

L'interazione inquinanti/beni culturali

di Luciano Morselli ed Elena Bernardi

Nel presente articolo è brevemente illustrata la complessità della problematica del degrado e della conservazione dei beni culturali. Vengono riportati i principali fattori di degrado, con particolare attenzione all'effetto degli inquinanti atmosferici ed alla loro interazione con i materiali. Sono inoltre presentate le più recenti direttive europee riguardo la prevenzione del danno, introducendo il concetto fortemente innovativo di livello critico degli inquinanti. In conclusione si propone un percorso di linee guida per giungere ad una definizione di livello critico e per una corretta gestione dei beni culturali in una città storica.



Nell'ambito delle diverse problematiche legate alla qualità dell'aria nelle città, un aspetto non trascurabile è quello della stretta relazione, della quale vi è ormai chiara evidenza, fra l'inquinamento atmosferico (secondo stime nazionali per alcuni inquinanti ben il 70-80% di tutte le emissioni prodotte ricade all'interno delle aree urbane [1]) e l'accelerazione del degrado dei beni culturali [2, 3].

I fattori che concorrono al degrado di un bene culturale sono di diversa origine, da quella naturale ed inevitabile a quella antropica, e possono essere distinti in fisici, chimici e biologici (Tabella 1).

Tali fattori interagiscono continuamente in maniera ciclica o sinergica [4] per cui i loro contributi sono difficili da scindere e l'effetto complessivo sui materiali è, in genere, superiore alla somma dei singoli effetti. Inoltre, per quanto riguarda l'aspetto chimico, ogni inquinante presenta un'aggressività diversa sulle diverse tipologie di manufatto a seconda delle sue caratteristiche chimico-fisiche e della natura del materiale stesso (Tabella 2). A parità di materiale poi il degrado non è direttamente proporzionale alla concentrazione d'inquinante, ma dipende, oltre che dalle condizioni microclimatiche e meteorologiche, dalla sua interazione con altre specie: è stata ad esempio dimostrata l'esistenza di forti sinergie tra NO_x ed SO_x e fra SO_x ed O_3 [5].

La necessità di considerare molteplici aspetti rende estremamente complesso interpretare tutti i processi che si verificano e fornire modelli in grado di predire efficacemente la velocità di degrado dei materiali. Tuttavia cercare di conoscere i meccanismi che intervengono è indispensabile per poter scegliere gli strumenti tecnico-scientifici più idonei per una corretta diagnostica alla quale far seguire corretti interventi di restauro e preservazione e, soprattutto, per definire misure di prevenzione

del degrado, attraverso un'opportuna riduzione della contaminazione ambientale ed un'adeguata collocazione delle opere.

Linee guida per la preservazione dei beni culturali nella città storica

La legislazione nazionale sul tema della prevenzione del degrado dei beni culturali risulta attualmente carente essendo i limiti degli inquinanti fissati esclusivamente in relazione alla salute umana o alla protezione della vegetazione. L'importanza di una legislazione in questo senso è stata invece recepita a livello europeo: la direttiva 96/62/CE ha infatti fra le sue finalità quella di stabilire obiettivi di qualità dell'aria per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso e, tra i fattori da considerare nel fissare i "valori limite", cita anche il "patrimonio storico esposto agli inquinanti". La stessa finalità è ripresa nella più recente Direttiva 99/30/CE. Inoltre il V Programma Quadro della UE (1998-2002), nell'azione chiave denominata "The city of tomorrow and cultural heritage", inserisce fra le priorità lo sviluppo di "misure di tutela del patrimonio culturale contro i rischi naturali e quelli insiti nelle tecnologie" e di "metodi, compresa la valutazione dei rischi, che agevolino un'integrazione armoniosa ed efficace del patrimonio culturale nella morfologia urbana": in tale ambito il testo prevede anche una ripartizione dei danni sul patrimonio artistico ed una migliore predizione dei danni dovuti all'inquinamento con conseguente identificazione dei livelli di soglia per gli inquinanti, al di sopra dei quali la condizione del patrimonio culturale sia da ritenere a rischio.

Questi ultimi possono essere ricavati elaborando specifiche funzioni, dette "dose-risposta", che correlano il danno alla concentrazione dei vari inquinanti, in relazione ai parametri climatici [8]:

$K = \text{dry (T, Rh, [inquinanti]), t} + \text{wet (Rain, [H}^+\text{]), t}$

L. Morselli, E. Bernardi, Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali, Università di Bologna. morselli@ms.fci.unibo.it

Tabella 1 - Classificazione dei fattori di degrado dei beni culturali

<i>Fattori fisici</i>	Temperatura	Sue variazioni provocano espansione meccanica, variazione nel tenore d'acqua, shock termici. Influenza la crescita microbica
	Acqua e umidità	È il principale solvente e "mezzo reattivo" per gli inquinanti atmosferici: l'interazione liquido-solido è in genere più efficace dell'azione diretta dei gas
	Vento	Causa erosione, determina violenza e impatto delle precipitazioni, influenza velocità d'evaporazione, trasporto e diffusione degli inquinanti
	Radiazioni luminose	Interagiscono con strutture cristalline, provocano foto-ossidazione, influenzano la crescita di vegetali
<i>Fattori biologici</i>	Microrganismi, alghe, licheni, piante infestanti	Le condizioni di crescita dipendono dalle superfici, dal tipo di approvvigionamento di energia e nutrienti
	Deiezioni animali	Oltre allo sporco determinano attacco chimico sui materiali
<i>Fattori chimici</i>	Gas	Comprendono sostanze acide, basiche o ossidanti: SO _x , NO ₂ , HNO ₃ , HCl, HF, acidi organici, NH ₃ , O ₃ , CO ₂ , idrocarburi pesanti e leggeri, composti di metalli pesanti
	Aerosol	Possono contenere sali aggressivi e sostanze acide
	Particelle	Le più pesanti provengono da combustione incompleta, contengono fuliggine, materiale catramoso, tracce di metalli pesanti
	Deposizioni	Possono contenere ioni aggressivi (H ⁺ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ⁼ , NO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ ...) che degradano diversi tipi di materiali

Tabella 2 - Tipologie di danno di diversi materiali in relazione agli inquinanti ed alle condizioni ambientali

<i>Materiale</i>	<i>Principali fattori ambientali</i>	<i>Principali inquinanti</i>	<i>Tipo di danno</i>
Edifici in pietra e laterizi	umidità, precipitazioni, escursioni termiche, sali solubili, vibrazioni, agenti biologici	SO _x , materiale particellare	formazione di croste nere: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (il colore nero è dato da particelle carboniose inglobate nel gesso e molto attive nel catalizzare l'ossidazione di SO ₂ ad H ₂ SO ₄ [6, 7]); formazione e/o attivazione di sali solubili all'interno del materiale
		CO, CO ₂	solubilizzazione della parte carbonatica, sbriciolamento del materiale lapideo $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
		NO _x	disgregazione del materiale lapideo; formazione e/o attivazione di sali solubili all'interno del materiale $\text{CaCO}_3 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ [5]
		materiali di restauro organici	probabile causa della formazione superficiale di ossalato di calcio
Dipinti murali all'interno	umidità, sali solubili, escursioni termiche, vibrazioni, agenti biologici	gas acidi (preval. SO _x), CO ₂ , materiale particellare	erosione superficiale; scolorimento; sporco
		idrocarburi pesanti	effetto solvente sugli oli; se depositati danno effetto idrorepellente
Metalli all'aperto	umidità, sali solubili	gas acidi (preval. SO _x) materiale particellare	corrosione; sporco
		HCl (su bronzo)	"cancro" del bronzo (formazione sali verdi): $4\text{HCl} + 4\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{CuCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{CuCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + 4\text{HCl}$
Materiali cellulosici, tessuti e tele	umidità, luce solare, sollecitazioni meccaniche, agenti biologici	SO _x , NO _x , O ₃ , materiale particellare	infragilimento, attenuazione e cambiamento del colore, sporco
		idrocarburi leggeri	solubilizzazione dei trattamenti superficiali e conseguente attacco di inquinanti
Cuoio	umidità, luce solare, sollecitazioni meccaniche	SO _x , NO _x , O ₃ , materiale particellare	infragilimento, cambiamento di colore, sporco, polverizzazione superficiale

dove K=degrado, T=temperatura, Rh=umidità relativa %, []=concentrazione, t=tempo, Rain=quantità di precipitazione. Considerando che le città, sono in genere composte da un "mosaico di ecosistemi" molto diversi fra loro (centro storico, città moderna, parchi, area industriale...) [2], possono presentare beni disomogenei per tipo di materiale, età e caratteristiche e specie chimiche di aggressività differente, la definizione dei livelli critici per i beni culturali richiede ancora approfonditi studi sul campo; è però possibile tracciare qui alcune linee guida fondamentali di un percorso orientato in tal senso. Esse comprendono: il censimento dei beni culturali presenti sia outdoor sia indoor; un approfondito studio diagnostico degli stessi; il monitoraggio delle condizioni climatico-ambientali e delle specie aggressive presenti in atmosfera e nelle deposizioni secche e umide; l'individuazione ed il campionamento in prossimità di importanti manufatti artistici di traccianti specifici del degrado (per esempio NO_x e SO_x) connessi con le principali fonti di contaminazione (traffico, fonti civili, attività industriali); l'estrapolazione di dati relativi all'inquinamento atmosferico nei diversi luoghi della città ove siano presenti beni culturali, anche attraverso l'uso di modelli diffusionali; la valutazione delle possibili interazioni tra beni censiti e specie chimiche presenti nell'ambiente in cui sono collocati e degli effetti conseguenti.

Conclusioni

La conservazione del patrimonio artistico rappresenta una problematica estremamente attuale e molte sono ancora le cono-

scenze da approfondire nel campo dell'interazione inquinanti atmosferici/beni culturali. La sfida dei prossimi anni, come indicato dai documenti europei dedicati allo sviluppo sostenibile, sarà dunque quella di definire livelli di soglia degli inquinanti che consentano la formulazione di specifiche direttive per una tutela efficace.

Bibliografia

- [1] ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (1999), Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria in Italia, Serie Stato dell'Ambiente 6/1999, Roma, dicembre 1999.
- [2] L. Morselli, *Equilibri - Rivista per lo sviluppo sostenibile*, 2002, **1**, 55.
- [3] S. Lorusso *et al.*, La qualità dell'aria nei centri storici e la tutela dei manufatti d'interesse storico-artistico, Atti della conferenza "La chimica dei beni culturali: l'ambiente, la diagnostica, la conservazione", Urbino, 4-5 ottobre 2000.
- [4] C. Sabbioni, Effetti dell'inquinamento urbano sui beni culturali, in Arie di Città - la qualità dell'aria in ambiente urbano, I Quaderni di ARPA, ARPA 2000, 465.
- [5] V. Kucera, S. Fitz, *Water Air and Soil Pollution*, 1995, **85**, 153.
- [6] V. Fassina, *Bollettino d'arte*, 1987, suppl. n. 41, 37.
- [7] C. Sabbioni *et al.*, *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**, 621.
- [8] UN/ECE, Text 71/96, Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Level/loads and Geographical Areas where they are exceeded, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Berlin, 1996, cap. 4.