

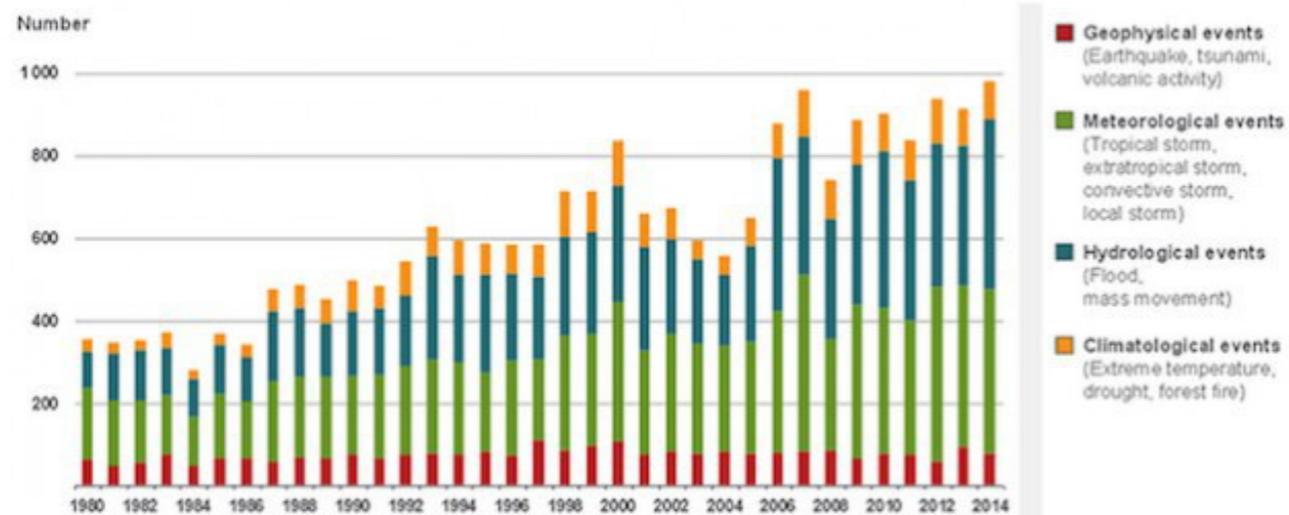
**Convegno: Storia, Sicurezza e Protezione delle Strutture Lignee degli Edifici
Storici**

**Cambiamenti climatici e
protezione delle strutture negli
edifici storici: il progetto di ricerca
H2020 STORM**

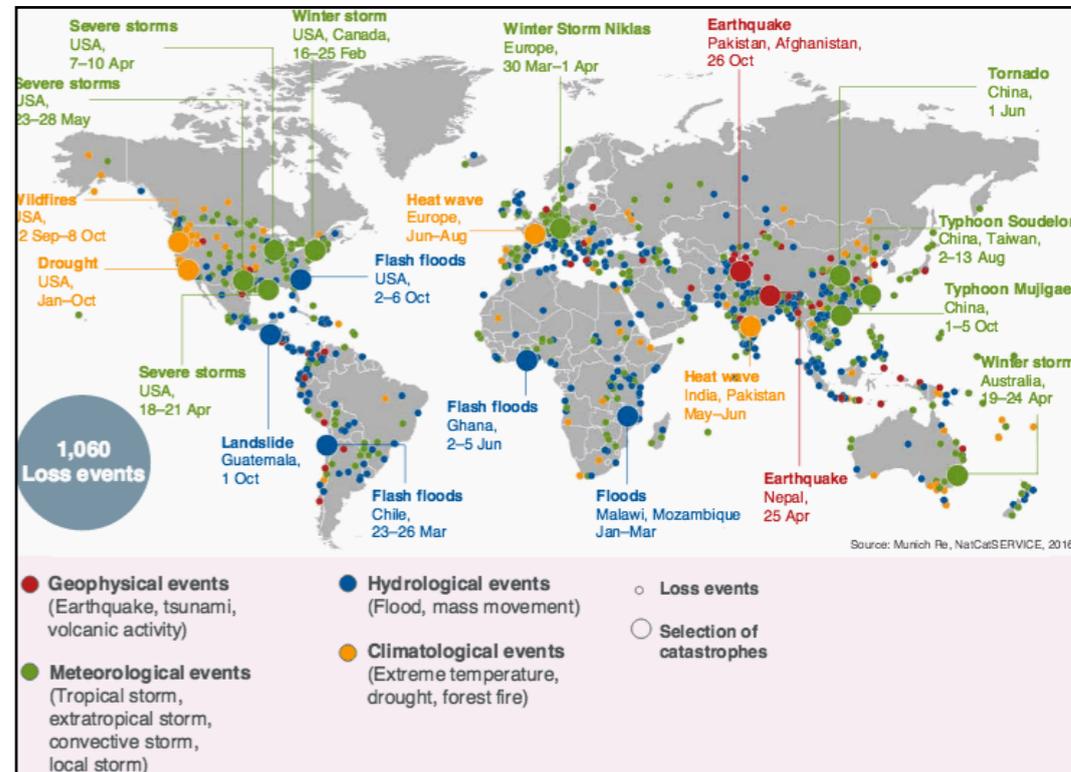
Stefano Marsella CNVVF

WORLD NATURAL CATASTROPHES, 1980-2014

(Number of events)



Source: © 2015 Munich Re, Geo Risks Research, NatCatSERVICE. As of January 2015.



<http://www.artemis.bm/blog/2016/01/04/insured-catastrophe-losses-down-again-to-27bn-in-2015-munich-re/>

Weather dominates insurance claims in 2015: Munich Re



<http://www.reuters.com/article/us-disaster-insurance-idUSKBN0UI0XI20160104>

Sho-Bun-Do bookstore after the earthquake, 2011
www.wmf.org



Protezione degli edifici e dei beni mobili

Cause

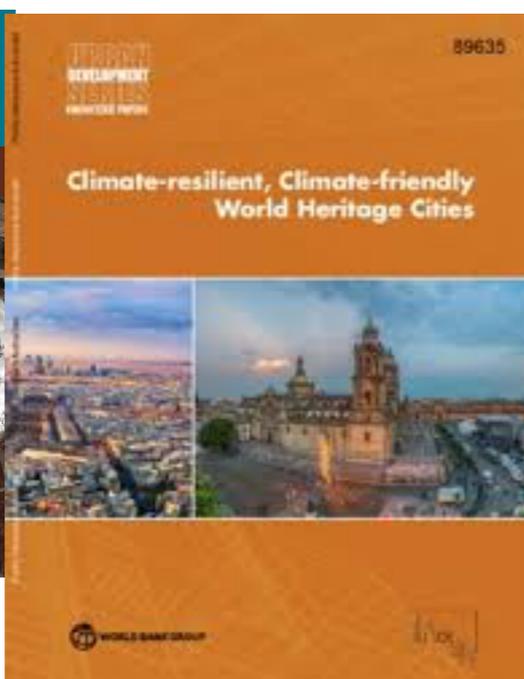
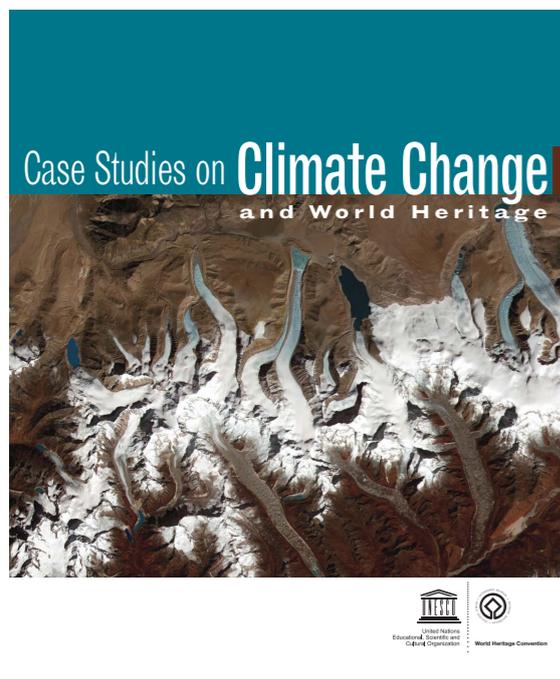
disastri dovuti ad eventi naturali quali inondazioni, frane e frane, terremoti e innalzamenti del livello del mare che possono causare danni strutturali agli edifici storici e al patrimonio archeologico e degrado dei materiali costitutivi delle opere conservate sia all'aperto che al coperto, nei musei o biblioteche (imbibizione di materiali fangosi di carta piovana, infiltrazioni di acqua piovana a seguito di danneggiamento dei tetti degli edifici)

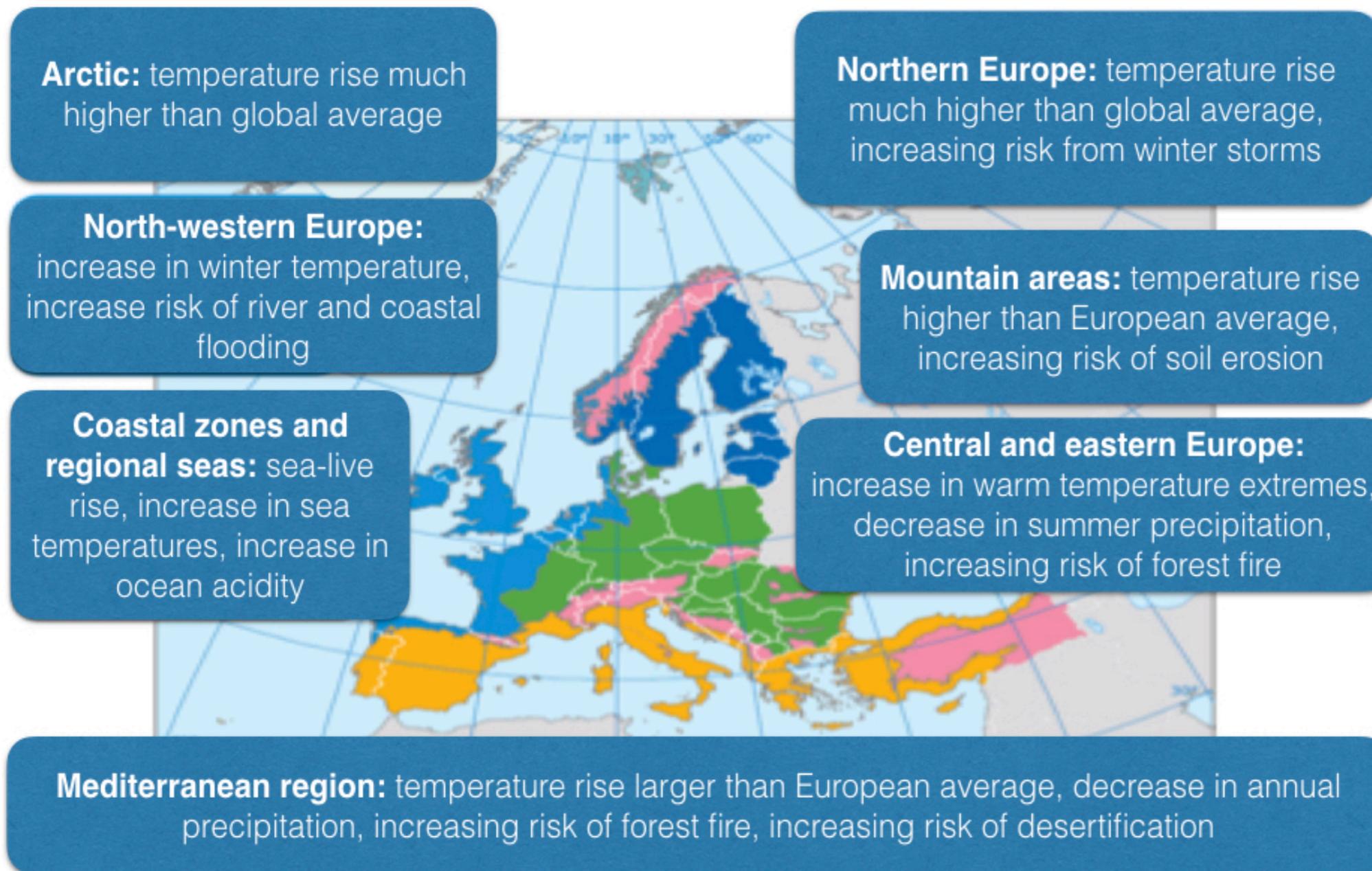
Fattori di degrado

fattori di degradazione climatica (temperatura, umidità relativa, precipitazioni, vento) e ambientale (inquinamento atmosferico) che sono i principali contributori ai processi chimici, fisici e biologici che portano al degrado dei materiali costituenti il patrimonio culturale (pietra e materiali in legno, metalli, materiali pittorici e cartacei ...)



- UNESCO
- ICCROM
- ICOMOS
- Commissione Europea
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction
- World Heritage Center – (Joint Programming Initiatives)
- World Bank





Ridisegnato da:
Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: an indicator-based report.
 European Environment Agency Report

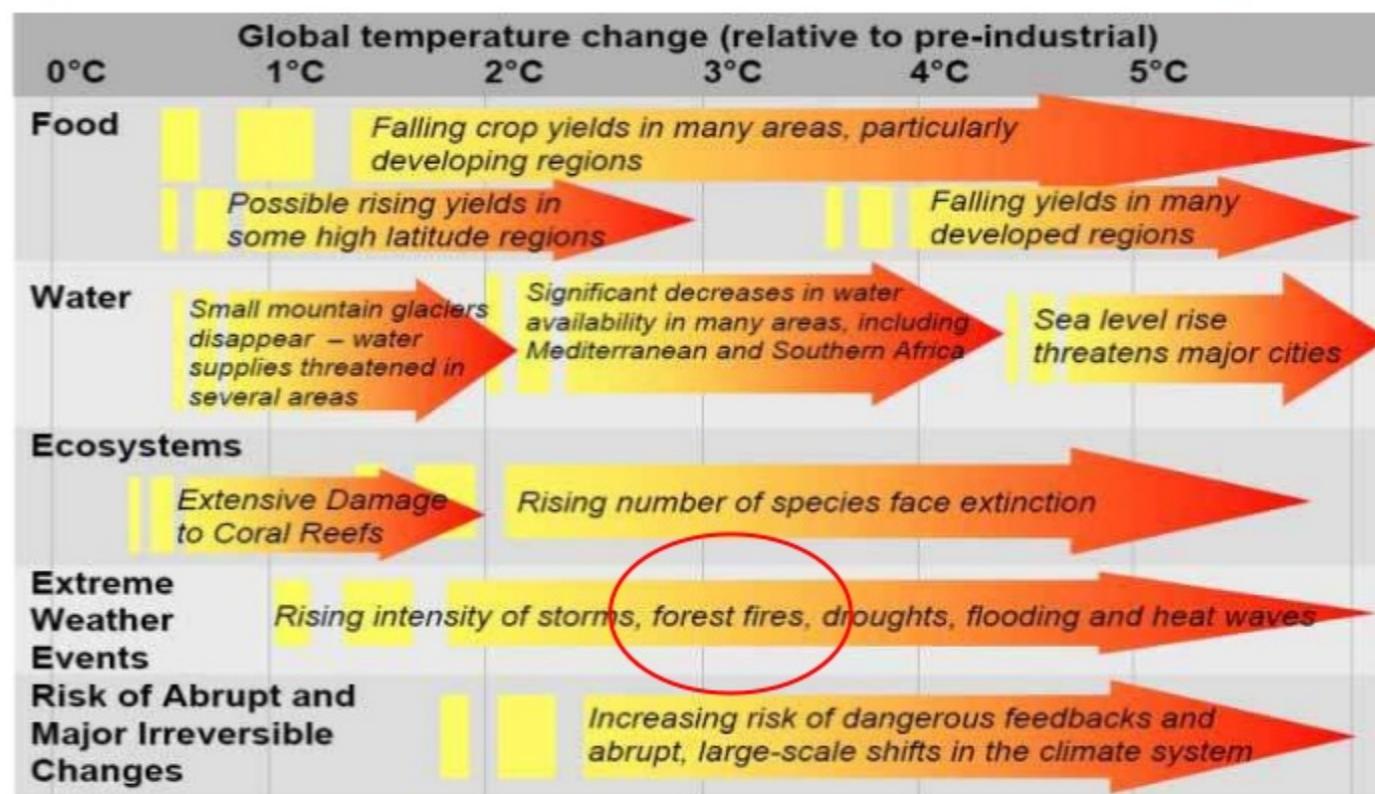
I cambiamenti climatici ... possono portare a ulteriori incendi boschivi a causa di condizioni climatiche più calde e più asciutte e, eventualmente, aumenti delle tempeste dei fulmini (una causa naturale degli incendi)...

Cambiamento dei modelli climatici e delle perturbazioni dell'equilibrio geofisico come conseguenza dell'aumento delle temperature atmosferiche ("riscaldamento globale"), sono previsti ulteriori cambiamenti nelle caratteristiche geofisiche, come segue:

- **modifica dei modelli di precipitazione** - Aumento della frequenza degli episodi caldi di El Niño-Southern Oscillation (ENSO)
- cambiamenti di frequenza, intensità e stagionalità di eventi estremi come siccità, **incendi, forti precipitazioni, inondazioni**, tempeste, cicloni tropicali
- aumento del livello del mare (causato dalla ritirata dei ghiacciai, fusione del ghiaccio e dilatazione termica dell'acqua di mare in risposta a temperature più elevate) con gravi implicazioni per le aree costiere basse e le isole
- aumento dei livelli di anidride carbonica nell'atmosfera e disciolti negli oceani causando un aumento dell'acidificazione marina

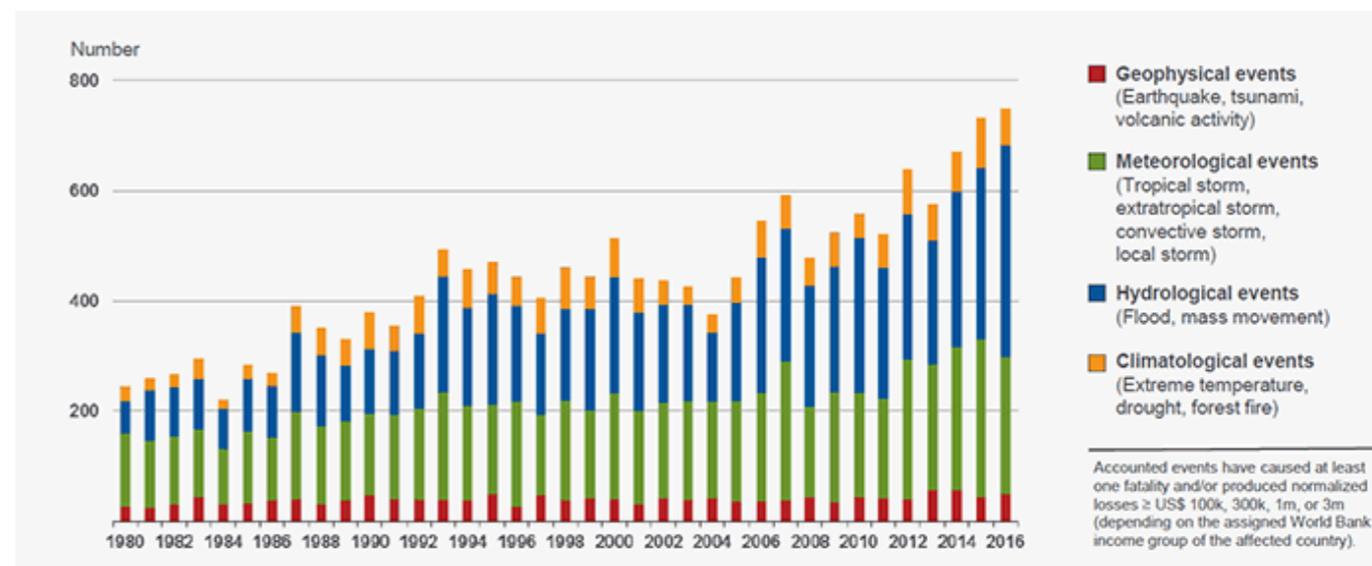
Sesana E. et Al. Adapting Cultural Heritage to Climate Change Risks: Perspectives of Cultural Heritage Experts in Europe. *Geosciences* **2018**, 8(8), 305;

Effects of GW



Source: <http://www.fhwa.dot.gov/hep/climate/gccalbany1.jpg>

6



<http://www.climatesignals.org/node/7310>

- Sulla conservazione dei valori, integrità e autenticità sono state espresse forti preoccupazioni dagli intervistati per quanto riguarda la necessità di adattarsi ai cambiamenti climatici, preservando allo stesso tempo i valori relativi all'autenticità e all'integrità del patrimonio culturale. Questo perché **alcune soluzioni di adattamento potrebbero sacrificare i valori del patrimonio o influenzare l'autenticità del sito.**

Un esempio fatto da alcuni intervistati è la **costruzione di rifugi e tetti sopra i siti del patrimonio, una soluzione di adattamento che può disturbare l'unità tra l'oggetto del patrimonio e il paesaggio e diminuire l'autenticità del sito archeologico** grazie all'aggiunta di questo non indigeno elemento. Un altro esempio è la decisione di **spostare il sito del patrimonio a causa della sua posizione su una costa erosa**, ad esempio, che inevitabilmente mette il sito del patrimonio fuori dal contesto, influenzando così il suo.

Sesana E. et Al. Adapting Cultural Heritage to Climate Change Risks: Perspectives of Cultural Heritage Experts in Europe. *Geosciences* **2018**, 8(8), 305;



Bart Ankersmit • Marc H.L. Stappers
Managing Indoor Climate Risks in Museums

Impatti fisici diretti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale mondiale

Ci si può aspettare che un numero di impatti diretti del cambiamento climatico svolga un ruolo su:

- ...
- Gli edifici storici hanno una maggiore intimità con il terreno rispetto a quelli moderni. Sono più porosi e attingono acqua dalla terra alla loro struttura e la perdono nell'ambiente per evaporazione superficiale. Le loro pareti e pavimenti sono il punto di scambio per queste reazioni. L'aumento dell'umidità del suolo potrebbe comportare una maggiore mobilizzazione del sale e conseguenti cristallizzazioni dannose sulle superfici decorate attraverso l'essiccazione.

Impatti fisici diretti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale mondiale

- Il legname e altri materiali da costruzione organici possono essere soggetti a un'aumentata infestazione biologica come la migrazione di parassiti ad altitudini e latitudini che potrebbero non essere stati precedentemente interessati da tali minacce.
- Le inondazioni possono danneggiare i materiali da costruzione non **progettati per resistere** a immersioni prolungate e l'essiccamento inondazioni può incoraggiare la crescita di microrganismi dannosi come le muffe. Siti e monumenti archeologici possono essere a rischio di inondazioni, in particolare l'effetto erodente dell'acqua che scorre rapidamente.
- Aumenti di **tempeste e raffiche di vento possono causare danni strutturali**. Il patrimonio mobile può essere esposto a livelli più elevati di umidità, temperature più elevate e livelli UV elevati. La desertificazione, l'erosione del sale e l'erosione minacciano il patrimonio culturale in aree desertiche

Table 5.5 Temperature and wood moisture requirements of the larvae of some wood destroying beetles (Unger et al. 2001)

Species	Temperature [°C (°F)]				Wood moisture content [%]		
	Min.	Optimum	Max.	Lethal	Min.	Optimum	Max.
Common furniture beetle (<i>Anobium punctatum</i>)	12 (54)	21–24 (70–75)	29 (84)	47–50 (117–122)	10–12	28–30	47–50
House longhorn beetle (<i>Hylotrupes bajulus</i>)	16–19 (61–66)	28–30 (82–86)	35 (95)	55–57 (131–135)	9–10	30–40	65–80
Lyctus powderpost beetle (<i>Lyctus brunneus</i>)	18 (66)	26–27 (79–81)	30 (86)	49–65 (120–149)	7–8	14–16	23

In buildings mold growth manifests itself as mostly black or dark brown stains on walls, especially in corners. However it is still a good indicator for moisture related problems. Fungal attack of wooden building components on the other hand can pose a major threat to the building, as it might affect the structural stability of beam ends, wall plates, and to a lesser extent of framed walls, trusses, lintels etc. and thus endanger public safety and heritage collections.

p. 97

Table 5.6 Climate specification for building and their susceptibility to the wrong indoor climate

	Temperature		Relative humidity	
	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit
Fungal attack (organic materials like wood, wallpaper etc.)	0–5 °C (32–41 °F)	28	–	Below 60 % for no decay, above 60 % time dependent
Pest infestations (organic materials like wood, wallpaper etc.)	12 °C (53.6 °F)	29	–	Below 60 % for no infestation ^d
Salt attack (mainly brick and natural stone)	–	–	As high as possible not exceeding the upper limit ^c	Lower limit transition band width ^c
Frost damage (mainly brick and natural stone)	0 °C (32 °F) ^a	–	–	–
Thermal expansion (mainly natural stone, metals in masonry or combinations of brick and concrete)	– ^b	– ^b	–	–
Corrosion (metals)	–	As low as possible	–	60 % or as low as possible
Building as a whole	0 °C (32 °F)	Depending on the problem to avoid	As high as possible not exceeding the upper limit	60 %

^aA temperature of 5 °C (41 °F) or higher is often cited in literature as safe limit to prevent frost damage

^bCracks due to thermal expansion primarily depend on outdoor temperatures and solar radiation

^cDepending on salt or salt mixture. The aim is to have the salt or salt mixture in either a fully dissolved or fully crystalized state. This means that in a dry environment we do not want the local relative humidity to exceed the lower limit of the transition band width. In a moist environment we do not want the relative humidity to drop below the upper limit of the transition band width. In Fig. 5.8 for example we would like our ambient relative humidity in the green areas as close as possible to the red area

^dControlling moisture content is a better way to control decay



Cultural Heritage Science

Bart Ankersmit
Marc HL Stappers

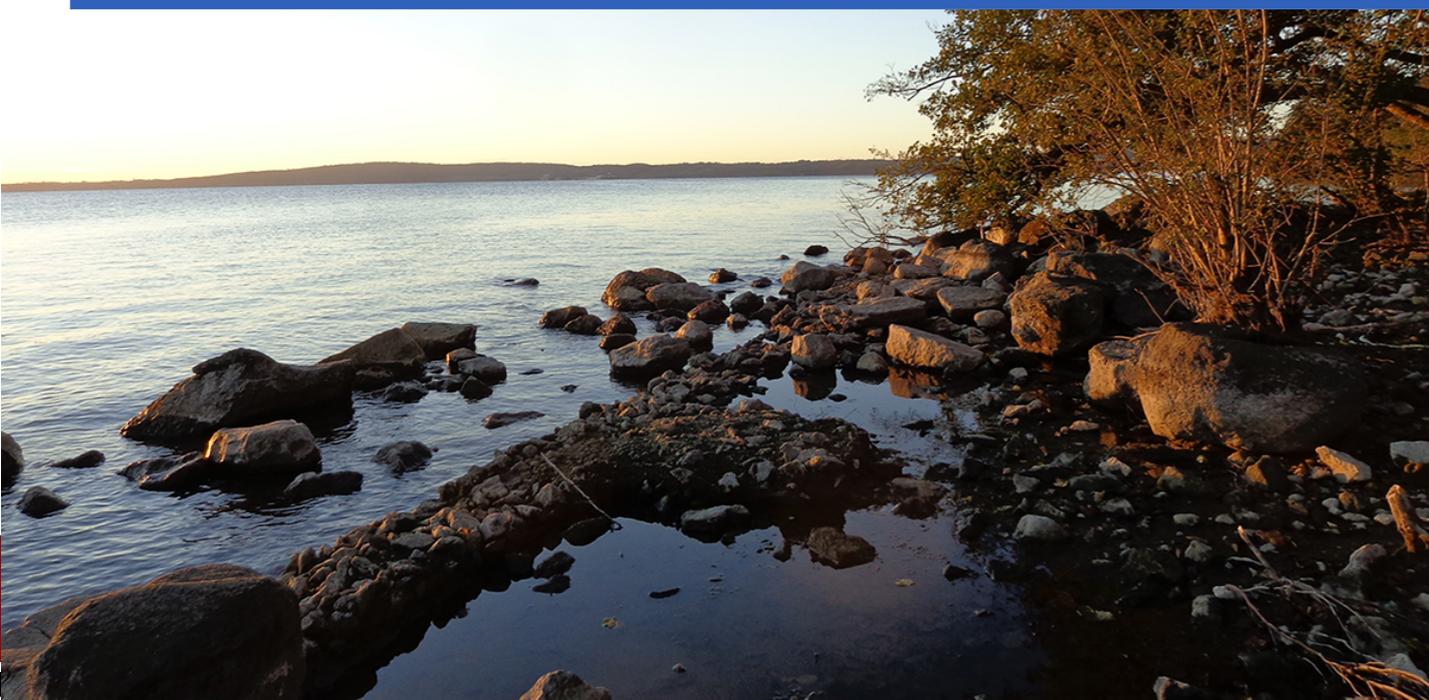
Managing Indoor Climate Risks in Museums

Aumento del rischio di incendio

- La rimozione della vegetazione e dei rifiuti di superficie può esporre beni culturali precedentemente non facilmente visibili agli occhi, rendendoli quindi più vulnerabili ai saccheggi.
- L'erosione post-incendio su pendii ripidi di aree gravemente percorse dal fuoco può verificarsi dopo che gli intensi incendi boschivi hanno distrutto la maggior parte dello strato vegetativo pre-incendio, causando lo spostamento orizzontale dei beni di superficie.

Il rischio di saccheggio dovuto alla visibilità della CR non protetta deve essere considerato anche con altri effetti sui cambiamenti climatici. La del 2017 in Italia centrale ha portato all'emersione di edifici di epoca romana che normalmente si trovavano sotto la superficie del Lago di Bracciano, con l'avvio immediato delle attività di saccheggio.

- Le risorse culturali possono essere influenzate direttamente dalle attività di soppressione (costruzione manuale e meccanica del fuoco, uso ritardato) e attività di riabilitazione
- Si ritiene generalmente che le attività di soppressione degli incendi durante gli incendi boschivi e i trattamenti di riabilitazione post-incendio presentano gli impatti avversi più consistenti e rappresentano il maggior rischio per le proprietà culturali.



Danni causati dallo spegnimento messa in sicurezza



<http://www.firearchaeology.com/Assessments.html>

Effetti di fuoco su immagini rupestri e risorse culturali simili I rifugi di roccia, gli strapiombi e le pareti rocciose verticali che contengono pannelli di immagine di roccia possono subire due tipi di danni dagli incendi: effetti termici da energia (calore) assorbita e danno deposizionale dall'esposizione a fumo, fuliggine, ceneri, sbavature e catrami come prodotti di combustione . L'energia può derivare da una radiazione o da una convezione, ma temperature più elevate sono associate alla prima. Risultati comuni sono scolorimento, esfoliazione o scheggiatura e assorbimento del calore Risultati comuni sono scolorimento, esfoliazione o scheggiatura e assorbimento del calore. Le sbavature si verificano quando i prodotti di combustione precipitano o aderiscono alle superfici rocciose esposte. I cambiamenti chimici e fisici sono probabilmente causati dalla penetrazione di calore e carbonizzazione di materiali leganti organici di pigmenti di elementi dipinti

Effetti del fuoco sui materiali da costruzione storici
Suscettibilità al fuoco: Il mattone refrattario a bassa temperatura, relativamente poroso, tipico dei mattoni non commerciali, costruiti localmente e utilizzati in molti siti storici, può indebolirsi e sgretolarsi se il fuoco è abbastanza caldo. La malta a base di calce può essere colpita dal fuoco. Può calcinare e sbriciolare sotto sufficiente calore, allentando così il mattone refrattario e, se non sostituito, provocando il collasso del muro di mattoni. Le superfici del blocco di calcestruzzo e della muratura possono scheggiarsi, il che appare come linee distinte di striature e perdita di materiale superficiale con conseguente rottura, rottura, scheggiatura e formazione di crateri sulla superficie.

source and picture: USDA Forest Service. Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Cultural Resources and Archaeology



Effetti dell'incendio sulla ceramica Le tecniche di formazione delle navi potrebbero essere combinate in vari modi. Ad esempio, la base di una nave potrebbe essere modellata mentre le sue pareti sono state formate con bobine. Il modo in cui è stata prodotta la ceramica può influire sul modo in cui viene alterato dal fuoco. L'impatto del fuoco sulla decorazione della ceramica è fonte di preoccupazione per gli archeologi che usano il design decorativo come criterio per identificare i frammenti di ceramica. Questo impatto del fuoco può variare in base al modo in cui sono state decorate le navi in argilla

Effetti di fuoco su pietra sfaldata, pietra macinata e altri manufatti di pietra Gli effetti del fuoco riportati sugli artefatti di pietra comprendono la rottura, la scheggiatura, la crenatura, la cavillatura, il micropallinatura, la vaiolatura, il gorgoglio, il gonfiore, la sbavatura, la decolorazione, le aderenze, l'idratazione alterata, i residui proteici alterati e la perdita di peso e densità. Gli artefatti di superficie tendono ad essere alterati più di quelli situati in contesti subsuperficiali, con una protezione spesso garantita anche da pochi centimetri di suolo.

BASALTO
Lentz (1996a) notò il fuliggine, il potlid, l'ossidazione, la riduzione, il crying, i cambiamenti di lucentezza e le aderenze su materiale litico, incluso il basalto che era stato a fuoco. Eisler e altri (1978) trovarono che il basalto era coperto da un residuo lucido, liscio, simile al catrame, con massi di basalto fratturati in pezzi angolari, probabilmente a causa del rapido raffreddamento. Tremaine e Jackson (1995) hanno riportato fratture termiche su bifacciate di basalto.

Pietra a terra oggetti fabbricati con materiali diversi reagiranno in modo diverso al riscaldamento e al raffreddamento. Ad esempio, Pilles (1984) ha riferito di manosi di arenaria gravemente incrinati in incendi, dove i manosi basaltici erano solo anneriti. Lentz (1996) ha indicato che tutti e cinque i metates in un incendio sono stati colpiti da fuliggine, scheggiature, disincarnazione e / o aderenze, ma la singola mano non è stata alterata. Basandosi su osservazioni e esperimenti sul campo, Blackwelder (1927) concluse che in molte aree boschive degli Stati Uniti occidentali il fuoco era l'agente principale della fratturazione, della formazione di schegge e degli agenti atmosferici nei massi e negli affioramenti rocciosi, piuttosto che i cambiamenti diurni in temperatura

Implicazioni per la protezione delle risorse culturali e la pianificazione degli incendi I fattori chiave che sembrano influenzare la natura e l'estensione del danno da fuoco alle risorse archeologiche, inclusi i manufatti litici, sono l'intensità del fuoco, la durata del calore e la penetrazione del calore nel suolo (Traylor e altri 1983). La ricerca mostra che con l'aumentare della temperatura, aumentano anche gli effetti e che gli effetti aumentano con l'aumentare del tempo esposto al calore; se il tempo di esposizione è abbastanza lungo, possono verificarsi effetti sugli utensili di pietra anche a temperature ridotte. Le simulazioni antincendio di Buenger mostrano che i due componenti più importanti dell'ambiente di fuoco che producono effetti termici sugli artefatti superficiali sono i carichi di carburante e la velocità del vento (2003)

source: USDA Forest Service. Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Cultural Resources and Archaeology

Incendi boschivi e di interfaccia

Table 4-1—Some reported thermal effects on chert.

Temperature (°C)	Temperature (°F)	Effect ^a
150	302	Impurities may result in fractures
121 - 400	249.8 - 752	Change in interior luster
240 - 800	464 - 1472	Change in color on external surface
350 - 400	662 - 752	Becomes distorted, brittle, or explosive
350 - 550	662 - 1022	Fractures
600 - 800	1112 - 1472	Optical dulling of external surface

^a Note: Cherts from different sources react differently to heat. Some effects can occur at lower temperatures if duration of heat is long enough. Not all cherts change color or luster when heated. Temperatures for other effects summarized in text are unknown, or variable from Luedtke (1992).

source: USDA Forest Service. Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Cultural Resources and Archaeology

Gli artefatti di superficie generalmente subiscono il maggior danno negli incendi, anche se molti conserveranno spesso potenziali di dati, anche su siti bruciati numerose volte in passato o che sono stati recentemente sottoposti a incendi o ustioni prescritte. Alcuni dispersori litici e macinati, così come altri tipi di siti archeologici, sono strettamente limitati ai contesti di superficie, a causa di terreni poco profondi o di storia deposizionale

.... Poiché anche i terreni poco profondi offrono una certa protezione agli artefatti, si può concludere che i materiali sottosuperficiali in genere conserveranno il maggior numero possibile di dati dopo gli incendi. Tuttavia, la superficie di un sito in un dato momento può cambiare a seguito di numerosi agenti, tra cui deflazione, erosione, deposizione, alberi impetuosi, scavi di animali e attività umane.



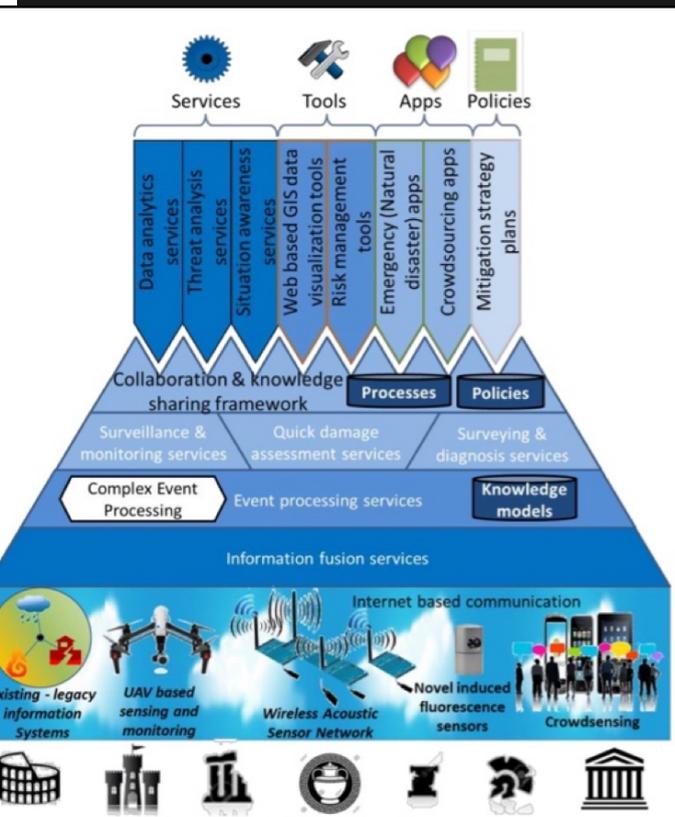
I disastri naturali - creati dall'uomo) sembrano aumentare di numero o di effetti
STORM è un progetto H2020 volto a migliorare la capacità di gestione protettiva e di emergenza dei gestori del patrimonio culturale 3 comunità coinvolte nella sicurezza delle città del patrimonio: responsabili della città; gestori del patrimonio culturale; organizzazioni di salvataggio Tutti e 3 hanno bisogno di dati in tempo reale per fare il loro lavoro In che modo l'approccio delle città intelligenti può aiutare le aree del patrimonio culturale



Horizon 2020
European Union Funding
for Research & Innovation

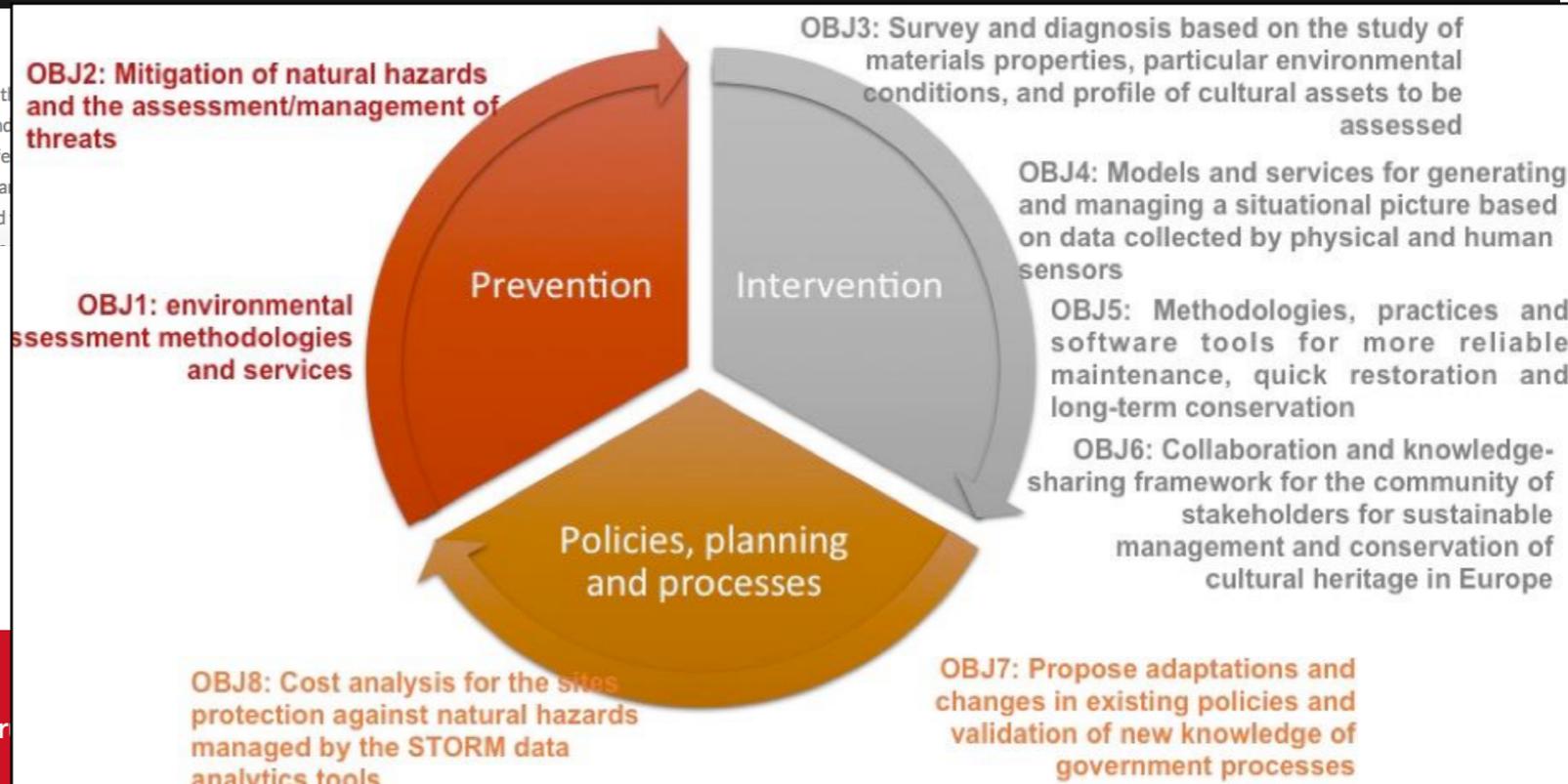
Ephesus (Izmir, Turkey)

Safeguarding Cultural Heritage through Technical and Organisational Resources Management



Starting from previous research experiences and tangible outcomes, STORM proposes a set of novel predictive models and improved non-invasive and non-destructive

together with climatic conditions, hazards, offer adaptation and systems and



enti climatici e protezione delle str

Conclusioni

il crescente rischio di incendi boschivi / vegetazione rappresenta un aumento di rischio per il patrimonio culturale. Tale rischio è rappresentato dal fuoco, dalle attività antincendio e dalle attività di ripristino.

Il possibile saccheggio è un rischio in più per patrimonio a causa della maggiore visibilità.

la letteratura specializzata mostra che, per mitigare gli effetti dell'incendio di vegetazione, deve essere adottata una strategia complessa composta da formazione, adozione di misure di protezione e organizzazione che coinvolga diversi soggetti interessati.

Bibliografia

- UNESCO. (2008). Policy Document on the Impacts of Climate Change on World Heritage Properties. UNESCO World Heritage Centre publications on climate change (Vol. 1). Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25276499>
- USDA Forest Service. Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Cultural Resources and Archaeology
- Sesana E. et Al. Adapting Cultural Heritage to Climate Change Risks: Perspectives of Cultural Heritage Experts in Europe. *Geosciences* **2018**, 8(8), 305;
- Füssel, H.-M., & Jol, A. (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. Copenhagen. Retrieved from http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012/at_download/file
- Tansey, E. (2015). Archival adaptation to climate change – Sustainability: Science, Practice & Policy. Retrieved April 7, 2017, from <https://sspp.proquest.com/archival-adaptation-to-climate-change-3f245c06d9c0>
- Marsella, S. (2017). Smart Cities and Cultural Heritage Protecting historical urban environments from climate change. In 14th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control.
- Marsella, S. (2017). Smart Cities and Cultural Heritage Protecting historical urban environments from climate change. In 14th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC).
- European Environment Agency. (2012). Climate Change, impacts and vulnerability in europe 2012 - An indicator-based report. Copenhagen.
- Ebunuwele, G. E. (2015). Global Warming : Implication for Library and Information Professionals. *International Journal of Humanities and Social Science*, 5(6), 69–77.
- Guerrieri, T., & Marsella, S. (2017). “UAV & SAR: using drones in rescue operations” Rome STORM project and the use of UAV to improve emergency management of disasters threatening cultural heritage.
- Doerr, S. H., & Santín, C. (2016). Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 371(1696). <http://doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>
- Marsella, S., Concetti, G. B., & Sciarretta, N. (2017). Cambiamenti climatici : come influiscono sulla Prevenzione Incendi. Antincendio.
- Ankersmit, B. (n.d.). Managing Indoor Climate Risks in Museums.

Fine

stefano.marsella@vigilfuoco.it