. The collapse of this source of income would have disastrous economic consequences. Considering the grave implications of climate change for our cultural heritage, it is surprising how minor a role these risks still play in politics and research and for the institutions responsible for its protection. Although awareness of the potential risks is growing to a limited extent, wide-ranging and, above all, coordinated activities and forward-looking strategies on how to mitigate the effects of climate change appear to be scant. Although the Council of Europe (Council of Europe, 2017) adopted a “European Cultural Heritage Strategy for the 21st Century” in June 2017, this strategy needs to be translated into action in the Member States.

223

Climate change and cultural heritage.

A deeper understanding of the interdependencies between climatic conditions and cultural assets, and how they will change in the future, is required to counteract the growing threat of climate change. Whereas numerous studies and research projects already deal with the effects of climate change in such areas as insurance or agriculture, hardly any quantitative data or reliable knowledge is available on cultural heritage, which is equally affected by its impacts. The physical principles of how climate works are now understood. Since the 1960s, hundreds of scientists around the world have developed and continuously improved highly complex climate models. A decisive breakthrough was achieved with the development of the high-

I dati fisici fondamentali relativi al clima sono ormai noti. Sin dagli anni 1960, infatti, centinaia di scienziati di tutto il mondo sviluppano e perfezionano modelli climatici estremamente complessi. Il vero punto di svolta è stato però l'introduzione di computer ad alte prestazioni, in grado di calcolare modelli così complessi. Oggi i ricercatori, assistiti da questi supercomputer, possono prevedere il clima e le sue variazioni future con una certa accuratezza. Gli attuali modelli globali presentano coerenza fisica e sono stati verificati sulla base dei dati climatici reali del passato, cui si aggiungono ancora altri parametri fondati sui cosiddetti scenari emissivi che valutano l'entità delle variazioni delle emissioni di gas a effetto serra, vale a dire se e quanto tali emissioni aumenteranno o diminuiranno in futuro. Tali variazioni dipendono da una serie di fattori che non conosciamo con precisione e che sono difficili da stimare con esattezza: in che misura aumenterà la popolazione mondiale? Riusciremo a sviluppare nuove tecnologie a zero emissioni? Saremo in grado di modificare il nostro approvvigionamento energetico e come si comporteranno gli ecosistemi? Tutti quesiti su cui possiamo solo fare ipotesi. Per questo ricorriamo a modelli climatici basati su scenari emissivi diversi, su ipotesi favorevoli o sfavorevoli a seconda dell'evoluzione delle emissioni di CO₂ (cfr. fig. 1).

Per quanto tali stime vengano incluse nel modello climatico globale, le proiezioni relative al clima per la terra nel suo insieme possono essere formulate solo con una risoluzione approssimativa di 250 × 250 km circa. Nel 2007 il progetto comunitario "Noah's Ark" (Noah's Ark, 2007) ha evidenziato che da qui alla fine del secolo gli effetti negativi del cambiamento climatico sul patrimonio culturale registreranno un drastico aumento. Si tratta, purtroppo, di giudizi piuttosto generici che non prendono sufficientemente in esame i singoli beni culturali. Sono necessarie quindi previsioni ad alta risoluzione geografica sui futuri cambiamenti climatici, dal momento che le condizioni meteorologiche presentano variazioni marcate a livello locale e regionale. Si tratta di fattori da tenere attentamente in considerazione per formulare giudizi affidabili sui rischi che corrono i singoli monumenti o beni culturali e sviluppare strategie di adattamento mirate. Un esempio di utilizzo efficace di tali metodi è l'iniziativa "Climate for Culture", un progetto di ricerca dell'Unione europea che, dal 2009 al 2014, ha coinvolto 29 partner di 16 nazioni dell'Europa e dell'Africa settentrionale. Per la prima volta è stato sviluppato un modello

climatiques et biens culturels ainsi que la nature des évolutions à venir. Alors qu'il existe pour le secteur des assurances et pour celui de l'agriculture déjà de nombreuses études traitant des conséquences des dérèglements climatiques, rares sont les données quantitatives et les informations fiables relatives à un patrimoine culturel pourtant lui aussi concerné.

Les processus physiques du climat sont désormais largement connus. Depuis les années 60, des centaines de scientifiques ont élaboré et amélioré en permanence aux quatre coins du monde des modèles climatiques sophistiqués. L'arrivée du haut débit pour les ordinateurs a marqué un tournant décisif en soumettant ces modèles compliqués à des calculs. Entretemps, ces super-machines permettent aux chercheurs d'élaborer des prédictions relativement fiables sur le climat et son évolution à venir. Les modèles globaux actuels sont cohérents en termes de physique et ont été vérifiés en les croisant avec des données climatiques effectives compilées pour le passé. Cependant il faut entrer encore d'autres paramètres basés sur les scénarios en matière d'émissions. Ceux-ci évaluent la façon dont les gaz à effet de serre vont évoluer à l'avenir, dont ils vont augmenter ou diminuer. Or ceci dépend d'une multitude de facteurs que nous ne connaissons pas avec précision et que nous ne pouvons évaluer que très vaguement. De combien la population mondiale va-t-elle augmenter ? Réussirons-nous à promouvoir de nouvelles technologies exemptes de CO₂ ? Pouvons-nous adapter notre approvisionnement énergétique et comment les écosystèmes se comporteront-ils ? On ne peut qu'estimer ces évolutions à venir, ce qui explique pourquoi les modèles climatiques sont calculés en fonction des différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre – conduisant ainsi à des hypothèses positives ou négatives en fonction de la quantité d'émissions de CO₂ (voir ill. 1).

Ces hypothèses sont prises en compte dans le modèle climatique global, mais par contre les projections climatiques ne peuvent se faire dans ce contexte que selon une définition grossière pour des zones de 250 km × 250 km. En 2007, le projet de l'UE « Noah's Ark » (Noah's Ark, 2007) est parvenu à la conclusion que les retombées négatives du changement climatique sur le patrimoine culturel se renforceront de façon dramatique d'ici la fin de ce siècle. Or ces résultats sont plutôt de nature générale et ne sont pas suffisamment spécifiques quant aux biens culturels pris au cas par cas. C'est pourquoi il importe que les prévisions relatives aux futurs changements climatiques s'appliquent à des sites géographiquement bien localisés

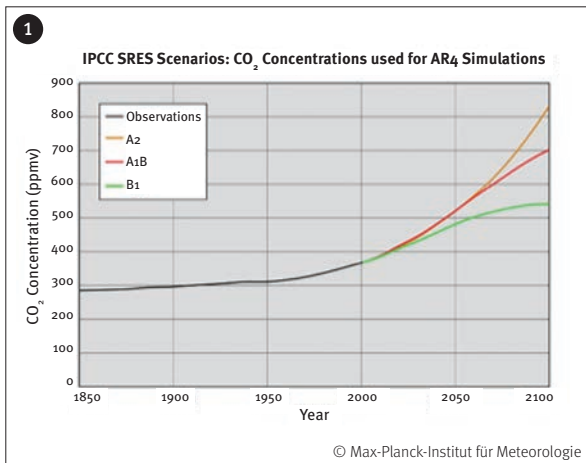
von Wissenschaftlern auf der ganzen Welt hochkomplexe Klimamodelle entwickelt und immer weiter verbessert. Ein entscheidender Durchbruch gelang mit der Entwicklung der Hochleistungscomputer, mit denen diese komplizierten Modelle gerechnet werden konnten. Mittlerweile können Forscher mit diesen Supercomputern das Klima und seinen Wandel in der Zukunft relativ gut vorhersagen. Die heutigen globalen Modelle sind in sich physikalisch konsistent und wurden mit realen Klimadaten aus der Vergangenheit verifiziert. Jedoch kommen noch weitere Eingabeparameter hinzu, die auf so genannten Emissionsszenarien beruhen. Diese schätzen ab, wie stark sich die Treibhausgasemissionen zukünftig verändern, ob und wie stark sie zu- oder abnehmen werden. Das hängt von vielen Faktoren ab, die wir nicht genau kennen und die sich nur grob schätzen lassen: Wie stark wird die Weltbevölkerung zunehmen? Gelingt es, neue CO₂-freie Technologien zu entwickeln? Können wir unsere Energieversorgung umstellen und wie werden sich die Ökosysteme verhalten? Diese zukünftigen Entwicklungen können nur abgeschätzt werden, weswegen die Klimamodelle mit verschiedenen Emissionsszenarien gerechnet werden – mit positiven oder mit negativen Annahmen, je nachdem wie sich die Kohlendioxidemissionen verändern werden (s. Abb. 1). Diese Annahmen sind im globalen Klimamodell berücksichtigt, allerdings können die Klimaprojektionen für die gesamte Erde nur mit einer groben Auflösung von etwa 250 x 250 km wiedergegeben werden. 2007 kam das EU-Projekt „Noah`s Ark“ (Noah`s Ark, 2007) zu dem Schluss, dass sich die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf das Kulturerbe bis zum Ende des Jahrhunderts dramatisch erhöhen werden. Diese Ergebnisse sind eher von verallgemeinernder Natur und nicht spezifisch genug für einzelne Kulturgüter. Notwendig sind deshalb Vorhersagen über künftige Klimaänderungen für geographisch hochaufgelöste Standorte, da sich das Wetter lokal und regional stark unterscheidet. Dies gilt es zu berücksichtigen, um zu zuverlässigen Aussagen über die Gefährdung von einzelnen Kulturgütern oder Denkmälern zu kommen und entsprechende Anpassungsstrategien zu entwickeln. Ein Beispiel, wie solche Ansätze erfolgreich eingesetzt werden können, ist das EU-Projekt „Climate for Culture“, ein von 2009 bis 2014 laufendes Forschungsvorhaben mit 29 Partnern aus 16 Nationen in Europa und Nordafrika. Erstmals wurde hier ein hochaufgelöstes und regionales Klimamodell für ganz Europa und den angrenzenden Mittelmeerraum entwickelt, das mit einem Gebäudesimulationsmodell verbunden wurde. Die beiden Methoden existierten rudimentär und

performance computers that made it possible to calculate these complex models. Researchers are meanwhile able to predict the climate and its future development relatively well with the help of these supercomputers. The global models of today are physically consistent and have been verified with real climatic data from the past. However, they now also take additional input parameters that are based on so-called emission scenarios into consideration. These scenarios are used to estimate the changes in future greenhouse gas emissions, in other words whether, and to what extent, they will increase or decrease. This depends on a lot of factors that are not precisely known to us, and can only be roughly estimated: How fast will the world's population increase? Will it be possible to develop new carbon-free technologies? Will we be able to switch to alternative energy supplies, and how will the ecosystems react? These future developments can only be estimated, which is why climate models are calculated on the basis of different emission scenarios – with positive or negative assumptions, depending on how the carbon dioxide emissions change (see Fig. 1).

These assumptions have been taken into account in the global climate model, but the climate projections for the entire planet can only be reproduced in a low resolution of approximately 250 x 250 km. In 2007, the EU's "Noah's Ark" project (Noah's Ark, 2007) came to the conclusion that the negative effects of climate change on cultural heritage will increase dramatically by the end of the century. These results are general in nature, and not adequately specific for individual cultural assets. For this reason, predictions of future climate changes will be required for geographic sites in high-resolution models, as there are strong local and regional differences in weather. This needs to be taken into account to obtain reliable statements on the risks for individual cultural assets or historical monuments and to develop corresponding adaptation strategies. One example of how such approaches can be used successfully is the EU "Climate for Culture" project, a research agenda that took place from 2009 to 2014 with 29 partners from 16 nations in Europe and North Africa. This project for the first time developed a high-resolution and regional climate model combined with a building simulation model for all of Europe and the neighbouring Mediterranean countries. The two methods had previously existed alongside each other as rudimentary and unrelated approaches, and were not suitable for application to the area of cultural heritage. They had to be custom-adapted to the characteristics of historic buildings, so that the effects of heat, moisture, solar

climatico regionale ad alta risoluzione per tutta l'Europa e il bacino mediterraneo, collegato a un modello di simulazione per gli edifici. Fino a quel momento i due metodi coesistevano solo in forma rudimentale e indipendente, che non si prestava a essere applicata al patrimonio culturale. È stato necessario adeguarli alle specificità degli edifici storici al fine di poter registrare gli effetti del calore, dell'umidità, delle radiazioni solari e del vapore acqueo sul patrimonio edilizio. In questo modo si dispone per la prima volta di una metodologia numerica che consente di formulare valutazioni sui mutamenti delle condizioni climatiche esterne e interne degli edifici storici fino al 2100 e sui relativi rischi. Sulla base dei dati così acquisiti sarà possibile elaborare misure adeguate per la conservazione preventiva degli edifici storici e delle loro collezioni. Anche il futuro fabbisogno energetico per la climatizzazione degli edifici storici e dei musei può essere calcolato mediante simulazioni. Un dato, questo, importante non solo per i proprietari dei monumenti, ma anche per i proprietari di edifici privati e per coloro che detengono il potere decisionale sul piano politico.

en haute résolution, étant donné les variations météorologiques importantes aux plans local et régional. Cette réalité doit être prise en compte pour obtenir des résultats fiables sur les risques encourus par tel ou tel site ou monument du patrimoine culturel et pour déterminer dès lors les stratégies d'adaptation idoines. Un exemple pour montrer que de telles approches peuvent être couronnées de succès est le projet de l'UE « *Climate for Culture* », un programme de recherche qui a rassemblé de 2009 à 2014 29 partenaires issus de 16 nations d'Europe et d'Afrique du nord. Pour la première fois a été élaboré un modèle climatique régionale à haute résolution couvrant l'ensemble de l'Europe et les autres pays du pourtour méditerranéen ; celui-ci a été croisé avec un modèle de simulation du comportement thermique des bâtiments. Les deux méthodes existaient déjà, mais elles étaient encore balbutiantes, n'avaient pas été mises en regard et ne pouvaient pas être appliquées au patrimoine culturel. Ces méthodes doivent être spécialement adaptées aux particularités des bâtiments historiques afin d'intégrer les impacts de la chaleur, de l'humidité, de l'ensoleillement et de la vapeur d'eau sur le bâti. Il est ainsi possible de disposer d'une



1

Evoluzione delle emissioni di CO₂ in base allo scenario A1B

Évolution des émissions de CO₂ pour le scénario A1B

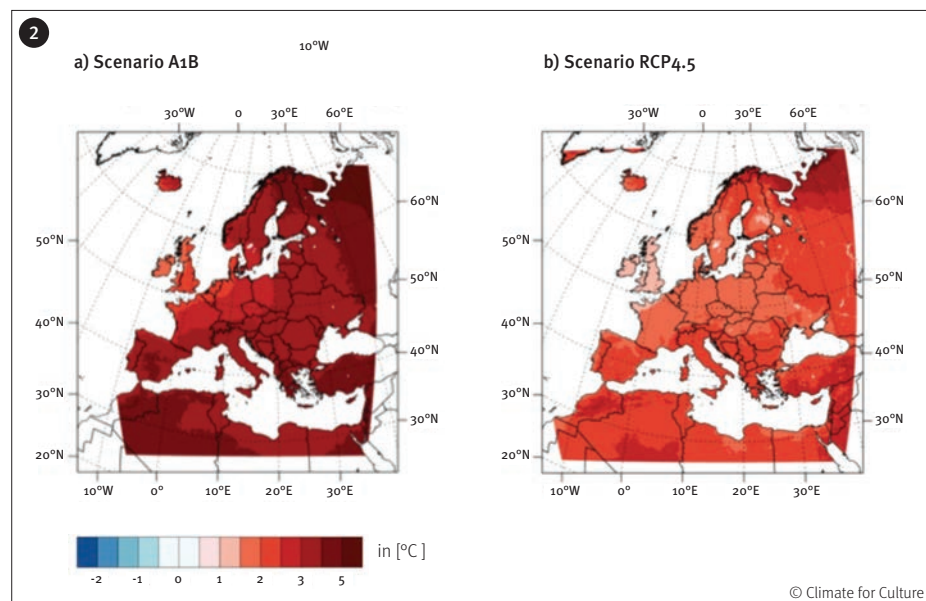
Entwicklung der CO₂-Emissionen für A1B Szenario

Development of CO₂ emissions for the A1B scenario

bislang unverbunden nebeneinander und waren für die Anwendung auf das Kulturerbe nicht geeignet. Sie mussten an die Besonderheiten historischer Gebäude speziell angepasst werden, damit die Auswirkungen von Wärme, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Wasserdampf auf die Bausubstanz erfasst werden können. Damit steht erstmals eine numerische Methodik zur Verfügung, die Aussagen erlaubt, wie sich bis zum Jahre 2100 die klimatischen Außen- und Innenraumbedingungen in historischen Gebäuden verändern werden und welche Schadensrisiken dadurch entstehen. Entsprechende Maßnahmen für die präventive Erhaltung von historischen Gebäuden und ihren Sammlungen können daraus abgeleitet werden. Auch der zukünftige Energiebedarf für die Klimatisierung der historischen Gebäude und Museen lässt sich mittels der Simulationen errechnen. Dies ist nicht nur für die Eigentümer der Denkmäler von Bedeutung, sondern auch für private Hausbesitzer und politische Entscheidungsträger. Die Vorhersagen, die für die Simulationen verwendet wurden, beruhen auf zwei moderaten Emissionsszenarien. Sie beschreiben, wie sich die Konzentrationen der Treibhausgase zukünftig entwickeln können: Das A1B-

radiation and water vapour on the fabric of such buildings could be taken into account. For the first time, a numerical methodology is now available that allows statements to be made on the extent of change in the exterior and interior climatic conditions in historic buildings by 2100, and on the resulting loss risks. These findings make it possible to define appropriate measures for the preventive conservation of historic buildings and their collections. The future energy requirements for heating, ventilation and air conditioning in the historic buildings and museums can also be calculated using these simulations. This is not only important for the owners of historical properties, but also for private home owners and policy-makers.

The predictions used for the simulations are based on two moderate emission scenarios. They describe how the concentrations of greenhouse gases could develop in the future: the A1B scenario from the IPCC's (Intergovernmental Panel on Climate Change) AR4 report and the RCP4.5 scenario from the IPCC's AR5 report in 2014 were both calculated for the three time segments of 1960-1990, 2020-2015 and 2070-2100 with a horizontal resolution of 10 x 10 km.



2

Previsioni relative ai cambiamenti della temperatura media annua vicino alla superficie della terra [K] per il periodo 2071-2100 rispetto al 1961-1990 per diversi scenari di emissioni A1B (pannello sinistro) e RCP4.5 (pannello destro).

Projection de l'évolution de la moyenne annuelle de la température atmosphérique près de la surface [K] sur la période 2071-2100 par rapport à la période 1961-1990 en fonction de différents scénarios d'émissions : A1B (panneau de gauche) et RCP4.5 (panneau de droite).

Voraussichtliche Veränderungen der Jahresmittelwerte der bodennahen Lufttemperatur [K] für den Zeitraum 2071-2100 im Vergleich mit 1961-1990 für verschiedene Emissionsszenarien A1B (linker Bildbereich) und RCP4.5 (rechter Bildbereich).

Projected changes of annual mean near-surface air temperature [K] for the period of 2071-2100 compared to 1961-1990 for different emission scenarios A1B (left panel) and RCP4.5 (right panel).

Le previsioni utilizzate per le simulazioni si basano su due scenari emissivi moderati che descrivono le possibili evoluzioni future della concentrazione di gas a effetto serra: lo scenario A1B di cui al rapporto AR4 dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e RCP4.5 di cui al rapporto AR5 dell'IPCC del 2014, entrambi con una risoluzione orizzontale di 10×10 km per i tre periodi 1960-1990, 2015-2020 e 2070-2100.

Gli aumenti più elevati delle temperature medie (fino a $+5^\circ\text{C}$) si registreranno nell'Europa settentrionale, ma anche nell'Europa meridionale e sudorientale entro la fine del secolo l'aumento della temperatura sarà molto marcato (*cf.* fig. 2).

Questo significa che, sin da ora, è necessario sviluppare strategie per climatizzare gli edifici storici in modo per quanto possibile passivo. Soprattutto gli edifici con un elevato numero di visitatori assorbiranno in estate un maggiore quantitativo di energia per il raffreddamento. Il patrimonio culturale edilizio è poi esposto a rischi sempre più gravi legati alla rapidissima progressione dei processi corrosivi. Con il previsto aumento delle temperature ambientali a livello mondiale e il mutamento di molti parametri climatici che ne consegue, aumenteranno anche le reazioni chimiche responsabili di processi di deterioramento dei materiali. Alla base di tale scenario sta l'equazione esponenziale di Arrhenius che mette in relazione la costante di velocità con la variazione di temperatura: a fronte di un aumento della temperatura di 10 gradi, il potenziale distruttivo di tali reazioni raddoppia. Per quanto riguarda l'andamento futuro delle precipitazioni, si osserva (*cf.* fig. 3) un forte aumento del volume complessivo, soprattutto in inverno nelle regioni dell'Europa settentrionale e centrale, che comporterà, ad esempio, un maggiore sviluppo di muffe. Nell'Europa meridionale, fino alla fine del XXI secolo continueranno invece ad aumentare i periodi di siccità estiva.

I risultati delle simulazioni più recenti relative al comportamento del livello del mare (*cf.* fig. 4) dimostrano un innalzamento del Mare del Nord, con ripercussioni negative soprattutto per l'Olanda e la Danimarca meridionale ma anche per la Germania settentrionale.

La metodologia sviluppata nell'ambito del progetto "*Climate for Culture*" consente di stimare i potenziali rischi futuri del cambiamento climatico a livello regionale, ma anche di singoli edifici. Per ogni località dell'Europa e del bacino mediterraneo possiamo così calcolare l'evoluzione climatica fino al 2100 e i suoi effetti sugli edifici storici con un'approssimazione di 10×10 km.

méthode numérique permettant d'établir la façon dont les conditions climatiques évolueront à l'intérieur et à l'extérieur des édifices historiques d'ici à 2100 ainsi que les risques de dégradation qu'elles induisent pour ceux-ci. On peut en déduire les mesures adéquates pour la protection préventive des bâtiments historiques et des collections qu'ils abritent. Et calculer également à partir des simulations les futurs besoins énergétiques pour la climatisation des édifices historiques et des musées. Ceci est important non seulement pour les propriétaires publics de monuments, mais aussi pour les particuliers concernés ainsi que pour les décideurs politiques.

Les prédictions utilisées pour les simulations se fondent sur deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre plutôt modérés. Elles décrivent l'évolution probable des concentrations des gaz à effet de serre dans l'avenir. Le scénario A1B du rapport AR4 du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ainsi que le RCP4.5 pour le rapport AR5 de 2014 du GIEC ont procédé à leurs calculs selon une résolution horizontale de $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ et ce pour trois périodes : 1960-1990, 2020-2015 et 2070-2100.

Il en ressort qu'une augmentation moyenne des températures pouvant aller jusqu'à 5°C se manifesterà en Europe du nord. Mais dans le sud et le sud-est de l'Europe aussi il fera beaucoup plus chaud d'ici la fin de ce siècle (voir ill. 2).

Cela veut dire qu'il faut élaborer dès aujourd'hui des stratégies pour pouvoir parvenir si possible à un refroidissement passif du bâti historique. En particulier les édifices qui reçoivent beaucoup de visiteurs verront augmenter leurs besoins en énergie pour la climatisation en été. Il existe par ailleurs le danger de voir une accélération rapide des processus de corrosion susceptibles d'endommager notre patrimoine culturel construit. Avec la hausse attendue des températures ambiantes à l'échelle planétaire et le changement de nombre de paramètres climatiques ainsi induits, les matériaux sont soumis à des processus de dégradation dus à la multiplication de certaines réactions chimiques. Ceci est conforme à l'équation d'Arrhénius qui énonce que lorsque la température augmente de 10°C , le coefficient de vitesse d'activation d'une réaction est multiplié par un facteur 2 à 3.

Quant à l'évolution future du niveau de précipitations, il est prévu une forte augmentation de celles-ci surtout en hiver pour l'Europe septentrionale et centrale (voir ill. 3). La conséquence étant une intensification des attaques de moisissures. Tandis qu'au contraire l'Europe méridionale

Szenarium aus dem IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)–Bericht AR4 sowie das RCP4.5 für den IPCC–Bericht AR5 von 2014, die beide mit einer horizontalen Auflösung von 10 x 10 km und für die drei Zeitabschnitte 1960–1990, 2020–2015 und 2070–2100 berechnet wurden. Die höchsten durchschnittlichen Temperaturerhöhungen mit bis zu 5°C werden demnach im Norden Europas auftreten. Aber auch im Süden und Südosten Europas wird es bis zum Ende des Jahrhunderts sehr viel wärmer werden (s. Abb. 2). Dies bedeutet, dass man schon heute Strategien entwickeln muss, wie man historische Bausubstanz möglichst passiv kühlen kann. Besonders Gebäude mit vielen Besuchern werden im Sommer einen zusätzlichen Energiebedarf für die Kühlung haben. Weiter besteht zunehmend die Gefahr, dass rasant fortschreitende Korrosionsprozesse unser bauliches Kulturerbe schädigen können. Mit dem prognostizierten Anstieg der Umgebungstemperaturen weltweit, und damit einhergehend die Veränderung vieler Klimaparameter, nehmen chemische Reaktionen als Ursache für zersetzende Prozesse an Materialien zu. Dem liegt die exponentielle Arrhenius–Gleichung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur zugrunde: Bei einem Temperaturanstieg um 10 Grad verdoppeln derartige Reaktionen ihre Zerstörungskraft. Für die zukünftige Entwicklung von Niederschlag ist zu erkennen (s. Abb. 3), dass sich die Gesamtmenge vor allem im Winter in Nord– und Mitteleuropa stark erhöhen wird. Die Folge ist zum Beispiel ein erhöhtes Schimmelpilzwachstum. Im Süden Europas dagegen werden die Trockenphasen im Sommer bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter zunehmen. Die neuesten Ergebnisse der Simulationen zum Verhalten der Meeresspiegel (s. Abb. 4) untermauern einen Anstieg der Nordsee, der sich besonders negativ für Holland und Süddänemark, aber auch für Norddeutschland auswirken wird. Die in „Climate for Culture“ entwickelte Methodik erlaubt es, zukünftige Gefährdungspotenziale des Klimawandels regional bis auf einzelne Bauwerke abzuschätzen. Für jeden Ort in Europa und den angrenzenden Mittelmeerraum können mit einer Auflösung von 10x10 km das zukünftige Klima und seine Auswirkungen auf historische Gebäude bis zum Jahr 2100 berechnet werden. Die durchgeführten Simulationen bekräftigen, dass historische Gebäude und ihre Sammlungen durch zunehmende Klimainstabilitäten wie Stürme, Hitzewellen oder Starkregen schwerer geschädigt werden als bisher angenommen. Auch konnte aufgezeigt werden, dass das Außenklima stärkere Schwankungen des Innenraumklimas von historischen Gebäuden verursa-

According to these calculations, the highest average temperature increases of up to 5°C will occur in the north of Europe. However, the south and southeast of Europe will also become much warmer by the end of the century (see Fig. 2).

This means that we need to develop strategies for cooling the fabric of historical buildings with the most passive modulation and heat dissipation techniques possible today already. In particular buildings that have a lot of visitors will require additional energy supplies for air-conditioning systems in the summer. The risk that rapidly advancing corrosion processes will damage our architectural cultural heritage is also growing. With the predicted increase in ambient temperatures around the world, and the accompanying changes in many climatic parameters, chemical reactions will increasingly trigger decomposing processes in materials. This is based on the exponential Arrhenius equation between the reaction rate and the temperature: if the temperature rises by ten degrees, such reactions double their powers of destruction.

As regards future developments in precipitation (see Fig. 3), it is evident that there will be a strong increase in total volumes in Northern and Central Europe, above all in the winter. One consequence of this could, for example, be increased growth of mould fungi. In the south of Europe, on the other hand, the dry phases in the summer will continue to increase until the end of the 21st century. The latest results of the simulations on the behaviour of the sea level (see Fig. 4) confirm a rise in the North Sea, which will have a particularly negative impact on Holland and Southern Denmark, as well as on Northern Germany. The methodology developed by “Climate for Culture” makes it possible to assess the future potential risks of climate change at the regional level, even down to the level of individual buildings. For every location in Europe and the neighbouring Mediterranean countries, the climate of the future and its effects on historic buildings can be calculated up to the year 2100 with a resolution of 10x10 km. The simulations show that historic buildings and their collections are being more severely damaged by increasingly unstable climate conditions, such as storms, heat waves or heavy rains, than had previously been assumed. They also showed that the exterior climate will cause greater fluctuations in the interior climates of historic buildings (Leissner *et alii*, 2015). The results allow recommendations to be made on the energy-efficient and sustainable regulation of the interior climate of buildings, as the combination of climate models and

Szenarium aus dem IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)–Bericht AR4 sowie das RCP4.5 für den IPCC–Bericht AR5 von 2014, die beide mit einer horizontalen Auflösung von 10 x 10 km und für die drei Zeitabschnitte 1960–1990, 2020–2015 und 2070–2100 berechnet wurden. Die höchsten durchschnittlichen Temperaturerhöhungen mit bis zu 5°C werden demnach im Norden Europas auftreten. Aber auch im Süden und Südosten Europas wird es bis zum Ende des Jahrhunderts sehr viel wärmer werden (s. Abb. 2). Dies bedeutet, dass man schon heute Strategien entwickeln muss, wie man historische Bausubstanz möglichst passiv kühlen kann. Besonders Gebäude mit vielen Besuchern werden im Sommer einen zusätzlichen Energiebedarf für die Kühlung haben. Weiter besteht zunehmend die Gefahr, dass rasant fortschreitende Korrosionsprozesse unser bauliches Kulturerbe schädigen können. Mit dem prognostizierten Anstieg der Umgebungstemperaturen weltweit, und damit einhergehend die Veränderung vieler Klimaparameter, nehmen chemische Reaktionen als Ursache für zersetzende Prozesse an Materialien zu. Dem liegt die exponentielle Arrhenius–Gleichung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur zugrunde: Bei einem Temperaturanstieg um 10 Grad verdoppeln derartige Reaktionen ihre Zerstörungskraft. Für die zukünftige Entwicklung von Niederschlag ist zu erkennen (s. Abb. 3), dass sich die Gesamtmenge vor allem im Winter in Nord– und Mitteleuropa stark erhöhen wird. Die Folge ist zum Beispiel ein erhöhtes Schimmelpilzwachstum. Im Süden Europas dagegen werden die Trockenphasen im Sommer bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter zunehmen. Die neuesten Ergebnisse der Simulationen zum Verhalten der Meeresspiegel (s. Abb. 4) untermauern einen Anstieg der Nordsee, der sich besonders negativ für Holland und Süddänemark, aber auch für Norddeutschland auswirken wird. Die in „Climate for Culture“ entwickelte Methodik erlaubt es, zukünftige Gefährdungspotenziale des Klimawandels regional bis auf einzelne Bauwerke abzuschätzen. Für jeden Ort in Europa und den angrenzenden Mittelmeerraum können mit einer Auflösung von 10x10 km das zukünftige Klima und seine Auswirkungen auf historische Gebäude bis zum Jahr 2100 berechnet werden. Die durchgeführten Simulationen bekräftigen, dass historische Gebäude und ihre Sammlungen durch zunehmende Klimainstabilitäten wie Stürme, Hitzewellen oder Starkregen schwerer geschädigt werden als bisher angenommen. Auch konnte aufgezeigt werden, dass das Außenklima stärkere Schwankungen des Innenraumklimas von historischen Gebäuden verursa-

According to these calculations, the highest average temperature increases of up to 5°C will occur in the north of Europe. However, the south and southeast of Europe will also become much warmer by the end of the century (see Fig. 2).

This means that we need to develop strategies for cooling the fabric of historical buildings with the most passive modulation and heat dissipation techniques possible today already. In particular buildings that have a lot of visitors will require additional energy supplies for air-conditioning systems in the summer. The risk that rapidly advancing corrosion processes will damage our architectural cultural heritage is also growing. With the predicted increase in ambient temperatures around the world, and the accompanying changes in many climatic parameters, chemical reactions will increasingly trigger decomposing processes in materials. This is based on the exponential Arrhenius equation between the reaction rate and the temperature: if the temperature rises by ten degrees, such reactions double their powers of destruction.

As regards future developments in precipitation (see Fig. 3), it is evident that there will be a strong increase in total volumes in Northern and Central Europe, above all in the winter. One consequence of this could, for example, be increased growth of mould fungi. In the south of Europe, on the other hand, the dry phases in the summer will continue to increase until the end of the 21st century. The latest results of the simulations on the behaviour of the sea level (see Fig. 4) confirm a rise in the North Sea, which will have a particularly negative impact on Holland and Southern Denmark, as well as on Northern Germany. The methodology developed by “Climate for Culture” makes it possible to assess the future potential risks of climate change at the regional level, even down to the level of individual buildings. For every location in Europe and the neighbouring Mediterranean countries, the climate of the future and its effects on historic buildings can be calculated up to the year 2100 with a resolution of 10x10 km. The simulations show that historic buildings and their collections are being more severely damaged by increasingly unstable climate conditions, such as storms, heat waves or heavy rains, than had previously been assumed. They also showed that the exterior climate will cause greater fluctuations in the interior climates of historic buildings (Leissner *et alii*, 2015). The results allow recommendations to be made on the energy-efficient and sustainable regulation of the interior climate of buildings, as the combination of climate models and

Le simulazioni condotte confermano che, a causa della crescente instabilità climatica (con tempeste, ondate di calore o forti precipitazioni), gli edifici storici e le loro collezioni subiranno danni ancora più gravi di quanto supposto fino a oggi. Si è dimostrato inoltre che il clima esterno determinerà oscillazioni più marcate delle condizioni climatiche all'interno degli edifici storici (Leissner *et alii*, 2015). I risultati ottenuti permettono di formulare raccomandazioni per regolare le condizioni climatiche interne in modo sostenibile ed energeticamente efficiente. Mettendo in correlazione i modelli climatici e le simulazioni sugli edifici è infatti possibile stimare le variazioni all'interno ed elaborare così strategie di tutela sostenibili.

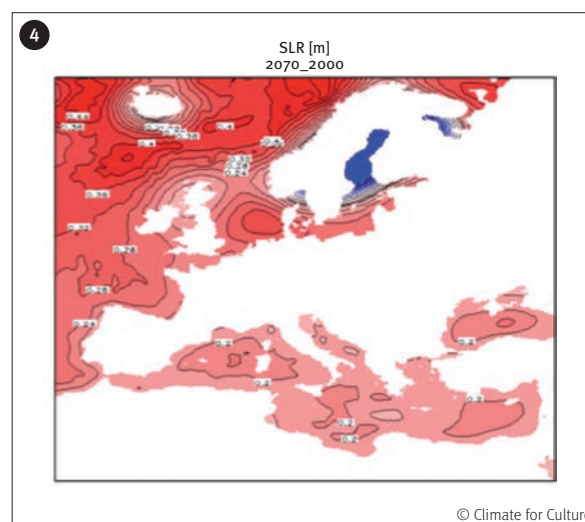
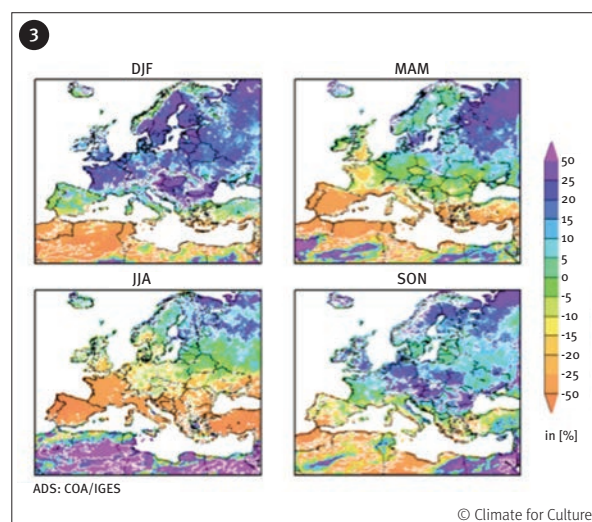
Riepilogo e prospettive future.

Il cambiamento climatico, con i suoi fenomeni che mettono a dura prova il patrimonio culturale, è diventato realtà, ma la società non è ancora sufficientemente preparata ad affrontarne le conseguenze. Per far fronte a questo crescente pericolo sono necessari ingenti sforzi a più livelli.

connaîtra des sécheresses estivales récurrentes jusqu'à la fin du XXI^e siècle.

Les derniers résultats des simulations relatives à l'évolution du niveau de la mer (voir ill. 4) confirment une élévation du niveau de la Mer du Nord qui aura des effets particulièrement négatifs pour la Hollande et le sud du Danemark, ainsi que pour l'Allemagne du nord.

La méthodologie mise au point dans le cadre de « *Climate for Culture* » permet d'évaluer les futurs risques potentiels du changement climatique sur une base régionalisée y compris pour des édifices précis. Pour chaque lieu en Europe ainsi que pour les autres pays du pourtour méditerranéen, il a été possible de calculer l'ampleur du changement climatique avec ses effets sur les bâtiments historiques jusqu'en 2100 et ce sur la base d'une résolution de 10 km × 10 km. Les simulations réalisées confirment que les édifices historiques et les collections qu'ils abritent seront plus endommagés qu'escompté jusqu'à présent par des aléas météorologiques de plus en plus fréquents, tels que tempêtes, canicules ou pluies diluviennes. Il a été aussi possible de prouver que le climat extérieur provoquera des fluctuations plus importantes des conditions climatiques à l'intérieur des édifices historiques (Leissner *et alii*, 2015). Ces résultats permettent de faire des recom-



chen wird (Leissner *et alii*, 2015). Die Ergebnisse ermöglichen Empfehlungen, wie das Innenraumklima energieeffizient und nachhaltig reguliert werden kann. Denn durch die Koppelung von Klimamodellen und Gebäudesimulationen lassen sich Veränderungen im Inneren abschätzen und somit nachhaltige Strategien für Schutzmaßnahmen erarbeiten.

Zusammenfassung und Ausblick.

Der Klimawandel ist mit seinen Phänomenen, die dem Kulturerbe zusetzen, Realität geworden, doch ist die Gesellschaft noch nicht ausreichend auf die Folgen vorbereitet. Um dieser steigenden Gefahr zu begegnen, sind zahlreiche Anstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen notwendig:

Einerseits müssen die Risiken und Auswirkungen von klimatischen Veränderungen auf Kulturerbe im Rahmen der internationalen Forschungsarbeit stärker betrachtet werden. Eine engere Verzahnung mit Klimaforschung und angrenzenden Bereichen ist dringend notwendig, um existierende Erkenntnisse schneller zu berücksichtigen und gemeinsame Forschungsanstrengungen zu unternehmen.

building simulations makes it possible to assess changes in the interior spaces and develop sustainable strategies for protective measures.

Summary and perspectives.

Although climate change and its phenomena have become a reality and a threat to our cultural heritage, society is not yet adequately prepared for the consequences. Numerous efforts are needed at different levels to counter this growing threat:

The risks and impacts of climate change on cultural heritage must be examined more intensively by the international research community. Closer interaction between climate research and related areas is urgently required to analyse existing findings more quickly and undertake joint research efforts. The “Climate for Culture” project demonstrates how important insights can be gained by such interdisciplinary approaches. The methods developed here are a central element for preventive conservation strategies and an important contribution to the development of sustainability concepts in the cultural heritage sector.

3

Variatione delle precipitazioni [%] in inverno, primavera, estate e autunno nel lontano futuro 2071-2100 rispetto al 1961-1990 (scenario A1B).

Évolution des précipitations [%] pour l'hiver, le printemps, l'été et l'automne pour la période 2071-2100 comparée à celle de 1961-1990 (scénario A1B).

Veränderung der Niederschläge [%] für Winter, Frühling, Sommer und Herbst für die ferne Zukunft 2071-2100 im Vergleich zu 1961-1990 (A1B Szenario).

Change in precipitation rates [%] for winter, spring, summer and autumn for the distant future 2071-2100 compared to 1961-1990 (A1B scenario).

4

Variatione del livello del mare per il periodo 2070-2099 rispetto al 1960-1990 in metri (scenario emissivo A1B) (senza tener conto della variazione della massa dei ghiacci interni, dei ghiacciai e delle acque sotterranee).

Évolution du niveau de la mer pour la période 2070-2099 par rapport à 1960-1990 en mètres (scénario d'émission A1B) (sans tenir compte de la variation de la masse des glaces intérieures, des glaciers et des eaux souterraines).

Veränderung des Meeresspiegels für den Zeitraum 2070-2099 gegenüber 1960-1990 in m (A1B Emissionsszenario) (ohne Berücksichtigung der Massenänderung des Inlandeises, der Gletscher und des Grundwassers)

Change in sea level for the 2070-2099 time period compared to 1960-1990 in metres (A1B emission scenario) (without taking into account the changes in the masses of inland ice, glaciers and groundwater).

Citation

Leissner, Johanna; Fuhrmann, Constanze:

Kulturerbe und Klimawandel - sind wir an einem Wendepunkt?

In: Cartaditalia IX (2018), pp. 220-234