

Gli effetti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale monumentale, la conoscenza dello scenario euro-mediterraneo per possibili azioni di mitigazione

La pubblicazione del 5° Rapporto IPCC e i risultati della COP21 per la prima volta hanno portato l'attenzione anche sull'impatto provocato dal cambiamento climatico sul patrimonio culturale.

La ricerca studia alcune possibili azioni di mitigazione nello scenario euro-mediterraneo tramite la produzione di mappe climatiche relative a diversi periodi temporali in funzione del danno, del rischio e del multi-rischio

DOI 10.12910/EAI2016-053

di **Cristina Sabbioni** e **Alessandra Bonazza**, *CNR - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima*

Le tematiche inerenti ai cambiamenti climatici hanno rivestito nel 2015 una particolare attenzione se si considera la pubblicazione del 5° Rapporto IPCC¹ e i risultati della COP21². In questo contesto le tematiche dell'impatto del cambiamento climatico sul patrimonio culturale hanno ricevuto per la prima volta attenzione e specifici riferimenti ed eventi³.

Lo studio dei possibili scenari futuri che riguardano la protezione del patrimonio culturale in un mondo in rapida evoluzione non solo per i cambiamenti climatici, ma anche per i cambiamenti globali che la nostra società sta vivendo e vivrà nel corso del secolo, è necessario per proporre efficaci strategie di salvaguardia e conservazione. L'impatto del clima e dell'inquina-

mento atmosferico subiranno nel corso del secolo modifiche cui la ricerca ha cercato di dare delle risposte che verranno sintetizzate nel presente lavoro.

Per produrre scenari futuri relativi all'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale costruito, sui siti archeologici e sul paesaggio culturale, sono stati utilizzati gli output dei modelli Generale e Re-



Fig. 1 Effetto sinergico di termoclastismo, erosione eolica e cristallizzazione salina sui monoliti del Tempio di Hagar Qim, Malta

gionale prodotti dall'*Hadley Center* (HadCM3 e HadRM3) riferiti agli scenari emissivi A2 (IPCC 2000).

Le proiezioni future sono state effettuate per tre periodi temporali: 1961-1990 (periodo di riferimento), 2010-2039 (vicino futuro) e 2070-2099 (lontano futuro) per l'HadCM3 e il lontano futuro (2070-2099) per HadRM3. L'area geografica selezionata su cui si è incentrato il nostro studio è l'Europa e ricopre una regione di longitudine 33.75°W - 67.50°E e latitudine 80°N - 25°N per il modello generale, e longitudine 30°W - 55°E e latitudine 72°N - 35°N per il modello regionale.

Sono stati identificati i principali fenomeni di degrado che avvengono sui materiali da costruzione e sulle strutture caratterizzanti il patrimonio culturale e i materiali sui quali effettuare le simulazioni. In particolare sono stati oggetto delle valutazioni effettuate marmi e calcari a bassa porosità, arenarie contenenti minerali argillosi, mattoni, metalli, legno e vetro. I materiali sono stati scelti in base alla rilevanza che rivestono dal punto di vista artistico, al loro diffuso utilizzo nel patrimonio costruito in Europa e alle tipologie di degrado che più interessano l'area europea.

Sono stati poi selezionati i parametri climatici che interagiscono maggiormente con i materiali e le strutture del patrimonio culturale e costruito, in particolare: i) parametri correlati alla temperatura, quali variazioni stagionali e annuali di temperatura, cicli di gelo e disgelo e shock termici (i.e. escursione termica giornaliera > 10, 15 e 20 °C); ii) parametri correlati alle precipitazioni, quali valore medio stagionale e annuale, giorni consecutivi di pioggia ed eventi estremi di pioggia; iii) parametri correlati all'umidità, quali cicli di umidità relativa e shock di umidità relativa (variazione tra 2 giorni con-

secutivi >25%); iv) parametri correlati al vento, quali valore medio annuale e stagionale, trasporto e deposizione di spray marino e rosa delle precipitazioni; v) parametri correlati all'inquinamento atmosferico, i.e. concentrazione di gas (SO₂, HNO₃ e O₃) e acidità delle precipitazioni.

È stato prodotto il data base degli output dei parametri sopra riportati su base europea e sono state utilizzate funzioni di danno esistenti in letteratura o prodotte nell'ambito del lavoro svolto e valutazioni qualitative di rischio. Questo ha consentito di produrre mappe delle medie trentennali relative al periodo di riferimento (1961-1990), al vicino futuro (2010-2039) e al lontano futuro (2070-2099) e mappe delle differenze tra le medie del vicino futuro e il periodo di riferimento e tra le medie del lontano futuro e il periodo di riferimento per valutare e quantificare l'entità delle variazioni avvenute.

Le mappe realizzate sono state classificate in funzione delle elaborazioni effettuate e sono state suddivise in mappe climatiche, di danno, di rischio e di multi-rischio⁴.

I risultati ottenuti hanno fornito uno scenario Euro-Mediterraneo dell'impatto che i cambiamenti climatici avranno sul patrimonio culturale costruito, i siti archeologici e il paesaggio culturale di cui si riportano alcuni esempi.

Le mappe di vulnerabilità prodotte per il XXI secolo per marmi e calcari a bassa porosità mostrano che in Europa la recessione superficiale cambierà prevalentemente per effetto della precipitazione e dell'aumento della concentrazione di CO₂. Nel periodo 2079-2099 nell'Europa centrale, Norvegia, regioni settentrionali della Gran Bretagna e della Spagna, la recessione superficiale risulta

variare fra 20-30 µm/anno, mentre nell'Europa meridionale, inclusa l'Italia, questo fenomeno decrescerà a un tasso di circa 1-4 µm/anno. La recessione superficiale si prevede sia più alta nelle aree maggiormente interessate dalle precipitazioni, in particolare le catene montuose, i.e. Alpi e Appennini, dove si raggiungeranno valori superiori ai 30 µm/anno, corrispondenti ad un aumento del 30% rispetto al periodo di riferimento 1961-1999. Nella Val Padana si avranno valori inferiori, i.e. 5 µm/anno⁵.

La presenza di sali solubili rappresenta la principale causa di degrado dei materiali lapidei naturali e artificiali. Il numero di cicli l'anno di umidità relativa intorno a 75,5%, che è il valore soglia in cui si passa dalla dissoluzione (UR > 75,5%) alla cristallizzazione (UR < 75,5%) del cloruro di sodio, è stato assunto come indicatore quantitativo degli eventi di cristallizzazione di sali: i dati ottenuti indicano che si avrà un aumento del numero di eventi l'anno in tutta Europa, inclusa l'Italia. In Italia centrale, in particolare, si prevedono oltre 45 cicli/anno di umidità relativa intorno al 75,5% nel periodo 2070-2099⁴.

Il termoclastismo è un processo di decoesione in seguito a cicli di espansione e contrazione termica differenziale di grani minerali superficiali in risposta alle variazioni di temperatura sulla superficie del materiale (Figura 1). Va ricordato che escursioni giornaliere di temperatura superficiale di 25-30 ° C si verificano normalmente durante i periodi estivi nell'area mediterranea.

Sono state prodotte mappe di vulnerabilità per i periodi 2010-2039 e 2070-2099 valutando il numero di eventi all'anno che causano tensioni interne nel marmo superiori a 20

MPa, valore adottato come il carico massimo sostenibile per questo specifico materiale. I dati dimostrano che le regioni mediterranee, in particolare la Sicilia, continueranno a sperimentare un alto livello di rischio da stress termico, con valori a volte superiori a 200 eventi all'anno alla fine del secolo. Va ricordato che queste regioni sono particolarmente ricche di monumenti e siti archeologici, una parte dei quali in marmo⁶.

La colonizzazione e il biodegrado dei materiali da costruzione, che implica sia processi chimici che fisici del supporto, sono legati alle condizioni ambientali, soprattutto umidità, temperatura e luce, nonché dalla natura chimica del substrato (Figura 1). Le proiezioni future indicano che, anche se i cambiamenti climatici non influiranno significativamente sulla quantità di biomassa presente sui monumenti in rocce silicatiche e graniti per il periodo 2010-2039 in Europa, maggiori differenze saranno rilevabili in alcune regioni europee per il periodo 2070-2099. A fronte di un aumento di carico di biomassa nell'Europa settentrionale, nel sud dell'Europa ne è prevista una diminuzione. In Italia, quindi, eccetto nella fascia alpina dove si avrà un incremento, la crescita di biomassa ad esempio su rocce silicatiche alla fine del secolo è prevista in diminuzione⁷.

Oltre agli esempi riportati, altri sono i fattori di danno per il patrimonio culturale negli scenari futuri:

- L'aumento in futuro dei cicli di gelo e disgelo in Scandinavia, Groenlandia e in tutte le zone di alta quota in Europa, mentre si avrà una diminuzione nel Bacino del Mediterraneo;
- l'aumento della corrosione dei



metalli nel nord Europa, effetto correlato alla temperatura media annuale che induce valori massimi di danno con temperature medie annuali di 10 °C;

- l'aumento delle precipitazioni che provoca danni strutturali sulle coperture e sugli elementi ornamentali degli edifici (guglie, pinnacoli) e favorisce la penetrazione dell'acqua nelle murature fino ad una loro completa decoesione;
- le precipitazioni intense e le alluvioni che causano danni irreversibili al patrimonio culturale sia mobile che immobile.

Per le istituzioni pubbliche e private preposte alla gestione del patrimonio culturale, il modo più efficace per rispondere all'impatto dei cambiamenti climatici è integrare le necessarie misure nei piani di gestione esistenti o in corso di definizione. In questo senso un caso di successo è rappresentato dalla "Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" prodotta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (MATT), in cui un'intera sezione è dedicata al Patrimonio Culturale.

Questo documento indica le seguenti azioni generali necessarie per produrre adeguati piani d'intervento per la conservazione del patrimonio culturale a fronte dei cambiamenti climatici in atto:

- diffusione delle conoscenze esistenti;
- monitoraggio continuo;
- manutenzione ordinaria;
- valutazione delle priorità in relazione allo stato di conservazione dei manufatti;
- valutazione dello stato di conservazione dei manufatti in relazione alle condizioni ambientali di con-



Fig. 2 Biodegrado sulle murature della Fortezza di San Lorenzo, Panama

servazione rilevate;

- valutazione delle priorità in risposta ai cambiamenti climatici;
- raccolta di dati per supportare le decisioni sia a livello nazionale che regionale;
- comprensione del contesto ambientale, economico e sociale del patrimonio culturale.

Si sottolinea l'importanza storicamente conferita agli interventi di manutenzione ordinaria del patrimonio culturale rispetto a sporadici interventi di restauro, che si renderanno particolarmente necessari in previsione dell'impatto dei cambiamenti climatici come fattore ulteriore di danno al patrimonio.

È inoltre necessario sviluppare strategie di finanziamento a lungo termine per rendere sostenibile la protezione del patrimonio culturale, quali ad esempio promuovere relazioni con il settore assicurativo o l'introduzione di agevolazioni fiscali. Il patrimonio culturale è un ambito

di ricerca estremamente complesso che può essere affrontato solo unendo le forze e massimizzando le sinergie.

Il patrimonio culturale è una risorsa non rinnovabile: va quindi favorito l'accesso ai cittadini e ai visitatori, ma al contempo è nostra responsabilità trasmettere questo patrimonio, che abbiamo ricevuto dal passato e che stiamo noi stesso creando, alle generazioni future.

È urgente inserire il patrimonio culturale nella catena dei valori dello sviluppo sostenibile che a sua volta rappresenta la principale sfida che si trova ad affrontare il mondo oggi.

L'Italia si è fatta promotrice di questa area di ricerca a livello europeo e attualmente il Ministero per i Beni e le Attività Culturali e il Turismo (MIBACT) e il Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR) coordinano congiuntamente la *Joint Programming Initiative "Cultural Heritage and Global Change: a New Challenge for Europe - JPI CH*, che ha

raccolto l'adesione di 18 Paesi (Italia, Belgio, Cipro, Repubblica Ceca, Danimarca, Francia, Irlanda, Lituania, Moldavia, Paesi Bassi, Norvegia, Polonia, Portogallo, Romania, Slovacchia, Spagna, Svezia, Regno Unito). L'obiettivo della JPICH è promuovere programmi comuni di ricerca che

contemplino la ricerca scientifica e tecnologica applicata alla protezione e gestione del patrimonio culturale. Sono stati congiuntamente prodotti il Documento di Visione e l'Agenda Strategica di Ricerca e sono state lanciate 2 call nel 2013 e 2014 che hanno consentito di finanziare 16

progetti. La JPI CH ha aumentato la visibilità di questo settore in cui l'Europa e l'Italia hanno la leadership nel mondo⁸.

*Per saperne di più:
c.sabbioni@isac.cnr.it
a.bonazza@isac.cnr.it*

- ¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Fifth Assessment Report (IPCC AR5)*, <http://www.ipcc.ch/report/ar5>
- ² Paris Agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, COM(2016) 110 final
- ³ International Scientific Conference “*Our Common Future Under Climate Change*”, Session “*Cultural Heritage facing up to Climate Change, Sea Level Rise and Pollution*”, UNESCO, Paris, 7-10 July 2015, <http://www.commonfuture-paris2015.org>
- ⁴ C. Sabbioni, P. Brimblecombe, M. Cassar (2010), “Atlas of climate change impact on European Cultural Heritage”, Anthem Press, ISBN 978-92-79-09800-0
- ⁵ A. Bonazza, P. Messina, C. Sabbioni, M.C. Grossi, P. Brimblecombe (2009), “Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe”, *Science of the Total Environment*, 407, 2039-2050
- ⁶ A. Bonazza, C. Sabbioni, P. Messina, C. Guaraldi, P. De Nuntiis (2009), “Climate change impact: mapping thermal stress on Carrara marble in Europe”, *Science of the Total Environment*, 407, 4506-4512
- ⁷ A. Gómez-Bolea, E. Llop, X. Arino, C. Saiz-Jimenez, A. Bonazza, P. Messina, C. Sabbioni (2012) “Mapping the impact of climate change on biomass accumulation on stone”, *Journal of Cultural Heritage*, 13, 254-158
- ⁸ Joint Programming Initiative “Cultural Heritage and Global Change: a New Challenge for Europe – JPI CH”, www.jpiculturalheritage.eu