

Giovanni Tortorici
Vincenzo Zito

LE PROVE NON DISTRUTTIVE PER LA PREVENZIONE DEL DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

estratto da:

Regione Puglia
Assessorato Industria, Commercio e Artigianato
Associazione Nazionale Ingegneri Minerari

III Convegno Nazionale su:
**ATTIVITÀ ESTRATTIVA
DEI MINERALI DI 2^a CATEGORIA**
coltivazione, valorizzazione e normative
regionali e nazionali

Atti delle giornate di studio
Bari, 17-19 gennaio 1985

Regione Puglia
Assessorato Industria, Commercio e Artigianato
Associazione Nazionale Ingegneri Minerari

III Convegno Nazionale su:

**ATTIVITÀ ESTRATTIVA
DEI MINERALI DI 2^a CATEGORIA**
coltivazione, valorizzazione e normative
regionali e nazionali

Atti delle giornate di studio

Bari, 17-19 gennaio 1985

LE PROVE NON DISTRUTTIVE PER LA PREVENZIONE DEL DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

Giovanni Tortorici (*)
Vincenzo Zito (*)

Sommario

La manutenzione dei manufatti edilizi costituisce uno degli aspetti più importanti della problematica del recupero e restauro del patrimonio edilizio storico-monumentale. In particolare i materiali lapidei, di cui sovente questi edifici sono costituiti, richiedono particolari attenzioni nella prevenzione ed analisi delle varie forme di degrado, a cui sempre con maggior rapidità e frequenza vanno soggetti.

L'uso di tecniche non distruttive di indagine sui materiali lapidei, e la termografia in particolare, può costituire un notevole ausilio per l'individuazione precoce dei processi di degrado, con particolare riferimento al fatto che oggi, implicazioni di ordine culturale, portano ad escludere, o a limitare, indagini distruttive su parti, anche notevolmente degradate, dei manufatti di interesse storico o artistico.

Summary

The building maintenance is one of the most important aspects in the field of retrieval and rehabilitation of the historical and monumental building patrimony. In particular the stones, of which often these buildings are made, want a particular attention in preventing and analysis of different kinds of degrading that operate now with an light frequency on materials.

The non destructive tests on stones, and thermography in particular, are remarkable helps in early individuation of degrading processes, also with reference to the limitations that today, implications of a cultural nature brings to exclude, or to limit, destructive tests on parts, even though with an high degrading, of buildings with historical or artistic interest.

Introduzione

L'attuale fermento nello studio del recupero edilizio, inteso sia come re-

cupero a scala urbana e sia per il singolo edificio, trova le sue radici nella generale rivalutazione che viene operata del patrimonio edilizio esistente, considerato anche patrimonio culturale, oltre che economico, in molti casi di inestimabile valore.

Tale fermento ha assunto proporzioni così rilevanti da interessare persino il legislatore, nazionale o regionale che sia, solitamente lento a recepire innovazioni. Le norme di salvaguardia dei centri antichi e quelle finalizzate a favorire il recupero del patrimonio residenziale esistente, quali il Titolo IV legge n. 457/1978, rappresentano il frutto principale di questo interesse.

Una branca della ricerca scientifica specifica si è occupata particolarmente delle cause di degrado dei materiali impiegati per la costruzione degli edifici oggetto di restauro o recupero, nonché dei rimedi da porre in essere per combattere tali cause. Pertanto i problemi connessi col degrado dei materiali da costruzione, ed in particolare di quelli naturali, hanno destato soprattutto l'interesse dei chimici e dei geologi, i quali dopo aver analizzato le varie cause di degrado e come queste interagiscano con i diversi materiali, hanno messo a punto tecniche varie finalizzate alla pulitura, consolidamento e conservazione dei materiali in quanto tali, compatibilmente con le altre esigenze artistico-culturali.

Si tratta quindi di interventi a posteriori, che si concretizzano solitamente nel momento in cui il processo di degrado non solo è già avviato, ma ha anche raggiunto livelli di guardia non più tollerabili.

Cause del degrado

Converrà qui richiamare brevemente, anche se già note, le principali cause del degrado dei materiali impiegati nelle costruzioni, con particolare riferimento a quelli naturali e con un richiamo a quelle condizioni che producono processi debilitanti accelerati.

Le cause di degrado possono racchiudersi essenzialmente nelle seguenti categorie:

- le azioni chimiche;
- le azioni fisiche;

— le azioni biologiche o microbiologiche.

Queste, solitamente, non agiscono mai isolatamente ma esplicano una azione combinata che ne esalta gli effetti negativi.

L'acqua rappresenta una delle principali cause di degrado, sia chimica che fisica. In assenza di acqua nessuna reazione chimica è possibile a temperatura ambiente, non si può verificare migrazione o cristallizzazione di sali solubili presenti nella pietra, né è possibile ai gas acidi presenti nell'atmosfera di venire a contatto con i solidi in quantità sufficiente per produrre effetti apprezzabili.

Molto brevemente si può dire che l'acqua, presente nelle pietre per assorbimento capillare dalle fondazioni o dalle superfici esposte, sulle quali si verificano condensazioni, scioglie i sali solubili ivi presenti e ne provoca la trasmigrazione verso le superfici di evaporazione, dove questi ricristallizzano. Il fenomeno della ricristallizzazione, che si verifica negli strati superficiali, provoca un'espansione di questi ultimi che, con il ripetersi del ciclo, conduce alla formazione di una crosta superficiale di notevole durezza mentre lo strato sottostante, d'onde provengono i cristalli, si indebolisce progressivamente.

Quando poi all'acqua si associano altri agenti modificatori del processo di degrado, questo ne risulta notevolmente accelerato e le conseguenze devastanti. La presenza di sale marino, ad esempio, consente la condensazione molto al disotto del 100% di umidità relativa. Inoltre, a causa dell'odierno inquinamento atmosferico, l'acqua diventa veicolo di penetrazione dell'acido solforico proveniente dall'aria per condensazione, e l'attacco viene esteso anche al materiale cementante che viene così trasformato in sali solubili. La stessa ricristallizzazione dei sali al disotto della crosta superficiale può avere effetti dirimenti, soprattutto se accompagnata dall'azione meccanica esercitata dagli sbalzi termici, i quali favoriscono la formazione di microfessurazioni. Queste ultime consentono l'ulteriore infiltrazione di acqua dall'esterno, il che

(*) C.N.R. Istituto per la Residenza e le Infrastrutture Sociali (IRIS) - via Re David, 200 Bari.

costituisce una nuova superficie di attacco sia sotto le forme già esposte sia sotto forma di coni di ghiaccio quando la temperatura scende a valori inferiori ai 0 °C.

In quest'ultimo caso tale azione si associa a quella che il gelo provoca direttamente sulle pietre, determinando il distacco di pezzi di superficie o la totale disgregazione dei materiali, a causa degli enormi sforzi meccanici prodotti nello stesso. Questi effetti sono tanto maggiori quanto maggiori sono le dimensioni dei singoli blocchi.

Alcune caratteristiche della pietra, quali la porosità o il grado di resistenza del materiale cementante, influiscono sul grado di attaccabilità alle azioni distruttive, così come la stratificazione in direzione parallela ai piani di sedimentazione è quella in cui il materiale è meccanicamente più debole, pertanto anche il posizionamento degli strati rispetto alle superfici di erosione è importante nell'evolversi del processo di degrado.

Il problema della prevenzione

Come si è accennato, quindi, la presenza eccessiva di acqua, prevalentemente sotto forma di umidità, oltre a rendere malsani ed inabitabili gli edifici interessati, costituisce la causa più frequente del degrado dei materiali di cui lo stesso è composto e favorisce l'attaccamento di altre cause secondarie. L'eliminazione dell'acqua esuberante è quindi un passo obbligato per avviare un corretto processo di prevenzione del degrado.

Nelle murature l'acqua può essere presente esclusivamente per le seguenti cause:

- a) per ascensione capillare del sottosuolo;
- b) per condensazione dall'aria;
- c) per invasione dalle coperture.

E da escludere che l'acqua piovana possa attraversare le murature colpite dalla pioggia a vento perché le misure di umidità effettuate sui casi concreti hanno permesso di accertare che la pioggia battente non penetra nelle murature se non per pochi centimetri e che conseguentemente l'eventuale presenza di acqua sulla faccia interna, è dovuta esclusivamente a fenomeni di condensazione.

L'umidità proveniente dal terreno solitamente presenta due tipi di alimentazione:

- da acque disperse;
- da falda freatica.

La presenza di acque disperse nei pressi delle fondazioni ha carattere accidentale e più frequentemente proviene da perdite della rete idrica e fognante, da pozzi, o dalla dispersione superficiale di acque piovane che, insufficientemente raccolte, vengono a contatto della muratura poco al disotto del piano campagna.

L'attacco dell'umidità da acque di-

spese si presenta spesso con manifestazioni imponenti ma localizzate, a volte anche con oscillazioni periodiche. Diversamente, l'umidità proveniente da falda freatica attacca l'edificio con uniformità, è comune ad un gruppo di edifici, risente delle conseguenze dell'esposizione al sole e non presenta oscillazioni cicliche.

Naturalmente anche la composizione della muratura influisce nell'attaccamento del fenomeno. Esso è più omogeneo e rapido se la muratura è composta da mattoni o da materiale poroso (tufo) mentre è tanto più lento nelle murature in pietrame quanto più grossi sono i conci di cui lo stesso è costituito.

In ogni caso l'umidità proveniente dalle fondazioni non supera mai determinate altezze che, solitamente, sono dell'ordine di 2-3 metri dal piano campagna.

L'umidità di condensazione deriva dal raffreddamento dell'aria umida, con conseguente saturazione e deposito dell'acqua eccedente. Sul verificarsi del fenomeno influiscono, com'è noto, la pressione atmosferica, la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la temperatura delle pareti del contenitore. Essa ha un andamento stagionale e si presenta nelle due forme principali di invernale ed estiva. Quella invernale si manifesta quando le murature di un edificio non sono sufficienti a proteggerlo contro il freddo dell'aria esterna mentre a quella estiva vanno soggetti i locali posti a diretto contatto con il suolo, le cui masse murarie sono ancora fredde per inerzia termica. Quest'ultimo è caratteristico negli edifici storico-monumentali, date le enormi masse costituite dalle murature.

Questo tipo di umidità è accertabile soltanto con la misura istantanea delle temperature dei pavimenti, pareti e soffitti dei locali interessati a mezzo di termometri ottici a raggi infrarossi. Questi strumenti consentono di misurare la temperatura superficiale dei corpi a distanza mediante l'intercettazione della radiazione infrarossa emessa dagli stessi, per cui si appaiono particolarmente utili per le misure da eseguire in punti inaccessibili o per misure multiple istantanee.

Altra caratteristica è che l'umidità di condensazione bagna le superfici impermeabili (marmo, ceramica, intonaco cementizio, vernici) mentre procura delle macchie scure sulle superfici assorbenti (intonaco di calce, gesso, ecc.).

L'umidità proveniente da invasione delle coperture dipende invece da un cattivo o errato funzionamento dei sistemi di smaltimento dell'acqua piovana.

Le prove non distruttive

La necessità di intervenire sul co-

struito comporta l'acquisizione di una metodologia manutentiva di tipo preventivo che presupponga la conoscenza dei materiali presenti nell'organismo edilizio, delle loro qualità fisico-chimiche-meccaniche e delle loro interazioni con l'ambiente in cui possono essere presenti agenti corrosivi, precipitazioni meteoriche o attacchi di altra natura.

Per il costruito antico, necessità di ordine culturale hanno comportato l'adozione di tecniche per prove non distruttive finalizzate alla conoscenza dell'edificio interessato. Queste consentono di analizzare lo stato del degrado o la propensione allo stesso senza con ciò manomettere alcuna parte dell'edificio interessato.

Le prove non distruttive più usuali sono:

- le ascoltazioni dinamiche, che consentono di verificare la compattezza e la coesione dei materiali in base alla velocità di propagazione delle onde sonore;

- le tecniche estensimetriche, per la verifica della variazione dimensionale, recentemente potenziate grazie allo sviluppo dell'elettronica;

- la radiografia (raggi gamma, raggi X, ecc.) per la rilevazione di fessurazioni ed altri punti di discontinuità;

- la stereofotogrammetria, il cui uso consente il rilievo geometrico spaziale del corpo da esaminare eseguito a distanza e con notevole precisione;

- la termografia o tecniche all'infrarosso, per la misura, anche quantitativa, della radiazione infrarossa superficiale emessa dai corpi in varia misura a seconda della temperatura degli stessi.

Tra le tecniche innanzi citate particolare interesse riveste la termografia per la facilità di impiego, per il basso costo relativo nonché per la più facile leggibilità dei risultati.

L'infrarosso

È noto che le caratteristiche dei materiali che vengono utilizzati nei manufatti edilizi comporta una reazione diversa alle sollecitazioni termiche provenienti dall'esterno. Il comportamento è condizionato da due parametri: la conducibilità termica ed il calore specifico (tabella 1). La variazione di que-

| Materiali | Peso Specifico | Conducibilità termica | Calore Specifico |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| | kg/m ³ | kW sec/kg°C | W/m°C |
| Granito | 2600 | 2.7 | 0.67 |
| Arenaria | | | |
| quarzosa | 2500 | 2.6 | 0.70 |
| calcare | 2500 | 2.0 | 0.71 |
| Laterizi comuni per interni | 2000 | 0.81 | 0.92 |
| Intonaco civile per interni | 1800 | 0.70 | 0.75 |

Tab. 1 - Caratteristiche fisiche di alcuni tra i più comuni materiali naturali da costruzione.

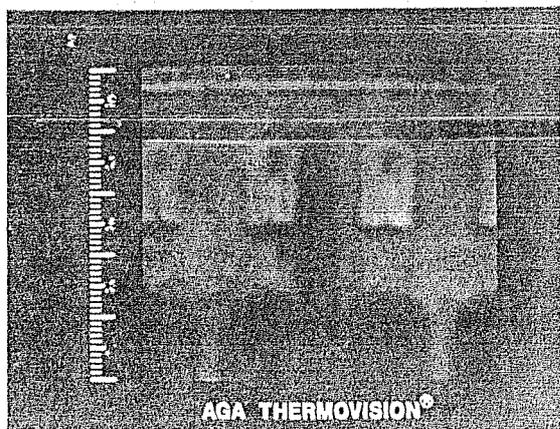


Fig. 1 - Bari, basilica di S. Nicola. Termogramma della facciata del palazzo Priorile. La macchia nera centrale evidenzia l'abbondante irradiazione di acqua piovana dai buttaiuoli sovrastante.

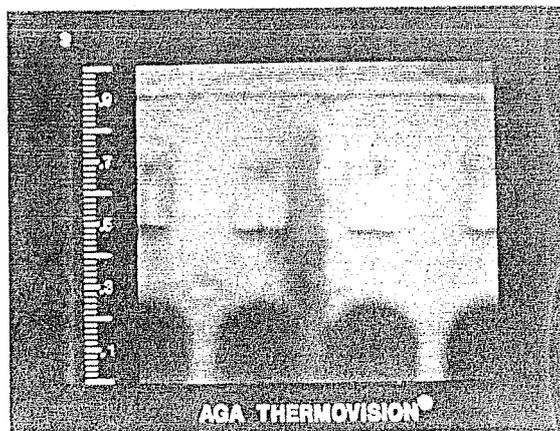


Fig. 3 - Bari, basilica di S. Nicola. Termogramma invertito della facciata del palazzo Priorile.

sti parametri comporta una reazione diversa dei materiali sottoposti ad una identica sollecitazione termica.

Qualsiasi corpo emette onde elettromagnetiche generate dal movimento delle particelle atomiche che lo compongono, emissione che varia a seconda della temperatura del corpo. La radiazione termica, oltre che poco intensa, è situata nella banda dell'infrarosso (tra 1 e 50 μm) e quindi non rilevabile dall'occhio umano.

Dalla legge di Stefan-Boltzmann,

$$W = \epsilon T^4 \Sigma$$

che stabilisce la relazione tra intensità della radiazione e la temperatura del corpo, si evidenzia come, ad una piccola variazione della temperatura, corrisponde un'ampia variazione dell'intensità radiante.

La diversa capacità dei singoli materiali ad emettere onde elettromagnetiche è espressa invece dal parametro « Σ » che prende il nome di emissività, il cui valore è compreso tra 0 ed 1.

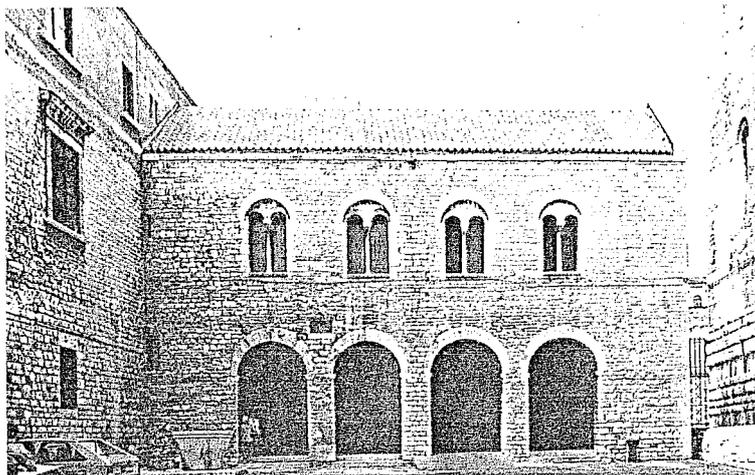


Fig. 2 - Bari, basilica di S. Nicola. Facciata del palazzo Priorile. Non si nota traccia alcuna per osservazione diretta dell'irradiazione di acqua piovana dai buttaiuoli sovrastante.

Funzionamento

La radiazione elettromagnetica viene captata da una telecamera particolare dotata di rilevatore fotovoltaico di antimonio di indio tramite la rotazione di due prismi ottici, provocando una differenza di potenziale elettrico variabile a seconda dell'intensità della radiazione infrarossa ricevuta. Il segnale elettrico ottenuto, elaborato ed amplificato elettronicamente da un'unità di controllo collegata con la telecamera, produce un punto luminoso sull'apposito schermo in corrispondenza di ogni punto dell'oggetto, la cui intensità è proporzionale alla radiazione rilevata. L'assemblaggio di questi punti consente di ottenere una mappa termica dell'oggetto rilevato, detta anche termogramma, che può essere fotografata o registrata su nastro magneti-



Fig. 4 - Bari basilica di S. Nicola. Assemblaggio dei termogrammi della facciata del palazzo Priorile.

co per lo studio e l'elaborazione in laboratorio.

Ricerca

Applicate nel campo del recupero edilizio, interpretando la lettura delle radiazioni termiche emesse dai materiali costituenti l'organismo edilizio, le apparecchiature per termovisione sono già state ampiamente sperimentate per individuare aperture tamponate, all'interno e all'esterno degli immobili, particolari architettonici ed elementi lapidei (architravi, pilastri, ecc.) inglobati nelle pareti e presenti, anche se ricoperti di intonaco a livello superficiale della muratura, canne fumarie accestate e non più individuabili dopo la soppressione e tamponamento dei camini, ammorsature tra murature diverse, con relativa lettura dei corpi aggiunti, elementi strutturali quali archi di scarico, ecc., armature di volte lignee intonacate, strutture dei solai in latero cemento, strutture in cemento armato presenti in facciata, canalizzazioni di impianti idrico-sanitari in funzione, canalizzazioni di impianti termici collocate nelle pareti o nei pavimenti presenza di umidità nelle murature con l'individuazione delle zone interessate, mappe delle fughe termiche.

Tra i numerosi strumenti per prove non distruttive attualmente in produzione l'Istituto IRIS, nell'ambito dei suoi programmi di ricerca istituzionali, sta utilizzando, tra l'altro, le apparecchiature per termovisione. Questo tipo di apparecchiature è stato utilizzato in particolare per una indagine tecnica che ha come oggetto la Basilica di S. Nicola in Bari, i cui paramenti esterni sono realizzati in conci di pietra calcarea e che, presentando problemi di degrado, in passato sono stati interessati da vistose sostituzioni delle parti degradate senza con ciò risolvere il problema della prevenzione del degrado.

Una prima fase della ricerca è stata orientata ad un rilievo qualitativo dell'umidità presente utilizzando

un'apparecchiatura per termovisione AGA 720 con obiettivo da 52 mm che ha permesso di redigere una mappa completa del degrado mediante l'assemblaggio dei numerosi termogrammi eseguiti, permettendo di individuare le parti maggiormente interessate da umidità e le zone di maggior diffusione. In particolare l'indagine termografica effettuata subito dopo la pioggia, ha permesso di evidenziare un fenomeno di invasione da acqua piovana del paramento lapideo esterno del palazzo priorile, annesso alla Basilica, invasione che si verifica a livello del secondo piano fuori terra in corrispondenza di un buttafuori lapideo. Da osservare che diversamente l'inconveniente non sarebbe stato agevolmente rilevabile perché di natura periodica ed ubicato ad una quota non raggiungibile agevolmente per un'indagine diretta e sia perché non visibile all'esame visivo. (vedasi documentazione fotografica).

Contemporaneamente si è effettuata una rilevazione puntuale delle temperature superficiali utilizzando un radiometro AGA Thermopoint 80, opportunamente tarato sui valori di emissività dei materiali che costituiscono il paramento esterno ed interno dell'edificio.

La mappa delle temperature rilevate è stata sovrapposta a quella qualitativa ricavata dai termogrammi verificando una sostanziale coincidenza della distribuzione delle temperature.

Le frequenze, la qualità e le modalità degli interventi manutentivi scaturiranno poi dall'elaborazione dei risultati dei test sui singoli componenti, sui sub-sistemi e sull'intero sistema coincidente con ogni singolo organismo edilizio, ponendoli in un rapporto critico con le caratteristiche d'uso e ambientali dell'edificio stesso; tale fase è attualmente ancora in corso.

Conclusioni

L'uso di tecniche non distruttive di indagine è validamente strumentale

alla messa a punto di una metodologia di intervento preventivo, mirato, tramite la riduzione del deterioramento dei materiali componenti, all'allungamento della vita media di risposta di un organismo edilizio, sia esso di recente impianto, o di provenienza da epoche più remote.

Il campo di ricerca ha prospettive di sicura espansione e le possibilità offerte dalla fisica applicata lasciano prevedere che, la complementarietà delle tecnologie in studio con quelle già disponibili, riuscirà a rispondere in modo soddisfacente ai quesiti posti sullo stato di fatto degli edifici e, soprattutto, dei materiali che li costituiscono.

Tuttavia si rende necessario mettere a punto una tecnica di unificazione che consenta di valutare, anche quantitativamente, lo stato di disgregazione in cui versano i materiali degli elementi costruttivi. Resta da sottolineare la complementarietà reciproca delle tecniche non distruttive, la cui utilità consente di indagare gli ambiti più disparati, con il conseguente ampliamento del campo di utilizzo.

Bibliografia essenziale

— G. Gaussorgues: «La Thermographie Infrarouge», Technique et documentation, Paris 1980;

— M. Seracini, G. Ruffa: «L'impiego dell'indagine termografica nello studio non distruttivo di strutture murarie», in «Recupero Edilizio 2», OIKOS Bologna 1983;

— G. Chiesura: «Metodi non distruttivi di rilevamento e diagnostica», in «Recupero Edilizio 2», OIKOS Bologna 1983;

— G. Brunetti, P.L. Fogliano, M. Fontana: «Indagini non distruttive per il riuso edilizio», Franco Angeli Ed., Milano 1980;

— G. Chiesura: «tecniche non distruttive d'indagine sulle strutture murarie e lignee», in «Il restauro delle costruzioni in muratura», Ed. Kappa 1980.