

# DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

## Fattori climatici

Precipitazioni, Umidità Relativa [1].

## Altri fattori

Inquinanti atmosferici:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ .

## Caratterizzazione impatto



Le precipitazioni rappresentano il principale fattore climatico che influisce direttamente sul fenomeno di recessione superficiale dei beni culturali lapidei. L'acqua piovana, sia in un'atmosfera non inquinata che in presenza di sostanze inquinanti, favorisce la dissoluzione chimica delle superfici di natura carbonatica e la conseguente perdita di materiale.

Dal punto di vista della recessione superficiale, le precipitazioni abbondanti, in grado di dilavare la superficie di un materiale, potrebbero risultare meno pericolose delle piogge leggere, che invece attivano e trattengono, per più tempo, le sostanze inquinanti aggressive sulla superficie del bene [2].



Le precipitazioni cumulate favoriscono il processo di dissoluzione chimica del materiale lapideo, quindi il danno. Nelle aree maggiormente caratterizzate dalle precipitazioni (presso le catene montuose) la recessione superficiale potrebbe aumentare; viceversa, nelle zone caratterizzate da minori precipitazioni, il danno potrebbe risultare minore.

## Relazione causa-effetto



La dissoluzione chimica dei materiali lapidei è attribuibile all'azione sinergica dei fattori climatici e dell'inquinamento atmosferico. Le precipitazioni rappresentano il mezzo attraverso il quale le sostanze inquinanti, contenute nell'atmosfera, reagiscono chimicamente con i materiali causandone il deterioramento.



Foto: Marei Sellin

## Scenario futuro



Il potenziale danno causato dai cambiamenti climatici al patrimonio culturale di natura calcarea è stato analizzato nel progetto *Noah's Ark* [3].

In tale studio sono state elaborate le mappe di recessione superficiale a livello europeo per il periodo 2070-2099.

In questo scenario futuro, la recessione superficiale stimata nell'Europa Meridionale, inclusa l'Italia, dovrebbe registrare, in generale, una diminuzione anche se, nelle aree montuose (Alpi e Appennini), la perdita di materiale potrebbe aumentare rispetto al trentennio di riferimento (1961-1990), in quanto si tratta di zone caratterizzate da maggiori precipitazioni.



Numeri e messaggi chiave

La recessione superficiale calcolata per il materiale calcareo, al 2024, è compresa tra 4,4 µm e 6,5 µm. Risulta quindi inferiore al valore target per il 2020 (8,0 µm) e di poco superiore al valore target per il 2050 raccomandato in letteratura [5]. I valori più alti (intorno a 6 µm) sono stati stimati nel Nord Italia, area caratterizzata in particolare da precipitazioni più intense. I valori dell'indicatore, calcolati a livello nazionale nel periodo 2016-2020, non mostrano evidenti trend di crescita o decrescita; la recessione superficiale media è di circa 5,0 µm con un valore più basso stimato per il 2017 (4,8 µm), e un valore più alto (5,2 µm) per il 2018.

Descrizione

La recessione superficiale viene utilizzata per quantificare la perdita di materiale dei beni culturali lapidei in funzione delle precipitazioni cumulate e degli inquinanti atmosferici.

Scopo

L'obiettivo dell'indicatore è quello di stimare, a livello nazionale, la recessione superficiale per i beni culturali di natura calcarea e quindi di individuare le aree in cui questo indicatore risulti superiore ai valori indicati in letteratura.

Frequenza rilevazione dati

Annuale

Unità di misura

µm

Periodicità di aggiornamento

Annuale

Copertura temporale

2016 -2024

Copertura spaziale

Nazionale

Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

Metodologia di elaborazione

La recessione superficiale è stata calcolata applicando la seguente funzione dose-risposta presente in letteratura [4]:  
$$R = 4 + 0.0059[SO_2] RH_{60} + 0.054Rain[H^+] + 0.078 [HNO_3] RH_{60} + 0.0258 PM_{10}$$
  
con R= recessione superficiale (µm); Rain = precipitazioni (mm/anno);  
RH<sub>60</sub> = umidità relativa (RH) con RH> 60, altrimenti RH<sub>60</sub>= 0; [H<sup>+</sup>] = concentrazione media annua di H<sup>+</sup> nelle precipitazioni (quando [H<sup>+</sup>] è 0.0006 – 0.13 mg l<sup>-1</sup> ); [SO<sub>2</sub>], PM<sub>10</sub>= concentrazione media annua (µg/m<sup>3</sup>) di biossido di zolfo e particolato atmosferico, [HNO<sub>3</sub>]= concentrazione media annua (µg/m<sup>3</sup>) di acido nitrico con [HNO<sub>3</sub>] = 516 x e (-3400/(T+273)) x ([NO<sub>2</sub>]x[O<sub>3</sub>] xRH)0.5 [6]. Poiché la concentrazione di [H<sup>+</sup>] registrata in Italia, nel periodo considerato, non è compresa nell'intervallo 0.0006–0.13 mg l<sup>-1</sup> [7], il termine 0.054Rain[H<sup>+</sup>] è stato trascurato [3].

Criteri di selezione

Rilevanza - utilità
➤ Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
➤ Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
➤ Semplice e facile da interpretare
➤ Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
➤ Rappresentativo di condizioni ambientali, Pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
➤ Fornisce una base per confronti a livello internazionale
➤ Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività
Misurabilità
➤ Documentato e di qualità nota (accessibilità)
➤ Aggiornato secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
➤ Disponibile su un rapporto costi/benefici
➤ Buona copertura spaziale
➤ Copertura temporale > 10 anni
Solidità scientifica
➤ Basato su standard nazionali/internazionali
➤ Ben fondato in termini tecnici e scientifici
➤ Correlato a modelli economici, Previsioni e sistemi di informazione
➤ Attendibile e affidabile Per metodi di misura e raccolta dati
➤ Comparabile nel tempo
➤ Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

Per il calcolo dell'indicatore di recessione superficiale sono stati utilizzati i prodotti dei servizi Copernicus. Nello specifico, per l'inquinamento atmosferico sono state elaborate le concentrazioni medie annue, fornite dal Servizio CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) con una risoluzione spaziale di  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . In particolare sono stati utilizzati i dati ottenuti con il modello Ensemble (Copernicus Atmosphere monitoring Service Report, 2015).

Per i dati climatici sono stati elaborati i prodotti del Servizio C3S (Copernicus Climate Change Service) con una risoluzione spaziale di  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . I dati di input sono accessibili sui siti:

<https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-reanalyses?tab=form>  
<https://cds.climate.copernicus.eu/#/home>  
[https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2018-08/CAMS\\_Dossier7\\_ENSEMBLE\\_vf.pdf](https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2018-08/CAMS_Dossier7_ENSEMBLE_vf.pdf)

### Qualità dell'informazione

Il calcolo dell'indicatore è stato ottenuto da dati di input stimati mediante un modello di dispersione atmosferico, quindi la qualità dell'informazione può risentire dell'incertezza associata ai dati di partenza.

### Limitazioni e possibili azioni

La funzione applicata per il calcolo della recessione superficiale consente una stima del danno che, tuttavia, può non rendere completamente conto della complessità dei processi di degrado strettamente connessi alle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costituenti il patrimonio culturale.

### Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.
2. Camuffo D., Del Monte M., Sabbioni C., "Influenza delle precipitazioni e della condensazione sul degrado superficiale dei monumenti in marmo e calcare", 1986, Ministero per i beni e le attività culturali-Bollettino d'Arte, 15-36.
3. Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., Grossi C. M., Brimblecombe P., "Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe", Science of the Total Environment, 407 (2009) 2039 – 2050.
4. Spezzano P., "Mapping the susceptibility of UNESCO World Cultural Heritage sites in Europe to ambient (outdoor) air pollution", Science of the Total Environment, 754, 2021, 142345.
5. "Indicators and targets for air pollution effects" (Working Group on Effects, 2009)
6. MULTI-ASSESS. Model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage. Deliverable 02. Publishable Final Report; 2007.
7. <https://ebas.nilu.no/>

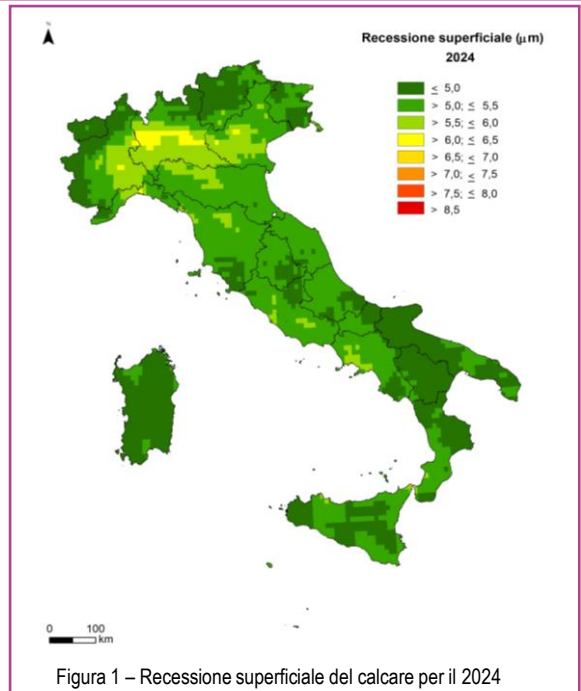


Figura 1 – Recessione superficiale del calcare per il 2024

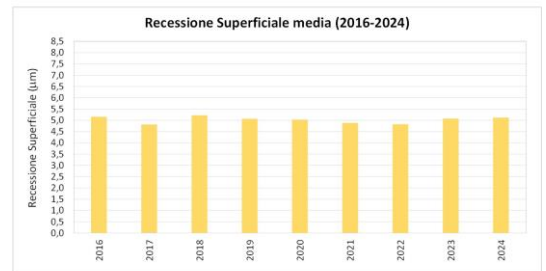


Figura 2 - Recessione superficiale media (2016-2024), stimata a livello nazionale

### Commento al trend



La recessione superficiale dei materiali lapidei calcolata per il 2024 (Figura 1) è compresa 4,4  $\mu\text{m}$  e 6,5  $\mu\text{m}$ . La recessione superficiale media a livello nazionale, nel periodo 2016-2024 (Figura 2), è di circa 5,0  $\mu\text{m}$  con un valore più basso stimato per il 2017 (4,8  $\mu\text{m}$ ), e un valore più alto (5,2  $\mu\text{m}$ ) per il 2018. I valori dell'indicatore, calcolati a livello nazionale nel periodo 2016-2024, mostrano un trend stabile.

### Referente:

Raffaella Gaddi – ISPRA

[raffaella.gaddi@isprambiente.it](mailto:raffaella.gaddi@isprambiente.it)