

Consultazione sulla proposta di
**STRATEGIA DI ADATTAMENTO
CLIMATICO DI ROMA CAPITALE**

Terzo Workshop tematico:

**IL CENTRO STORICO DI ROMA
CON 40 GRADI:
LE SFIDE PER LA VIVIBILITÀ
E ATTRATTIVITÀ TURISTICA**

**Università La Sapienza
Facoltà di Architettura**

16 maggio 2024 ore 15-19
Piazza Borghese 9



PATRIMONIO CULTURALE

Alessandra Bonazza, Alessandro Sardella
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima



Impatti su ambiente, patrimonio culturale e salute

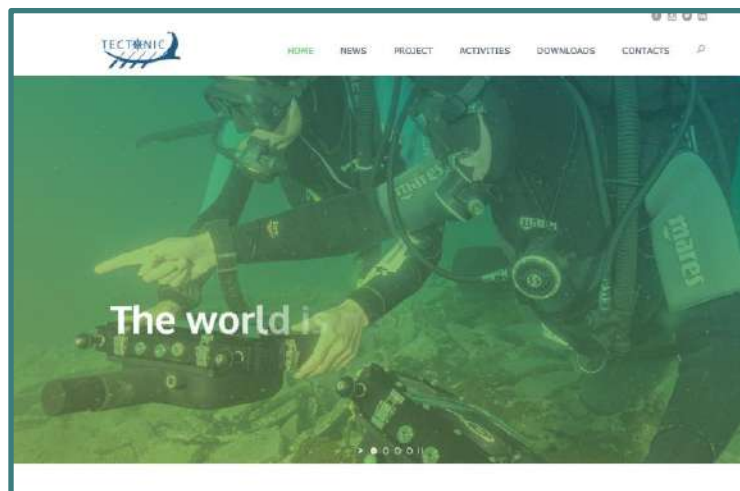


Protezione del Patrimonio Culturale *Grand Challenges*

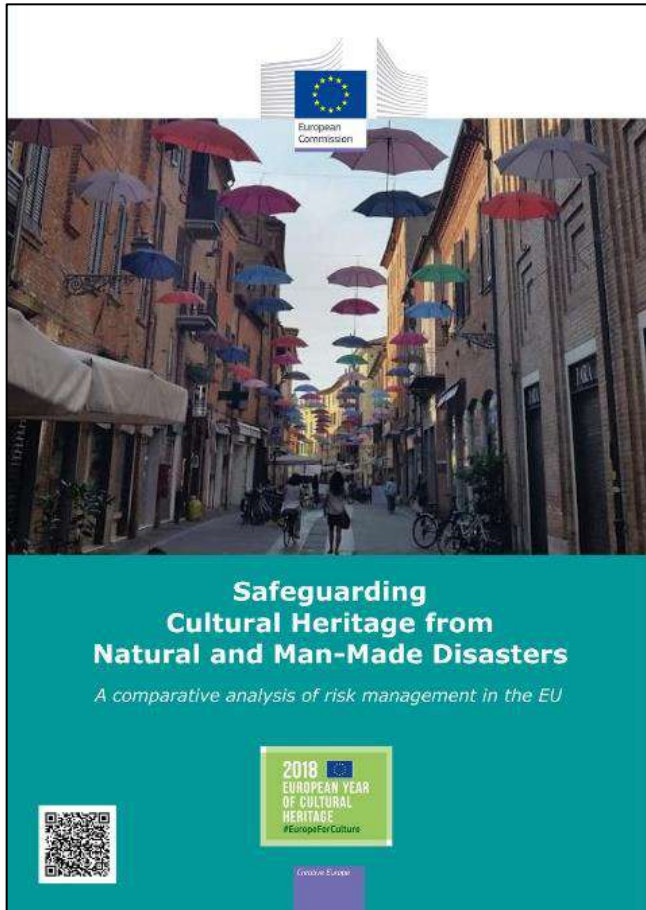
Valutazione degli impatti (inquinamento, cambiamenti climatici) e quantificazione del danno a livello locale su sistemi complessi (paesaggio culturale, centri storici, patrimonio culturale sommerso)

Identificazione di elementi di vulnerabilità, funzioni di danno, indici di rischio naturale e antropico (patrimonio materiale/imm.)

Strategie di protezione da integrare nei piani di mitigazione e adattamento e di riduzione e gestione del rischio



Patrimonio culturale e naturale a rischio



European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture. Bonazza et al., *Safeguarding Cultural Heritage from Natural and Man-Made Disasters*, 2018



European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, *Strengthening cultural heritage resilience for climate change: where the European Green Deal meets cultural heritage*, 2022



<https://www.artworksforchange.org>
© Jason deCaires Taylor



Strategie di mitigazione e adattamento/riduzione del rischio



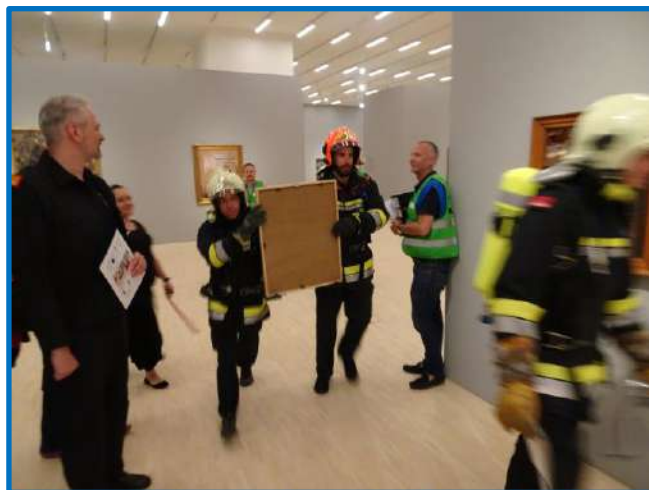
Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

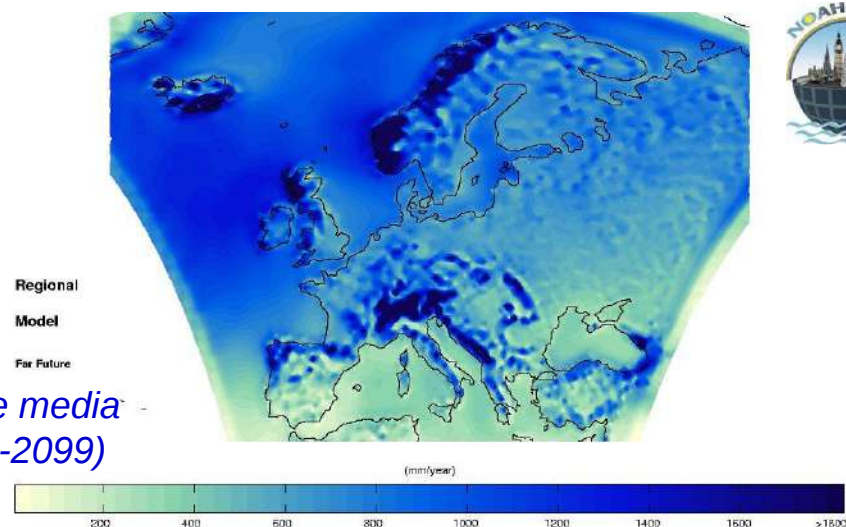
Strategia di Adattamento Climatico di Roma Capitale

Action Plan on the Sendai Framework Implementation Priority Key Area 4

MedECC Special Assessment Report Climate and Environmental Coastal Risks in the Mediterranean



Impatto variazioni graduali



Proiezioni 2010-2039, 2070-2099

- Progetto EC Noah's Ark
 - HadCM3, HadRM3
 - Funzioni di danno

Recessione superficiale
Termoclastismo
Biodegrado
Cristallizzazione sali
Annerimento

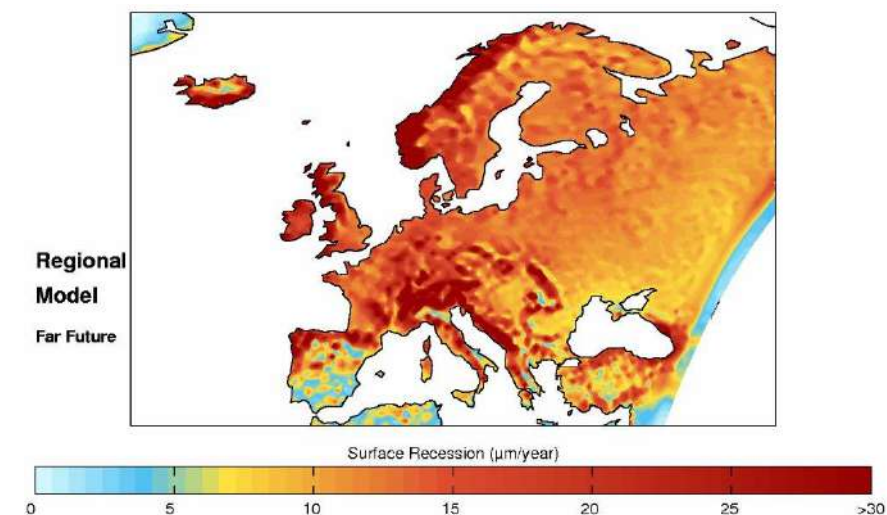


*Climatologia
Culturale*

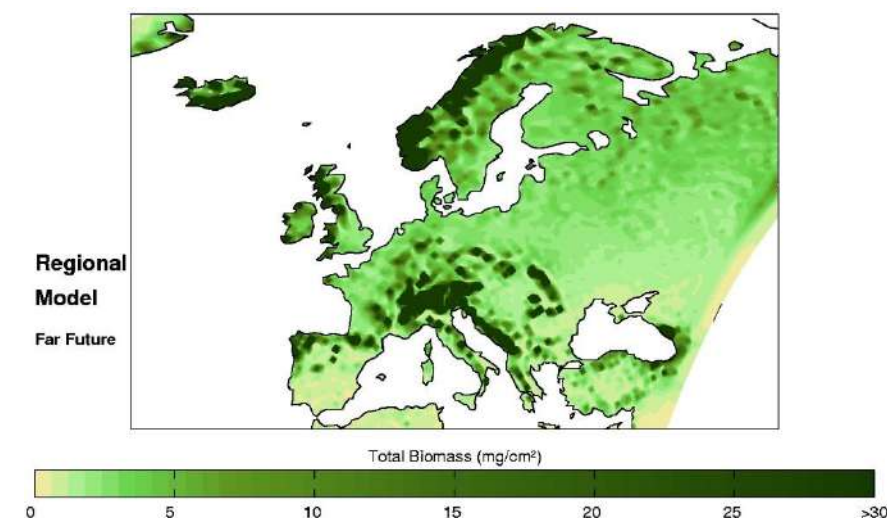
Impatti causati dalle variazioni graduali: Patrimonio costruito Roma



Processo di degrado/Impatto	Materiali	Condizioni esposizione	Proiezioni 2070-2099
Recessione superficiale	Marmo e calcare compatto	Diretto dilavamento UR elevata NO _x , SO ₂ , PM elevata	Max 30-35 µm/anno ↑
Termoclastismo (decoesione, disgregazione)	Marmo	Diretta esposizione a radiazione solare	>250-300 eventi di tensione interna del materiale superiori a 20 MPa. ↑
Biodegrado	-----	Aumento della T media, variazioni stagionali precipitazioni e concentrazioni inquinanti	Modifiche nei processi di accumulo di biomassa, tipologie specie biologiche
Cristallizzazione/dissoluzione sali (decoesione, disgregazione)	Materiali porosi (malte, arenarie, mattoni)	-----	> 35 cicli anno di UR intorno 75,5% ↑

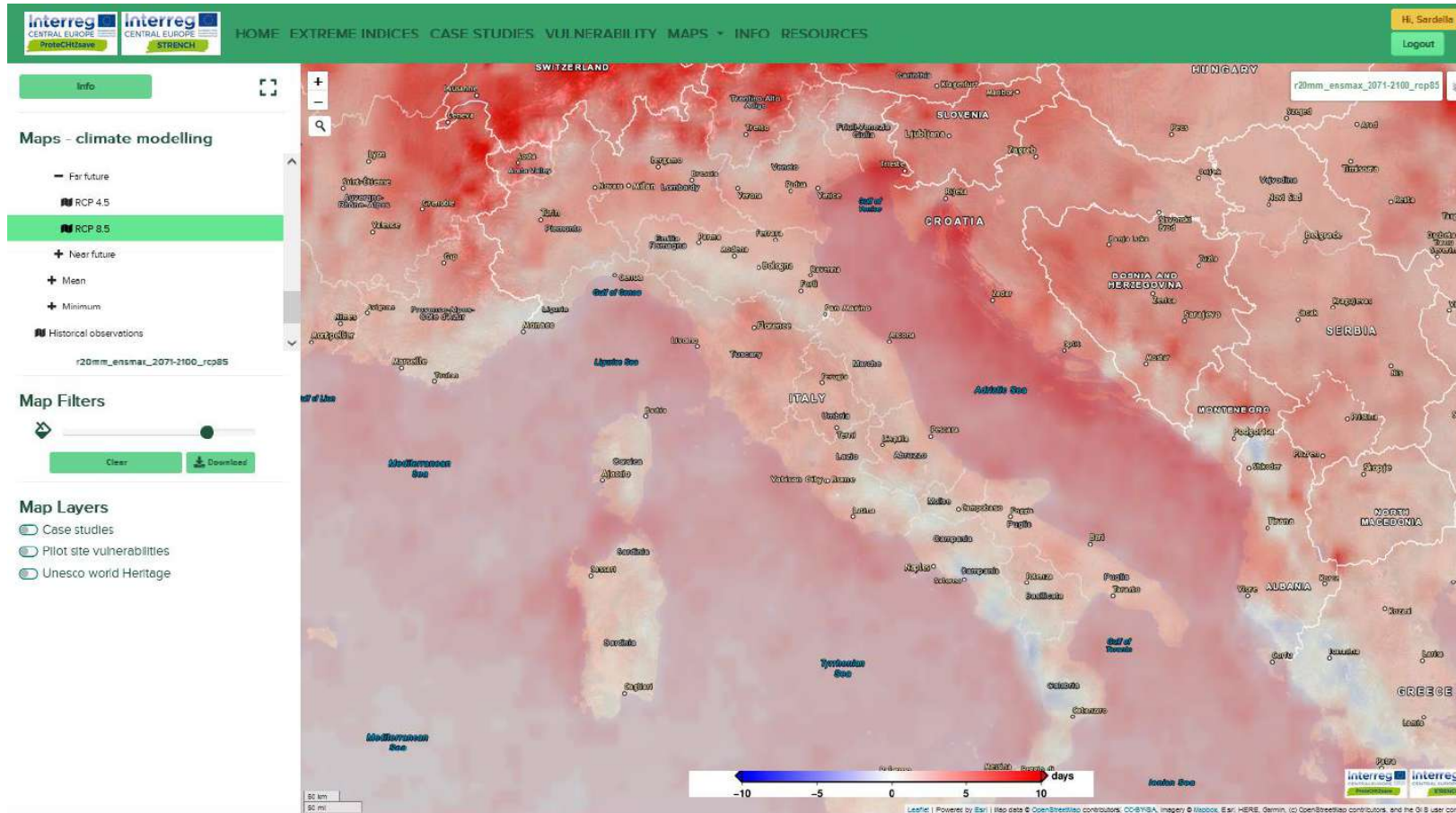


2070-2099



Impatto eventi meteo-climatici estremi Piattaforma Web GIS valutazione del rischio per il Patrimonio Culturale

<https://www.protecht2save-wgt.eu/>



Caciotti et al., *Climate Risk Management*, 2021
Bonazza et al., *IJDRR*, 2021
Bonazza & Sardella, *Heritage*, 2023
Caciotti et al., *IJDRS*, 2024



TAKING COOPERATION FORWARD



Impatto eventi meteo-climatici estremi

Regional scale

Hazard mapping

Impact linked to hydrometeorological extreme events

Climate extreme indices (ETCCDI/CCKP)

Precipitation (Rx5day, R20mm, ..)

Temperature (Tx99p, TR, ...)

Climate modelling

- E-OBS dataset
- Global and Regional climate models (GCM/RCM)
- ↳ 12 Single Models + Model ensemble statistics

Climate reanalysis by earth observation datasets

- Copernicus C3S ERA5 / ERA5 Land
- NASA GPM IMERG

Climate Maps

- Past 1950-2016 (E-OBS) – 25 km
- Near future (2021-2050) - RCPs 4.5/8.5 – 12 km
- Far future (2071-2100) - RCPs 4.5/8.5 – 12 km
- Past 1981 – 2021 (ERA5) – 25 km
- Past 1981 – 2021 (ERA5 Land) – 10 km
- Past 2000-2021 (IMERG) – 10 km

Historic changes and future scenarios

Hazard prone areas in Europe and Mediterranean Basin



HOME EXTREME INDICES CASE STUDIES VULNERABILITY MAPS ▾ INFO RESOURCES

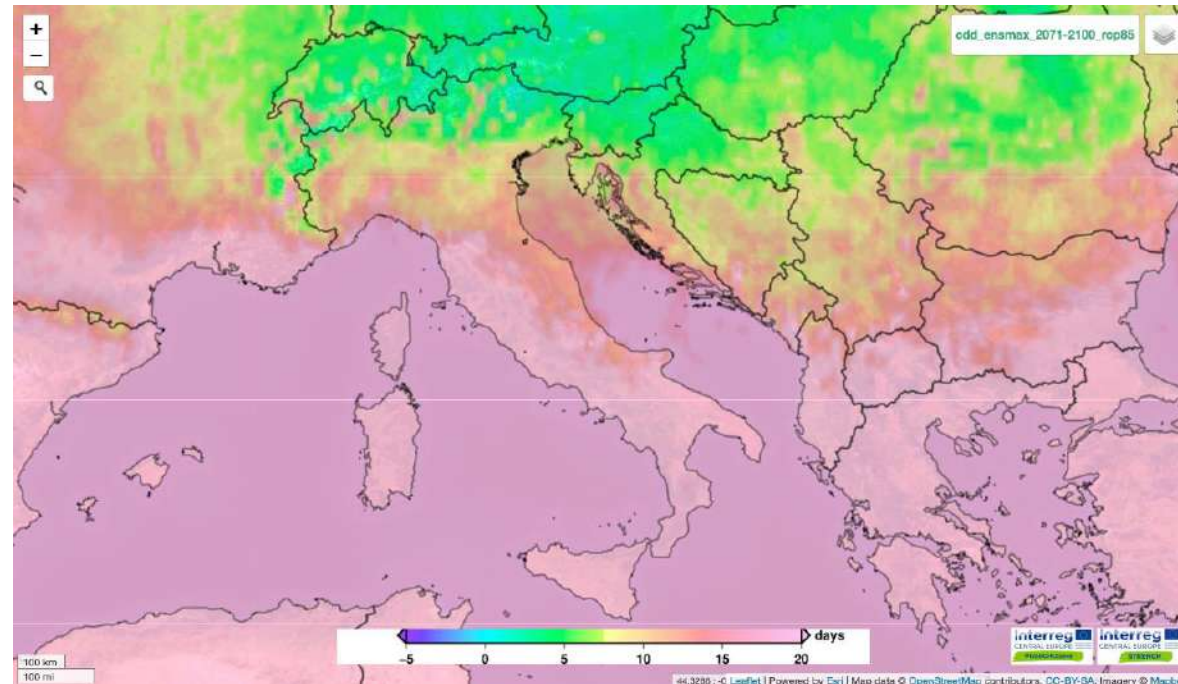
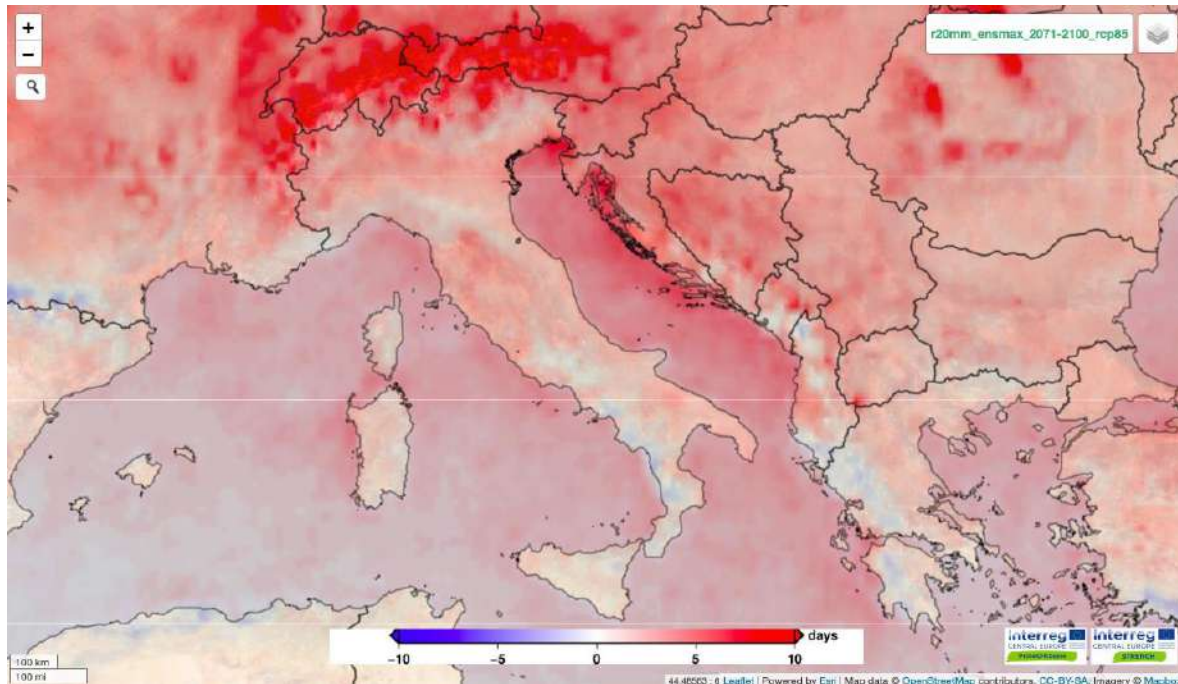
	E-OBS	C3S ERA5	C3S ERA5Land	NASA GPM IMERG	GCM/RCM future projection
R20mm	✓	✓	✓	✓	✓
R95pTOT	✓	✓	✓	✓	✓
Rx5day	✓	✓	✓	✓	✓
CWD		✓	✓	✓	
CDD	✓	✓	✓	✓	✓
CDD5		✓	✓	✓	
Tx90p	✓				✓
su30			✓		
HWI		✓	✓		
Tx99p		✓	✓		
TR			✓		

Bonazza and Sardella, Heritage 2023

<https://www.wcrp-climate.org/etccdi>

<https://www.climdex.org/learn/indices>

Eventi di pioggia intensa (R20mm) - Siccità (CDD)

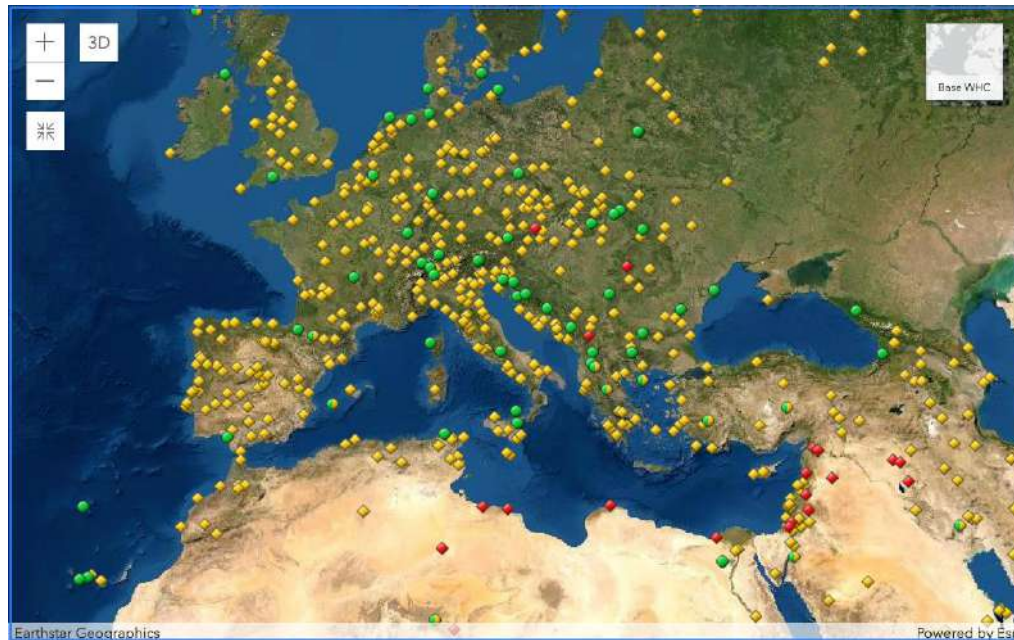


Aumento della intensità e frequenza di eventi di piogge intense erosione e danni strutturali alle facciate di monumenti ed edifici storici in materiale a prevalente composizione carbonatica in particolare se esposte a diretto dilavamento.

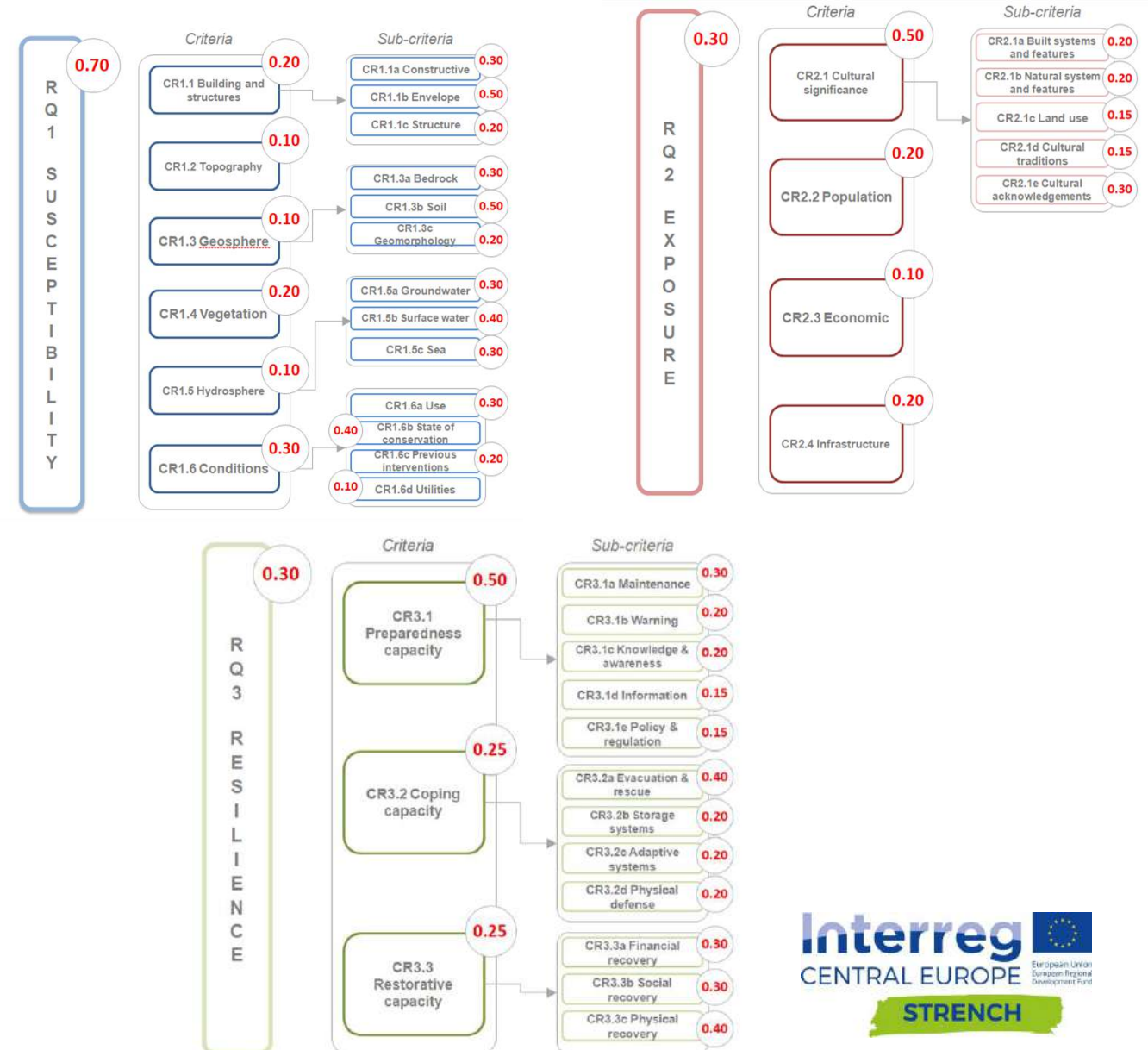
Intensificazione degli effetti del degrado biologico, cristallizzazione/dissoluzione di sali e presenza di umidità nelle murature a causa di allagamenti.

Aumento dell'annerimento e “soiling” delle facciate di monumenti ed edifici storici in seguito ad esposizione e deposizione di particolato emesso da incendi boschivi.

Valutazione vulnerabilità



<https://whc.unesco.org/>



APPLICAZIONE C3S - MODELLISTICA CLIMATICA - RISK MAPPING TOOL

EVENTI IDROMETEOROLOGICI ESTREMI

- ✓ Piogge intense
- ✓ Ondate di calore
- ✓ Prolungati periodi siccitosi
- ✓ Inondazioni

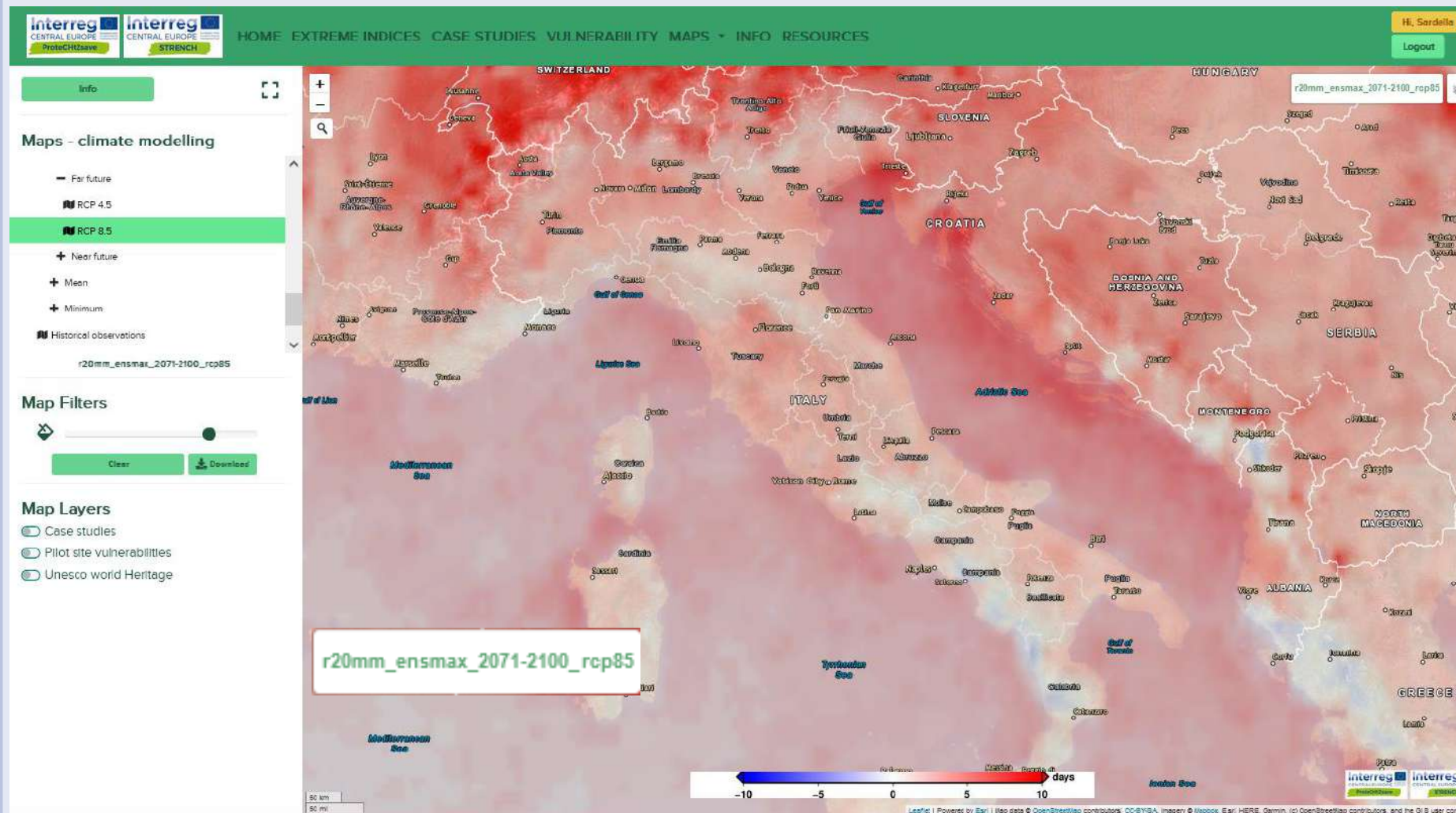
Indici di estremi climatici

Precipitazioni

- R20mm
- R95pTOT
- Rx5day
- CWD
- 1-in-50 return level
- CDD
- >5 days consecutive dry days
- RR

Temperatura

- Heat waves index
- Tx99p
- TR
- Su30
- Tx
- Tn



Slow cumulative damage



Damage Process	Damage function/Risk expression	Valid for	Climate/ Pollution parameters	
Surface recession	Lipfert (1989); Bonazza et al; (2009) $L = 18.8 \cdot R + 0.016 \cdot [H^+] \cdot R + 0.18 \cdot (V_{dS} \cdot [SO_2] + V_{dN} \cdot [HNO_3])$ L=surface recession per year (μm·year⁻¹); 18.8=intercept term based on the solubility of CaCO₃ in equilibrium with 330 ppm CO₂ (μm·m⁻¹); R=precipitation (m·year⁻¹); 0.016=constant valid for precipitation pH in the range 3–5; [H⁺]=hydrogen ion concentration (μmol·l⁻¹) evaluated from rain yearly pH; 0.18=conversion factor from (cm·s⁻¹) (μg·m⁻³) to μm; V_{dS}=deposition velocity of SO₂ (cm·s⁻¹); [SO₂]=SO₂ concentration (μg·m⁻³); V_{dN}=deposition velocity of HNO₃ (cm·s⁻¹) and [HNO₃]=HNO₃ concentration (μg·m⁻³). Kucera et al. (2007) $R = 3.95 + 0.0059 \cdot [SO_2] \cdot RH_{60} + 0.054Rain \cdot [H^+] + 0.078 \cdot [HNO_3] \cdot RH_{60} + 0.0258 \cdot PM_{10}$ R = surface recession per year (μm·year⁻¹), [SO₂] = SO₂ concentration (μm·m⁻³), RH₆₀ = is the measured relative humidity when RH=60% otherwise 0, Rain = amount of rainfall (mm) and [H⁺] = H⁺ concentration (0.0006–0.13 mg·l⁻¹), [HNO3] = HNO₃ concentration (μm·m⁻³), PM₁₀ = particulate matter concentration (μg·m⁻³). <td>Marble and limestone with porosity lower than 25%</td> <td> - Rain amount - Rain pH - Temperature - Relative humidity - Sulphur dioxide (SO₂) - Nitric acid (HNO₃) - Carbon dioxide (CO₂) - Particulate matter (PM) </td>	Marble and limestone with porosity lower than 25%	- Rain amount - Rain pH - Temperature - Relative humidity - Sulphur dioxide (SO₂) - Nitric acid (HNO₃) - Carbon dioxide (CO₂) - Particulate matter (PM)	
	Soiling/ Blackening	Kucera (2005) $R=R_0 \cdot \exp (-k_s \cdot PM_{10} \cdot t)$ R = reflectance after time t; t = time; R0 = initial value of reflectance; k_s = rate constant for blackening and PM10 = particulate matter concentration = 10 (μg·m⁻³). Brimblecombe and Grossi (2009) $-dR/dt = (R_0-R_p) \cdot Vd_{EC} \cdot EC/\tau$ dR=rate of change in reflectance of the material (clean stone); t=time; R₀=reflectivity of the clean stone; R_p=final reflectance of the crust; Vd_{EC}=deposition velocity of elemental carbon; EC=elemental carbon concentration (μg·m⁻³); τ=folding density (surface concentration of elemental carbon required to reduce the reflectivity by a factor e). Brimblecombe and Grossi (2009) $R_t = (R_0 - R_c) \cdot \exp(-k_t t) + R_c$ R_c=rate of reduction in reflectance; R₀= initial reflectance of the clean stone; R_c=reflectance of the deposited material; t=time; k_t=soiling constant. <td>Carbonate stones in general (sedimentary and metamorphic), mortars</td> <td> - Rain amount - Temperature - Relative Humidity - Sulphur dioxide (SO₂) - Particulate matter (PM) - Carbon fractions of particulate matter (PM): elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) </td>	Carbonate stones in general (sedimentary and metamorphic), mortars	- Rain amount - Temperature - Relative Humidity - Sulphur dioxide (SO₂) - Particulate matter (PM) - Carbon fractions of particulate matter (PM): elemental carbon (EC) and organic carbon (OC)
Biodeterioration Biomass accumulation		Gòmez-Bolea et al. (2012) $B=\exp (-0.964+0.003P-0.01T)$ B=Biomass accumulation (mg·cm⁻²); P=annual precipitation (mm); T=annual mean temperature (°C). <td>Siliceous stones</td> <td> - Rain amount - Temperature </td>	Siliceous stones	- Rain amount - Temperature
Thermoclastism		Bonazza et al., (2009) $\sigma_T = E \cdot \alpha \cdot (daily\Delta T_{air} + 20^{\circ}C)/(1 - \nu)$ σ_T=Maximum thermal stress (MPa); E = Young's modulus (GPa); α=Thermal expansion coefficient (K⁻¹); ΔT_{air}=T_{airmax}-T_{airmin} (°C); ν=Poisson's ratio. <td>Marble</td> <td> - Surface Temperature - Temperature </td>	Marble	- Surface Temperature - Temperature
Salt crystallization	Evaluation based on cycles per year/season of temperature and relative humidity (Sabbioni et al, 2010; Grossi et al., 2011; Menendez 2018) <td>Porous stones in general</td> <td> - Relative Humidity - Temperature </td>	Porous stones in general	- Relative Humidity - Temperature	

Caratterizzazione dei materiali
Test di esposizione in campo
Analisi in laboratorio
Test in camera di simulazione
Sviluppo di funzioni di danno
Monitoraggio ambientale in situ
Modellistica climatica
Osservazioni della Terra

