



INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF THE PRESERVATION AND THE RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY  
CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES BIENS CULTURELS

**ICCRUM**

# **Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of Their Deterioration**

## **Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento**

**Guglielmo De Angelis D'Ossat**

FACULTY OF ARCHITECTURE UNIVERSITY OF ROME





*In the same series:  
Della stessa collana:*

BACHMANN, K.W. La conservation durant les exposition temporaires.  
Conservation during Temporary Exhibitions. 1975.

CARBONNELL, M. Quelques aspects du relevé photogrammétrique des  
monuments des centres historiques.  
Photogrammetry Applied to the Study and Conservation of Historic Centres.  
1974.

FORAMITTI, H. Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens  
culturels. 1972.

FORAMITTI, H. La photogrammétrie au service des conservateurs. 1973.

GAZZOLA, P. The Past in the Future. 1975.

MARASOVIC, T. Methodological Proceedings for the Protection and  
Revitalization of Historic Sites (experiences of Split). 1975.

MASSARI, G. Humidity in Monuments. 1970.

SCHULTZE, E. Techniques de conservation et de restauration des monuments -  
Terrains et fondations. 1970.

STAMBOLOV, T. - VAN ASPEREN de BOER, J.R.J. The Deterioration and  
Conservation of Porous Building Materials in Monuments. 1976.

TORRACA, G. Porous Building Materials: Materials Science for Architectural  
Conservation. 1981.

TORRACA, G. Solubilidad y Disolventes en los Problemas de Conservación.  
1982.

TORRACA, G. Solubilité et solvants utilisés pour la conservation des biens  
culturels. 1980.

TORRACA, G. Solubility and Solvents for Conservation Problems. 1978.



INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF THE PRESERVATION AND THE RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY  
CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES BIENS CULTURELS

**ICCROM**

# **Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of Their Deterioration**

## **Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento**

**Guglielmo De Angelis D'Ossat**

English text revised by  
June Tabaroff and Cynthia Rockwell

FACULTY OF ARCHITECTURE UNIVERSITY OF ROME

First edition: 1972  
Partially revised in 1982



ICCROM

International Centre for  
Crime and Criminal Justice

1972-1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982

1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992

1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

# Guide to the Methodical Study of Murders

## and Causes of Their Detection

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982

1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

© ICCROM 1972, 1982  
Via di San Michele 13  
00153 Rome, Italy  
Printed in Italy by  
Multigrafica Editrice - Roma

FACULTY OF LAW, UNIVERSITY OF ROME

1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

## **STUDY OF MONUMENTS FROM THE HISTORICAL, ARTISTIC AND TECHNICAL POINT OF VIEW**

If we consider architecture to be a language, then historic buildings demonstrate (and sometimes hide) new and meaningful aspects which are the springboards for a deep and profound interpretation of the buildings.

The semantics and syntax of architectural language open new methodological possibilities of use for an up-to-date analysis of the architecture in its broadest sense.

The acceptance of a linguistic structure in architecture would lead to the recognition and classification of the constituent elements of the architecture of the past. In order to make a concrete examination, we will limit our investigation to a more restricted aspect of methodology. Nevertheless we can point out the usefulness of analysis and criticism that goes beyond formal and constructive elements and verges on psychological research to gain a wider, more accurate understanding of architecture.

The study of a historic building can be based on the execution of surveys and other representations, but it cannot be limited to such documentation, exhaustive and revealing as it might be.

The study should seriously deal with the most varied problems connected to the substance and life of the buildings and be conscious of many fields of inquiry, some unforeseen. Therefore a complete study should ideally be articulated in a universal and organic way that can be adapted to the infinite number of architectural variants.

In case we should want to prepare extensive, all-encompassing investigations, we should follow a scheme that fits the largest number of buildings and monuments, without creating any gaps or oversights. Naturally such a scheme must submit the monumental unit to various incomplete points of view. This is done temporarily, not as a hard and fast application of a division that is logically unacceptable for a work of art: the scheme will function essentially as a simple reminder. Indeed, during the various stages of the proposed study certain points will be exaggerated and some questions will be raised. This stresses the breadth of the subject and efficiency in its marginal zones. In the case of real masterpieces it leads us to affirm the essential, indissoluble unity of the artistic phenomenon.

## ANALYSIS

Our study can usefully be approached from three different viewpoints.

1. Analysis from a historical viewpoint, with corresponding methodology, to include:
  - (a) The political, social and economic character of the period and location of the historic building.
  - (b) The patrons and the events which led to the project and the realization of the work.
  - (c) The chronology of events bearing on the historic building.
2. Analysis from an artistic viewpoint, making evident the aesthetic principles, concepts of composition and proportion, and the quality of artistic forms. Particular attention will be given to research on the artists, even if it may be difficult and sometimes impossible to identify them by name.
3. Analysis from a structural viewpoint, to illustrate the solutions adopted, clarifying their scope and results, without omitting investigations on the nature and use (shape and disposition) of materials, on technical methods, and on building customs and the composition of binding materials.

This tripartite approach corresponds to another conventional division of the actual building which is necessary for a comprehensive study. Three principal aspects of the building complex can be defined:

- A. The building complex as a whole, including the different building phases and subsequent interventions.
- B. All its particularities (interior or exterior), as well as decoration, furnishings etc.
- C. The historic building in the context of the surrounding environment.

One of the most important aspects of the study is a consideration of the building within its specific cultural setting.

Therefore in this phase of the study, every possible comparison that presents secure connections should be researched so as to link the building as precisely as possible to the relevant artistic framework.

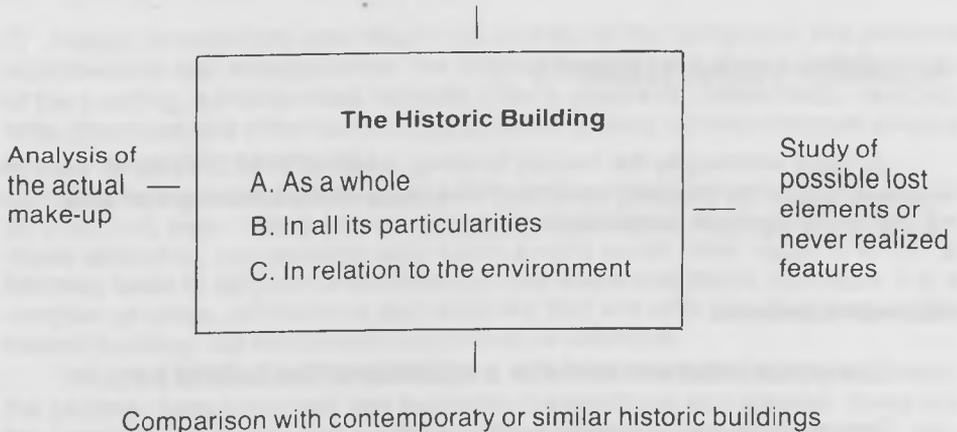
Often it will be necessary to consider aspects certainly related to the historic building, but that no longer exist either because they were lost or destroyed, or conceived and never realized, but that can be deduced from drawings, descriptions or projects.

Especially in the case of distant historic buildings and archaeological excavations, our study will often require excavation samples, in order to reach the original levels of the construction, unearthing elements, or to retrace other possibly extant elements, all with the aim of establishing precise chronological bases. In both cases, tests should be carried out with a rigorous stratigraphic method by experts in research and dating of findings and material of historical value for the different levels.

To summarize, a historic building should be considered, «attacked», with every possible instrument of investigation. The study programme can be schematized as follows:

Analysis of all data or information from a tripartite viewpoint:

Historical (I), Artistic (II), Static-Structural (III)



To facilitate study, these main subjects can be further subdivided and presented graphically as follows:

### Investigative scheme for the study of a historic building

Subdivisions 1 and 2 refer to the study of actual aspects (1) and other non-extant aspects (2).

Study of a Historic Building		I Historical	Viewpoints II Artistic	III Static-Structural
	As a whole A	A I 1 A I 2	A II 1 A II 2	A III 1 A III 2
In all its particularities B	B I 1 B I 2	B II 1 B II 2	B III 1 B III 2	
In relation to the environment C	C I 1 C I 2	C II 1 C II 2	C III 1 C III 2	

With these eighteen resulting divisions the study should allow every possible comparison; they illustrate separately the qualities of the building under examination, as well as its unexpressed and incomplete aspects.

### RESEARCH: USEFUL ELEMENTS

All data referring to the historic building, whether in an intrinsic or extrinsic manner, should be patiently collected. The study of the following elements helps to clarify the eighteen subdivisions above.

#### Intrinsic elements

The intrinsic elements useful for a knowledge of the building are:

(a) *Data exhibited by the historic building itself*

Epigraphs, signatures, signs, monograms, dates or particular insignia (more or less evident); heraldic bearings and emblems, mural decorations (stuccoes, frescoes etc.); graffiti which are often accompanied by dates and signatures, added casually or hurriedly in many cases.

(b) *Data found in the structures*

Stonemason marks and seals on bricks, terracotta or tiles; coins and medals and documentation concealed in the walls and foundations; formal and chronological elements emerging from examinations.

(c) *Data deduced from the historic building through the study of visual surveys*

Observations on the units of measure used in construction: modular geometric tracings or spacial proportion systems; predetermined composition schemes, etc.

### **Extrinsic elements**

A large amount of extrinsic material, pertinent to the historic building, should be carefully traced and critically interpreted.

(d) *Literary sources*

All the literature available on the monument, its history and its creators.

(e) *Graphic documentation*

Historic drawings, models, projects and sketches related to the building; maps, town plans, prospective views to be found also in the background scenery of paintings, bas reliefs, illuminated manuscripts and miniatures, cadastral drawings.

(f) *Historic manuscripts and documents* related to the foundation, the possible modifications and enlargements, the original function and the successive uses of the building; administrative records; orders, contracts, settlements, receipts, wills, donations and other documents; old descriptions, correspondence; census and visit reports by pastors etc.

This list includes all the possible data or documentation of which we should be informed, even if it is not always easily accessible. Beyond collecting the above elements, our research and study should cover other aspects which at first may seem to defy concrete definition, yet which may prove important. It is a complex of ideas, civilizations and cultures that not only gravitate around the historic building, but find precise expression or reflection.

What we should seek is the authors, with their marked artistic personality, the patrons, from whom we can reconstruct aspirations and dreams: these are the elements that distinguish a masterpiece from the common language.

All these elements should be carefully evaluated with the help of the suggested diagram.

Further elaboration of each sub-section at this point is unnecessary. We would like however to make a final remark. The methodic study outlined above

leads to an analytical vision that we have tried to construct without lacunae, but that may appear to be episodic and fragmentary.

The "anatomical" scheme provided certainly is not an end in itself. Rather it facilitates a study, not only a register. But the historic building should emerge as a whole, confirmed by our research, and as a whole it must appear in any publication issuing from the studies conducted.

From the distant premises of the creative act to the last events in a long life, the essence will emerge, the real meaning of an ancient work with its artistic and human message.

## CAUSES OF DETERIORATION

The necessity — almost always late — to provide effectively for the conservation and the life of a historic building by means of restoring requires a careful selection of remedies suitable to the nature and causes of deterioration.

Every restoration project should therefore be preceded by an accurate diagnostic study, just as any medical treatment should derive from thorough analysis and be strictly correlated to actual pathological or traumatic causes.

After acquiring a deepened knowledge of the historic building, the diagnosis of deterioration is the first task for the restorer. This must be approached patiently and methodically and by means of the most accurate research in order to identify exactly the causes (often varied, multiform and complex), at the root of the deterioration.

The categorical need for grouping these causes in a logical order presupposes a preliminary resolution of the problem of how they can best be subdivided and classified.

Static deterioration can be caused by two or more contributory factors, acting independently or in unison, and often affecting each other. Our analysis should not stop at identification of the cause of the phenomenon: in fact a cause that we consider to be the main or the predominant one can be accompanied by other less evident causes. Their plurality and interdependence is one of the most common and interesting themes in the diagnostic study of static disorders.

Today the possibilities offered by scientific analysis are so numerous and safe as to give comfort to the restorer or researcher: they spread, branch out and penetrate into disciplines that examine the behaviour of building materials under the action of physical, chemical, biochemical, biological, microbiological and botanical agents and that study resistance of the structures and materials to the stresses inherent in any part of the building or to exceptional external forces.

In order to offer a general, comprehensive method of research we will suggest a basic breakdown of the subject matter, based on objective and easily checked circumstances.

If we direct our attention to the building, considering its organic essence as the result of successive interventions, the most logical and useful division is between **intrinsic causes**, strictly connected to the origin and nature of the building, and **extrinsic causes**, that is deriving from external sources.

This large division immediately establishes a clear demarcation between the conception and genesis of the building, and the subsequent events in its life, thus precisely defining the origin of causes that are organic to the building. Therefore, intrinsic causes are separated from all the others, the action of which is determined independently from the origin or from the different phases of the historic building's construction, and in circumstances clearly distinct from those of its creation or the assumption of its definitive appearance.

The **intrinsic causes** (I) can be divided into two main groups: causes related to the position of the building (I, 1) and the causes, more numerous, related to its structure (I, 2).

Causes of the first type are strictly connected to either geo-topographical position and orientation (I, 1, a) or inherent in the foundation soil of the building (I, 1, b).

Causes of the second type are generally related to single building elements (natural and artificial materials): stone and marble; bricks and terracotta elements; woodwork; lime mortar and binding materials in general (I, 2 a), or to the complex of factors of execution deriving from considering the building as a whole (I, 2, b) on the basis of the project (that is, defective proportions of the sections of the resistant structure) or of execution (choice, use and treatment of materials, means of construction etc.) or else on the basis of technology limited to foundations, wall structures, roofing. We shall study the principal specific causes — generally well distinguished from each other — deriving from the general causes and juxtaposed with them, assessing their nature and extent.

Having dispensed with the causes inherent in any original or organic defects of the building, we will consider events that may have occurred subsequently or that remained to disturb the building. These are the external causes, which we label **extrinsic**.

Extrinsic causes can be divided into two main groups (II): the forces of nature or human actions. Given the very wide range of natural causes (which we are learning more and more about) it is convenient to subdivide them once more, according to speed of action. These causes can be organized as follows:

*Natural causes: prolonged action* (II, 1)

*Natural causes: occasional action* (II, 2)

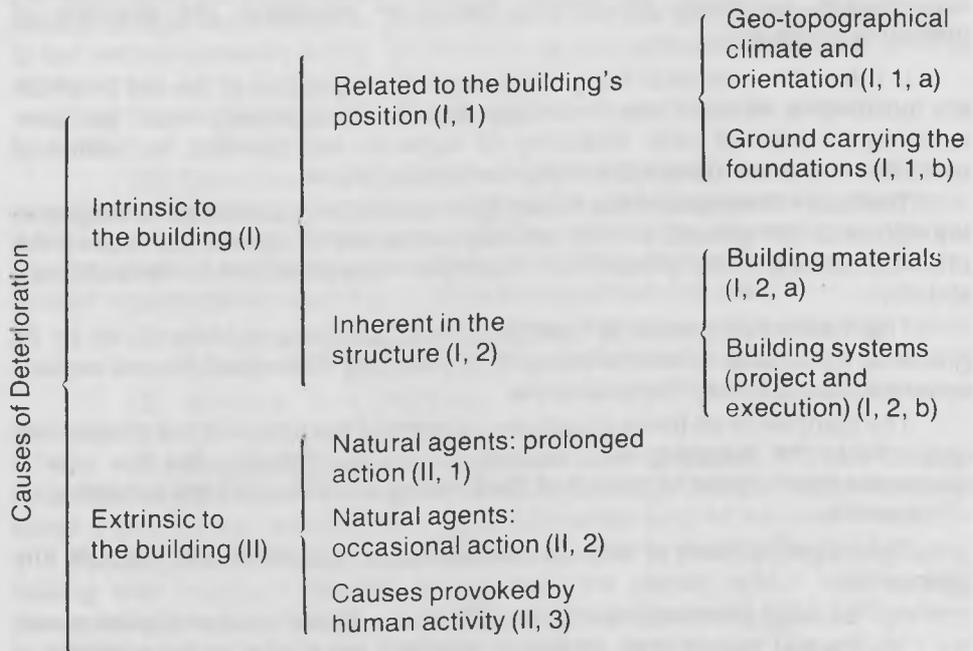
*Causes provoked by human activity* (II, 3)

The first group includes the whole spectrum of physical, chemical, electrochemical, botanical, biological, microbiological etc. actions that slowly sap the building's life in all its structures and that can be classified under the heading "aging of the construction".

Causes of the second type are linked to exceptional natural phenomena, often violent and almost always difficult to predict and to avoid (earthquakes, floods and other natural disasters).

Among the causes enumerated in the third group are war damage caused by human activity and especially all deliberate modifications in the original organism, to the various structures and to the functions of the buildings as well as changes in the surrounding environment and underground conditions.

We should keep in mind this well-taken distinction. Intrinsic causes include all the phenomena related to the building, even if it was built in several phases or finished much later, but always as part of a unified project. Extrinsic causes, however, consist of all the consequences of subsequent interventions involving unexpected and substantial modifications in the original concept which result in a multitude of weaknesses.



We shall now consider separately the various types of causes mentioned. The aim of this analytical inquiry is to indicate the elements necessary to an evaluation of the historic building.

### **Intrinsic causes related to the building's position (I, 1)**

These concern above all the geo-topographical position (I, 1, a) and the composition of the ground (I, 1, b) on which the building was erected.

I, 1, a — The climatic conditions to which the building is exposed, and which it should be built to withstand, depend upon its geographical position. If the building is not suitably protected against its environment, there can be no doubt that the damages have an intrinsic cause. But even the normal relation

between the resistance of the building and the climate is not always reliable because it is subject to shifts and modifications with time resulting in diminished resistance of the organism, as happens in the animal and plant world. As a rule, this phenomenon is included therefore among the events and the case histories in the building's life and extends beyond the intrinsic causes.

In this case the particular topographical situation can greatly influence or aggravate climatic conditions, as for example the siting of a building near a stream, or a lake or a rocky precipice; the specific consequences cannot be considered as therefore strictly intrinsic.

The orientation of the building can also have a direct influence on its conservation, especially concerning means of insulation, the direction of prevailing winds, etc.

l, 1, b — The nature of the ground and the composition of the soil on which the building is erected are extremely important, especially from the geo-hydrological point of view, including its make-up and position, inclination of rocky strata, and conditions of underground water tables.

The load transmitted to the foundations should be apportioned according to the nature of the ground and its specific resistance: it should not exceed the physical capacity of the ground. This is a preliminary condition for the building's stability.

The visible (orographical) configuration of the ground, determined by its gradient, by surface characteristics, by the natural downward flow of surface water etc., also plays an important role.

The complex of all these situations, inherent in the nature of the ground, not only affects the durability and stability of the foundations, but the latter's responses often spread to the rest of the building and influence the conservation of the whole.

The following types of tests on the foundation ground should precede any intervention.

- (1) Geological assessment of stratifications. In the case of alluvial areas, the test should note, by taking samples, the quality of the subsoil to a significant depth, proportioned to the volume and the load of the building.
- (2) Load test.
- (3) Possible consolidation tests (chemical, physical, mechanical etc.).
- (4) Research on water tables, springs, possible planes of slippage.
- (5) Identification and analysis of old or recent embankments.

All the specific research, also of historic character, on former circumstances as well as current use of materials should be incorporated into these general tests. For any given restoration the above tests should be thoroughly conducted.

### **Intrinsic causes related to structure (1, 2)**

These causes are determined by faults in the building materials or the structure itself: even if they are not so serious as to alter totally the static equilibrium and therefore negate the life of the building, they are a threat to structural stability or at least to preservation of single elements.

Such defects can be grouped in two categories: defects in materials (1, 2, a) and real construction defects (1, 2, b).

The first type of defect relates to the choice of building materials. Such defects are inherent in the sizing, cut, treatment, distribution and use of elements composing the resistant framework, including the binding materials in relation to their static function. They are generally due to insufficient resistance to the various stresses acting on them, or to poor workmanship, poor binding materials etc.

The following are types of verification tests that can be carried out on materials.

(1) Stone and marble. Place of origin, quarrying methods (which may damage their resistant structure), transportation methods, treatment, laboratory tests on homogeneity, hardness, workability, freezability, thermal conductivity, wear, resistance to compression, flexion or cutting. In the case of used stone, tests of impermeability and chemical hardening are carried out.

(2) Bricks and terracotta elements. Resistance tests (as with stone and marble), analysis of firing, quality of clay used, porosity, chemical inertia.

(3) Mortars and binding materials in general. Hardening, disintegration and adhesivity tests.

(4) Woodwork. Tests of resistance to compression, flexion, cutting, hardness, workability. In the case of wood, knowledge of the insects that may attack it is very important (termites, various parasites such as wood-worms etc.).

For the causes of material deterioration we refer to the following paragraphs dealing with structural defects. At this point we cannot refrain from noting, theoretically, the role of single elements in resistant structures. Let it suffice here to mention the case of lime mortars, a subject treated very superficially by restorers. There are great variations in this universally diffused binding material, differing from place to place according to differences in stone and firing systems. Each type of mortar has its own hydraulic properties, setting time, shrinkage, colour, proportion of inert filler required, use and seasonal usage.

All this leads to important practical consequences. For example an old plaster is to be renewed. A knowledge of the characteristics of composition and of use will be especially useful in the case of ancient plasters that have survived beyond the usual length of time, under normal conditions.

Such binding materials (lime mortars) can deteriorate with quite serious results, especially when used in large quantities. Poor quality mortars, the choice of inadequate fillers such as earthy or clayey sands, incorrect proportions of the mix, the presence of plaster in the mix, the lack or insufficiency of

water, the excessive thickness of layers, do not allow mortar to set properly. It should become crystalline and at least as hard as brick, but it becomes dusty instead and does not adhere properly to the stones. It just fills the spaces between the various stone courses, held there by compression.

Therefore mortar does not resist the force of traction and has a reduced friction coefficient. In the structure, this may lead to a further flattening of joints, with an imbalance in the distribution of load and consequent deterioration.

Stone can also have initial quality defects. On removal the material should be in its best condition, compact, without cracks, not roughed out too violently, and should be prepared so that the laying bed of the future stone blocks coincides with the quarry beds.

Construction defects (I, 2, b) in contrast to those deriving from insufficient structural resistance have diverse causes: installation, errors in placing the various parts of the structures according to the load or thrust and to their resistance or counter-thrust etc.

The two categories of defects (I, 2, a and I, 2, b) are often mixed together or independent. For example the insufficiency of the resistant elements and the uncertain equilibrium between the structures of a building are in many cases the result of alterations carried out for different reasons on the internal composition, or on single physical elements composing the different structures. These alterations, lessening the resistance and cohesive quality of the various structural elements, compromise the original equilibrium.

Every part of a building fulfils a precise function in its static balance because it resists the stresses exerted by other parts. Therefore it must respond to special requirements of size and position. Otherwise phenomena of all kinds arise that are among the most dangerous causes of deterioration and that gravely threaten the building's conservation.

Without considering specifically the causes of deterioration resulting from foundation defects, these phenomena can be grouped in two categories, according to the type of stress to which the structure is subjected:

(1) causes of deterioration due to excessive vertical forces, in relation to the size of the support structure;

(2) causes of deterioration due to non-vertical stresses or stresses that are not sufficiently counterbalanced by means of adequate resistant structures. These causes are due to defects in, or lack of, the structure itself.

To understand the mechanics we shall briefly note the essential characteristics of the different actions. Only with this background will it be possible to start calculations to determine the existence and the degree of possible errors in design.

Our treatment will not consider the nature of materials and the form of structures and buildings. It will deal only with generally valid considerations and norms applicable to the most disparate cases, to historic buildings belonging to different architectural styles, of various execution and materials.

Such a treatment will therefore omit concrete examples in order to maintain general validity and universal effectiveness.

### 1. *Causes of deterioration related to vertical forces*

In constructions formed by structures placed horizontally, the load acting on each of them is the sum of their own weight and the accidental load (due to the presence or possibility of objects, furniture, and other weights belonging to the building and its function). The sum of such forces is exerted vertically and, according to the architectonic form of the building, is distributed among the resistant sections of each structure. The static balance of the whole is therefore guaranteed by the resistance capacity of such sections versus the load acting on them: this capacity is measured by the surface of its horizontal section.

When the weight exceeds this product, the structure is placed under an excessive load and cracks appear. These cracks are called "buckling cracks" and, as we shall see, they take various forms: vertical cracks, swelling of the external surfaces (especially in the case of facings) and in more serious cases, detachment of the most stressed parts. The buckling phenomena occur on the vertical supporting structures and most often on those that are not homogeneous and that have interior deterioration. In fact, under the effect of compression the less resistant materials lose cohesion with the most resistant materials, on which in consequence the excessive load is concentrated, so as to exceed their capacity of resistance.

The excess of vertical load, which naturally happens in the lowest part of buildings, is frequently found in constructions supported by piers on which the loads are concentrated (for example the ground floor colonnade of multistorey buildings) or structures where all the weight of the upper construction is accumulated and distributed among a few vertical supports with reduced section in comparison to that of the superimposed structures.

A particular and noteworthy consequence of excessive load is subsidence of the foundations. We shall soon examine this problem.

Phenomena of an entirely different type can be provoked by excessive vertical forces when they are exerted not only on the vertical load-bearing structure but on horizontal carried elements as well. They thus create a bending stress. Characteristic examples are the rather common cases of beams supporting old wooden floors and of architraves of doors and windows. The effects of bending on similar elements vary according to the material used. In the case of wood, an elastic material, a certain deformation due to load does not necessarily mean static deterioration, unless it goes beyond certain limits and causes the progressive rupture of the longitudinal fibres. In the case of a stone architrave, which is rigid by nature, the excessive load will break the monolith and the static balance is immediately compromised.

## 2. *Causes of deterioration related to non-vertical forces*

When the loads are transmitted to the structures in a non-vertical direction, we have oblique forces. This is either because of the structural features of the architecture or because of particular conditions of the accidental load.

The accidental loads acting in a non-vertical direction are infrequent and occur almost exclusively in the case of embankment walls, swimming pools, basins, etc. In fact they exert an oblique force in which the horizontal component, increasing from top to bottom, tends to give the structure a rotation movement towards the exterior. The defect appears with a horizontal shift that can be general but is more often irregular and causes almost horizontal breaks that betray a sliding tendency in the upper layers of the wall.

Much more frequent and important are those oblique forces due to selected structures and generally to the reciprocal forces that occur in the various parts of the construction.

These forces occur when the transmission of loads or weights to other elements is made through non-horizontal contact surfaces, for example the stones of an arch or a vault and the tie beams of a single-pitched roof when the tie beams and horizontal tie rods are deficient.

In the case of an arch or a vault, the sum of the loads transmitted by single stones on the impost block acts on the impost as an oblique force and can be divided into a vertical and a horizontal component. In consequence the horizontal force acts on the impost itself as a force tending to impart rotation towards the exterior of the arch, with the clear result of static damage.

The oblique force of a curved section is in fact the result of reciprocally contrasting forces between the various wedge-shaped elements: therefore its strength increases with their separation, as happen in arches made with large squared blocks.

In arches and vaults made with small concrete blocks or with bricks or tiles connected by binding material, the structure is theoretically a sort of artificial monolith that exerts a force only when, and to the extent that it is broken into irregular elements: its complex static behaviour is tied not only to the theoretical effect of reciprocal forces, but also to the practical conditions of their balance.

The decomposition of similar inherently wedge-shaped structures — as is done for static analysis — is only an abstract hypothesis which can be useful in that it represents the most extreme, least favourable case affecting the stability of the whole.

We should also keep in mind the simplest and most easily identifiable oblique forces, which are generally the less dangerous ones. They are due to inclined roofing without horizontal tie beams, that is single-pitched roofs

supported simply by beams at the extremities with no horizontal chain system or oblique rafters. This represents the common scheme of half-truss design having a vertical thrust.

In such cases the oblique forces are concentrated on the main beams. The stresses they exert are divisible into a vertical and horizontal component and are analogous to what happens in arches on their impost block. As these are lighter structures, the consequences of such forces are less evident than those produced by vaulted arches, but they are not negligible because the thrusts are not opposed by the weight of the superior walls and because the impost structures are thinner in view of the lighter weight they are meant to carry.

\* \* \*

What we have explained about vertical and oblique forces is a response to a basic need for information and general concepts so as to assure valid treatment and application in the most varied conditions. We have excluded everything concerning cracks provoked by these forces and remedies to avoid their consequences. We shall speak specifically about this in a forthcoming section.

Owing to the generic quality of the subject, this treatment is valid for both groups of structural defects, defects of form and defects of construction. To establish preliminary divisions would be random and unproductive. Only by examining the building and the data pertaining to its construction can we determine whether the defects arise from the original design and project phases or whether to ascribe them exclusively to the execution of the work or to defects in methods and materials.

Having considered the general causes we now proceed to the specific causes, previously mentioned, which are related to the main part of the construction: foundations, structures above ground and roofing.

Typical defects of masonry foundations are, due to normal settlement phenomena during the construction of the building or subsequently caused by underground stagnant or running water.

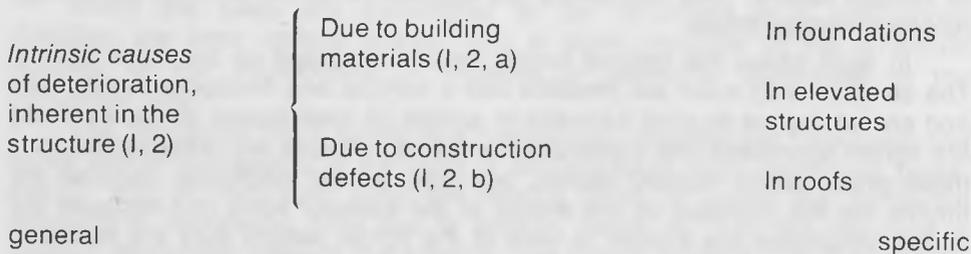
In palisade constructions, rotting and aging of wood are to be feared.

The most familiar and frequent causes of deterioration in elevated structures include excessively concentrated loads, poor quality in binding materials and mortars, and limited durability of some materials.

In the case of roofs, the most frequent causes of deterioration are wear, breaking or sliding of roof materials or deterioration of the support framework. The meager impermeability of flat roofs and the resulting secondary phenomena characterize old horizontal roofs, typical in dry climates.

The intrinsic causes of roof deterioration, irregardless of form, contribute to the ruin of the whole historic building.

The following diagram summarizes the subdivisions given above:



## EXTRINSIC CAUSES

### Natural causes: prolonged action (II, 1)

Each building is erected on ground and lives immersed in its own atmosphere. The variable conditions influencing its life can be divided as follows:

- Physical causes (II, 1, a);
- Chemical and electrochemical causes (II, 1, b);
- Botanical causes (II, 1, c);
- Biological and microbiological causes (II, 1, d).

a) *Physical actions* (II, 1, a) — Omitting resistance to interior and exterior stresses, the physical behaviour of material concerns above all the action of heat and especially of temperature extremes due to fire and very low temperatures caused by freezing. The action of water in its various manifestations numbers among the physical causes of deterioration, as do wind action, wave motion and bradyseism. They are often easily identified. Recent discoveries in the field of molecular composition and electric and radioactive behaviour lead us to believe that new research systems will allow, in the future, the identification of other aspects of possible physical actions in building structures. Generally physical actions, except those due to fire, are slow and difficult to reproduce in laboratories. Therefore they must be studied through repeated observation of the building itself.

The imposing complex of physical causes encompasses *heat, water, wind, and earth*, often acting dynamically and setting off other related actions.

Thermal causes depend upon the extent and frequency of fluctuations in air temperature which have more or less significant effects, especially in relation to variations in the porosity and thermal conductivity of materials. All the phenomena due to freezing are included in this category as well as the phenomena of decomposition, weakening and pulverization due to heat.

Hydraulic causes are quite different. Besides the significant mechanical and solvent properties of rain water and the penetration of driving rain, humidity is determined by phenomena of percolation, suction and condensation; the latter is through the vehicle of air.

Phenomena of rising damp due to capillarity can occur at a considerable height above damp soil. The resultant chemical action and the appreciable surplus of water cause static deterioration.

The combined actions of temperature and humidity assume great importance in equatorial and tropical climates because they favour chemical decay. A large number of chemical reactions are based on the presence of humidity and favoured by rises in temperature. These conditions also encourage biological degradation, providing an excellent environment for development of micro-organisms and cryptogams (moulds, lichen, algae, etc.).

There are also various physical actions produced by wave motion and marine and fluvial erosion.

The force of wind on ancient buildings and the phenomena of wind erosion, often very strong and compounded by the specific action of solid air-borne particles (such as sand storms), constitute yet another group of agents.

The summary picture of physical causes is completed by bradyseism, the slow upward and downward movement of the ground that generally occurs along coastal areas.

#### b) *Chemical and electrochemical actions* (II, 1, b)

The effects of chemical agents on building materials are easily determined by means of laboratory research which permits identification of the alteration undergone by the materials themselves and the profound transformations that sometimes occur. Such investigations, carried out on samples taken from different parts of the building, in order to compare the various effects produced, are included among the normal research activities of scientific laboratories studying natural stone and artificial building materials. The investigations are electrochemical or biochemical when the chemical action is due to biological agents acting on the composition of the materials.

Atmosphere and water are the main vehicles of chemical actions. One of the most common atmospheric phenomena is oxidation. In general it does not cause direct damage to buildings except when iron or other metals are present. Their swelling causes highly visible breaks and cracks in the stone where they are embedded. Products derived from the combustion of fuel oil and coal emitted into the atmosphere, and in exceptional cases, from volcanic activity, cause even more serious processes of disintegration.

Atmospheric pollution is caused by gaseous and solid particles. Among the most fearful are the sulphur compounds (sulphurous and sulphuric) that transform the carbonates of building materials into sulphates and cause an increase in volume resulting in cracking, flaking and spalling of the visible surfaces of the stone.

The action of fog deposits droplets of sodium chloride, which are also transported by sea winds. The solid particles — so called smog — contribute to alter the form and colour of exterior facings.

Water is an active vehicle of chemical reagents. Rain is also chemically active, for it contains carbon dioxide and various salts. Chemical compounds, either in solution or suspended in water, being the result of disintegration of rocks and at times of industrial processes or contact with sea water intensify, with specific reactions, the phenomenon of capillary humidity. This is another example of actions collaborating in chemical-physical degeneration.

Chemical reactions are often caused or accompanied by electric current. These stray currents in the subsoil can provoke changes in the composition of foundation materials, diminishing their specific resistance.

c) *Botanical causes* (II, 1, c)

Botanical causes can easily be recognized through the damage caused by plants (normal or parasitic vegetation). The growth of plants in the immediate vicinity of historic buildings at times compromises their conservation, especially when underground roots undermine foundations and walls. Seeds are often deposited in horizontal joints and projections. The fine roots penetrate towards the interior, then grow slowly, acting just like wedges, separating and detaching elements of the wall structure.

Parasitic vegetation either aggravates the situation caused by normal plants or lives at the expense of the building. It is more dangerous because it affects the facing and original surface of buildings, as happens with ivy and other vines. Due to misplaced romantic taste, their subtle destructive power has not always been properly feared. Despite their small size, cryptogams are nearly always dangerous.

d) *Biological and microbiological actions* (II, 1, d)

Similar to chemical actions, biological and microbiological actions also transform the inner composition of the material and can be identified through investigations in specialized laboratories. The damage is produced by the action of micro-organisms (bacteria etc.), often with accompanying biochemical transformations.

Special mention should be made of wood-eating insects, destroyers of wood structures and decor (wood-worms, white ants, termites). Termites are the most dangerous because the damage they produce is disguised on the exterior and appears quite late, when it is irreparable.

Other types of damage are caused by higher animals, by the more or less quick action of mice and other rodents. Last, we should mention the chemical reactions that result from the droppings of birds that nest or perch on historic buildings.

### **Natural causes: occasional action (II, 2)**

This category includes natural events that occur violently and suddenly, often qualifying as real disasters. Their accidental character does not allow systematic classification of the causes. We can list the principal types:

- earthquakes;
- tidal waves;
- landslides and all the phenomena of soil motion and disintegration;
- volcanic eruptions and efflux of gases;
- cyclones, hurricanes, tornadoes, typhoons;
- floods and other events due to an exceptional water flow;
- avalanches, snowslides etc.;
- fires due to spontaneous combustion.

The various effects of freezing are not placed in this category because they are seasonal, repeated with an annual rhythm. Therefore they are included in the category of causes having prolonged action.

In places where freezing occurs irregularly, at intervals of many years, the phenomenon can be considered as accidental and more dangerous as it is unpredictable.

### **Causes provoked by human activity (II, 3)**

First of all, this group includes the modifications and transformations brought about in the course of centuries, through enlargements and added elevations, that have more or less substantially altered the building's original structure, often disturbing the balance of vaults and arches. When the new loads are excessive, various types of deterioration arise, easily diagnosed and in many cases the result of poorly executed repairs. Even in the inverse case — that of partial demolition — we can notice static troubles, due to the shifted balance, broken by misconceived albeit limited interventions that modify the "status quo".

Man-made changes in subsoil conditions (by alterations in the ground-water table or by tunnelling of galleries and passages) interfere in the delicate area of foundations which must support and transmit the heaviest unit load.

Damage caused by man, in contrast to that by nature, can or could — be avoided. These avoidable situations are short circuits or other damage from electric installations, explosions of various types (from combustible gas for domestic use to inflammable fuel deposits etc.), flooding due to faulty maintenance of roofs, household or industrial water systems and heating pipes, fires and arson.

We will omit a discussion of the abhorrent damage due to wars and hostilities — and not all attributable to various weapons. Moreover, the exceptional progress of destructive techniques and the possible effect of such actions are unpredictable.

Here ends the list of direct damages, caused more or less consciously. Man contributes directly to broaden the scope and results of damage in every respect; from different conditions of light and usage created by the construction of new buildings to the complete transformation of the surrounding environment which changes and violates the traditional conditions of many historic buildings.

Mechanical vibrations, transmitted more and more frequently by the soil, water and air, and by the growing volume of surface traffic, subways and industry also subject historic buildings to perilous dangers. The signs of disintegration are evident.

As we have seen, modern civilization attacks the life of historic buildings with emissions of gases and industrial fumes.

This is all the more reason for modern man to feel the moral obligation to carry out restorations, whenever and to whatever extent possible, acting in unity and determination.

## STUDIO DEI MONUMENTI DAL PUNTO DI VISTA STORICO, ARTISTICO E TECNICO

Volendo modernamente considerare l'architettura come un linguaggio, i monumenti mostrano di avere, e talvolta di nascondere, aspetti nuovi e significativi, dai quali prendere le mosse per una loro interpretazione intima e profonda.

La semantica e sintattica del linguaggio architettonico aprono nuove possibilità di carattere metodologico, alle quali ci si deve riferire per una analisi aggiornata della fenomenologia architettonica e delle espressioni che seguiamo a qualificare come monumentali.

Ammettere la struttura linguistica dell'architettura porterebbe a riconoscere ed a classificare gli elementi costitutivi delle manifestazioni architettoniche del passato. Ma — nell'intento di oggettivare concretamente l'esame — limitiamo le indagini ad un più ristretto piano sulla metodologia, pur avvertendo l'utilità di analisi e critiche che, al di là degli aspetti formali e costruttivi, si spingono perfino a ricerche di carattere psicologico, per la più larga e puntuale comprensione dei fatti architettonici.

Lo studio del monumento può basarsi, come vedremo, sull'effettuazione di rilievi e di altre eventuali rappresentazioni, ma non si esaurisce certo in tale documentazione, anche se questa consiste in esaurienti e talvolta rivelatrici espressioni grafiche.

Lo studio deve seriamente affrontare i più vari problemi connessi all'essenza e alla vita del monumento ed investire molti, forse impreveduti, campi di indagine; sarà pertanto opportuno prevedere uno studio idealmente completo, articolantesi in modo globale ed organico e suscettibile di flettersi alle infinite variazioni monumentali.

Qualora si intenda predisporre esaurienti indagini, rivolgendole in tutte le possibili direzioni, si dovrà seguire uno schema di guida che si attagli al numero maggiore di edifici o di resti monumentali, senza determinare lacune e senza far cadere in dimenticanze. Naturalmente uno schema siffatto non può non sottoporre l'unità monumentale a differenti parziali punti di vista. Ciò avviene soltanto in via transitoria per esigenze di metodo, non certo come convinta adesione di una rigorosa partizione logicamente inammissibile per l'opera d'arte; lo schema avrà, in sostanza, semplice valore di pratico pro-memoria. Anzi, durante le varie fasi dello studio proposto, apparirà chiaramente la forzatura di certe posizioni ed il riproporsi degli stessi quesiti; il ché, mentre

ribadisce l'ampiezza del panorama di lavoro e la sua efficienza in zone marginali, riconduce lo studioso a constatare, dinanzi ai veri capolavori, la sostanziale indissolubile unità del fenomeno artistico.

## ESAME ANALITICO

Dopo tali necessarie premesse, si propone un'utile tripartizione degli argomenti di studio che deve essere perseguita il più attentamente possibile:

- 1) Da un punto di vista storico e con il metodo proprio di quegli studi, per quanto riguarda sia le caratterizzazioni politiche, sociali ed economiche del periodo e della località relativi al monumento, sia le figure dei committenti e la successione dei fatti che condussero al concepimento e, poi, alla realizzazione dell'opera, sia per precisare cronologicamente le sopravvenute vicende del monumento;
- 2) Da un punto di vista artistico, mettendo in evidenza i principi estetici, le concezioni compositive e proporzionali, il raggiungimento e la qualità delle forme d'arte. Particolare cura sarà posta nella ricerca e nella precisazione delle personalità artistiche anche se sarà difficile od impossibile individuarle nominativamente;
- 3) Da un punto di vista statico-strutturale, per illustrare le soluzioni adottate, chiarendone scopi e risultati, non tralasciando indagini sulla natura e l'impiego (forma e disposizione) dei materiali, sui metodi tecnici e le consuetudini costruttive e sulla composizione dei leganti.

A questa partizione dei punti di vista, sotto cui può essere riguardato l'edificio in esame, corrisponde un'altra — pure convenzionale — suddivisione dell'effettiva consistenza monumentale.

Il monumento deve essere riguardato non soltanto nel suo insieme, ma, per meglio organizzarne lo studio, va preso in esame secondo tre principali aspetti che possono così definirsi:

A) il complesso del monumento in visione unitaria che può anche corrispondere a differenti fasi di progettazione ed a successivi interventi;

B) tutte le sue singolarità (interne ed esterne) con riferimento anche alle decorazioni, all'arredamento, ecc.;

C) in rapporto all'ambiente che lo circonda.

Lo studio può non prescindere dal considerare l'edificio inquadrato nella cultura del suo tempo, anzi il soddisfacimento di tale esigenza si configura come una delle più importanti finalità.

La ricerca deve pertanto, in questa fase, esperire ogni possibile confronto che presenti qualche sicura connessione, in modo da collocare l'edificio il più esattamente possibile nel pertinente quadro della coeva vita artistica.

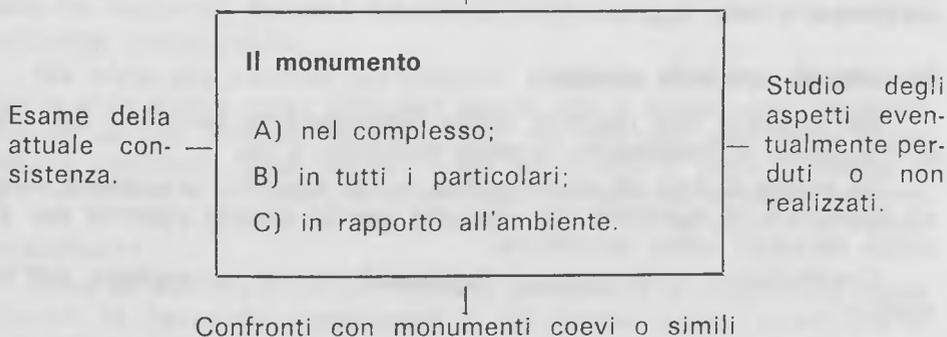
Infine sarà spesso necessario prendere in considerazione aspetti sicuramente riferibili al monumento, ma non più esistenti, perché obliterati o distrutti, oppure concepiti e non più realizzati, desumibili tuttavia da grafici, descrizioni, progetti.

Per il completamento di questo studio apparirà talvolta necessario — specie per i monumenti più remoti e per i ruderi archeologici in generale — procedere a qualche saggio di scavo, sia per raggiungere i livelli originali della costruzione in esame, scoprendone le parti interrate, sia per rintracciarne altre eventualmente preesistenti, anche nell'intento di stabilire precisi capo-saldi cronologici. In ambedue i casi i saggi dovranno essere condotti con rigoroso metodo stratigrafico, da studiosi esperti nella ricerca e nella datazione dei reperti e del materiale di scarico pertinenti ai differenti strati.

In sostanza, il monumento va affrontato considerandolo — stavamo per dire aggredendolo — in tutte le sue caratteristiche con ogni strumento di indagine. Il programma di studio potrebbe essere globalmente configurato così:

Rilevamento di ogni dato e notizia  
sotto il triplice punto di vista:

Storico (1), Artistico (2), Statico-costruttivo (3)



Gli argomenti vanno considerati ripartiti in molti potenziali paragrafi che possono essere, per esigenze mnemoniche, riassunti ed indicati in un abaco o specchio.

### Schema di indagini per lo studio del monumento

Le suddivisioni previste con le cifre 1 e 2 si riferiscono allo studio degli aspetti attuali (1) e degli altri eventuali oggi non esistenti (2).

Studio del monumento		DAL PUNTO DI VISTA		
		Storico (1)	Artistico (2)	Statico-strutturale (3)
Nel suo complesso: A		A,(1),1	A,(2),1	A,(3),1
		A,(1),2	A,(2),2	A,(3),2
In tutte le particolarità: B		B,(1),1	B,(2),1	B,(3),1
		B,(1),2	B,(2),2	B,(3),2
In rapporto all'ambiente: C		C,(1),1	C,(2),1	C,(3),1
		C,(1),2	C,(2),2	C,(3),2

I diciotto paragrafi in cui va impostato lo studio — e che debbono anche comprendere ogni possibile confronto — sono tali da illustrare partitamente le qualità dell'edificio preso in esame, anche negli aspetti inespressi e non raggiunti.

#### Ricerche di ogni utile elemento

Per ottenere tale risultato vanno pazientemente raccolti i dati che si riferiscono al monumento in modo intrinseco o no.

Lo studio di tutti gli elementi che qui di seguito riassumiamo serve ad illuminare le questioni che abbiamo veduto potersi ripartire nei diciotto paragrafi sopra specificati.

Costituiscono utili elementi **intrinseci** per la conoscenza dell'immobile:

##### a) I dati esibiti dallo stesso edificio.

Le epigrafi, le firme, le sigle, i monogrammi, le date o i segni particolari appositamente posti in modo più o meno palese; così anche gli stemmi e gli emblemi, le decorazioni murali (stucchi, affreschi, rivesti-

menti, ecc.); i graffiti, spesso con date e firme, sopravvenuti in modo casuale, se non frettoloso.

b) *I dati rintracciabili nelle strutture.*

Marche di scalpellino e bolle su laterizi; monete e medaglie offerte e documentazioni occultate nelle murature e nelle fondazioni; elementi (formali; cronologici, etc.) emersi da eventuali saggi.

c) *I dati desumibili dal monumento attraverso lo studio dei rilievi grafici.*

Osservazioni metrologiche circa le unità di misura usate nella costruzione; tracciati geometrici modulari o di proporzionamento degli spazi; preordinati schemi compositivi, ecc.

Un largo materiale *estrinseco* ma pertinente al monumento, va rintracciato accuratamente ed interpretato con acume critico.

d) *Tutta la letteratura finora pubblicata* sul monumento, sulle sue vicende e sui suoi artefici.

e) *La documentazione grafica retrospettiva.*

Antichi disegni, modelli, progetti e schizzi relativi all'edificio; carte geografiche, mappe, piante di città, vedute prospettiche anche in fondali di quadri, bassorilievi, codici miniati, disegni catastali.

f) *Gli antichi manoscritti e documenti* relativi alla fondazione, alle eventuali modifiche ed ampliamenti, come pure alla destinazione originaria ed agli usi successivi del monumento; documenti amministrativi; ordinazioni, contratti, liquidazioni, ricevute, testamenti, donazioni ed altri atti; vecchie descrizioni; carteggi; censimenti; relazioni di visite pastorali ecc.

L'elenco comprende tutti i possibili dati di fatto o documentazioni della cui esistenza dovremo informarci, anche se non riescono sempre facilmente rintracciabili.

Ma oltre alla raccolta dei suddetti elementi, si deve spingere la ricerca e lo studio verso altri vari aspetti che a prima vista sembrano sfuggire ad una concreta oggettivazione, ma che non sono meno determinanti, risultando quasi sempre i più importanti. E' tutto il mondo di idee, di civiltà, e di cultura che non solo gravita attorno al monumento ma che vi trova precise espressioni, od almeno vi si riverbera inequivocabilmente.

Sono gli autori con le loro marcate personalità artistiche che vanno ricercati, le figure dei committenti di cui devono essere ricostruite le aspirazioni ed il sogno d'arte, sono gli accenti particolari che differenziano il capo d'opera dal comune linguaggio.

Tutte voci che vanno criticamente valutate e che posson trovare, ciascuna, rispondenza nello schema suggerito.

A questo punto non crediamo necessario fornire qualche applicazione esemplificativa intesa ad illustrare, per ogni suddivisione proposta, i limiti e la natura dello specifico materiale di studio, poiché non potremmo che ampliare quanto è stato sin qui detto, senza aggiungere alcunché di sostanziale.

Desideriamo soltanto fare una raccomandazione finale. Lo studio metodico che si è consigliato porta ad una visione analitica che se abbiamo cercato di non far riuscire lacunosa, potrebbe certo risultare troppo episodica e frammentaria.

Una siffatta doverosa anatomia non può certo essere fine a sé stessa. Perseguita per comodità di studio, serve a fini di completa conoscenza, non semplicemente anagrafica. Ma il monumento deve risorgere nella sua unità che le indagini e le riflessioni compiute avranno reso maggiormente motivata ed esauriente, e tale dovrà apparire negli scritti che si auspica potranno riassumere gli studi, coronandoli con una meditata pubblicazione.

Dalle lontane premesse dell'atto creativo sino alle ultime vicende di un lunga vita, emergerà l'essenza, il vero significato dell'opera antica con il suo messaggio artistico ed umano.

## CAUSE DI DETERIORAMENTO

La necessità — quasi sempre tardiva — di provvedere efficacemente alla conservazione ed alla vita del monumento, con interventi straordinari di restauro, postula l'esigenza di scegliere bene e proporzionare i rimedi alla natura ed alle cause dei dissesti.

Ogni progetto di restauro deve essere perciò preceduto da un accurato studio diagnostico, così come qualsiasi terapia deve discendere dall'esame etiologico, ed essere strettamente correlativa alle effettive cause di origine patologica o traumatica.

La diagnosi dei dissesti deve perciò costituire — dopo l'approfondita conoscenza del monumento — il primo compito del restauratore, il quale vi si deve accingere con pazienza e con metodo e — attraverso le più accurate ricerche — deve essere in grado di concludere il proprio lavoro con l'esatta individuazione delle cause, spesso variate, multiforme e complesse, che li hanno generati.

L'esigenza categorica di aver presenti tali cause e di raggrupparle secondo un ordine logico, presuppone la risoluzione preliminare del quesito sul come possano venir più opportunamente suddivise ed elencate.

I dissesti statici possono essere determinati da due o più cause agenti in modo indipendente o concomitante e, talvolta, esaltatesi a vicenda. Il nostro esame non deve quindi arrestarsi dopo aver riscontrato o raggiunto la causalità del fenomeno, giacché quella che ci appare come principale o predominante può essere accompagnata da altre cause meno evidenti. La loro pluralità ed interdipendenza costituiscono uno dei temi più frequenti e di maggior interesse nello studio diagnostico delle perturbazioni statiche.

Le possibilità offerte dai mezzi scientifici di studio sono oggi così numerose, larghe e sicure da dare conforto al tecnico od al ricercatore; esse si estendono, si ramificano e si addentrano sempre più nel campo delle discipline che esaminano il comportamento dei materiali da costruzione sotto l'azione di agenti fisici, chimici, biochimici, biologici, microbiologici e botanici e che studiano la resistenza delle strutture e dei materiali alle sollecitazioni inerenti a ciascuna parte dell'edificio o ad azioni esterne di carattere eccezionale.

Allo scopo di fornire un metodo di indagine il più possibile generico e comprensivo, riteniamo perciò di dover subito fare una sostanziale ripartizione, basata su circostanze oggettive e facilmente riscontrabili.

Se polarizziamo la nostra attenzione sull'edificio, considerandolo nella sua essenza organica come risultato di riprese e di interventi successivi, ci sembra logica ed opportuna una prima divisione fra *cause intrinseche*, legate strettamente all'origine ed alla natura dell'edificio, e *cause estrinseche*, cioè intervenute dall'esterno.

Questa grande suddivisione stabilisce immediatamente una chiara linea di demarcazione tra l'ideazione e la genesi dell'edificio e le susseguenti vicende della sua vita, qualificando in modo quasi sempre preciso l'origine delle cause rispetto al monumento considerato organicamente in sé stesso. Si separano nettamente e si enucleano così dalle cause intrinseche tutte le altre la cui azione si è determinata indipendentemente dalla nascita e dalle diverse fasi costruttive del monumento ed in tempi chiaramente distinti da quelli della sua creazione e dell'assunzione del suo aspetto definitivo.

Le *cause intrinseche* (I) si possono ripartire in due grandi categorie: quelle relative alla posizione (I, 1) in cui sorge l'edificio e quelle, più numerose, inerenti alle sue strutture (I, 2).

Le prime o sono strettamente collegate alla posizione geotopografica ed all'orientamento (I, 1, a) oppure sono comunque inerenti al terreno di fondazione dell'edificio (I, 1, b).

Le seconde si riconnettono, in modo generale, ai singoli elementi costituenti (materiali sia naturali che artificiali: pietre e marmi, legnami, mattoni ed elementi in terracotta, calci e leganti in genere) (I, 2, a) o al complesso dei fattori di progettazione e di realizzazione derivanti dal considerare l'edificio nel suo insieme (I, 2, b) in funzione delle indicazioni di progetto (ad esempio: il difettoso proporzionamento delle sezioni delle strutture resistenti) o di esecuzione (circa la scelta, l'impiego e la lavorazione dei materiali, le modalità costruttive, ecc.) o ancora specificatamente tecnologiche, limitate cioè alle *fondazioni*, alle strutture propriamente murarie ed alle coperture. Vedremo quali siano tali principali cause specifiche — solitamente ben differenziate — che discendono da quelle generali, e vi si affiancano, precisandone talvolta la portata e la natura.

Sgombrato il terreno dalle cause comunque inerenti alle eventuali tare iniziali ed ai difetti organici dell'edificio, sarà logico e semplice considerare in seguito i possibili eventi sopravvenuti successivamente o che permangono tuttora a turbare la vita dell'edificio. Si prendono così in esame le cause esterne che abbiamo convenuto di chiamare *estrinseche*.

E' facile ripartire le cause *estrinseche* (II) in quelle che dipendono da azioni naturali o dall'opera dell'uomo. Data l'amplissima gamma delle cause naturali — i cui stadi vanno precisandone sempre più i campi di applicazione — si ritiene che si possa adottare una prima suddivisione, distinguendole sulla base delle loro lente o rapide modalità d'azione. Tutta la vasta materia potrebbe risultare così ripartita:

- Cause naturali ad azione prolungata* (II, 1);  
*Cause naturali ad azione occasionale* (II, 2);  
*Cause provocate dall'opera dell'uomo* (II, 3).

Le prime comprendono le infinite azioni fisiche, chimiche, elettrochimiche, botaniche, biologiche, microbiologiche ecc., che minano lentamente la vita degli edifici in tutte le loro strutture e che in gran parte si riepilogano empiricamente nel termine generico ed impreciso di « invecchiamento della costruzione ».

Le seconde si riallacciano ad eccezionali fenomeni naturali spesso di particolare violenza, e quasi sempre difficilmente prevedibili ed evitabili (terremoti, bradisismi, alluvioni, ecc.).

Tra le cause elencate per ultime rientrano i danni arrecati all'edificio in conseguenza di guerra, ma anche, e soprattutto, le modifiche apportate di proposito dall'uomo all'organismo originario, alle diverse strutture ed alla destinazione degli edifici, come pure i mutamenti arrecati all'ambiente circostante ed alle condizioni del sottosuolo.

A questo proposito va tenuta ben presente una doverosa linea di demarcazione. Come abbiamo veduto, alle cause intrinseche vanno riportati tutti i fenomeni relativi alla natura dell'edificio anche se questo sia stato attuato in più tempi o terminato molto più tardi, ma sempre in relazione ad una unità di progetto. Invece, tutte le conseguenze dovute a successivi interventi ispirati ad impreviste sostanziali modifiche della concezione originaria costituiscono la moltitudine dei dissesti la cui causa va giudicata estrinseca.

Le grandi famiglie che raggruppano le cause di deperimento possono così riportarsi a precise categorie, schematicamente indicate nel seguente specchietto riassuntivo:

Cause di deterioramento	I. Intrinseche all'edificio	relative alla posizione dell'edificio, (I, 1)	}	clima e orientamento geo-topografico (I, 1, a)
		inerenti alla struttura (I, 2)	}	terreno di fondazione (I, 1, b)
	II. Estrinseche all'edificio	dovute ad agenti naturali ad azione prolungata (II, 1)	}	elementi costituenti (materiali) (I, 2, a)
		naturali ad azione occasionale (II, 2) provocate dall'opera dell'uomo (II, 3)	}	sistemi costruttivi (I, 2, b) (progetto e realizzazione)

E' necessario ora specificare meglio ed individuare — una per una — le diverse cause, sin qui soltanto prefigurate in modo sommario e raggruppate in sette grandi famiglie. Scopo di tale indagine analitica è essenzialmente quello di indicare gli elementi indispensabili a riconoscerle singolarmente ed a valutarle.

### **I. Cause intrinseche alla posizione degli edifici (I, 1)**

Riguardano soprattutto la posizione geo-topografica (I, 1, a) e la natura del terreno (I, 1, b) su cui sorge l'edificio.

I, 1, a - Dalla posizione geografica discendono sostanzialmente le condizioni climatiche cui l'edificio è soggetto ed alle quali dovevano essere adeguate le previsioni e le concrete attuazioni protettive dell'edificio; se quest'ultimo non risponde a queste specifiche esigenze, non può dubitarsi che i danni conseguenti abbiano una causa intrinseca. Invece, la generica normalità del rapporto tra resistenza dell'edificio ed ambiente climatico non consente una deduzione univoca in tal senso, tanto più che — come avviene pur per il mondo animale e vegetale — tale rapporto è destinato a spostarsi ed a modificarsi con il tempo per le diminuite capacità resistenti dell'organismo. Nella sua impostazione generale e normativa, il fenomeno rientra pertanto negli eventi e nella casistica propria della vita del monumento ed esula, quindi, dalle cause intrinseche.

In questo caso, però, la particolare situazione topografica può notevolmente incidere nel caratterizzare diversamente od aggravare le condizioni dell'ambiente climatico, come — ad esempio — la giacitura dell'edificio in prossimità di corsi o bacini d'acqua, di dirupi, ecc. con specifiche potenziali conseguenze che non possono non ritenersi strettamente intrinseche.

Anche all'orientamento dell'edificio secondo i punti cardinali può riconoscersi una sua diretta influenza sulla conservazione dell'immobile, specie per quanto riguarda le modalità di insolazione e la direzione dei venti dominanti.

I, 1, b - La natura del terreno e la conformazione del suolo su cui sorge l'edificio hanno una primaria importanza, soprattutto dal punto di vista geo-idrologico, per la costituzione, la giacitura, l'inclinazione degli strati rocciosi o per il regime delle falde idriche sotterranee.

Alla natura del terreno ed alla sua specifica resistenza deve essere commisurato il carico unitario trasmesso dalle fondazioni, la cui misura non eccedente le possibilità fisiche del terreno costituisce la condizione preliminare per la stabilità dell'edificio.

Ma giuoca anche un suo ruolo la configurazione apparente del terreno (che potremo definire orografica), determinata dalla sua pendenza, dai caratteri della superficie esterna, dalle naturali modalità di deflusso delle acque superficiali, ecc.

Il complesso di tali situazioni — inerenti alla natura del terreno — condiziona non solo la durabilità e la stabilità delle fondazioni, ma spesso i riflessi relativi si estendono alle strutture dell'elevato ed incidono sulla conservazione di tutto il monumento.

In sede di indagine pre-intervento si compiono, in generale, i seguenti tipi di accertamenti e di prove sui terreni di fondazione, per le modalità delle quali si rimanda a testi specifici.

1) Accertamento geologico delle stratificazioni. Nel caso dei terreni alluvionali l'indagine dovrà accertare, mediante prelevamento di carote, la qualità del sottosuolo sino a notevole profondità in relazione alla mole ed al carico dell'edificio;

2) Prove di carico;

3) Eventuali prove di consolidamento (chimico, fisico, meccanico, ecc.);

4) Ricerca delle sorgive, degli andamenti freatici, degli eventuali piani di scorrimento degli strati;

5) Individuazione ed analisi dei terreni di riporto antico o recente.

Queste prove consuete, alle quali ci si affida nella generalità dei casi, dovranno essere integrate da tutte quelle ricerche specifiche, anche di natura storica, sulle circostanze antiche ed attuali dell'impiego di quei materiali dei quali ci si deve occupare a fondo per un dato restauro.

#### *Cause intrinseche alla struttura (1, 2)*

Sono cause determinate da difetti propri dei materiali costituenti o della struttura stessa degli edifici, difetti che se anche non rivestono gravità tale da alterare totalmente l'equilibrio statico e quindi rendere impossibile l'esistenza degli edifici stessi, minacciano la stabilità dell'organismo costruttivo o, per lo meno, la conservazione di singole parti di esso.

Tali difetti possono raggrupparsi, come si è visto, in due categorie: difetti di conformazione dei materiali (1, 2, a) e veri e propri difetti di costruzione (1, 2, b).

I difetti di origine si riportano alla scelta dei materiali componenti l'opera.

Sono inerenti al dimensionamento, al taglio, alla lavorazione ed alla distribuzione e comunque all'uso degli elementi costituenti le membrane resistenti, compresi i leganti in relazione con le loro funzioni statiche, e sono per lo più dovuti ad insufficienza della loro qualità di resistenza alle varie sollecitazioni agenti su di essi o alla cattiva lavorazione, alle deficienze dei leganti, ecc.

I tipi di accertamenti o di prove che si compiono sui materiali sono i seguenti:

1) Pietre e marmi. Provenienza, metodi di cavatura (dai quali le pietre possono venire danneggiate nella loro compagine resistente). Metodi di trasporto e lavorazione, prove da compiere in laboratori specializzati sulla omogeneità, durezza, lavorabilità, gelività, conducibilità termica, usura, resistenza alla compressione, flessione e taglio. Per pietre già usate prove di impermeabilizzazione e di indurimento chimico.

2) Mattoni ed elementi in terracotta. Prove di resistenza come per le pietre, analisi della cottura e delle qualità di argille adoperate, porosità, inerzia chimica.

3) Calci e leganti in genere. Prove di indurimento, calo, adesività.

4) Legnami. Prove di resistenza a compressione, flessione, taglio, durezza, lavorabilità varia. Per i legni è importante la conoscenza degli insetti che possono attaccarli (termiti, parassiti vari sotto forma di tarme ecc.).

Per quanto riguarda le cause di deterioramento dei materiali, rimandando la trattazione relativa al sottostante capoverso riguardante i difetti strutturali, non potendo che in sede teorica prescindere nel parlarne dal relativo assemblaggio a costituire struttura resistente, basterà qui accennare al caso delle calci che rappresenta uno degli argomenti che viene trattato con più leggerezza da parte dei restauratori. Non è difficile rendersi conto della grande variabilità di questo legante universalmente diffuso ma variabile da luogo a luogo per differenza di pietre e sistemi di cottura. Da una malta ad un'altra le differenze riguardano l'idraulicità, il tempo di presa, il ritiro, il colore, la proporzione di inerte che richiedono, l'impiego stesso, in stagioni diverse.

Tutto ciò porta a notevoli conseguenze pratiche quando si debba ad esempio integrare un vecchio intonaco con nuove riprese e casi del genere. In particolare laddove si trova un intonaco antico che in condizioni normali ha resistito oltre le consuete durate, allora sarà utile conoscerne le caratteristiche di composizione e di impiego.

Tali leganti (calci) possono subire degradazioni non lievi con conseguenza di portata rilevante, soprattutto laddove sono usate a grandi masse. In caso di cattiva qualità delle calci all'origine, oppure di scelta di inerti non adatti, come sabbie terrose e argillose, di errata proporzione dell'impasto, di presenza di gesso nell'impasto, di mancanza o di insufficienza di acqua, di eccessivo spessore degli strati, ecc., la calce — che dovrebbe presentarsi dura, cristallina ed almeno della stessa durezza del mattone — è pulvirulenta e non aderisce bene alle pietre limitandosi a riempire semplicemente, tenutavi per compressione, lo spazio fra i vari filari di pietra.

Essa quindi non resiste menomamente allo sforzo di trazione ed ha un ridotto coefficiente di attrito. Questo può portare nella struttura in opera ad un ulteriore schiacciamento dei giunti con squilibrio nella distribuzione dei carichi e conseguenti dissesti.

Anche le stesse pietre possono peccare per iniziale difetto di qualità. La cavatura infatti deve fornire il materiale nelle migliori condizioni, compatto, non fessurato, non tormentato da violenti colpi di mazza per la sbazzatura e preparato in modo che i letti di posa dei futuri blocchi coincidano con i letti di giacitura della cava, non potendo subire a lungo l'effetto della fiamma.

I difetti di costruzione invece (1, 2, b) sono quelli derivanti dalle insufficienti qualità di resistenza delle strutture e possono essere dovuti a ragioni diverse: alla messa in opera, ad errori nella disposizione delle varie parti dell'organismo strutturale, in rapporto con le azioni di peso o di spinta e con le reazioni di resistenza o di controspinta di esse, ecc.

Le due categorie di difetti (1, 2, a e 1, 2, b) sono spesso mescolate ed interdipendenti fra loro, poiché, ad esempio, l'insufficienza delle sezioni resistenti e l'incerto equilibrio fra le membrature di un edificio sono, in molti casi, la conseguenza della alterazione subita, per ragioni diverse, dalla costituzione interna, dai singoli elementi fisici costituenti le relative strutture; alterazione che, diminuendo la capacità di resistenza di queste ultime o le qualità di coesione delle varie parti di esse, finisce per compromettere l'equilibrio esistente in origine.

Nell'equilibrio statico di un organismo costruttivo ogni parte adempie ad una funzione precisa, resistendo alle sollecitazioni esercitate dalle altre parti; deve quindi rispondere a ben definite esigenze di conformazione, e cioè di dimensioni e di posizione. Quando questa situazione non si verifica — o si ha quindi un difetto di conformazione originaria — si producono fenomeni di ogni genere che sono tra le cause più pericolose di deterioramento e che minacciano in modo grave la conservazione dell'edificio.

Non considerando in modo specifico le cause di dissesto dovute a carenza o cattiva conformazione delle fondazioni, tali fenomeni possono raggrupparsi in due categorie, a seconda della natura delle sollecitazioni a cui, per la varia distribuzione dei pesi, le membrature difettose sono sottoposte:

— Cause di dissesto relative ad azioni verticali eccessive, in rapporto con le dimensioni delle membrature di sostegno;

— Cause di dissesto relative a sollecitazioni non verticali e non sufficientemente controbilanciate mediante adeguate strutture resistenti, cioè a difetti, o, addirittura, a mancanza delle membrature stesse.

A questo punto non sarà inutile accennare brevemente all'essenza ed ai caratteri di tali differenti azioni in modo da comprenderne esattamente la meccanica relativa. Solo su tali basi si potranno difatti istituire calcoli di verifica per rendersi conto dell'esistenza e della gravità degli eventuali errori di progettazione.

Naturalmente, quanto si verrà qui di seguito esponendo prescinde — fin dove è possibile — dalla natura dei materiali e dalla forma delle strutture e degli edifici. Si tratta solo di considerazioni e norme di validità generale che possono applicarsi ai casi più disparati, cioè ai monumenti appartenenti alle diverse civiltà architettoniche, alle realizzazioni ed ai materiali più vari.

Tale trattazione sarà perciò necessariamente priva di oggettivazioni e di concreti esempi, al fine di mantenere una sua generale validità ed universale efficacia.

### *Cause di dissesto relative ad azioni verticali*

Nelle costruzioni formate da strutture sovrapposte orizzontalmente il carico agente su ciascuna di esse è costituito dal loro peso proprio e dal carico accidentale dovuto alla presenza od alla possibilità di altri pesi, oggetti, mobili, pertinenti alla vita ed alla funzionalità dell'edificio. La somma di tali azioni si esercita verticalmente e si distribuisce, a seconda della conformazione architettonica dell'edificio, nelle sezioni resistenti di ciascuna struttura. L'equilibrio statico dell'insieme è quindi garantito dalla capacità di resistenza di tali sezioni al carico agente su di esse, capacità misurabile per la superficie della loro sezione orizzontale.

Quando il peso supera tale prodotto, la struttura risulta sottoposta ad un carico eccessivo ed in essa si verificano lesioni che si dicono di schiacciamento e che — come vedremo a suo luogo — si manifestano in vari modi, con fessurazioni verticali, rigonfiamento delle superfici esterne, specie se costituite da rivestimenti e, in casi più gravi, con distacchi delle parti più caricate. I fenomeni di schiacciamento si verificano nelle strutture verticali di sostegno e, con maggior frequenza, in quelle non omogenee e deteriorate nella costituzione interna, ove i materiali di minore resistenza perdono, per effetto della loro compressione, la coesione con quelli più resistenti, sui quali per conseguenza si concentra il peso eccessivo, in modo tale da superare la loro capacità di resistenza.

L'eccesso di peso verticale che si verifica naturalmente nella parte più bassa degli edifici si determina di frequente nelle architetture sorrette da piloni su cui si concentrano i carichi, come, ad esempio, nei porticati a piano terreno di fabbricati a più piani o, comunque, nelle strutture ove tutto il peso della costruzione sovrastante si accumula distribuendosi su pochi sostegni verticali di sezione ridotta rispetto a quella delle strutture sovrapposte.

Una conseguenza particolare e notevole del peso eccessivo è costituita dal cedimento delle fondazioni, che esamineremo partitamente ben presto.

Fenomeni di tutt'altro genere possono essere provocati dalle azioni verticali eccessive allorché esse si esercitano non solo sulle strutture

verticali portanti, ma su elementi orizzontali portati, di notevole luce. Si determina allora una sollecitazione a flessione, di cui sono esempi caratteristici i casi assai comuni dei travi dei vecchi solai di legno e degli architravi di porte e finestre. Gli effetti che la flessione può produrre in simili elementi variano a seconda del materiale impiegato; poiché mentre nel caso del legno, materiale elastico, una certa deformazione dovuta al carico non è segno di dissesto statico se non quando supera certi limiti e provoca la rottura progressiva delle fibre longitudinali, allorché si tratta di architravi di pietra, l'eccesso del carico sovrastante si manifesta con la rottura del monolito per la sua natura indeformabile e l'equilibrio statico risulta compromesso immediatamente.

#### *Cause di dissesto relative a sollecitazioni non verticali*

Si hanno azioni oblique allorché o per le caratteristiche della stessa conformazione strutturale dell'organismo architettonico, o per particolari condizioni del carico accidentale, i pesi si trasmettono alle strutture in direzione diversa dalla verticale.

I carichi accidentali agenti in direzione non verticale sono poco frequenti e si riducono quasi esclusivamente ai casi di muro di sostegno di terrapieni, di piscine, vasche ecc.; su di essi infatti si esercita una azione obliqua il cui componente orizzontale, crescente dall'alto verso il basso, tende ad imprimere alla struttura un movimento di rotazione verso l'esterno. Tale inconveniente si manifesta nella fronte esterna con uno spostamento orizzontale che può essere generale, ma più spesso è irregolare e provoca soluzioni di continuità con andamento pressoché orizzontale che denuncia la tendenza allo scorrimento negli strati sovrapposti del muro.

Ben più frequenti ed importanti sono invece i casi di azioni oblique dovute alle strutture prescelte e, comunque, alle azioni reciproche determinatesi nelle varie membrature dell'organismo costruttivo.

Tali azioni si verificano innanzi tutto quando la trasmissione di carichi o pesi ad altri elementi adiacenti avviene attraverso superfici di contatto non orizzontali: così ad esempio, i conci di arco o di una volta e le travature di un tetto ad una sola falda, qualora manchino le catene o i tiranti orizzontali.

Nel caso dell'arco o della volta i carichi trasmessi dai singoli conci, sommandosi l'uno all'altro, danno luogo ad una risultante che al piano dell'imposta agisce sul piedritto come una forza obliqua e può considerarsi scomponibile in una componente verticale ed una orizzontale. Quest'ultima, per conseguenza, agisce nei confronti del piedritto stesso come una forza tendente ad imprimergli una rotazione verso l'esterno dell'arco, con i chiari conseguenti dissesti di carattere statico.

L'azione obliqua di una sezione arcuata è, infatti, la risultante delle azioni di reciproco contrasto esistenti fra i vari elementi cuneiformi di essa ed è quindi tanto più forte quanto più gli elementi stessi sono distanti l'uno dall'altro, come negli archi di grossi blocchi squadrati.

Negli archi e nelle volte in calcestruzzo di piccoli blocchi o in laterizi legati da conglomerante, la struttura è teoricamente una specie di monolito artificiale che esercita un'azione obliqua solo e per quanto la sua massa è in pratica frazionata in elementi più o meno irregolari, il cui comportamento statico complessivo è legato non solo all'effetto teorico delle loro azioni reciproche, ma anche alle condizioni pratiche del loro equilibrio.

Pertanto la scomposizione di simili strutture inerenti cuneiformi della quale ci si serve nell'analisi statica di essi, è solo in realtà una ipotesi astratta, che può considerarsi soddisfacente in quanto rappresenta il caso limite e più sfavorevole ai fini della stabilità dell'insieme.

Si debbono infine ricordare le azioni oblique più semplici e facili ad identificare, e generalmente meno dannose, dovute a coperture inclinate prive dei necessari tiranti orizzontali, e cioè soprattutto a tetti ad una sola falda sostenuti da travi semplicemente appoggiati agli estremi, senza l'ausilio del sistema di catena orizzontale e puntone obliquo, che costituisce lo schema comune della mezza capriata ad azione verticale.

Le azioni oblique, in tali casi, sono concentrate in corrispondenza delle travi principali, che esercitano quindi — sui punti di appoggio più bassi — sollecitazioni scomponibili in una componente verticale ed una orizzontale, analogamente a quanto succede per gli archi sul loro piano di imposta. Trattandosi tuttavia di strutture meno pesanti, le conseguenze di tali azioni sono meno sensibili di quelle prodotte da archi a volte, ma non per questo trascurabili, anche perché, in simili casi, le spinte non sono contrastate nemmeno dal peso di murature poste più in alto e perché le strutture di piedritto sono più sottili, proprio in considerazione del minor peso che debbono sostenere.

\* \* \*

Come si è già avvertito, quanto è stato sin qui esposto a proposito delle azioni verticali e oblique, ha corrisposto ad essenziale esigenza di informazione ed a nozioni il più possibile generiche, in modo da assicurare la validità della trattazione ed il suo adattamento alle condizioni più variate. Non solo, ma è stato escluso anche tutto ciò che avrebbe avuto naturale riferimento alle lesioni provocate da tali azioni ed ai rimedi da suggerire per ovviarne le conseguenze; difatti delle une come degli altri si parlerà specificatamente a suo luogo.

E' doveroso avvertire che, proprio in virtù di tale genericità, la trattazione è valida per ambedue le branche nelle quali abbiamo logicamente suddiviso le cause dei dissesti strutturali (difetti di conformazione e difetti di costruzione) e vi si attaglia in modo indifferente, senza stabilire divisioni preliminari che, d'altra parte, riuscirebbero capziose e improduttive.

E' proprio e soltanto dall'esame dell'edificio e degli eventuali dati pertinenti alla sua attuazione che si può stabilire se le cause di tali difetti risalgano all'ideazione originaria, alle previsioni ed alle fasi di progetto, oppure se debbano imputarsi invece esclusivamente alla realizzazione dell'opera, a difetti di esecuzione nei metodi seguiti e dei materiali adoperati.

Dopo tali cause generali — su cui ci siamo intenzionalmente soffermati — vanno precisate quelle specifiche già annunciate e relative alle diverse principali parti della costruzione: fondazioni, strutture fuori terra e coperture.

Ricordiamo, ad esempio, come siano tipici delle fondazioni in muratura i dissesti dovuti a normali fenomeni di assestamento, durante la costruzione dell'edificio oppure determinati in seguito da acque sotterranee ferme o correnti.

Nelle fondazioni a palizzate sono temibili i fenomeni di marcescibilità ed invecchiamento dei sistemi lignei.

Nelle strutture elevate, tra le cause più note e frequenti vanno annoverate l'insistenza di eccessivi carichi concentrati, la scadente qualità di leganti e delle malte, la limitata durabilità di alcuni materiali impiegati.

Per le coperture a tetto le cause più frequenti si individuano nel logoramento, nella rottura e nello scivolamento dei materiali del coperto, come nella deteriorabilità delle armature di sostegno. La scarsa impermeabilità delle terrazze ed i conseguenti fenomeni secondari caratterizzano le vecchie coperture orizzontali, tipiche dei climi secchi o poco piovosi.

Le cause intrinseche di deterioramento delle coperture, comunque conformate, contribuiscono notevolmente, anche da sole, alla degradazione di tutto il monumento.

Nel seguente specchio si riassumono le suddivisioni enunciate:

<i>Cause intrinseche di deperimento inerenti alla strut- tura I, 2</i>	}	Per difetti di con- formazione (I, 2, a)	generali	specifiche	nelle fondazioni
		per difetti di co- struzione (I, 2, b)			nelle murature del- l'elevato
					nelle coperture

## II. Cause naturali ad azione prolungata (II, 1)

Ogni edificio poggia su un suolo e vive immerso in una sua atmosfera e dalle loro condizioni — più o meno variabili — riceve influenze

continue di diversa natura che potremmo così ripartire:

- Cause di natura fisica (II, 1, a);
- Cause di natura chimica ed elettrochimica (II, 1, b);
- Cause di natura botanica (II, 1, c);
- Cause di natura biologica e microbiologica (II, 1, d).

#### *Azioni fisiche* (II, 1, a)

Il comportamento fisico dei materiali — prescindendo dalla loro resistenza alle sollecitazioni strutturali interne ed esterne che forma l'oggetto della scienza delle costruzioni — riguarda soprattutto l'azione del calore, specie per le temperature molto alte, dovute al fuoco, o molto basse causate dal gelo. Ma anche l'azione dell'acqua nei più vari aspetti rientra nelle cause fisiche di deterioramento dei materiali; così pure la azione del vento, quella del moto ondoso ed i fenomeni di bradisismo arricchiscono il quadro delle cause di origine fisica spesso facilmente individuabili. Le recenti scoperte, in fatto di mezzi di indagine sulla costituzione molecolare della materia e sulle azioni elettriche e radioattive, inducono a ritenere possibile che in avvenire nuovi sistemi di ricerca permetteranno di identificare altri aspetti delle possibili azioni fisiche sulle strutture degli edifici. Le azioni fisiche normali, escluse quelle dovute al fuoco, sono di regola lente e difficili a riprodursi in laboratorio; debbono quindi essere studiate con osservazioni ripetute sul corpo stesso dell'edificio in esame.

Volendo raggruppare tutto l'imponente complesso delle cause fisiche, potremmo genericamente riferirci a cause *termiche, idriche, eoliche* ed infine *terrestri*, tutte agenti in modo prevalentemente dinamico e determinanti altre conseguenti azioni.

Le cause termiche discendono dall'ampiezza e dalla frequenza delle escursioni della temperatura dell'aria che determinano azioni più o meno notevoli, specie in relazione alla diversa porosità e conducibilità termica dei materiali. Tutti i fenomeni dipendenti dalla gelività rientrano in questa categoria, come pure quelli di disgregazione, infrollimento e polverizzazione per calore.

Le cause idriche si configurano assai diversamente.

A parte l'opera rilevante delle acque piovane dovuta ad azione meccanica e solvente e l'infiltrazione delle piogge a vento, l'umidità delle muraure si determina attraverso fenomeni di percolazione, imbibizione e condensazione, quest'ultima attraverso il veicolo dell'aria.

I fenomeni di imbibizione per capillarità — talvolta stagionali — possono determinarsi sino all'altezza di parecchi metri dal suolo umido e provocare effetti degradanti per ulteriori azioni chimiche e dissesti statici per l'apprezzabile sovraccarico portato alle strutture dall'acqua di imbibizione.

Le azioni combinate di temperatura ed umidità assumono grande importanza nei climi equatoriali ed in quelli tra i tropici, favorendo la degradazione chimica, dato che gran parte delle reazioni chimiche sono basate sulla presenza di umidità e favorite da un aumento di temperatura, e la degradazione di origine biologica, per le ottime condizioni di sviluppo dei microorganismi e delle crittogame.

Vanno poi ricordate le differenti azioni fisiche prodotte dal moto onduloso ed i fenomeni di erosione fluviale e marittima.

La spinta impressa dal vento sugli antichi edifici, talvolta con azioni paragonabili a quelle di urto, ed i fenomeni di erosione eolica, spesso assai appariscenti, resi più gravi dall'azione specifica di corpi solidi, come le tempeste di sabbia, costituiscono un altro gruppo.

Infine i bradisismi, con i lenti fenomeni di abbassamento o innalzamento del terreno — appariscenti soprattutto nelle zone costiere — completano il quadro sommario delle cause fisiche.

#### *Azioni chimiche ed elettrochimiche (II, 1, b)*

Gli effetti di agenti chimici nei materiali da costruzione sono facilmente identificabili con ricerche di laboratorio, che permettono di stabilire l'alterazione subita dai materiali stessi e talora la trasformazione profonda della loro composizione. Tali indagini, eseguite su campioni prelevati in varie parti dell'edificio per poter confrontare i diversi effetti prodotti, rientrano nelle normali attività di ricerca dei laboratori scientifici per lo studio delle pietre naturali e dei materiali artificiali da costruzione, specializzati in elettrochimica od in biochimica, quando l'azione chimica è dovuta anche a fattori biologici agenti sulla composizione dei materiali.

I veicoli delle azioni chimiche sono soprattutto l'atmosfera e l'acqua. Uno dei fenomeni atmosferici più diffusi è l'ossidazione che, in generale, negli edifici, non costituisce causa diretta di danni salvo che per gli elementi di ferro e per alcuni materiali metallici; il loro rigonfiamento provoca nelle pietre ove sono infissi rotture e fessurazioni spesso assai vistose ed espressive.

Sempre più gravi processi di degradazione causano invece i prodotti derivanti dalla combustione di oli minerali e di carbone immessi nell'atmosfera o, in casi eccezionali, dalle attività vulcaniche.

La polluzione atmosferica inquinante l'atmosfera è determinata da particelle gassose o solide. Tra le prime sono soprattutto temibili i composti dello zolfo (solforosi e solforici) che trasformano i carbonati dei materiali da costruzione in solfati, determinando un aumento di volume che produce fessurazioni e distacco di lamelle e di squame sulle superfici in vista delle pietre.

L'azione delle nebbie depone particelle liquide di cloruro di sodio, trasportato anche dai venti marini, mentre le parti solide — il cosiddetto

« smog » — contribuiscono anche ad alterare forma e colore dei paramenti esterni.

Le acque sono un attivo veicolo di reagenti chimici; anche la pioggia è chimicamente attiva per la presenza di anidride carbonica e di diversi sali. Composti chimici in soluzione o sospesi nelle acque — provenienti dalla disgregazione di rocce e, talvolta, da lavorazioni industriali o da contatti con acque marine — aggravano, con reazioni specifiche, i fenomeni di umidità capillare, offrendo un altro esempio di azioni collaboranti alla degradazione chimico-fisica.

Le reazioni chimiche sono spesso determinate o accompagnate da correnti elettriche. Quelle vaganti nel sottosuolo possono provocare modifiche nella costituzione dei materiali di fondazione, diminuendone la resistenza specifica.

#### *Cause botaniche (II, 1, c)*

Sono facilmente individuabili dai danni derivati dalla pianta a vegetazione autonoma o parassitaria. La crescita delle prime nelle immediate vicinanze dei monumenti ne compromette talvolta la conservazione, specie a causa delle radici sotterranee che scanzano le fondazioni e i muri di spiccato. Sovente, i semi si posano nelle connessure dei sistemi murari specie in quelle che presentano piani e sporgenze ad andamento orizzontale o suborizzontale. Le piccole radici si insinuano verso l'interno poi crescono agendo lentamente come cunei, scompaginando e svelando gli elementi della struttura muraria.

Le vegetazioni parassitarie o aggravano la situazione delle piante autonome o vivono a spese della struttura monumentale. Gli effetti si presentano tanto più dannosi in quanto sono esercitati sui paramenti e sulle superfici originarie degli edifici, come è il caso dell'edera e di altre piante rampicanti. Per un malinteso pittoricismo di gusto romantico non sempre è valutata o temuta la loro subdola potenza distruttrice. Per quanto di piccole dimensioni risultano quasi sempre dannose le crittogame (funghi, alghe, muffe e licheni).

#### *Azioni biologiche e microbiologiche (II, 1, d)*

Le azioni biologiche e microbiologiche che si manifestano, come quelle chimiche, trasformando la costituzione intima del materiale, si possono identificare attraverso indagini di laboratorio specializzato. Si rivelano così i danni prodotti dalla presenza di microrganismi (batteri, ecc.) la cui azione è spesso accompagnata da trasformazioni chimiche, denominate appunto biochimiche.

Una menzione particolare meritano gli insetti xilofagi, distruttori delle strutture e delle decorazioni lignee: dalle tarme alle formiche bianche. Le termiti costituiscono il pericolo più grande, anche perché i danni da

loro prodotti rimangono dissimulati all'esterno e si rivelano assai tardi, quando sono ormai irreparabili.

Si devono anche citare i danni apportati da animali superiori come dalle diverse specie di topi e, in generale, l'azione più o meno rapida, di tutti i roditori. Vanno infine citate le reazioni chimiche determinate dal guano degli uccelli che nidificano o sostano sulle facciate dei monumenti.

### *Cause naturali ad azione occasionale (II, 2)*

Rientrano in questa categoria gli eventi di origine naturale che si determinano in forma violenta ed imprevista, costituendo talvolta vere e proprie calamità. Non risulta possibile, per il loro stesso carattere di accidentalità, disporre tali cause in ordine sistematico. Elenchiamo perciò, qui di seguito, le cause principali:

- i terremoti;
- i maremoti;
- le frane e gli smottamenti ed i fenomeni di movimento e di disgregazione dei terreni;
- le eruzioni vulcaniche e le esalazioni gassose;
- i cicloni, le trombe d'aria, le trombe marine, i tifoni e i « tornados »;
- le inondazioni, gli allagamenti e le altre manifestazioni dovute all'eccezionale disordinato flusso delle acque;
- le valanghe, le slavine, ecc.;
- gli incendi per autocombustione.

Non si ritiene di dover specificatamente comprendere in tale categoria le cause individuali dell'azione del gelo, perché si tratta di fenomeni stagionali che si ripetono generalmente con ritmo annuale e rientrano pertanto in quelle ad azione prolungata.

Nelle località dove la gelività si determina solo saltuariamente a lunghi intervalli di molti anni, il fenomeno può assumere caratteristiche di accidentalità, tanto più temibili in quanto impreviste.

### *Cause direttamente apportate dall'uomo (II, 3)*

Comprendono anzitutto le modifiche e le trasformazioni apportate, nel corso dei secoli, all'edificio, attraverso ampliamenti e sopraelevazioni dell'organismo originario con l'alterazione, più o meno sostanziale, delle precedenti strutture, turbando talvolta l'equilibrio di volte e di archi. Quando i nuovi sovraccarichi risultano eccessivi si determinano dissesti di vario genere facilmente diagnosticabili, dipendenti in qualche caso anche da riparazioni male eseguite. Anche nel caso inverso — quello di demolizioni parziali — si possono riscontrare perturbazioni statiche,

per lo spostamento di un equilibrio, rotto da malintesi anche se limitati interventi di modifica dello « statu quo ».

L'uomo con il portare inconscie modificazioni alle condizioni del sottosuolo — per l'alterazione del regime delle falde freatiche o per l'apertura di gallerie e cunicoli — viene ad interferire nel delicato settore delle fondazioni che debbono sopportare e trasmettere i più forti carichi unitari.

I danni apportati casualmente per opera dell'uomo, a differenza di quelli inferti dalla natura, possono o potrebbero essere scongiurati e si determinano soprattutto per corti circuiti o per altri guasti delle installazioni elettriche, per esplosioni di varia origine (dai gas combustibili per uso domestico ai depositi di materiali infiammabili), per allagamenti in dipendenza di trascurata manutenzione delle coperture, degli impianti per la somministrazione idrica, per il riscaldamento ad acqua o per diverse esigenze industriali, per incendi dolosi o non.

Tralascio di parlare dei danni in dipendenza di guerre e di ostilità — e non tutti solo imputabili a proiettili di diversa origine — dovendo essere soltanto eseguiti; d'altra parte l'eccezionale progresso delle tecniche distruttive e la possibile casualità delle azioni, li rendono imprevedibili.

Fin qui i danni diretti, apportati più o meno coscientemente. L'uomo contribuisce però direttamente ad allargare il campo e la casistica dei danni, sotto ogni riguardo: dalle diverse condizioni di luce e di decoro determinate dalla costruzione di nuovi edifici, sino alla completa trasformazione dell'ambiente circostante che muta e violenta le condizioni tradizionali di molti, di quasi tutti gli antichi monumenti.

Anche le vibrazioni meccaniche trasmesse, sempre più frequentemente, in questi ultimi decenni dal suolo, dall'aria e dall'acqua, anche per il crescente volume del traffico in superficie ed ancor più la vicinanza di ferrovie metropolitane e di impianti industriali, sottopongono a pericoloso tormento le antiche strutture che si rivelano, prima o dopo, con evidenti segni di disgregamento.

Come abbiamo veduto, la civiltà moderna attenta, anche da lontano, alle consistenze monumentali con l'immissione nell'atmosfera dei gas e dei fumi industriali. Tanto più l'uomo moderno deve sentire l'obbligo morale di una solidarietà operante e di una convinta riparazione, intervenendo tutte le volte che è possibile e per tutto quanto possibile.



Il primo...  
Il secondo...  
Il terzo...  
Il quarto...  
Il quinto...  
Il sesto...  
Il settimo...  
L'ottavo...  
Il nono...  
Il decimo...  
L'undicesimo...  
Il dodicesimo...  
Il tredicesimo...  
Il quattordicesimo...  
Il quindicesimo...  
Il sedicesimo...  
Il diciassettesimo...  
Il diciottesimo...  
Il diciannovesimo...  
Il ventesimo...



