

Diagnostica

DIAGNOSTICS

Vasco Fassina* - Franco Vianello**

— L'elemento principale per l'alterazione delle pietre è l'acqua

The main element in stone alteration is water

— Dal secolo scorso gli inquinanti sono diventati un fattore fondamentale nel degrado dei lapidei

Over the past century pollutants have become a fundamental cause of stone decay

— L'alterazione da inquinante può continuare anche quando la fonte è stata eliminata

Alteration from pollutants can continue even when the source has been eliminated

Il degrado dei materiali lapidei: cause e agenti

Stone deterioration: causes and agents

L'alterazione e il degrado dei materiali lapidei, oltre naturalmente a dipendere dal fattore tempo, sono dovuti ad una serie di agenti e azioni esterne, che intereagiscono con le caratteristiche intrinseche del materiale stesso. In questo articolo cercheremo di descrivere in modo esauriente le varie fenomenologie esistenti, evitando di

Besides naturally depending on the time factor, the alteration and deterioration of stone materials stems from a series of external agents and processes that interact with the intrinsic characteristics of the stone itself. In this article we will try to exhaustively describe the various phenomena that exist without getting into highly technical



Venezia.
Nel campo della
conservazione le
croste più studiate
sono senz'altro le
croste nere, legate
all'inquinamento
atmosferico. Si noti
nel ciuffo sporgente
del mascheron da
porton il colore
bianco della Pietra
d'Istria dovuto al
dilavamento
continuo dell'acqua
piovana.

Venice.
In the conservation
field, the crusts
most studied are
the black ones,
linked to air
pollution. Note the
white color of the
Istria Stone in the
protruding clump of the
mascheron da
porton, due to
constant leached by
rainwater.

Diagnostica

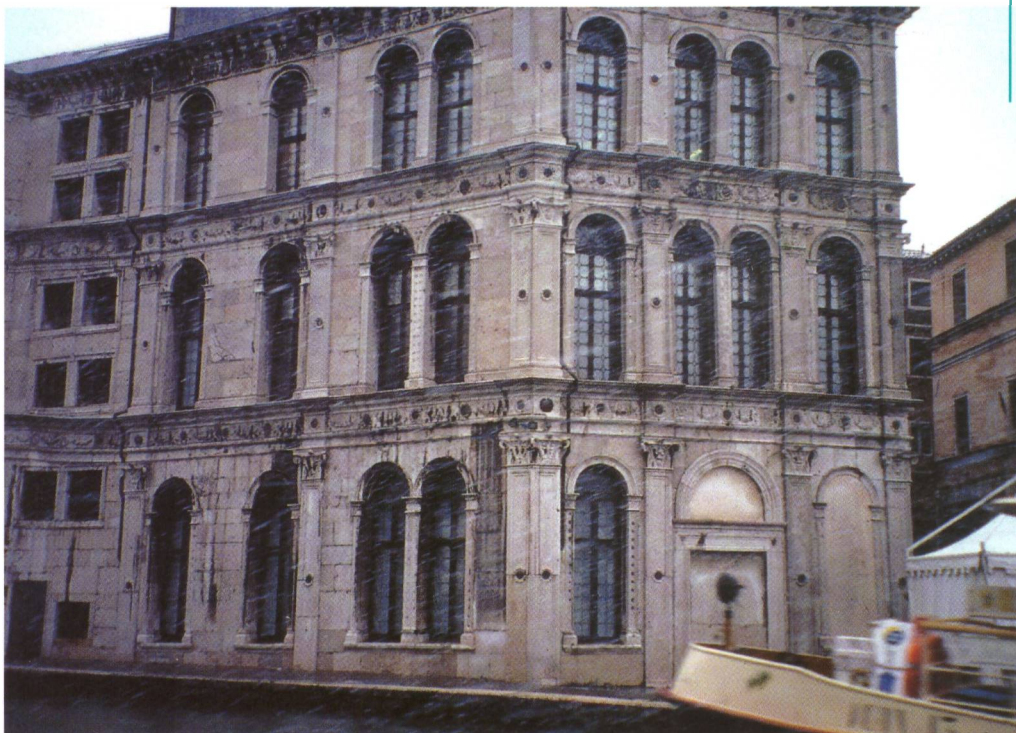
DIAGNOSTICS

scendere in descrizioni troppo specialistiche, come la trattazione di specifiche reazioni chimiche, che appesantirebbero troppo il testo e che i lettori interessati possono trovare in qualche trattato riguardante la conservazione dei materiali lapidei (si veda, a riguardo, la bibliografia a fine articolo). Per questo motivo, nel testo, abbiamo ridotto al minimo le formule chimiche e le specifiche reazioni, riportando solo quelle che abbiamo

descriptions, such as specific chemical reactions, that would be too complicated here but which interested readers can find in texts on stone conservation (such as given in the attached bibliography). To simplify our discussion we have kept chemical formulas and specific reactions to a minimum, giving only those we consider basic to this kind of article. The various agents involved in alteration and deterioration change the

Venezia. Gli agenti meteorici sono i primi responsabili del degrado dei materiali lapidei, anche se dal secolo scorso molti fenomeni – spesso i più evidenti e dannosi – sono addebitabili anche all'inquinamento atmosferico. Qui Palazzo dei Camerlenghi, edificio interamente rivestito in Pietra d'Istria che si trova a lato del Ponte di Rialto, fotografato mentre nevica.

Venice. Weathering is the prime culprit in the deterioration of stone materials, even though since the last century many decay processes – often more evident and damaging – can be blamed on air pollution. Here we see Palazzo dei Camerlenghi alongside the Rialto Bridge, in the snow; the building is clad entirely in Istria Stone.



Diagnostica

DIAGNOSTICS

distinzioni specifiche nel loro significato. Innanzi tutto bisogna dire che la causa dei fenomeni di degrado è in genere legata a uno scompenso di tipo chimico-fisico tra la superficie del materiale e l'ambiente circostante. L'alterazione di una roccia è dovuta a *fattori esterni*, quali possono essere la temperatura, l'acqua, gli agenti biologici ecc. e a *fattori interni*, quali la struttura e la tessitura della roccia. I cambiamenti prodotti dall'alterazione delle rocce sono attribuibili alla parziale o alla totale decomposizione di alcuni minerali o alla parziale o totale migrazione di elementi chimici, principali o secondari. L'alterabilità di una roccia dipende principalmente dalla sua composizione mineralogica, dalla compattezza e dalla sua superficie specifica, cioè la sua rugosità. Indicativamente si può affermare che le rocce monomineraliche, quelle costituite da un unico minerale, sono più durevoli di quelle polimineraliche. I vari processi di alterazione possono essere ricondotti a quattro meccanismi-base:

- tensioni e forze generate dalla crescita di nuovi cristalli in superficie;
- fenomeni di dissoluzione di uno o più componenti dovuti all'azione dell'acqua o di soluzioni acide;
- tensioni interne generate dalla trasformazione dell'acqua in ghiaccio (gelività di una roccia) dovute all'aumento in volume della sostanza;
- azioni di tipo chimico e/o fisico dovute alla presenza di microrganismi (batteri, alghe, funghi e licheni) sulla superficie o all'interno del materiale.

Descriviamo ora quali sono le principali cause di alterazione dei materiali lapidei,

alteration is caused by external factors such as temperature, water, biological agents and so on, and by internal factors such as the rock's structure and texture. The changes in a rock produced by alteration are attributable to the partial or total decomposition of some minerals or to the partial or total migration of principal or secondary chemical elements. A rock's alterability primarily depends on its mineralogical composition, its compactness and specific surface, that is, its roughness. As an example, we can say that single-mineral rocks are more durable than rocks containing several minerals. The various alteration processes can be traced to four basic mechanisms:

- *stress and forces generated by the growth of new crystals on the surface;*
- *the dissolution of one or more components due to the action of water or acid solutions;*
- *internal pressure generated by water turning to ice (a rock's frost sensitivity), which has more volume;*
- *actions of a chemical and/or physical type caused by the presence of microorganisms (bacteria, algae, fungus and lichens) on the surface or inside the material.*

We will now describe the main causes of alteration on stone materials, starting from how materials are worked – a factor that has a heavy influence on a stone's durability.

EXTRACTING AND WORKING STONE

Once a block of stone has been extracted, how it is worked is

Diagnostica

DIAGNOSTICS



Venezia. Un interessante e raro esempio di alveolizzazione nella Pietra d'Istria, fenomeno che è arrivato addirittura a cariare la roccia: primo responsabile il vento.

Venice. An interesting and rare example of honeycombing in Istria Stone, a phenomenon that has even managed to rot the rock; the main culprit was the wind.

Venezia.
Alcuni lapidei
cambiano di
colorazione per la
formazione di
patine
superficiali: il
caso più
eclatante è
senz'altro quello
della Pietra
d'Istria,
conosciuta dai
più come un
calcare
perfettamente
bianco anche se
in realtà questa
tinta è
generalmente
dovuta a una
patina di
ricristallizzazione
della calcite.

*Venice. Some
stones change in
color due to the
formation of
patinas: the most
outstanding case
is certainly that
of Istria Stone,
mostly known as
a perfectly white
limestone
although in
reality this tint
comes from a
patina of
recrystallized
calcite.*



partendo dalla loro lavorazione, fattore che influisce fortemente sulla durezza di un materiale.

ESTRAZIONE E LAVORAZIONE DELLA PIETRA

Una volta che il blocco di roccia è stato estratto risulta fondamentale come questo venga lavorato: infatti a seconda che la roccia sia tagliata al verso, cioè, per le rocce sedimentarie e alcune metamorfiche, parallelamente alla stratificazione, oppure al *contro* o al *secondo*, cioè perpendicolarmente ad essa, la lastra lapidea presenta una struttura diversa, con caratteristiche di resistenza e di durezza differenti.

fundamental: in fact, depending on whether a block is cut along its grain (or verso), that is, for sedimentary and some metamorphic rocks, parallel to stratification, or against or perpendicular to it, the stone slab presents a different structure, with different resistance and durability characteristics. In fact, when a material is cut along its grain, its structure is compact (for example, in homogeneous limestones), very uniform and therefore quite impervious to attack by exogenous agents, while if it has been cut counter or perpendicular to its verso its stratification (structure and layers) is evidenced, presenting linear and more or less evident discontinuities,

Diagnostica

DIAGNOSTICS

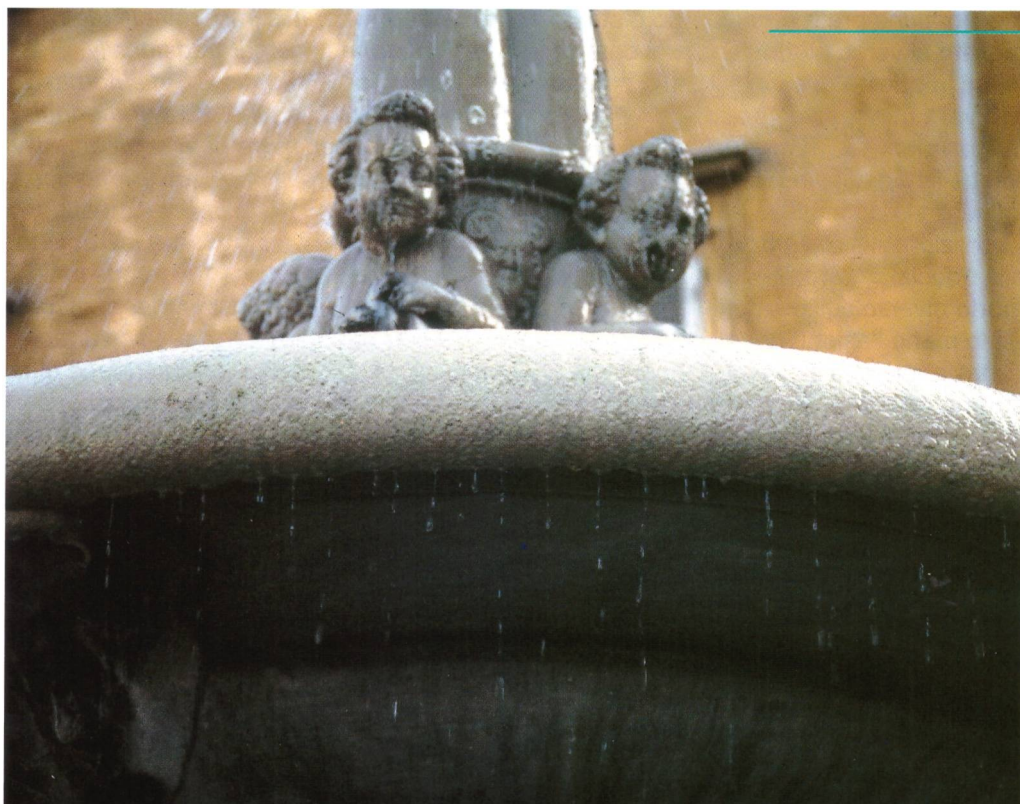
Infatti, quando il materiale è stato tagliato al verso, presenta una struttura compatta (ad esempio nei calcari omogenei), molto uniforme e quindi poco attaccabile dagli agenti esogeni, invece se il materiale è stato tagliato al contro o al secondo, viene messa in evidenza la sua stratificazione (struttura

joins into which, through time, rainwater can more easily seep. This is why materials are generally utilized cut along the grain, precisely because this makes them less vulnerable to exogenous agents. Furthermore, even a material's mechanical characteristics change, depending on how the original block

Barcellona. Sagrada Familia. Una foto esemplificativa dell'inscurimento che interessa alcuni lapidei una volta applicati, in particolare le pietre. In questa importante chiesa, ancora in fase di costruzione, che avviene con ritmi molto lenti, è visibile, nell'ultima cappella appena realizzata, il colore naturale della Pietra di Montjuic, mentre nelle altre due adiacenti, già terminate da tempo, la pietra si è velocemente inscurita, complice anche l'inquinamento urbano.

Barcelona. La Sagrada Familia. A photo exemplifying how some stone materials darken once installed, especially those in the stones family. In the latest-built chapel of this famous cathedral, still under slow construction, we can see the natural color of Montjuic Stone, while in the two adjacent chapels, long finished, the stone quickly darkened, thanks also to city pollution.





Roma. I depositi di concrezione si formano soprattutto sulle vasche delle fontane, per deposizione del carbonato di calcio dall'acqua.

Rome. Concretion deposits form primarily on the basins of fountains due to water's deposit of calcium carbonate.

a strati), quindi il materiale presenta discontinuità lineari più o meno evidenti, giunti dove più facilmente, nel corso del tempo, può insinuarsi l'acqua piovana: per questo motivo generalmente i materiali vengono applicati lavorati al verso, proprio perché risultano meno aggredibili dagli agenti esogeni. Inoltre anche le proprietà meccaniche di un materiale variano in funzione del taglio a cui è stato fatto oggetto il blocco di roccia iniziale. Ad esempio il carico di rottura a compressione semplice è molto più elevato, cioè il materiale resiste

was cut. For example, when a stone is cut along the grain its breaking load under simple compression is much higher, meaning that the material is more resistant to pressure when cut this way rather than against the grain: in the latter case the stone tends to "open" and separate along its sedimentation lines. Even surface treatments have an influence on a material's durability: dolly-punching, chiseling and bushhammering cut the surface in different ways, more or less abetting the action of erosive agents. However, more than the type of

Diagnostica

DIAGNOSTICS

meglio a una pressione quando è stato tagliato al verso piuttosto che al contro: infatti in questo caso il lapideo tende ad "aprirsi", con tendenza allo scollamento lungo i piani sedimentari.

Anche il tipo di lavorazione superficiale influenza la durezza del materiale: lavorazioni alla martellina, alla subbia, alla bocciarda, allo scalpello incidono in modo diverso sulla superficie, favorendo più o meno l'azione degli agenti erosivi. Tuttavia, più che il diverso tipo di strumento usato, è importante il tipo di lavorazione effettuata, cioè se questa è avvenuta in modo manuale, tradizionale, oppure se in modo meccanico, automatizzato. In questo secondo caso

tool used, what it is important is the kind of work done, whether traditionally (manually) or mechanically, in automatic. In the second case the work of the tools is much heavier, more rigid and generally more in depth, causing greater damage to the stone and, for example, creating micro-fractures that are often invisible to the naked eye but very dangerous in terms of decay. In addition, deeper work increases the material's specific surface, and therefore the amount of surface that can be directly attacked by exogenous agents. And a rough surface catches more of the polluting particles present in the air, enabling them to deposit so tenaciously it is hard to wash them away.

Venezia. Un interessante esempio di distacco superficiale in un calcare compatto.

Venice. An interesting example of how the surface of a compact limestone has crumbled.



Diagnostica

DIAGNOSTICS

l'azione degli strumenti è molto più forte, rigida, e generalmente approfondita, comportando maggiori danni alla pietra, con la creazione ad esempio di microfratture, spesso invisibili a occhio nudo ma che risultano molto pericolose per il degrado. Inoltre la lavorazione più approfondita aumenta la superficie specifica del materiale e quindi la superficie che può essere direttamente aggredita dagli agenti esogeni. Inoltre, una superficie scabra attira maggiormente le particelle inquinanti presenti nell'atmosfera, che si possono così depositare per poi essere

For example, easily settling on these kinds of surface are carbon particles, very dangerous because they act as catalysts for oxidizing SO_2 into H_2SO_4 . And so the new technologies, which have cut down on work times to an incredible extent, have also favored quicker decay in stone. On the contrary, however, polishing greatly augments a material's durability: in fact, polishing creates a surface highly resistant to agents of decay, quite impermeable thanks to an almost total reduction in porosity, as is produced by a mirror polish. Water, the number-one cause of



Roma. Depositi superficiali incoerenti (polvere e sporco) su una statua femminile. Si sono formati e sono particolarmente evidenti, perché il manufatto si trova sotto un porticato, al riparo dall'acqua piovana.

Rome. Loose surface deposits (dust and dirt), the statue of a woman. They formed, and are particularly evident, because the statue is beneath a portico, sheltered from the rain.

Diagnostica

DIAGNOSTICS

difficilmente dilavate in seguito. Ad esempio le particelle carboniose riescono con maggiore facilità a depositarsi su questo tipo di superfici, particelle che sono molto pericolose in quanto agiscono da catalizzatori per l'ossidazione dell' SO_2 in H_2SO_4 . Quindi le nuove tecnologie, che hanno portato a una diminuzione incredibile nei tempi di lavorazione, hanno però favorito un più veloce degrado del materiale. Al contrario, la lucidatura aumenta notevolmente la durezza di un materiale: infatti in questo caso si viene a creare una superficie molto resistente agli agenti del degrado, particolarmente impermeabile, grazie alla riduzione quasi totale della porosità, come avviene ad esempio quando si effettua una lucidatura a specchio. L'acqua, che rimane la prima causa dell'alterazione dei materiali, non può in questo caso penetrare all'interno della pietra.

AZIONE DELL'ACQUA

L'acqua può agire in vari modi sui materiali lapidei: sia con un'azione di tipo fisico, che di tipo chimico, ma è anche indirettamente legata all'azione dei sali solubili che essa può contenere in soluzione. Anche i fenomeni di gelività risultano deleteri per le pietre, generando all'interno del lapideo delle tensioni, così come la sola presenza dell'acqua è in grado di innescare delle reazioni tra la roccia e alcune sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera: naturalmente è facile che si verifichi l'azione concomitante di più di uno dei fenomeni descritti.

L'azione *meccanica* dell'acqua comporta una lisciviazione delle

stone deterioration, in this case cannot penetrate the material.

THE EFFECT OF WATER

Water can work in various ways on stone materials: physically, chemically, but also indirectly, linked to the action of the soluble salts that the water may contain. Even frost/thaw cycles are deleterious for stones, generating internal stress, and simply the presence of water itself is able to trigger reactions between the rock and certain air pollutants: naturally, it often happens that several phenomenon are concomitant.

Water's mechanical action causes a stone surface to leach, a process that can be defined as erosion or a manufacture's loss of image (or loss of definition), or, in the case of heterogeneous materials, it creates a differentiated surface, removing the less resistant parts and evidencing those whose minerals are more compact – a process called differentiated alteration. Water's chemical effects are linked to processes of solubilization, hydrolysis and subsequent precipitation.

Water generally comes into contact with the materials found in a masonry structure in one of the following ways:

- Directly, through rain, snow or mist/fog.*
- Through seepage, where water manages to rise up through a structure that is in direct contact with the ground, a phenomenon common to masonry. Due to the porosity of the medium (the size of its cavities and how they are distributed), the water is able to rise spontaneously to even quite high above the ground. Seepage*



Padova. Le statue di Prato della Valle sono state realizzate in Pietre dei Colli Berici e sono state recentemente recuperate. Questa risulta invece particolarmente degradata perché realizzata in un altro litotipo veneto, la Pietra Gallina.

Padua. The Prato delle Valle statues were made from Colli Berici stones and have been recently restored. This one, instead, looks quite decayed because it was made from another Veneto stone, Pietra Gallina.

Diagnostica

DIAGNOSTICS

superfici, fenomeno definibile come *erosione o perdita d'immagine (o perdita di definizione) di un manufatto*, oppure, nel caso di materiali eterogenei, si viene a creare una superficie differenziata, con asportazione delle parti meno resistenti e messa in risalto delle parti mineralogicamente più compatte, fenomeno che prende il nome di *alterazione differenziata*.

Gli effetti di *tipo chimico* sono legati a fenomeni di solubilizzazione, idrolisi e successiva precipitazione.

L'acqua può arrivare a contatto con i materiali presenti in una struttura muraria generalmente in uno dei seguenti modi:

- Direttamente tramite la pioggia, la neve o la nebbia.
- Per il fenomeno di risalita capillare, dove l'acqua riesce a risalire all'interno di una struttura se questa è posta a diretto contatto col terreno, fenomeno caratteristico delle murature. Grazie alla porosità del mezzo, che deve avere particolari valori in porosità, come la dimensione dei vuoti e la loro distribuzione, l'acqua riesce a risalire spontaneamente nel materiale fino a raggiungere altezze anche considerevoli rispetto al suolo. La risalita si arresta quando si raggiunge l'equilibrio tra la quantità di acqua che risale nel mezzo e l'acqua che spontaneamente evapora sulla sua superficie (per l'azione del sole, per ventilazione ecc.).
- Per immersione totale, con un contatto globale del materiale col mezzo acquoso, come accade per le parti sommerse dei palazzi veneziani, costruiti direttamente su canali e rii.





Milano. Il famoso Duomo della città lombarda è realizzato in un marmo rosa, il Marmo di Candoglia, che appare chiaro perché il materiale tende a sbiancarsi per una serie di fenomeni di alterazione, legati anche all'inquinamento urbano.

Milan. The Lombard capital's famous Duomo was built in a pink marble, Candoglia, which looks pale because the material tends to whiten due to alteration that is also tied to air pollution.

Diagnostica

DIAGNOSTICS

Venezia. Anche un materiale particolarmente bello e decorativo come il Portoro, forse il marmo italiano più decorativo in assoluto, quando è alterato (e manomesso) perde ogni fascino.

Venice. Even an especially beautiful and decorative material like Portoro – perhaps Italy's most decorative stone in absolute – loses its appeal when altered (and tampered with).



stagioni e delle precipitazioni. In uno stesso materiale, anche omogeneo, la loro distribuzione non è generalmente uniforme: infatti la cristallizzazione dei sali dipende dalla loro solubilità e dalla velocità di evaporazione dell'acqua, fattore che è funzione della disponibilità dell'acqua all'interno della struttura e della ventilazione a cui è soggetta la superficie. Se i sali vengono portati prevalentemente in superficie i loro effetti distruttivi risultano molto limitati anche se la loro visibilità può risultare antiestetica; infatti i sali solubili sono molto pericolosi quando la loro cristallizzazione avviene all'interno del materiale. Lewin avrebbe dimostrato che gli effetti dei sali risultano particolarmente dannosi quando questi cristallizzano ad una certa profondità dalla superficie libera: quando l'acqua evapora si verrebbe a formare una superficie interna di disaggregazione, che porterebbe al distacco e alla caduta della parte più superficiale o eventualmente alla creazione di piani di esfoliazione. Questi fenomeni di cristallizzazione dei sali all'interno di un materiale sono conosciuti col termine di *criptoefflorescenze* o *subefflorescenze*. A questo proposito ci sono autori che spiegano i suggestivi e inusuali fenomeni di alveolizzazione come una particolare evoluzione delle subefflorescenze.

I sali sulla superficie di un materiale si depositano in zone ben specifiche, quelle di confine tra la parte umida, satura d'acqua, e quella asciutta: nei casi di risalita capillare, sugli intonaci o sulle murature, si formano, in genere, a una certa distanza dal suolo, degli aloni

increase of the salts. Therefore, more than a problem of overall porosity, this is a problem concerning pore size and distribution.

Salts' movements inside a masonry structure depend on the seasons and precipitations. Within a material, even a homogeneous one, their distribution is seldom uniform: in fact, salt crystallization depends on the salt's solubility and the speed of water evaporation, a factor that depends on the amount of water inside the structure and the ventilation to which its surface is subjected. If the salts are prevalently brought to the surface their destructive effects will be very limited even though their visibility can be ugly; in fact, soluble salt are most dangerous when they crystallize inside the material. Lewin has shown that the effects of salts are especially harmful when they crystallize at a certain depth from the free surface: when the water evaporates a disaggregated internal surface forms that leads to the detachment and fall of the most superficial parts or the possible creation of exfoliation planes. These processes of salt crystallization inside a material are known by the terms of crypto-efflorescence or sub-efflorescence. And some authors explain the interesting and unusual phenomena of honeycomb-like formations as a particular kind of sub-efflorescence evolution.

The salts on the surface of a material deposit in very specific areas, those on the border between the damp, water-saturated part and the dry portion; in the case of seepage into plaster or masonry, white haloes form at a certain distance

Diagnostica

DIAGNOSTICS

bianchi, ma tali formazioni, piuttosto evidenti, possono trovarsi anche sotto ai tetti, vicino alle grondaie, in zone che evidenziano il passaggio tra una zona asciutta e una bagnata.

I sali in genere sono presenti nell'acqua già naturalmente (come ad esempio avviene nell'acqua salmastra di Venezia) oppure vengono ceduti da materiali interessati dal corpo idrico (elementi strutturali, terreni, rocce, materiali di rinforzo ecc.). Ogni tipo di sale presenta caratteristiche di cristallizzazione diverse per cui in una stessa muratura che contenga vari tipi di sali, questi non cristallizzeranno tutti contemporaneamente ma ognuno a tempo debito, in funzione di un preciso valore di umidità relativo.

I principali tipi di sali solubili sono:

- *Solfati*: i più diffusi sono il solfato di calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e quello di sodio ($\text{NaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Sono sali che provengono principalmente dal terreno, dall'acqua marina e dall'inquinamento atmosferico. I solfati possono attraversare varie fasi di idratazione fino ad arrivare alla formazione di sali non idrati. I solfati, rispetto agli altri sali, risultano meno mobili e perciò riescono a migrare all'interno di un materiale soltanto durante la fase di solubilizzazione iniziale; una volta disidratati possono nuovamente assorbire acqua ma, se il livello d'umidità non risulta troppo elevato, rimangono saldamente attaccati alle pareti, creando in questo modo delle forti tensioni sulle pareti.
- *Cloruri*: i più diffusi sono: NaCl (halite), KCl (sylvite); $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (antarcticite). Sono sali prevalentemente di origine

above the ground, but these (rather evident) formations can also be found underneath roofs, near rain gutters, in zones that evidence the passage from a dry area to a wet one.

Salts in general are naturally found in water (as in Venice's saltwater) or are released by materials touching the body of water (structural elements, soil, rocks, reinforcement materials, etc.). Each type of salt has different crystallization characteristics, so in the same masonry containing various types of salt the salts will not crystallize at the same time but at their own pace, depending on the amount of relative humidity.

The main types of soluble salts are:

- *Sulfates: the most common are calcium sulfate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and sodium sulfate ($\text{NaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). These salts come mainly from the soil, from seawater and from air pollution. Sulfates can go through various stages of hydration until they form non-hydrated salts. Sulfates are less mobile than other salts and therefore manage to migrate inside a material only during the initial solubilization stage; once dehydrated they can newly absorb water but, if the moisture level is not too high, remain firmly attached to walls, in this way creating heavy stress on them.*
- *Chlorides: the most common are NaCl (halite), KCl (sylvite), $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (antarcticite). They are prevalently of a marine origin and thus very common in sea aerosol, formed by seawater, carried by wind, in infinitesimal drops that contain a certain amount of salts. Chlorides can also be found in masonry due to seepage. They are*

Diagnostica

DIAGNOSTICS

marina, e per questo sono ben presenti negli *aerosol* marini, formati da acqua marina, trasportata dal vento, in minutissime goccioline contenenti perciò un certo quantitativo di sali. I cloruri si possono ritrovare anche nelle murature grazie ai fenomeni di risalita capillare. Sono sali altamente mobili, in grado di fratturare anche le strutture cristalline; sono i primi a ridisciogliersi al mutare delle condizioni igrometriche e quando cristallizzano formano dei depositi molto porosi.

- **Nitrati:** sono dei sali piuttosto rari, generalmente si trovano in zone dove sono in atto delle massicce decomposizioni di materia organica, ad esempio nelle vicinanze di terreni agricoli o di zone cimiteriali; possono essere presenti anche per fenomeni d'inquinamento. Il nitrato più diffuso è il KNO_3 (nitrato di potassio). Se nel tempo persistono condizioni di umidità abbondante e stabile, con evaporazione costante, i nitrati riescono a formare cristalli di tipo aghiforme.
- **Carbonati:** da molti autori non vengono considerati tra i sali solubili a causa dei bassi valori di solubilità che questi presentano. Nelle rocce calcaree i fenomeni di solubilizzazione possono dar luogo a depositi superficiali di calcite ricristallizzata, che presenta caratteristiche mineralogiche ed estetiche molto differenti dall'originario carbonato di calcio. Il fenomeno è particolarmente evidente e conosciuto nella Pietra d'Istria, il materiale che caratterizza la città di Venezia, alterazione che porta



Venezia. Un pilastro in calcare "mangiato" dall'alterazione differenziata che ha messo in evidenza la stratificazione della roccia. Si noti la presenza di croste nere (e di graffiti).

Venice. A limestone pillar "eaten away" by the differentiated alteration that has revealed the rock's stratification. Note the presence of black crusts (and graffiti).

very mobile salts, able to fracture even crystalline structures, and the first to re-dissolve when humidity changes; when they crystallize they form very porous deposits.

- Nitrates: these are fairly rare salts, generally found in areas where there is massive decomposition of organic matter, for example, near farmland or cemeteries; they can also be present due to pollution phenomenon. The most common nitrate is potassium nitrate (KNO_3). If conditions of abundant, stable humidity persist through time, with constant evaporation, nitrates manage to form needle-like crystals.
- Carbonates: many authors do not class them with soluble salts because

all'imbianchimento della superficie, fenomeno conosciuto anche come *white-washing*. Secondo Charola e Lewin queste cristallizzazioni sono possibili sulle rocce calcaree solo se nell'atmosfera inquinata si ha una bassa concentrazione in ossidi di zolfo: in loro presenza invece sulle superfici calcaree si viene a formare una patina di efflorescenze di gesso.

L'azione del gelo

È un'azione di tipo puramente meccanico, infatti, l'acqua, quando gela, aumenta di volume, di circa il 9%. Quando l'acqua penetra nei pori e nelle fratture spesso riesce a saturarle completamente: in questo caso, se si verificano dei fenomeni di gelività, generalmente durante la notte, si ha una espansione di volume da parte dell'acqua allo stato solido, con l'impossibilità tuttavia, da parte del ghiaccio, di espandersi essendo lo spazio disponibile già quasi completamente occupato. Vengono allora a crearsi delle tensioni interne al lapideo che col tempo provocano fratture e fratturazioni. Il fenomeno è particolarmente sensibile quando si ha un'alternanza giornaliera tra gelo e disgelo, come accade, stagionalmente, in certi climi continentali e montani, quando le temperature, tra il giorno e la notte, oscillano attorno allo zero. Il danno è provocato soprattutto dalla crescita di grossi cristalli di ghiaccio che agiscono sulle pareti dei pori, ruvide e scabre; quando una roccia non è bagnata l'azione del gelo risulta ovviamente molto ridotta. Una roccia si definisce *geliva* quando

they are hard to dissolve. In calcareous rocks, solubilization processes can give rise to surface deposits of recrystallized calcite, which has mineralogical and appearance characteristics very different from the original calcium carbonate. This phenomenon is particularly evident and well known in Istria Stone, the material typical of Venice, and is an alteration that whitens the surface, a process also known as whitewashing. According to Charola and Lewin, these crystallizations are possible on calcareous rocks only if the polluted air contains a low concentration of sulfur oxides: when they are more prevalent a patina of chalky efflorescence forms on calcareous surfaces.

Frost

Freezing is a purely mechanical action and when water freezes its volume increases by about 9%. When water penetrates pores and cracks it often succeeds in completely saturating them: in this case, when there is frost (generally during the night) the water in its solid state expands in volume while the ice cannot, since the available space is already almost fully occupied. This creates pressure inside the stone that over time provokes cracks and fracturing. The phenomenon is even more acute when there is a daily alternation between frost and thaw, as seasonally occurs in many continental and mountainous climates where temperatures hover around zero day and night. The damage is provoked mainly by the growth of big ice crystals that act on the walls of the pores, rough and

Venezia.
L'azione del
gelo porta al
decadimento
della pietra,
creando al suo
interno delle
micro-tensioni.
Qui il portale
della Scuola
Grande di San
Rocco, ricco di
marmi antichi,
innevato.

*Venice. The
frost/thaw cycle
deteriorates
stone, creating
micro-stresses
inside of it.
Here we see the
snow-covered
portal of the
Scuola Grande
di San Rocco,
rich in ancient
marbles.*



Diagnostica

DIAGNOSTICS

risente dell'azione del gelo, con la comparsa sulla sua superficie, nel tempo, delle tipiche forme di alterazione, quali scagliature, distacchi superficiali e fessurazioni, con la contemporanea riduzione delle sue capacità fisico-meccaniche. L'azione del gelo comunque porta più che altro a un'alterazione superficiale piuttosto che a un decadimento generale, strutturale, del materiale. Generalmente rocce molto porose, con una porosità di tipo aperto, cioè con i pori comunicanti tra di loro e con l'esterno, risultano poco gelive, mentre i materiali che più risentono dell'azione del ghiaccio, quindi i materiali gelivi, sono quelli più compatti, che presentano una porosità di tipo ridotto. *Hirschwald* definisce il *coefficiente di saturazione* come il rapporto tra la quantità di pori vuoti e quelli saturati dall'acqua presente nella roccia. Per valori superiori agli 0,9 i materiali si definiscono gelivi, non gelivi per valori inferiori agli 0,8.

AZIONE DELLE SOSTANZE ATMOSFERICHE INQUINANTI

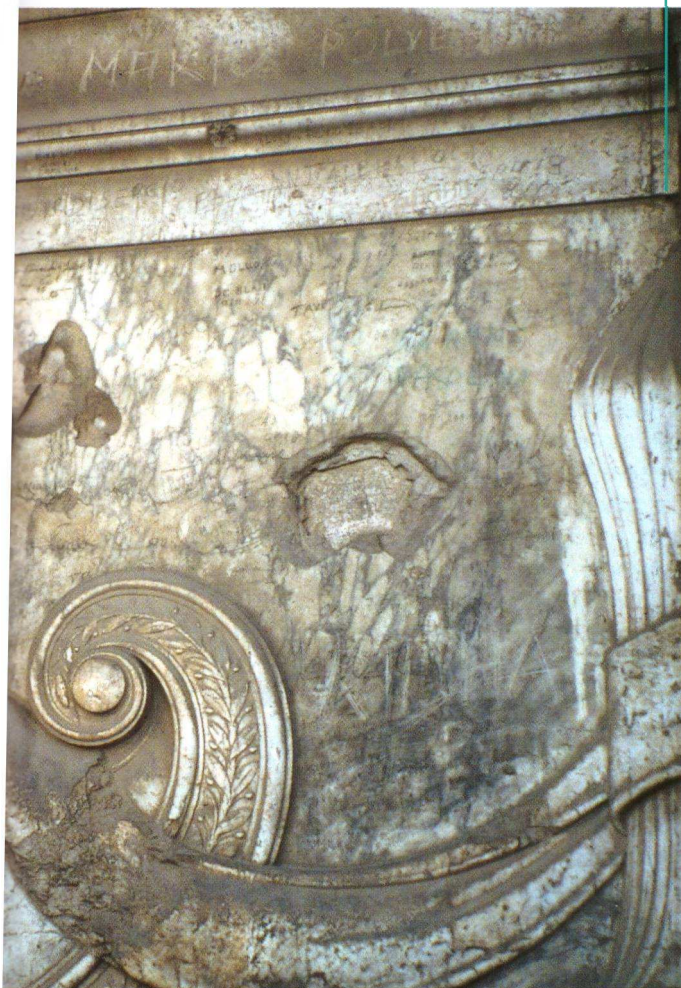
L'azione delle sostanze dovute all'inquinamento atmosferico si è fatta sentire sui materiali lapidei e su quelli da costruzione a partire solamente dagli anni venti-trenta del secolo scorso ed incredibilmente è ora divenuta la causa principale del degrado dei materiali lapidei. Infatti *Shaffer* nel suo *The weathering of natural building stones* parla per primo del degrado presente negli edifici a causa soprattutto delle particelle di carbone presenti nell'aria dovute alle copiose emissioni legate al nuovo nascente modello produttivo,



uneven; when a rock is not wet, frost obviously has lesser influence. A rock is called frost-sensitive when it suffers from the action of frost, in time showing on its surface some typical forms of alteration such as flakes, surface detachments and cracks, with a simultaneous reduction of its physical-mechanical performance. In any case,

Roma. Un caso "più unico che raro" di degrado: il buco presente nella lastra marmorea, che si trova al piano superiore del Vittoriano, è stato causato da una bomba, come infatti dice la targa commemorativa: "Colpito dal nemico il X Settembre 1918".

Rome. A singular case of damage: the hole in the marble slab on the top floor of the Vittoriano was made by a bomb, as the commemorative plaque states: "Hit by the enemy on September X, 1918".



frutto della Rivoluzione Industriale, databile attorno al 1870. In Italia i fenomeni di industrializzazione si fecero sentire solo a partire dagli anni '30-40: negli anni '50, i problemi della conservazione legati all'inquinamento sono diventati ufficialmente una disciplina di studio. Le atmosfere particolarmente aggressive del secolo

frost generally leads to surface alteration rather than to a general structural deterioration of the material. In general, very porous rocks, with porosity of the open type (pores communicating with one another and with the exterior) are not very frost-sensitive, while the compact ones, with less porosity, are much more sensitive to frost. Hirschwald defines the saturation coefficient as the ratio of empty pores to the water-filled in the rock. Above values of 0.9 materials are considered frost-sensitive, below 0.8 they are not.

THE EFFECT OF AIR POLLUTION

Air pollution has had an effect on stone and other building materials only since the 1920s and 1930s and yet, incredibly, is now the primary cause of stone decay. In *The Weathering of Natural Building Stones*, Shaffer was the first to discuss decay on buildings provoked mainly by carbon particles present in the air due to the copious emissions linked to the new manufacturing model, fruit of the Industrial Revolution that can be dated to circa 1870. In Italy, industrialization processes began to have an influence only in the 1930s-1940s: in the 1950s, the conservation problems tied to air pollution officially became a course of study. The very aggressive air pollution in the past century speeded up the natural decay of materials, and processes that earlier required centuries are now completed in just a few decades. Contrary to the studies done to link air pollution with human health, for stone materials it has been impossible to establish degree limits for every pollutant

Diagnostica

DIAGNOSTICS

scorso hanno altamente accelerato il degrado naturale dei materiali: processi che prima necessitavano di secoli per espletarsi ora avvengono e si completano nel giro di qualche decennio.

Al contrario degli studi messi a punto per correlare l'inquinamento con la salute dell'uomo, per i materiali lapidei non è stato possibile stabilire dei valori limite per ogni inquinante, essendo infatti molto diverso il comportamento biologico da quello inorganico. Per il corpo umano è, infatti, molto più dannoso un breve ma intenso fattore inquinante piuttosto che un'emissione bassa ma continua, l'opposto di quanto succede per i materiali lapidei: basse concentrazioni di inquinanti continue nel tempo risultano molto dannose perché questi materiali hanno una funzione assorbente per gli inquinanti, che perciò nel tempo si accumulano con continuità, essendo delle sostanze prive di auto protezione e di rigenerazione. Inoltre, l'azione delle sostanze inquinanti all'interno del materiale continua nel tempo anche una volta che il fenomeno inquinante sia terminato o quando il manufatto sia stato posto in un ambiente integro, come ad esempio succede quando dall'esterno una statua sia collocata in un interno, come in un museo. Le sostanze accumulate internamente a un materiale calcareo possono infatti continuare ad agire fino all'esaurimento dei reagenti.

L'azione delle singole sostanze chimiche è variabile in funzione delle condizioni fisiche e atmosferiche: ad esempio la presenza di umidità può favorire certe reazioni e inibirne altre. A tutt'oggi

because biological and inorganic reactions are so different. For the human body, in fact, a brief but intense pollution factor can be more damaging than a low but constant emission, while the opposite is true for stone: low concentrations of pollution that persist through time are much more damaging because stone materials absorb pollutants, which continually accumulate because stones can neither protect themselves nor regenerate. Furthermore, the effect of polluting substances inside the material continues through time, even when the polluting process has terminated or when the manufacture is moved to a healthier environment, for example, when a statue is moved from outdoors to the interior of a museum. The substances accumulated inside a calcareous material can, in fact, continue to act until the reactants are exhausted. The effect of individual chemical substances varies with physical and atmospheric conditions: for example, the presence of humidity can favor certain reactions and inhibit others. To date, however, even if it were possible to halt pollution, returning it to pre-industrial levels, although the concentration of polluting particles causing stones to decay would diminish, it would be impossible to stop their effect.

MAIN KINDS OF AIR POLLUTION

It is hard to define and exactly quantify an air pollutant, since some of the substances considered pollutants exist naturally in the air: and so a polluting substance, natural or artificial, is one that causes a variation in the composition of naturally pure air. In the conservation

Diagnostica

DIAGNOSTICS

quindi, anche se si riuscisse a bloccare l'inquinamento, riducendolo a valori pre-industriali, si diminuirebbe di molto la concentrazione delle particelle inquinanti agenti sul degrado dei materiali ma non si riuscirebbe ad azzerare in ogni caso il loro effetto.

PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI

Non è facile definire e quantificare esattamente cosa sia un'atmosfera inquinata, essendo talune delle sostanze considerate inquinanti già presenti naturalmente nell'atmosfera: si definisce allora una sostanza inquinante, sia naturale che artificiale, quella che produce una variazione nella composizione della *atmosfera naturalmente pura*. Nel campo della conservazione queste sostanze, anche se in tracce, devono causare un danno ai materiali lapidei.

Gli inquinanti si dividono in due tipi: quelli *primari*, emessi da sorgenti note e identificabili, e quelli *secondari* formatisi dalla reazione di vari inquinanti tra loro o per la reazione di uno di questi con i componenti atmosferici. Le sostanze inquinanti possono essere particelle solide, piccole gocce, gas e aerosol. Particolare importanza ha poi il vapor acqueo presente nell'atmosfera: infatti la mancanza dell'acqua può rallentare molte reazioni chimiche, diminuendo così l'azione delle particelle inquinanti. Sulla superficie dei materiali lapidei un velo d'acqua favorisce quindi il contatto e la permanenza di queste sostanze, favorendone anche la migrazione all'interno.

I principali inquinanti sono l'anidride

field these substances, even mere traces of them, can cause damage to stone materials.

Pollutants are divided into two types: the primary, emitted from known and identifiable sources, and the secondary, formed from the interaction of various pollutants or the reaction of one of them to components of the air. Polluting substances can be solid particles, tiny drops, gases and aerosols. The water vapor present in the air is particularly important: in fact, a lack of water can slow down many chemical reactions, thus diminishing the effect of the polluting particles. And so on stone materials, a film of water aids the contact and continued presence of these substances, also helping them to migrate inward.

The main pollutants are sulfur dioxide (SO₂), carbon dioxide (CO₂), nitric oxides (NO and others), hydrochloric acid (HCl), hydrogen fluoride (HF), hydrogen sulfide (H₂S), ozone, oxidants, atmospheric particles, in particular acid aerosols or those containing soluble salts (sulfates, chlorides and nitrates); polluting systems also include acid rain.

Generally, when pollutants are surveyed in a geographical area these surveys are not random and generic but well-targeted, focusing solely on the substances that derive from and are precisely linked to known sources of pollution.

Carbon dioxide

naturally present in the air, carbon dioxide is considered a polluting substance when the basic amount is increased by human activity. Emissions

Diagnostica

DIAGNOSTICS

solforosa o biossido di zolfo (SO_2), l'anidride carbonica (CO_2), gli ossidi di azoto (NO e altri), gli acidi cloridrico (HCl), fluoridrico (HF), solfidrico (H_2S), l'ozono, gli ossidanti, il particolato atmosferico, in particolare gli aerosol acidi o quelli che contengono sali solubili (solfati, cloruri e nitrati); tra i sistemi inquinanti possono essere

caused by human activity have greatly increased in the past hundred years, especially from combustion processes tied to industrial output and home heating (fossil fuels and natural liquids). An increase in CO_2 is also connected to the wide-scale deforestation ongoing in South America and Asia, with related phenomena of timber burning.

Roma. Patine superficiali, depositate dall'acqua, sulle conchiglie marmoree della fontana delle Tartarughe: solo se si osserva con attenzione ci si accorge che il materiale sottostante è un marmo brecciato, più precisamente il marmo Luculleo, uno dei marmi antichi più noti e decorativi.

Rome. Surface patinas, deposited by water, on the stone shells of the Tortoise Fountain: only if you look closely can you see that the material underneath is a brecciated marble, more specifically Luculleo marble, one of the most famous and decorative historic ones.





Abbazia di Pomposa. Patine biologiche presenti nelle decorazioni in pietra che ornano il cortile della chiesa.

Pomposa Abbey. Biological patinas found on the stone decorations that adorn the courtyard.

incluse anche le piogge acide. Generalmente quando si effettuano delle indagini sugli inquinanti in un'area geografica queste non sono casuali e generiche ma sono mirate, venendo incentrate solo su quelle sostanze che derivano e sono legate a ben precise e individuate fonti di inquinamento.

Anidride carbonica

L'anidride carbonica, presente naturalmente nell'atmosfera, è considerata una sostanza inquinante quando, oltre alla quantità di base, ve

The presence of carbon dioxide in the air also raises the temperature since CO₂ is able to absorb thermal radiation, especially radiation in the infrared, invisible field, creating the well-known greenhouse effect.

Calcareous stones react to carbon dioxide in the following process:

In contact with water, the dioxide dissolves, forming carbonic acid:



(the double arrow means that the reaction can be in both directions)

Diagnostica

DIAGNOSTICS



Venezia. Presenza di una ricca vegetazione spontanea sui conci murari in Pietra d'Istria.

Venice. Rich spontaneous vegetation growing on Istria Stone ashlars.

neoformazione:



Le rocce calcaree sono sensibili alle acque leggermente acidulate: infatti di per sé il carbonato di calcio è poco solubile nell'acqua pura ma in acqua contenente CO_2 disciolta la sua solubilità aumenta poiché si trasforma in bicarbonato di calcio, sostanza molto più solubile. La quantità di carbonato di calcio che si scioglie dipende dalla temperatura del mezzo acquoso e dalla concentrazione di anidride carbonica presente nell'atmosfera. In inverno i due

compact and resistant, mistakable for the rock itself, as happens, for example, on Istria Stone.

Nitric oxides

In the air are present nitrous oxide (N_2O), nitric oxide (NO), and nitrogen dioxide (NO_2).

Nitrous oxide forms in soil due to the microbiological action of bacteria and is found in the troposphere as well as in the stratosphere; in the natural environment it is present in an average concentration of 0.32 ppm.

Nitric oxide is instead produced by

fattori agiscono in modo concomitante, grazie ai valori di temperatura più bassi e alle maggiori concentrazioni di CO_2 : ad esempio a temperature prossime agli 0°C la quantità di CO_2 disciolta è quasi il doppio di quella disciolta a 25°C .

Il fenomeno di solubilizzazione del carbonato di calcio in bicarbonato è spesso seguito a breve distanza dalla rideposizione di carbonato a causa dell'evaporazione dell'acqua. Per cui avviene che, nello stesso materiale, si ha una deposizione di carbonato di calcio ricristallizzato, con caratteristiche fisiche diverse dal materiale originario (fenomeno di cui abbiamo già parlato quando abbiamo menzionato le efflorescenze saline). La patina di neoformazione può avere l'aspetto di una polvere incoerente, quindi porosa, con alta superficie specifica, ma può anche presentarsi in modo molto compatto e resistente, confondibile con la roccia stessa, come accade ad esempio nella Pietra d'Istria.

Ossidi d'azoto

Nell'atmosfera sono presenti, come ossidi d'azoto, l'ossido nitroso (N_2O), l'ossido nitrico (NO) e il biossido di azoto (NO_2).

L'ossido nitroso si forma nei terreni grazie all'azione microbiologica dei batteri ed è presente sia nella troposfera che nella stratosfera; nell'ambiente naturale è presente con una concentrazione media di $0,32\text{ ppm}$. L'ossido nitrico è invece un prodotto della combustione dei motori e in atmosfere inquinate la sua concentrazione è di circa 100 ppb ($\text{ppb} = \text{parti per miliardo}$) mentre in zone a

engine combustion and in polluted air its concentration is about 100 ppb ($\text{ppb} = \text{parts per billion}$), while in unpopulated areas its concentration is less than $0,01\text{ ppb}$; nitrogen dioxide is found in similar amounts.

Generally, in the air nitric oxides tend to oxidize, forming nitric acid (2HNO_3): nitric acid is especially harmful to calcareous rocks (but also to certain silicate rocks) because it forms nitrates, dangerous above all for porous rocks since the salts can migrate inside of them with water and then crystallize. Moreover, nitric oxides can be harmful because they form chemical oxidants, some of the most hazardous compounds contained in smog, and acid rain also contains nitric oxides (from 30 to 40%).

Sulfur compounds

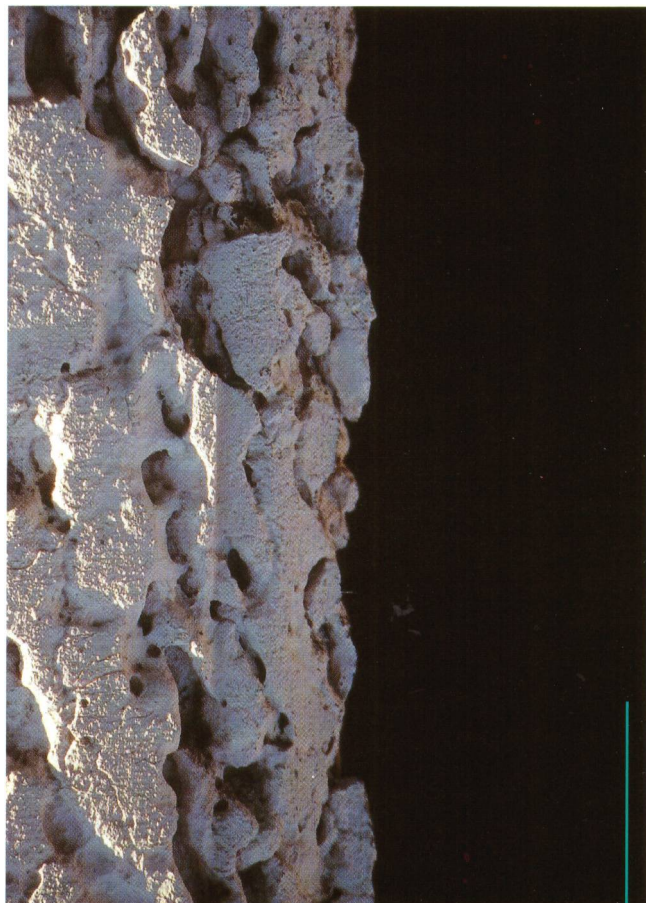
In the air, sulfur is present as sulfur dioxide (SO_2), hydrogen sulfide (H_2S) and as sulfates (SO_4) in aerosols. Sulfur compounds do not accumulate in the air but there is a specific natural cycle that balances the material introduced with what has been deposited on the earth's surfaces: however, in the past 100 years much more sulfur has been emitted into the air due to human activity. In its various forms, sulfur deposits mainly when it rains, but can also deposit dry. In coastal cities one of the main natural sources of sulfur are sea aerosols, produced by the wind that carries particles taken from the sea, where sodium sulfate is the second component of seawater. In the form of H_2S sulfur can form in lake or swampy environments, environments that receive little oxygen, due to bacterial action, as non-specific

basso insediamento antropico la sua concentrazione è inferiore agli 0,01 ppb; valori simili si riscontrano per il biossido di azoto.

Generalmente nell'atmosfera gli ossidi di azoto tendono ad ossidarsi formando acido nitrico (2HNO_3): l'acido nitrico è particolarmente pericoloso per le rocce calcaree (ma anche per alcune silicatiche) venendo a formare dei nitrati, che sono pericolosi soprattutto per le rocce porose, in quanto i sali possono migrare al loro interno, grazie all'acqua, per poi cristallizzare. Inoltre gli ossidi di azoto possono essere dannosi anche perché formano degli ossidanti chimici, che sono tra i composti più dannosi tra quelli presenti nello smog; anche le piogge acide sono caratterizzate dalla presenza di ossidi di azoto (nella percentuale del 30-40%).

Composti dello zolfo

Nell'atmosfera lo zolfo è presente come anidride solforosa (SO_2), come acido solfidrico (H_2S) e come solfati (SO_4) negli aerosol. I composti dello zolfo non si accumulano nell'atmosfera ma esiste un ciclo specifico naturale che bilancia il materiale che viene introdotto con quello che si deposita sulla superficie terrestre: negli ultimi 100 anni sono però aumentate di molto le quantità di zolfo immesse nell'atmosfera grazie all'azione dell'uomo. Lo zolfo, nelle sue varie forme, si deposita principalmente durante le precipitazioni piovose ma può anche depositarsi a secco. Nelle città costiere una delle principali sorgenti naturali di zolfo sono gli aerosol marini, prodotti dal vento che trasporta le particelle prelevate dal mare, dove il



Venezia. Un'alterazione differenziata particolarmente spinta, in un calcare, ha realizzato nella pietra un motivo quasi traforato.

Venice. Particularly heavy differentiated alteration on this limestone has created an almost drilled motif.

reductions of sulfur in sea algae or vegetation or the soil during the decomposition process. In fact, hydrogen sulfide forms during processes of biological decay, above all in high-tide zones that uncover seafloors containing organic material and sulfates of marine origin.

solfato di sodio è il secondo componente dell'acqua marina. Zolfo, sotto forma di H_2S , si può formare in ambienti lagunari o paludosi, ambienti scarsamente ossigenati, per l'azione batterica, come riduzioni non specifiche dello zolfo in alghe marine, o nella vegetazione o nel suolo, durante i fenomeni di decomposizione. Infatti l'acido solfidrico si forma nei processi di decadimento biologico, soprattutto in zone interessate da forti escursioni di marea, che comportano la venuta a giorno dei fondali, dove siano presenti materiali di tipo organico e anche solfati d'origine marina.

Le principali sorgenti antropiche dello zolfo sono invece dovute alla combustione di carbone e petrolio, e loro derivati, e ai processi di fusione dei minerali non ferrosi, in particolare il rame. È proprio il carbone, con i suoi sottoprodotti, la sostanza che dà il maggior contributo di particelle di zolfo nell'atmosfera, seguito dal petrolio e dai suoi derivati. Nel 1974, il 94% delle emissioni inquinanti di zolfo si trovavano nell'emisfero nord, dato che il fenomeno dell'industrializzazione è quasi totalmente proprio di questo emisfero.

L'anidride solforosa presente nell'aria si può trasformare, per ossidazione, in acido solforico portando anche alla formazione di gesso, come avviene nelle rocce calcaree interessate dalla presenza di croste nere.

Acido cloridrico

L'acido cloridrico si trova nell'atmosfera perché emesso direttamente dalle industrie, quelle che producono

The main human-based sources of sulfur come from burning coal and petroleum and their derivatives, and from processes of melting non-ferrous minerals, copper especially. Coal and its byproducts are the substances that contribute most to the existence of sulfur particles in the air, followed by petroleum and its derivatives. In 1974, 94% of polluting sulfur emissions were found in the northern hemisphere, site of most of industrialization.

Through oxidation, the sulfur dioxide present in the air can turn into sulfuric acid, leading to the formation of chalk, as occurs to calcareous rocks afflicted with black crusts.

Hydrochloric acid

hydrochloric acid is found in the air because it is emitted directly from industries, the ones that specifically make hydrochloric acid but also the ones making plastics containing chlorine, as well as those burning coal for their production processes. In addition, this acid is found in coastal zones where there can be a natural chemical reaction between sea aerosols rich in sodium chloride and the sulfuric acid present in the air.

Hydrochloric acid, quite soluble in water, is very aggressive on calcareous rocks, transforming calcium carbonate into calcium chloride: the salt that forms is antarctite, highly soluble and therefore very able to migrate inside porous stones.

Hydrofluoric acid

this acid is found in the air due to industrial emissions connected with the production of aluminum, glass, steel, bricks and fertilizers or, as byproduct,

esattamente acido cloridrico ma anche quelle che realizzano materie plastiche contenenti cloro oltre a quelle produzioni che nei loro processi di combustione utilizzano il carbone. Inoltre questo acido lo si ritrova in quelle zone costiere dove può verificarsi la reazione chimica naturale tra gli aerosol ricchi in cloruro di sodio e l'acido solforico presente nell'atmosfera.

L'acido cloridrico, che è caratterizzato da una particolare solubilità in acqua, è particolarmente aggressivo verso le rocce calcaree, portando alla trasformazione del carbonato di calcio in cloruro di calcio: il sale che si forma è l'*antarcticite*, particolarmente solubile e che può quindi facilmente migrare all'interno dei lapidei porosi.

Acido fluoridrico

Questo acido si trova nell'atmosfera a causa delle emissioni industriali legate ai processi di produzione dell'alluminio, del vetro, dell'acciaio, dei laterizi, dei fertilizzanti oppure, come sottoprodotto, dai processi di combustione del carbone.

L'acido fluoridrico è pericoloso in particolare per le rocce calcaree, ma poiché esso, e i fluoruri, presentano una bassissima concentrazione nell'atmosfera, è da considerarsi una sostanza poco dannosa per i lapidei.

Ozono e ossidanti

L'ozono si forma in un'atmosfera inquinata, come quella interessata dagli scarichi delle automobili, per l'ossidazione fotochimica degli idrocarburi incombusti, a causa della presenza di sostanze catalizzanti,



Venezia. Interessante esempio di caduta delle croste nere che hanno lasciato scoperta una superficie calcarea, in gran parte gessificata. Particolare della facciata della Scuola Grande di San Giovanni Evangelista.

Venice. An interesting example of black crust detachment disclosing a calcareous surface that has largely turned to chalk. Detail of the façade of the Scuola Grande di San Giovanni Evangelista.

from coal-burning processes. Hydrofluoric acid is dangerous especially for calcareous rocks but since it, as well as fluorides, is found in low concentrations in the air, it can be considered not very harmful to stone.

Ozone and oxidants

Ozone forms in polluted air, like that polluted by automobile exhaust, due to the photochemical oxidation of unburned

Diagnostica

DIAGNOSTICS

sostanze che attivano una reazione che altrimenti non avverrebbe. L'ozono da solo in realtà non esercita un'azione aggressiva sui lapidei: agisce solo indirettamente, grazie alle sue capacità ossidanti, sugli ossidi di azoto, trasformandoli in acido nitrico, e sull'anidride solforosa, che tramite l'acqua, diventa acido solforico.

hydrocarbons caused by the presence of catalyzing substances that trigger a reaction that would otherwise not occur. By itself ozone actually has no aggressive influence on stones: it acts only indirectly, due to its oxidizing abilities, on nitric oxides, transforming them into nitric acid, and on sulfur dioxide, which through water becomes sulfuric acid.

* **Vasco Fassina:** chimico; presidente del Comitato Europeo Normativa sui Beni Culturali, Soprintendenza per il Patrimonio Storico Artistico ed Etnoantropologico per le province di Venezia, Belluno, Padova e Treviso / *chemist; president of the European Normative Committee on Cultural Assets, Historic, Artistic and Ethno-anthropological Service, Provinces of Venice, Belluno, Padua and Treviso.*

** **Franco Vianello:** geologo; docente del corso di Geologia Applicata ai Materiali Ornamentali presso l'Istituto Veneto per i Beni Culturali di Venezia; membro dell'UNI, Gruppo di lavoro 7 / *geologist; teaches Geology Applied to Ornamental Materials at the Veneto Cultural Assets Institute in Venice; member of UNI, Work Group 7.*

BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

- **A.A.V.V.**, *La conservazione dei monumenti nel Bacino Mediterraneo*, Atti del 3° Simposio Internazionale, Venezia, 1994.
- **G.G. AMOROSO; V. FASSINA**, *Stone decay and conservation*, Elsevier, Amsterdam, 1983.
- **COMMISSIONE NAZIONALE NORMAL** – Gruppi metodologie Biologiche, Chimiche e Petrografiche, *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*, Documento 1/88, CNR- ICR, Roma, 1990.
- **V. FASSINA**, Dispensa per il Corso di Conservazione dei Materiali nell'edilizia storica, IUAV – Corso di Laurea in Architettura, Venezia, anno accademico 1997/98.
- **V. FASSINA, F. VIANELLO**, *L'alterazione dei materiali lapidei* in "Marmomacchine Classic", n. 141, Promorama Editrice, Milano, 1998.
- **V. FASSINA, F. VIANELLO**, *La conservazione dei materiali lapidei*, in "Marmomacchine Classic" n. 171, Promorama Editrice, Milano, 2003.
- **F. FRATINI; C. MANGANELLI DEL FÀ, E. PECCHIONI**, *Le pietre nel patrimonio monumentale italiano: processi e cause di alterazione*, in: "L'edilizia e l'industrializzazione" n. 9, 1987.
- **C. GIANNINI, R. ROANI**, *Dizionario del restauro e della diagnostica*, Nardini Editore, Firenze, 2003.
- **M. MATTEINI, A. MOLES**, *Scienza e restauro – metodi di indagine*, Nardini Editore, Firenze, 1993.
- **S.Z. LEWIN**, *The mechanism of masonry decay through crystallization*, in "Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments", National Academy of Sciences, Washington D.C., 1981.
- **S.Z. LEWIN, A.E. CHAROLA**, *Scanning electron microscopy in the diagnosis of "diseased" stone*, Scanning Electron Microscopy, 1, 1979.
- **R.J. SCHAFFER**, *The weathering of natural building stones*, Building research special report n. 18. London, 1932.
- **F. VIANELLO**, *Riconoscere i materiali lapidei*, Piovan Editore, Abano Terme, 1995.
- **E. M. WINKLER**, *Stone: properties, durability in man's environment*, Springer – Verlag, 1975.

In questo numero:

SPECIALE
SPAGNA

marino classic line

188

THE STONE
DECISION
MAKERS
MAGAZINE

2° BIM. 2006 - ANNO 36°

ATTREZZATURE & ACCESSORI VARI



World Leader in Chain Saw Machines



fantini®

www.fantinispa.it