



**The Missing Brick:  
Towards a 21st-century Built Environment Industry**

**Il Mattone Mancante:  
verso l'Industria dell'Ambiente Costruito del 21° secolo**



# ISTEA

ITALIAN SOCIETY OF SCIENCE, TECHNOLOGY  
ENGINEERING OF ARCHITECTURE

**The Missing Brick: Towards a 21st-century Built Environment Industry**

**Il Mattone Mancante: verso l'Industria dell'Ambiente Costruito del 21° secolo**

A cura di

**Giuseppe Alaimo**

**Angelo Carbonari**

**Angelo Ciribini**

**Bruno Daniotti**

**Guido Dell'Osso**

**Maria Antonietta Esposito**

  
**MAGGIOLI  
EDITORE**

ISBN 88-387-6164-7

© Copyright 2012 by Maggioli S.p.A.

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

**Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.**

**Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2000**

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8  
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggioli.it/servizioclienti  
e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.  
L'editore rimane a disposizione degli aventi diritto per eventuali fonti iconografiche non identificate

Il catalogo completo è disponibile su [www.maggioli.it](http://www.maggioli.it) area università

Finito di stampare nel mese di ottobre 2012  
da DigitalPrint Service s.r.l. – Segrate (Milano)

Ciribini A., Introduzione - F

## 1. Prima Parte

### 1.1 La fase di programmazione

1.1.1 Caponetto R.,

1.1.2 Alaimo G.,

"Environmental qua

### 1.2 Dal progetto al prodotto

1.2.1 Masera G., Ma

edifici residenziali" -

1.2.2 Grecchi M., M

mediterraneo" - "Ed

1.2.3 Imperadori M.

Montagna" - "The

1.2.4 Imperadori M

"VELUXlab - the first

### 1.3 Design management e la g

1.3.1 Tubaro G., Di B

the construction proc

### 1.4 Project construction mana

1.4.1 Bragadin M., "I

Construction"

## 2. Seconda parte

### 2.1 La formalizzazione dei mod

2.1.1 Pizzigoni A., Ru

reciprocal frames"

2.1.2 Paparella R., Zan

in building information

2.1.3 Giretti A., Ansuin

models for predictive c

2.1.4 Carrara G., Loffr

"Building Knowledge M

### 2.2 Building information manag

2.2.1 Daniotti B., Re

database" - "INNOVAN

2.2.2 Ciribini A., Chiam

## "La Ricerca (Industriale) nella Produzione Edilizia "

### indice

Ciribini A., Introduzione - Foreword 6

#### 1. Prima Parte

- 1.1 La fase di programmazione pre-progettuale del processo edile 50
- 1.1.1 Caponetto R., "Innovazione di processo nell'autocostruzione" - "Process innovation in self-building"
  - 1.1.2 Alaimo G., Palazzo F., "La gestione della qualità ambientale e gli eco-regolamenti edilizi" - "Environmental quality management and eco-building regulations"
- 1.2 Dal progetto al prodotto di qualità per l'industria delle costruzioni 91
- 1.2.1 Masera G., Malighetti L., De Angelis E., Poli T., Lobaccaro G., "Uno strumento per il progetto integrato di edifici residenziali" - "A tool for the integrated design of residential buildings"
  - 1.2.2 Grecchi M., Masera G., Ruta M., "EdZEN: Edifici sperimentali per uffici a zero emissioni in clima mediterraneo" - "EdZEN: Experimental nearly zero-energy office building in Mediterranean climate"
  - 1.2.3 Imperadori M., Masera G., Salvalai G., "Il progetto RACEM "Rete Artigiana per la Casa Efficiente in Montagna" - "The RACEM project "Artisan Network for Mountain Efficient House"
  - 1.2.4 Imperadori M., Sauchelli M., "VELUXLAB - Il primo NZEB in un campus universitario italiano" - "VELUXlab - the first Italian NZEB in a University campus"
- 1.3 Design management e la gestione delle consultancy 162
- 1.3.1 Tubaro G., Di Biagi M., " "Design Management" nel processo di costruzione" - "Design Management in the construction process"
- 1.4 Project construction management ed i sistemi integrati di gestione 181
- 1.4.1 Bragadin M., "Quality Breakdown Structure per la costruzione" - "Quality Breakdown Structure for Construction"
- #### 2. Seconda parte
- 2.1 La formalizzazione dei modelli per la progettazione e la costruzione 201
- 2.1.1 Pizzigoni A., Ruscica G., "Algoritmi di forma delle strutture reciproche" - "Algorithms for design of reciprocal frames"
  - 2.1.2 Paparella R., Zanchetta C., Borin P., "Problematiche di modellazione informativa nell'edilizia" - "Issues in building information modeling"
  - 2.1.3 Giretti A., Ansuini R., Lemma M., "Modelli embedded nel controllo predittivo degli edifici" - Embedded models for predictive control of buildings"
  - 2.1.4 Carrara G., Loffreda G., "Building Knowledge Management System to support Collaborative Design" - "Building Knowledge Management System to support Collaborative Design"
- 2.2 Building information management 274
- 2.2.1 Daniotti B., Re Cecconi F., Pavan A., "INNOVANCE: The Italian performance based construction database" - "INNOVANCE: The Italian performance based construction database"
  - 2.2.2 Ciribini A., Chiamone T., Vassena G. "The Field BIM"



2.3 Building performance engineering 310

- 2.3.1 Capone P., Giusti T., "Protezione antincendio dei beni culturali di valore negli edifici storici" - "Fire protection of valuable contents in historical buildings"

**3. Terza parte**

3.1 Automation in Construction 331

- 3.1.1 Dell'Osso G.R., Pierucci A., Spalluto G., "Building Automation Systems per il risparmio energetico degli edifici" - "Building Automation Systems for energy savings in constructions"
- 3.1.2 Quaquero E., Argiolas C., Carbonari A., Melis F., "Un modello esperto per la stima dei livelli di pericolo nei cantieri edili" - "An expert model for estimating hazard levels in construction sites"
- 3.1.3 Giretti A., Carbonari A., Vaccarini M., Pescatori G., "Controllo predittivo degli impianti di ventilazione di grandi spazi pubblici sotterranei" - "Predictive control of ventilation systems in large underground public buildings"
- 3.1.4 Lemma M., Ansuini R., Larghetti R., Pescatori G., "Monitoraggio per il controllo adattativo di edifici" - "Monitoring for adaptive control of large buildings"
- 3.1.5 Vaccarini M., Naticchia B., Carbonari A., Scorrano P., "Diagnostica in tempo reale per il monitoraggio strutturale di edifici" - "Real-time diagnosis for building structural monitoring"
- 3.1.6 Naticchia B., Vaccarini M., Robuffo F., Casolaro A., "Sistema di monitoraggio ultra-pervasivo per le perdite d'acqua" - "Ultra-pervasive monitoring system for water leaks"
- 3.1.7 Giretti A., Carbonari A., Novembri G., Naticchia B., "Tecnologie automatiche per incrementare la competitività delle imprese di costruzione" - "Increasing competitiveness of construction companies through automation technologies"

**3 Quarta parte**

4.1 La gestione del ciclo di vita nelle costruzioni 469

- 4.1.1 Cargiulo C., "Gli standard europei per la Valutazione della Sostenibilità nelle Costruzioni: ruolo degli stakeholders e opportunità per l'industria delle costruzioni" - "European Standards for the Assessment of Sustainability in Construction works: role of Stakeholders and opportunities for the Construction industry"
- 4.1.2 Erba S., "Valutazione della durabilità per la sostenibilità di edifici esistenti" - "Durability assessment for sustainability of existing buildings"
- 4.1.3 Daniotti B., Re Cecconi F., Paolini R., Galliano R., "Valutazione durabilistica di sistemi di isolamento a cappotto: Modi di Guasto e Analisi Prestazionale per il clima del Sud Europa" - "Durability evaluation of External Thermal Insulation Composite Systems Failure Modes and Performance Analysis for the Southern Europe Climate"
- 4.1.4 Trani M., Bossi B., Cassano M., Guastalegname L., "I consumi energetici di cantiere" - "Yard energy data collection"
- 4.1.5 Alaimo G., Enea D., "Una griglia prestazionale per la definizione della vita utile del pannello sandwich" - "A performance grid for the definition of the sandwich panel service life"
- 4.1.6 Talamo C., Paganin G., Vitola F., "Informazione e ciclo di vita dell'opera pubblica (SgIOP)" - "Information and life cycle of public works (SgIOP)"

4.2 Le attività sperimentali e il knowledge reuse 579

- 4.2.1 Marini M., "Infortuni e malattie professionali nel settore delle costruzioni: prevenzione e gestione del rischio attraverso BIM, RFID e sistemi di monitoraggio posturale semi-automatico" - "Injuries and occupational diseases in construction industry: prevention and risk management through BIM, RFID and semiautomatic postural monitoring system"

4.2.2 Spinelli A.,  
 edilizio" - "NaturV

**I Position Paper ISTeA 6**

5.1 Luigi Morra, GI

5.2 Berardo Naticci

5.3 Marco Imperad

Matteo Ruta, "Dal

5.4 Bruno Daniotti,

4.2.2 Spinelli A., "NaturWall@ \_ facciate in legno multifunzionali per la riqualificazione del patrimonio edilizio" - "NaturWall@ \_ multifunctional wood façade in existent building refurbishment"

## I Position Paper ISTeA 621

5.1 Luigi Morra, Giuseppe Alaimo, "Le attività sperimentali e il knowledge reuse"

5.2 Berardo Naticchia, Gabriele Novembri, Alessandro Carbonari, "Automation in Construction"

5.3 Marco Imperadori, Guido R. Dell'Osso, Maria Antonietta Esposito, Gabriele Masera, Alessandra Pierucci, Matteo Ruta, "Dal progetto al prodotto di qualità per l'industria delle costruzioni"

5.4 Bruno Daniotti, Maurizio Nicolella, "La gestione del ciclo di vita"



### 2.3 Building performance engineering

*Fire protection of valuable contents in historical buildings*

#### **“ Protezione antincendio dei beni culturali di valore negli edifici storici ”**

*Proposta di un metodo di gestione basato su requisiti edilizi*

#### **“Fire protection of valuable contents in historical buildings”**

*A proposal for a management method by building design requirements*

**Pietro Capone, Tommaso Giusti**

*DICEA – Università degli studi di Firenze*

[pcapone@dicea.unifi.it](mailto:pcapone@dicea.unifi.it), [tommasog@dicea.unifi.it](mailto:tommasog@dicea.unifi.it)

**Topic:** building performance engineering.

#### **Abstract**

Main goal is to provide a risk management procedure to improve fire protection of Valuable Contents contained in historical buildings. None specific Italian code or law has the building and content protection as its primary goal; managers of historical buildings have however responsibility for the Valuable Contents inside the building. A possible industrial application of the proposed procedure is an user-friendly software for not fire risk confident users, like art historians and museum managers. Procedure is structured in two main parts: 1. Risk Assessment; 2. Risk Treatment. Risk Assessment phase produces, as output, risk indexes concerning control parameters. Risk indexes are calculated by means of Analytical Hierarchy Process (AHP). Risk Treatment phase has then to be performed in order to accept or not accept and mitigate the results from the first phase. In Risk Assessment phase, building and contents are broken down into significant parameters useful to build a Hierarchy Structure. To feed the Hierarchy Structure with reliable data, experts' judgments have been collected making use of a Delphi Method performed in Italy. The expert panel for this research has been selected among Italian academics, fire brigades and technicians involved in historical building's management. At the end of Delphi, results were used in the AHP calculation. A sensitivity analysis has been then conducted to test the reliability of the hierarchy structure. In Risk Treatment phase is proposed a strategy to choose the best set of mitigation measures in order to reduce risk for Valuable Contents. Acceptance criteria and “paths of mitigation” are defined to lead managers in taking the best mitigation measures to reduce fire risk for contents. The risk management procedure has been applied to an important historical building: “Opificio delle Pietre Dure” base in Fortezza da Basso in Firenze, in order to compare outputs from the procedure with the expectations. The findings and contributions to research of this work are:

- Fire Risk Management Procedure for Valuable Contents, that is based on a semi-quantitative method of risk assessment associated to a risk treatment method that proposes packages of measure to mitigate risk;
- results of the procedure with respect to the Opificio delle Pietre Dure case study.

A recommendation for future works is the insurance application: important relationships can be established between risk indexes coming from the Procedure and the insurance premium to be paid for contents.



## 1. Introduzione

La minaccia di incendi è onnipresente e i danni conseguenti possono essere catastrofici: da qui la necessità di gestire costantemente, e a tutti i livelli, il rischio incendio all'interno degli edifici esistenti. Un edificio storico costituisce un ambiente complesso per quanto riguarda la struttura, il tessuto edilizio, i contenuti e le persone. Anche se gli obiettivi di sicurezza antincendio sono stati espressi in modi diversi da autorità diverse in paesi diversi, in genere per gli edifici moderni vengono presi in considerazione due aspetti principali della protezione antincendio: la vita e la protezione della proprietà. Per gli edifici storici deve essere aggiunta la tutela dei beni culturali sia per gli edifici che per i loro contenuti. Nei primi anni del XXI secolo, due importanti progetti di ricerca europei hanno iniziato a trattare l'argomento "Edifici storici e fuoco". Questi due progetti di ricerca internazionali, FIRE TECH e Cost Action C17, rappresentano le opere scientifiche più recenti e significative sul tema.

## 2. Obiettivo della procedura

L'obiettivo principale è quello di fornire una procedura di gestione del rischio, al fine di migliorare la protezione antincendio dei contenuti di valore all'interno di edifici storici. Viene qui proposta la *Procedura di gestione del rischio incendio per i contenuti di valore in edifici del patrimonio storico*.

La procedura è stata realizzata con alcuni dei concetti sviluppati nella procedura decisionale FIRE TECH e rispettando le raccomandazioni del Cost C17 in merito alla gestione di contenuti e alla prevenzione delle

## 1. Introduction

Threat of fire is omnipresent and consequential damage may be catastrophic; hence the need to manage continuously the risk of fire at all levels within the existing structures. An historic building constitutes a complex environment with regard to the building, building's fabric, contents and people. Although fire safety objectives have been expressed in different ways by different authorities in different countries, generally there are accepted two main aspects of fire protection for modern buildings: life safety and property protection. For historic buildings the protection of cultural values must be added either for the buildings or for their contents. In the early years of the twenty-first Century two important European research projects started on the issue "Fire and Historical Buildings". These two international research projects, FIRE TECH and Cost Action C17, represent the most recent and notable scientific works on the topic.

## 2. Objective of the Procedure

Main goal is to provide a risk management procedure in order to improve fire protection of Valuable Contents contained in Historical Heritage Buildings. It is here proposed the *Fire Risk Management Procedure for Valuable Contents in Historical Heritage Buildings*.

The procedure has been built using some of the concepts from FIRE TECH's decision supporting procedure with the aim to respect Cost C17 recommendations in managing contents and preventing losses due to fire

perdite dovute ad incendio. La procedura proposta è di tipo decisionale e costruita secondo le raccomandazioni del Cost C17. In Italia ogni edificio annoverato nel patrimonio storico, aperto al pubblico e contenente opere d'arte, dovrebbe essere "sicuro", in termini di protezione antincendio, se rispetta la specifica e corrispondente normativa nazionale. L'obiettivo principale delle norme italiane di prevenzione incendi è la sicurezza degli occupanti. Obiettivo di questo contributo è quello di presentare una procedura, frutto di un approccio differente e più specifico, che cerca di migliorare il livello standard di sicurezza antincendio negli edifici storici, rivolgendo l'attenzione soprattutto alla protezione dei contenuti preziosi. L'ipotesi di partenza è, pertanto, che l'edificio oggetto di studio raggiunga, per la propria strutturazione ed organizzazione funzionale, il livello minimo di protezione antincendio per gli occupanti richiesto dalla normativa italiana. Il problema da cui è scaturita questa ricerca attiene, viceversa, alla questione che questo "livello minimo" non tutela a sufficienza i gestori degli edifici storici che hanno comunque pesanti responsabilità nei confronti dei beni contenuti nell'edificio. In Italia (e in altri paesi) non esiste però alcuna legge specifica rivolta alla salvaguardia dal fuoco dei beni, né in termini prescrittivi né prestazionali. L'unico strumento a disposizione per gestire la protezione dei contenuti di valore dal fuoco è l'insieme di raccomandazioni Cost C17. Poiché il destinatario delle raccomandazioni Cost è il manager di edifici storici, egli è anche il destinatario della procedura di gestione del rischio qui illustrata.

## 3. Struttura della procedura

Il nucleo della procedura è strutturato in due

events. Fire Risk Management Procedure for Valuable Contents in Historical Heritage Buildings is a decision procedure built according to Cost C17 recommendations.

Each Historical Heritage Building in Italy, open to the public and containing precious Works of Art, is supposed to be "safe" with respect to fire protection, according to national codes. The main objective of the Italian fire protection codes is safety of the occupants. In this paper we want to illustrate a different and more specific procedure that is able to improve standard level of fire safety in Historical Heritage Buildings addressing the interest mainly to contents protection. It is made therefore the assumption that the building we are going to study reaches the basic level of fire protection for occupants, according to Italian law and codes. Managers have however responsibility for the Valuable Contents inside the building but in Italy (and in other countries as well), there is no specific law addressing to the content preservation from fire in terms nor prescriptive or performance based. The one instrument available to manage content protection from fire is the Cost C17 set of recommendations. As the addressee of the Cost recommendations is the Manager of Historical Heritage Building, he is also the addressee of the *Risk Management Procedure for Valuable Contents in Historical Heritage Buildings*.

## 3. Structure of the Procedure

The core of the procedure is structured in two main parts:

1. Risk Assessment;
2. Risk Treatment.

At the top of the procedure there is a phase dedicated to the building's analysis and data collection. The preliminary step has the duty to provide to users all the necessary



parti principali:

1. Valutazione dei rischi;
2. Trattamento dei rischi.

Preliminarmente vi è una fase dedicata all'analisi dell'edificio ed alla raccolta dati. La fase preliminare è utile per fornire agli utenti tutte le informazioni necessarie per eseguire la procedura correttamente. Questo primo screening può essere fatto utilizzando liste di controllo. Tutti i dati raccolti sono input per la fase di valutazione dei rischi che produce, come output, indici di rischio relativi ai parametri di controllo. La fase di trattamento del rischio deve successivamente essere eseguita in modo da mitigare i risultati della prima fase. Se è necessario intervenire con alcune azioni di mitigazione, la fase di valutazione del rischio deve essere condotta nuovamente per misurare l'efficacia delle azioni. In figura 1 è raffigurata la struttura completa della procedura.

### 3.1 Analisi dell'edificio e raccolta dati

Il primo obiettivo è quello di affrontare l'analisi dell'edificio storico. Le informazioni utili per la procedura sono suddivise in due

information to run the procedure correctly. This first screening can be done using check-lists. All the collected data are inputs for the Risk Assessment phase that produces, as output, risk indexes concerning control parameters. Risk Treatment phase has now to be performed in order to accept or not accept and mitigate the results from the first phase. If it is necessary to intervene with some actions of mitigation, the Risk Assessment phase has to be conducted again to evaluate the efficacy of the actions. In Figure 1 the full structure of the procedure is depicted.

### 3.1 Building Analysis and data collection

First aim is to approach historical building's analysis. Information useful for the procedure is divided into two different sets: external data and internal data. *External data*<sup>1</sup> set is just one for each building while *internal data*<sup>2</sup> sets are usually more than one for each building, depending on the complexity of the fabric.

<sup>1</sup> The external data consist in the collection of all the architectural features that can be attributed to the building itself from a macroscopic view; all the external data are not variable inside the same building. Such analysis is also introduced to relate the city context of the building to its behaviour in fire event.

I dati esterni consistono nella raccolta di tutte le caratteristiche architettoniche che possono essere attribuite all'edificio con una visione macroscopica. Tutti i dati esterni non sono variabili all'interno dello stesso edificio. Viene introdotto anche il contesto urbano della costruzione in relazione al suo comportamento in caso di incendio.

<sup>2</sup> Each internal data set comprehends all the building's technical and architectural features that are variable in the building. So, in gathering data from an internal point of view, we need at first to individuate which are the building's sectors that have to be catalogued. This choice could be done according to the definition of *Sector*:

- part of the building with the same destination of use;
- part of the building that is a single architectural unit (a building's level, a single special room -a theatre, an hall, a double height salon-, a series of rooms with common features);
- part of the building that is a fire compartment (with respect to the regulation definition).

Ogni insieme di dati interni comprende tutte le caratteristiche tecniche e architettoniche dell'edificio che sono variabili nell'edificio stesso. Così, occorre dapprima individuare quali settori dell'edificio devono essere analizzati. Questa scelta può essere fatta secondo la definizione di *Settore*:

- parte dell'edificio con la stessa destinazione d'uso;
- parte dell'edificio che è una singola unità architettonica (il livello di un edificio, una stanza particolare, un teatro, una sala, un salone adoppia altezza una serie di ambienti con caratteristiche comuni);
- parte dell'edificio che è un compartimento (rispetto alla definizione normativa).

gruppi: i *dati esterni*<sup>1</sup> e i *dati interni*<sup>2</sup>. L'insieme dei dati esterni è uno per ogni edificio, mentre gli insiemi di dati interni sono più di uno per ogni edificio, a seconda della complessità della struttura.

### 4. Metodo di valutazione dei rischi

Per la valutazione dei rischi viene utilizzato un metodo di analisi e di valutazione sviluppato sulla base del FIRE TECH: tra i metodi semi-quantitativi esistenti è stato identificato l'Analytical Hierarchy Process (AHP).

In questa fase si vuole sottolineare, per

### 4. Risk Assessment Method

In Risk Assessment phase is used a risk analysis and evaluation method developed on the base of FIRE TECH: an Analytical Hierarchy Process (AHP) technique has been identified among the existing semi-quantitative risk methods.

In this phase, we want to point out which are the weak points in contents' protection due both to building features and to management

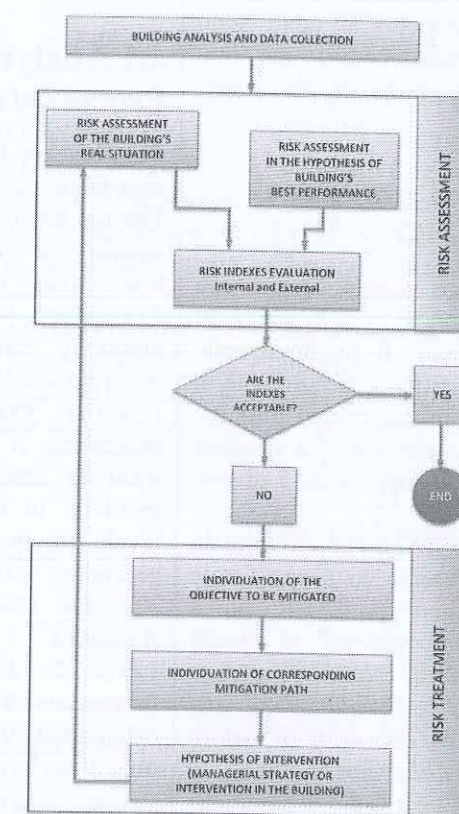


Fig. 1 Representation of the Fire Risk Management Procedure for Valuable Contents in Historical Heritage Buildings structure.



mezzo di indici sintetici di rischio, quali sono i punti deboli in materia di protezione dei beni preziosi dovuti sia alle caratteristiche architettoniche dell'edificio che alle strategie di gestione dei contenuti. Per alimentare la struttura gerarchica con dati attendibili, sono stati raccolti giudizi di esperti facendo uso di un metodo Delphi. AHP è una procedura sistematica e analitica per rappresentare gli elementi di qualsiasi problema, che funziona scomponendo un problema nelle sue parti costituenti più piccole e quindi, sulla base di semplici decisioni basate su confronti a coppie, sviluppa le priorità di ogni gerarchia. Per fare i confronti, occorre una scala numerica che indica quante volte un elemento è più importante di un altro elemento, riguardo al criterio o proprietà rispetto ai quali sono confrontati. In questo lavoro si farà riferimento alla scala proposta da Saaty, tabella 1.

#### 4.1 Struttura dell'Analytical Hierarchy Process

L'edificio deve essere scomposto in una serie di parametri significativi gerarchicamente ordinati. Il livello apicale della gerarchia è l'obiettivo e si compone di un solo elemento; livelli successivi possono ciascuno avere diversi elementi. La struttura gerarchica proposta è composta da 5 diversi livelli:

**Livello 1 - STRATEGIA:** è l'obiettivo della procedura, che rappresenta lo scopo finale che vogliamo raggiungere con l'AHP e non è coinvolto nel calcolo assieme ai livelli inferiori della struttura. Nella procedura proposta la politica è: *Valutazione del Rischio incendio per i contenuti di valore negli edifici del patrimonio storico.*

**Livello 2 - OBIETTIVI:** sono i parametri principali coinvolti nel calcolo AHP. Nella procedura proposta sono stati individuati tre obiettivi:

strategies by means of synthetic risk indexes. To feed the Hierarchy Structure with reliable data, experts' judgments have been collected making use of a Delphi Method.

AHP is such a problem-solving framework; it is a systematic procedure for representing the elements of any problem. It works by breaking down a problem into its smaller constituent parts and then calls for only simple pairwise comparison judgments to develop priorities in each hierarchy. To make comparisons, we need a scale of numbers that indicates how many times more important or dominant one element is over another element with respect to the criterion or property with respect to which they are compared. In this work we will refer to the scale proposed by Saaty, Table 1.

#### 4.1 Analytical Hierarchy Process structure

Building has to be breakdown into a set of significant parameters hierarchically ordered. The top level of the hierarchy is the focus, it consists of only one element; subsequent levels may each have several elements. According to literature, the proposed hierarchy structure is composed by 5 different levels:

**Level 1- POLICY:** is the target of the procedure, it represents the final aim we want to reach using AHP and it is not involved in the calculation for the lower levels of the structure. In the proposed procedure policy is: *Fire Risk Assessment for Valuable Contents in Historical Heritage Buildings.*

**Level 2- OBJECTIVES:** are the top parameters that are involved in the AHP calculation. In the proposed procedure three objectives have been identified:

- *OB1: Evacuation*
- *OB2: Fire Brigade Effectiveness*
- *OB3: Fire and Smoke Spread*

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
2	Weak or slight	
3	Moderate Importance	Experience and judgment slightly favour one element over another
4	Moderate Plus	
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favour one element over another
6	Strong Plus	
7	Very strong or demonstrated importance	One element is favoured very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favouring one element over another is of the highest possible order of affirmation
1.1-1.9	If the activities are very close	It may be difficult to assign the best value but when compared with other contrasting activities the size of the small numbers would not be too noticeable, yet they can still indicate the relative importance of the activities

Table 1: Saaty's scale of importance.

• *OB1: Evacuazione*

• *OB2: Efficacia dei Vigili del Fuoco*

• *OB3: Propagazione del fuoco e del fumo*

Nei livelli 3 e 4, ogni livello è composto da elementi appartenenti a due gruppi diversi: le caratteristiche esterne e le caratteristiche interne.

**Livello 3 - CARATTERISTICHE:** Le caratteristiche interne sono definite per ciascun settore in cui è suddiviso l'edificio, le caratteristiche esterne sono definite una sola volta per ogni edificio:

**Caratteristiche esterne**

• *EC1: Altezza*

• *EC2: Collegamenti verticali*

• *EC3: Contesto*

**Caratteristiche interne**

• *IC1: Impianti tecnici*

• *IC2: Vie d'esodo*

• *IC3: Struttura*

**Livello 4 - FATTORI:** I fattori esterni sono sei e sono definiti una volta per l'intero edificio. I fattori interni sono nove e sono definiti per ogni settore in cui è suddiviso l'edificio. Abbiamo un totale di 15 fattori.

**Livello 5 - SOTTO-FATTORI:** i sotto-

In levels 3 and 4, each level is composed by elements belonging to two different sets: the External Characteristics and the Internal Characteristics.

**Level 3- CHARACTERISTICS:** Internal Characteristics are defined for each sector into which the building is divided, External Characteristics are defined once for each building:

**External Characteristics**

- *EC1: Height*
- *EC2: Vertical Connections*
- *EC3: Context*

**Internal Characteristics**

- *IC1: Technical Installations*
- *IC2: Egress Paths*
- *IC3: Structure*

**Level 4- FACTORS:** External factors are six and they are defined once for the whole building. Internal factors are nine and they are defined for each sector into which the building is divided. We have a total of 15 factors.

**Level 5- SUB-FACTORS:** Sub-Factors are the elementary unit of the Analytical Hierarchy Structure. Sub-Factors are referred



fattori sono l'unità elementare della struttura gerarchica. I sotto-fattori si riferiscono a ciascuno dei fattori e si dividono in sottoinsiemi che comprendono un numero variabile di sotto-fattori. Il numero totale di sotto-fattori è 37, 16 esterni e 21 interni.

Nel Metodo di valutazione dei rischi, è necessario assegnare gli indici al livello inferiore della struttura (livello 5), successivamente una serie di calcoli matriciali restituisce come output tre indici di rischio, uno per ciascun obiettivo.

#### Scala di rischio

A ciascuno degli elementi della struttura vengono assegnati un indice di rischio ed un peso. Dal momento che utilizziamo una procedura AHP, per i pesi è stata adottata la scala di Saaty. Per gli indici di rischio abbiamo scelto una scala qualitativa da 0 a 9; gli indici sono attribuiti in base alla seguente tabella 2, sviluppata dagli autori.

Gli indici di rischio sono stati assegnati a ciascuno dei sub-fattori sulla base della letteratura e con la collaborazione dei Vigili del Fuoco di Siena e Firenze. A seconda della situazione rilevata nell'edificio, un indice di rischio specifico deve essere assegnato scegliendo tra gli indici di rischio rappresentati in apposite tabelle che riassumono tutti i possibili stati per ciascun parametro. Agli elementi della struttura sono stati assegnati i pesi con due metodi differenti: quelli del Livello 5 (Sub-Fattori) e 4 (Fattori) sono stati assegnati da un gruppo ristretto di tecnici direttamente coinvolti nello sviluppo della procedura. I Pesi delle Caratteristiche (al livello 3) sono stati invece assegnati eseguendo il metodo Delphi di cui al punto 4.2. Ciò poiché le relazioni tra Caratteristiche e Obiettivi sono poche e da tali relazioni dipende l'affidabilità della procedura.

to each one of the Factors and they are divided into subsets comprehending a variable number of Sub-Factors. Total number of Sub-Factors is 37, they are 16 External and 21 Internal.

In Risk Assessment Method it is necessary to start giving indexes to the lower level of the structure (Level 5), then a set of matrix calculation gives back as output three risk indexes, one for each Objective.

#### Risk scale

To each one of the elements of the structure a risk index and a weight are given. Since we use AHP procedure, for the weights has been used Saaty's scale. For risk indexes we chose a qualitative scale from 0 to 9. Risk indexes are attributed according to the following Table 2, developed by the authors.

Risk indexes to each one of the sub-factors have been assigned on the base of literature and with a specific screening performed with the collaboration of Fire Brigades from Siena and Firenze. Depending on the situation one survey in the building, a specific risk index have to be assigned choosing among the risk indexes depicted in tables resuming all the possible status for each parameter.

Weights to the elements of the structure have been assigned with two different methods. Weights regarding Level 5 (Sub-Factor) and Level 4 (Factors) were assigned by a close cluster of technicians directly involved in the procedure's development. Weights to the Characteristics (at Level 3) were assigned performing the Delphi method described in paragraph 3.2. This because the relationships among Characteristics and Objectives are in a small number, and on such relationships depends the reliability of the procedure.

In Figure 2 the full AHP structure is depicted.

Intensity of importance	Definition
0	No danger at all
1	Very weak risk
2	Light Risk condition
3	Very moderate risk
4	Moderate risk
5	Risk condition
6	High risk condition
7	Very high risk condition
8	Critical risk condition
9	Absolutely not acceptable risk condition
1.1-1.9	If the elements are very close

Table 2: risk index scale.

## 4.2 Metodo Delphi

Il metodo Delphi appartiene ai metodi di previsione soggettivi-intuitivi ed è stato sviluppato nel 1950 per migliorare l'uso delle previsioni degli esperti. Un metodo Delphi è stato scelto perché non ci sono dati statistici disponibili su questo argomento; sono unici sia tutti gli edifici con cui abbiamo a che fare e sia i loro contenuti: in questo caso i dati statistici non sono spendibili. Questo problema complesso richiede conoscenze provenienti da persone capaci di comprendere e gestire gli specifici argomenti da diversi punti di vista. Si è ritenuto, pertanto, che un metodo Delphi rispondesse nel modo più appropriato alle esigenze di questo studio. Gli "esperti qualificati" sono stati scelti in tre categorie rilevanti:

- studiosi della questione in ambito accademico;
- tecnici che lavorano nella gestione di edifici storici;
- vigili del fuoco.

È stato scelto di rappresentare ogni categoria con 10 esperti che avessero un background comune per quanto riguarda il tema di ricerca. Come background comune è stata identificata l'origine regionale degli esperti.

## 4.2 Delphi Method

The Delphi method belongs to the subjective-intuitive methods of foresight. Delphi was developed in the 1950's in order to improve the use of expert predictions. Delphi method was selected because no statistical data is available on this topic; both each building we deal with and its contents are unique and statistical data have no sense. This complex issue requires knowledge from people who understand and manage the specific topic from different viewpoints. Thus, a Delphi study answers the study questions more appropriately. For the selection of qualified experts, we divided them into three relevant categories:

- academics;
- technicians and practitioner working in management of historical buildings;
- fire brigades.

The choice was to populate each panel with 10 experts having a common background with respect to the research topic; such common background was identified in the regional origin of the members.



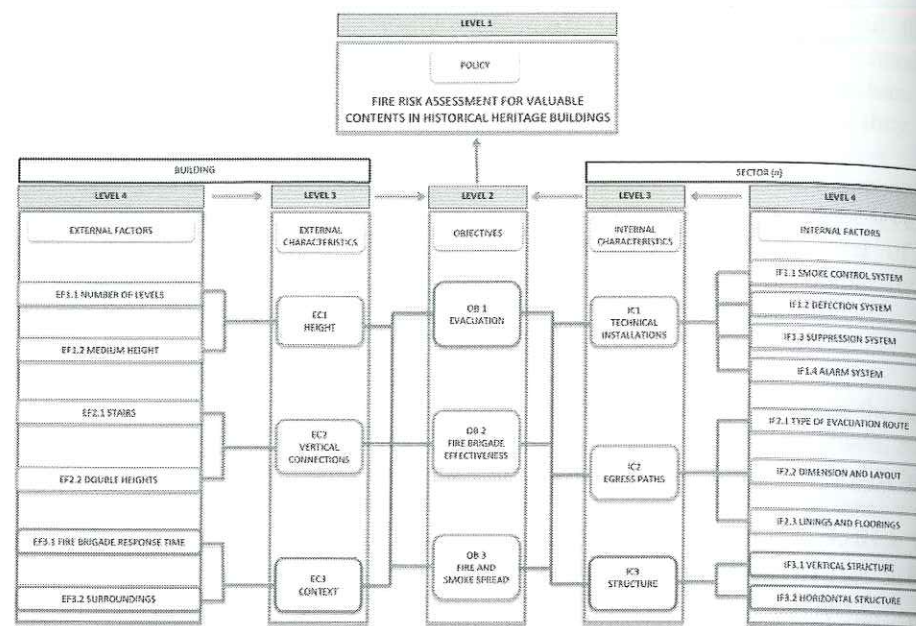


Figure 2: Representation of the Analytical Hierarchy Structure.

Per rendere le risposte il più affidabili possibile, sono stati scelti solo esperti italiani (e in particolare esperti con esperienza sul patrimonio storico della Toscana). Ogni esperto ha dovuto sostanzialmente classificare le caratteristiche rispetto a ciascun obiettivo componendo una matrice di *Saaty*. L'obiettivo era di raggiungere un ampio consenso tra gli esperti nel classificare i fattori più rilevanti all'interno di ogni gruppo<sup>3</sup>. Al termine di questa fase di graduatoria, abbiamo ottenuto elenchi ordinati che rappresentano le priorità che ciascun gruppo di esperti ha dato alle

To make the answers from experts the most reliable as possible, only Italian experts (and in particular experts with experience in Tuscan buildings heritage) have been chosen. Each expert had essentially to rank the Characteristics with respect to each Objective composing a *Saaty* Matrix. The goal is to reach a consensus in the ranking of the relevant factors within each panel<sup>3</sup>. At the end of this ranking phase, we had ranked lists representing the priorities that each panel placed on the Characteristics with respect to the Objectives. This rigorous process assures that the Characteristics

<sup>3</sup>The procedure involved each panel separately ranking the characteristics; each ranked list will reflect the priority order for the specific panel. Each expert individually submitted a rank ordering of the items. When it comes to quantitatively determining the ranks of the items in the lists, literature provides excellent and detailed guidelines of principles to follow. After the first round, results from previous judgments are given back to the experts as a feedback. The ranking process has to be reiterated until one of two stopping criteria is reached. La procedura coinvolge ogni pannello separatamente nel classificare le caratteristiche; ogni graduatoria rispecchierà l'ordine di priorità per il pannello specifico. Ogni esperto singolarmente presenta un ordine di classifica delle voci. Quando diviene quantitativamente determinante il ranking nelle liste, la letteratura fornisce linee guida eccellenti e dettagliate con i principi da seguire. Dopo il primo turno, i risultati delle precedenti interviste vengono restituiti agli esperti come feedback. Il processo di valutazione deve essere ripetuto fino a quando uno dei due criteri di arresto viene raggiunto.

Caratteristiche rispetto agli Obiettivi. Questo processo rigoroso assicura che le classifiche di Caratteristiche sono un valido indicatore dell'importanza relativa degli elementi.

## 5. Metodo di trattamento dei rischi

La fase di trattamento del rischio non inizia se i risultati della prima fase della procedura sono in accordo con i criteri di accettazione. Per questo motivo, ha la priorità la definizione dei criteri di accettazione.

### 5.1. Criteri di accettazione

È necessario adottare criteri idonei alle necessità dei gestori degli edifici storici. Il Metodo di valutazione del rischio produce, per i tre obiettivi, indici di rischio espressi nella scala proposta nella Tabella II. Gli indici di rischio provenienti dalla procedura non hanno un riferimento assoluto, non sono espressi calibrando la scala sulla base delle normative. Non esiste quindi alcuna relazione tra le definizioni presenti nella scala di rischio e l'applicazione delle norme antincendio. Questo è il motivo per cui nella presente procedura i criteri di accettazione sono *dependenti dallo specifico edificio e dai contenuti*. Il gestore deve indicare qual è il livello di rischio che può accettare basando tale decisione sull'importanza e sul valore sia dell'edificio che del contenuto. Una valutazione di "importanza" e "valore" delle opere d'arte e di edifici storici è, come indicato nel Cost C17 (OBE 2007), un problema complesso che esula dagli obiettivi di questo testo. I criteri di accettazione si basano su due soglie limite, come molte delle migliori pratiche utilizzate nella valutazione del rischio. Il limite inferiore è definito come il valore in cui l'edificio ed il suo contenuto sono in una situazione positiva. Il limite superiore è definito come

rankings are a valid indicator of the relative importance of the various elements.

## 5. Risk Treatment Method

Risk treatment phase doesn't start if results from the first phase of the Procedure agree with the acceptance criteria. For this reason, the definition of acceptance criteria has first priority.

### 5.1. Acceptance criteria

It is hence necessary to adopt criteria suitable to the necessity of historical buildings manager. Risk Assessment Method produces, for the three Objectives, risk indexes expressed in the risk scale proposed in Table II. Risk indexes coming from the procedure have no absolute reference point, they are not expressed calibrating the scale on the base of fire codes. No relationship exists therefore between the risk scale definition and fire codes application. This is the reason why in this Procedure acceptance criteria are mainly *building and contents dependent*. The manager have to state what is the level of risk he can accept basing such decision on the importance and on the value both of the building and the contents. An evaluation of "importance" and "value" of Works of Art and Heritage Buildings is, as referred in Cost C17 (OBE 2007), a complex issue that lies outside this text. Acceptance criteria are based on two limit thresholds, as a lot of best practices used in risk assessment. A lower limit is identified, defined as the value under which the building and its contents are in a positive situation. Then an upper limit is defined, in order to state that over such risk value it is compulsory to take mitigation measures for risk reduction. An "action area", included between lower and upper



un valore oltre il quale è obbligatorio adottare misure di mitigazione per la riduzione del rischio. Si crea così un "campo d'azione", compreso tra il limite inferiore e superiore, identificato come l'area all'interno della quale ci si attende di trovare la maggior parte degli edifici. Facendo riferimento alla tabella II, l'indice "5: condizione di rischio" è il punto medio della scala. Intorno a questo punto centrale è stato creato il "campo d'azione" di cui sopra. In questa ricerca (e nel caso studio) sono stati scelti i seguenti limiti:

- limite inferiore = 4;
- limite superiore = 5,5;
- c di conseguenza:
- Accettabile:  $0 \leq$  indice di rischio  $\leq 5,5$ ;
- Area non accettabile: indice di rischio  $> 5,5$ ;
- Area di azione:  $4 \leq$  indice di rischio  $\leq 5,5$ .

## 5.2. Misure di Mitigazione

Obiettivo principale del Metodo di trattamento dei rischi è quello di fornire indicazioni su come ridurre il rischio di danneggiamento da incendio per i contenuti di valore. Sulla base dei risultati dell'analisi di sensibilità, è stato possibile associare a ciascun obiettivo il relativo insieme di Caratteristiche che hanno maggiore influenza sull'Obiettivo stesso. Con lo stesso processo, ad ogni Caratteristica sono stati associati i Fattori che più la influenzano. E' stato possibile infine scendere fino alla base della struttura gerarchica, raggiungendo i Sotto-fattori. Le misure di mitigazione sono quindi state associate a ciascun Sotto-fattore: una volta scelto l'Obiettivo da mitigare, è possibile scendere lungo la struttura gerarchica tramite legami d'influenza relativa, dalle Caratteristiche fino ai Sotto-fattori, fino ad arrivare alle misure di mitigazione ad essi associate.

In questo modo sono stati creati veri e propri percorsi da seguire per mitigare ogni Obiettivo, conducendo l'utente dalla cima

limit, is this way created; that is the area within which it is expected to find the majority of buildings. Referring to Table II, index "5: risk condition" is the midpoint of the scale. Around this midpoint is created the "action area" described above. In this research (and in the case study) the following limits have been chosen:

- lower limit = 4;
- upper limit = 5,5;
- and consequently:
- Acceptable area:  $0 \leq$  risk index  $\leq 5,5$ ;
- Not acceptable area: risk index  $> 5,5$ ;
- Action area:  $4 \leq$  risk index  $\leq 5,5$ .

## 5.2. Measures of Mitigation

Main goal of the Risk Treatment Method is to provide indications on how to reduce risk for Valuable Contents. On the base of sensitivity analysis outcomes, it was possible to associate to each Objective the corresponding set of Characteristics that have more influence on the Objective itself. With the same process, to each Characteristic the most influencing Factors with respect to the chosen Objective were associated. In the end was possible to arrive to the last step of the hierarchic structure, reaching the Sub-Factors. The measures of mitigation are then associated to each Sub-Factors: once chosen by the stakeholder the Objective to be mitigated, it is possible to descend the hierarchic structure along links of relative influence, form Characteristics to Sub-Factors, till arriving to the associated mitigation measures.

This way, were created paths to be followed to mitigate a particular Objective, leading the user from the top of the structure till the lower level, the level of mitigation measures. Each path for mitigation starts from an Objective and arrives to a package of measures of mitigation that are effective to reduce risk. In Figure 3 an example of sub-hierarchy structure for mitigation is depicted.

della struttura fino al livello inferiore. Ogni percorso di mitigazione parte da un Obiettivo e arriva ad un pacchetto di efficaci misure di mitigazione. In figura 3 è raffigurato un esempio di sotto-struttura gerarchica per la mitigazione. Le misure di mitigazione sono strettamente legate, come detto, ai Sotto-fattori. Per dare indicazioni più efficaci possibili all'utente, ogni misura di mitigazione appartiene ad una delle due seguenti categorie, definite sulla base del "costo" della misura stessa:

**Strategie di gestione.** Tali misure di mitigazione sono considerate a "costo zero" o almeno a un costo inferiore rispetto alle misure dell'altra categoria. Le Strategie di gestione sono quelle misure che un manager può adottare senza la necessità di un intervento sul tessuto edilizio. Queste misure sono generalmente da preferire perché è più probabile essere in grado di agire sulla gestione, anziché sulla configurazione architettonica dell'edificio.

**Strategie di intervento sull'edificio.** Tali misure di mitigazione hanno un costo più elevato rispetto alle misure della precedente categoria. In questa categoria sono comprese tutte quelle misure che modificano l'edificio: installazione di dispositivi tecnici, interventi sulla struttura dell'edificio, sulle facciate, sui collegamenti verticali e così via. Tali misure spesso non possono essere evitate per avere buone prestazioni in termini di protezione dei contenuti preziosi; sono però molto difficili da attuare pienamente a causa delle problematiche di compatibilità e di intervento su edifici storici.

## 6. Un'applicazione pratica

La procedura è stata applicata alla sede dell'Opificio delle Pietre Dure (OPD) nella Fortezza da Basso a Firenze. Questo edificio è stato scelto per testare la procedura in un caso con caratteristiche di protezione

Mitigation measures are strictly linked, as said, to the Sub-Factors. To give more effective indications to the user, every mitigation measure belongs to one of the two following categories, defined on the base of the "cost" of the measure:

**Management Strategies.** These measures of mitigation are intended to be at "zero cost" or at least at a lower cost than the measures in the other category. Management Strategies are the measures that a manager can adopt without the necessity of an intervention on the building fabric. These measures are usually to be preferred in risk mitigation because it is more probable to be able to act on the management, instead of on the architectural configuration of the building.

**Building intervention Strategies.** These measures of mitigation are intended to be costly, or at least at a higher cost than the measures in the other category. In this category all the measures that necessarily modify the building are comprehended: installations of technical devices, intervention on the building's structure, on the facades, on the vertical connections and so on. Such measures often cannot be avoided to have a good performance in Valuable Contents protection, but they are very difficult to be fully implemented because of problems of compatibility and intervention on historical buildings.

## 6. A practical application

In this paper an application of the Risk Management Procedure is shown. Procedure was run applying it to Opificio delle Pietre Dure base in Fortezza da Basso in Firenze. This building has been chosen to test the Procedure in a case with known characteristics with respect to the fire protection. Opificio delle Pietre Dure (OPD) building in Fortezza da Basso is the base of one of the most important conservation



antincendio note. L'Opificio delle Pietre Dure è un Istituto del Ministero italiano per i Beni Culturali. La sua sede nella Fortezza da Basso di Firenze ospita uno dei laboratori più importanti per il restauro di opere d'arte in Europa.

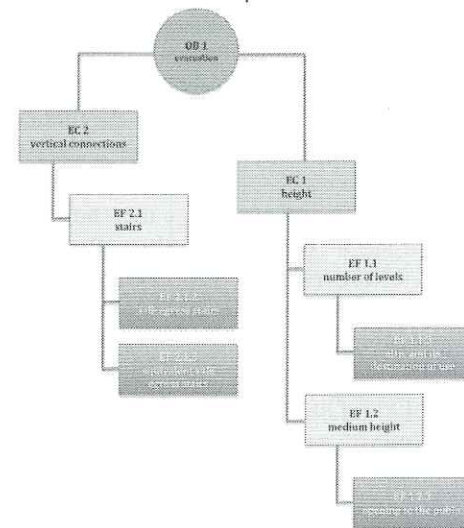


Figure 3: Sub-hierarchy structure for mitigation of Objective 1 with respect to the External Characteristics

L'OPD, oltre ad essere leader mondiale nel campo del restauro artistico, fornisce insegnamento pubblico come scuola statale di restauro. L'edificio che ospita il laboratorio in oggetto, ha una configurazione architettonica molto semplice, nonostante la complessità dell'attività svolta al suo interno. Nell'edificio sono restaurati alcuni dei più importanti capolavori della storia dell'arte; per questo motivo sono presenti idonei impianti tecnici di prevenzione incendi e di protezione, così come il personale è ben addestrato nella protezione e nell'evacuazione dei contenuti. L'edificio ha forma rettangolare e due piani fuori terra, la struttura verticale principale è costituita da muratura mentre i solai ed il tetto hanno la struttura portante in legno. Ci sono tre scale principali, una delle quali protetta. Per stimare le caratteristiche interne, l'edificio è stato suddiviso in sei settori (Figura 4):

laboratories for works of art in Europe; OPD is in fact a public institute of the Italian Ministry for Cultural Heritage based in Florence. It is a global leader in the field of art restoration and provides teaching as Italian state conservation schools.

The building that hosts the laboratory, inside Fortezza da Basso in Firenze, has a very simple architectonic configuration despite of the complexity of the activity conducted inside it. In the building the most important masterpieces of Art History to be conserved are placed. For this reason in the building are suitable technical installations for fire prevention and protection, as well as the staff is well trained in contents protection against fire and evacuation. OPD building has rectangular shape and two stores height; the main vertical structure is composed of masonry and the floors and the roof are wooden-made. There are three main staircases, one of them fire protected. To estimate the Internal Characteristics, the building has been divided into six sectors (Figure 4):

**Sector 1:** it is located at the ground floor and it contains storage rooms and the

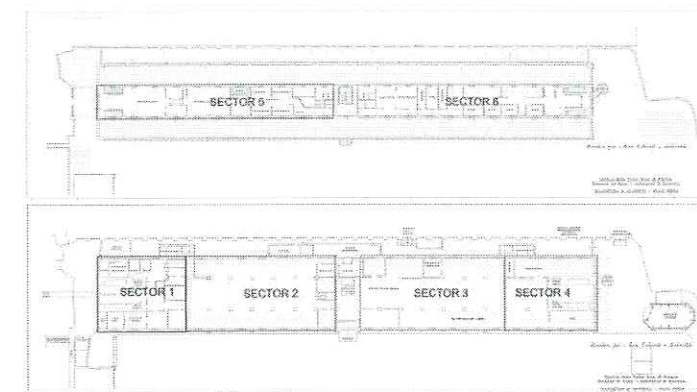


Figure 4: sectors in OPD building in Fortezza da Basso.

**Settore 1:** al piano terra, contiene il magazzino ed il laboratorio fotografia; **Settore 2:** al piano terra, contiene il reparto di restauro dipinti mobili; **Settore 3:** al piano terra, contiene il reparto di restauro sculture lignee e pittura murale; **Settore 4:** al piano terra, contiene i laboratori di rintelatura e di falegnameria; **Settore 5:** al primo piano, contiene il reparto di restauro tessili e uffici; **Settore 6:** si trova al primo piano, e contiene laboratori e uffici.

I settori corrispondono ai compartimenti antincendio in cui è suddiviso l'edificio, le scale al centro dell'edificio sono protette, mentre le altre due scale agli estremi dell'edificio sono comuni scale in pietra. Di seguito sono riportati le tabelle ed i grafici relativi ai risultati della procedura sia per le Caratteristiche Esterne che per quelle Interne.

Nei grafici abbiamo sugli assi:

- RI = Indice di Rischio, è l'indice di rischio proveniente dalla valutazione della situazione attuale dell'edificio;
- LMM = BI/RI, è il livello di applicazione delle misure di mitigazione. Tale parametro dice "quanto" è stato fatto nella prevenzione degli incendi rispetto a ciò che è possibile fare in futuro. Tanto maggiore è tale parametro, meno è possibile fare in attenuazione dei rischi.
- BI è l'indice di rischio che si può

photography laboratory;

**Sector 2:** it is located at the ground floor and it contains the Easel painting department; **Sector 3:** it is located at the ground floor and it contains the Wooden Sculptures and Wall Painting departments; **Sector 4:** it is located at the ground floor and it contains carpentry and laboratories; **Sector 5:** it is located at the first floor and it contains Textile department and offices; **Sector 6:** it is located at the first floor and it contains laboratories and offices.

Sectors correspond to the fire compartments into which the building is divided; the stairs in the centre of the building are protected, while the other two stairs at the extremes of the building are common stairs made of stone. In the following, tables and graphs resuming results from the procedure are reported both for the External and the Internal Characteristics.

In the graphs we have on the axis:

- RI = Risk index; it is the risk index coming from the evaluation of the actual situation in the building;
- LMM=BI/RI; is the level of application of the mitigation measures. Such parameter says "how much" has been done in fire prevention with respect to what is possible to do in the future. The higher is such parameter, the less is possible to do in risk mitigation.
- BI is the risk index one can reach in that



raggiungere in quell'edificio con la piena attuazione delle misure di mitigazione adatte per quella specifica situazione.

**Caratteristiche Esterne**

Characteristic	Factor	Description	OB1	OB2	OB3	
EC1	EF 1.1 n° of levels	2 levels, no attic, no underground levels	3,00	3,80	3,60	4,60
	EF 1.2 medium height	H <sub>M</sub> minor than 10m	5,00			
EC2	EF 2.1 stairs	missing 1 emergency stair	4,20	4,32	4,48	4,84
	EF2.2 double heights	one of two levels height	5,00			
EC3	EF 3.1 fire brigade response time	10-15 minutes	6,00			
	EF3.2 surroundings	3 of the four sides with very good accessibility; 1 side totally not accessible	6,13	6,04	6,04	6,05
			OB1	OB2	OB3	
<i>RI</i>			4,52	5,00	4,98	

Table 3: Risk Indexes for External Characteristics in actual situation.

La Figura 5 mostra la rappresentazione relativa di indici di rischio per le Caratteristiche Esterne OPD. I tre indicatori di rischio per gli Obiettivi sono nella "zona accettabile". Dal momento che i tre punti sono nella "zona d'azione", nessun intervento obbligatorio deve essere fatto; al fine di essere virtuoso, il manager può cercare di migliorare l'indice di rischio per *OB1 - Evacuazione* dal momento che tale obiettivo ha il più basso LMM (Livello di misure di mitigazione). Facendo riferimento al percorso di mitigazione *OB1* rispetto alle Caratteristiche Esterne, rappresentato in figura 3, le misure di mitigazione che devono essere prese riguardano il Fattore *EF2.1 - scale*. Per incrementare LMM è stato scelto quindi di ipotizzare la costruzione di una scala di emergenza oggi mancante nell'edificio. In Tabella 4 sono riportati gli indici di rischio dopo la mitigazione di *OB1*. La tabella 5 riporta i dati su cui è costruita la figura 5. Dai dati si può notare come l'azione diretta sul fattore *EF2.1-scale* crei una forte riduzione del RI per l'Obiettivo 1 e un aumento significativo del LMM corrispondente. Allo stesso tempo ci sono

building by the full implementation of the mitigation measures suitable for that specific situation.

**External Characteristics**

anche buoni effetti secondari sugli altri due Obiettivi, sia in termini di RI e LMM.

Characteristic	Factor	Description	OB1	OB2	OB3	
EC1	EF 1.1 n° of levels	2 levels, no attic, no underground levels	3,00	3,80	3,60	4,60
	EF 1.2 medium height	H <sub>M</sub> minor than 10m	5,00			
EC2	EF 2.1 stairs	desired number of emergency stairs	0,00	0,75	1,75	4,00
	EF2.2 double heights	one of two levels height	5,00			
EC3	EF 3.1 fire brigade response time	10-15 minutes	6,00			
	EF3.2 surroundings	3 of the four sides with very good accessibility; 1 side totally not accessible	6,13	6,04	6,04	6,05
			OB1	OB2	OB3	
<i>RI</i>			2,49	4,15	4,41	

Table 4: Risk Indexes for External Characteristics after *OB1* mitigation.

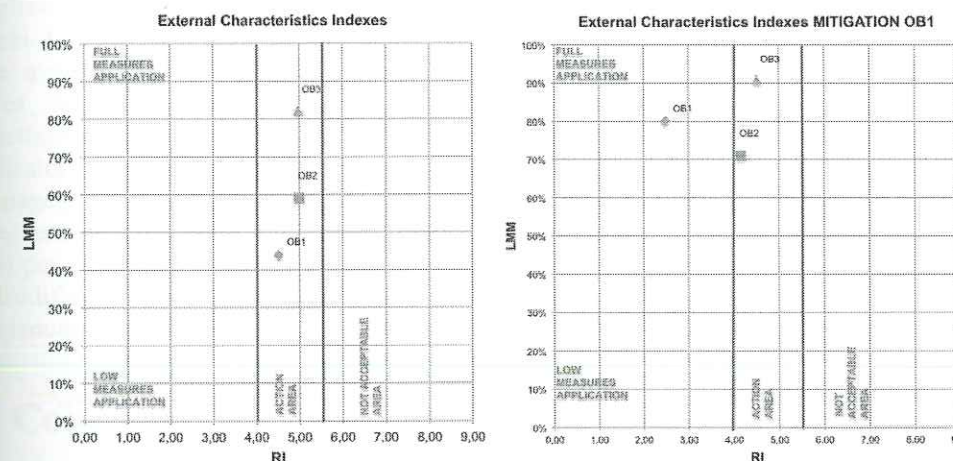


Figure 5: Relative representation of the risk indexes for the External Characteristics in OPD building before *OB1* mitigation (left) and after mitigation of *OB1* (right).

	Actual situation			After <i>OB1</i> mitigation			
	BI	RI	LMM	RI	LMM	ΔRI	ΔLMM
OB1	1,99	4,52	44%	2,49	80%	2,03	36%
OB2	2,95	5,00	59%	4,15	71%	0,85	12%
OB3	4,10	4,98	82%	4,51	91%	0,47	9%

Table 5: Data for relative representation of risk for External Characteristics after *OB1* mitigation in OPD building.

**Caratteristiche interne**

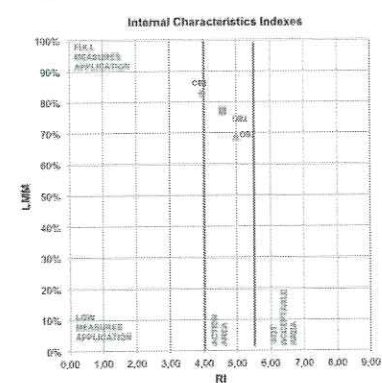
Nei grafici seguenti sono riportati i risultati relativi alle Caratteristiche Interne dei sei settori.

**Internal Characteristics**

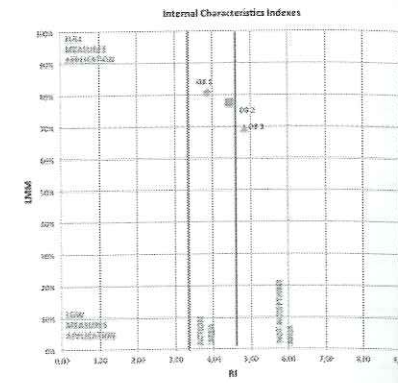
In the follow graphs regarding results for the Internal Characteristics in the six sectors are reported.



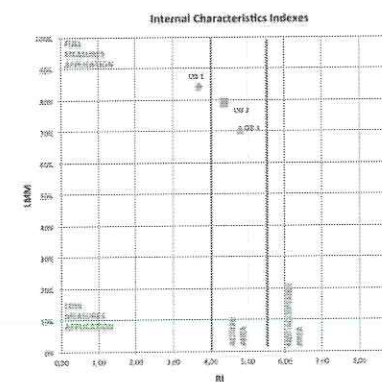
**Sector 1** is located at the ground floor of the building and it contains storage rooms and the photography laboratory. This sector corresponds with a fire compartment.



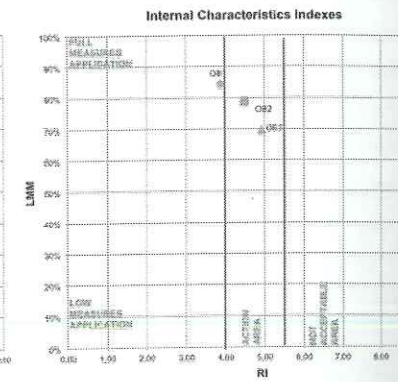
**Sector 2** is located at the ground floor of the building and it contains the Easel painting department. This sector corresponds with a fire compartment.



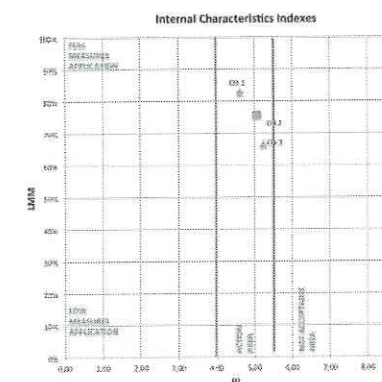
**Sector 3** is located at the ground floor of the building and contains the Wooden Sculptures and Wall Painting departments. This sector corresponds with a fire compartment.



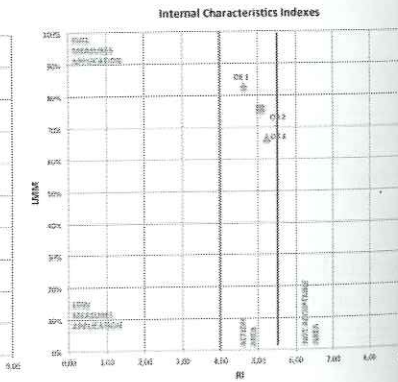
**Sector 4** is located at the ground floor of the building and it contains carpentry and laboratories. This sector is a fire compartment.



**Sector 5** is located at the first floor of the building and it contains Textile department and offices. In this side of the building a staircase is missing with respect to the desired number of egress safe stairs.



**Sector 6** is located at the first floor of the building and contains laboratories and offices.



**Osservazioni sul caso di studio**

La sede dell'Opificio delle Pietre Dure edificio nella Fortezza da Basso di Firenze ha una configurazione ed una distribuzione architettonica molto semplice. Nonostante ciò, abbiamo all'interno dell'edificio alcune delle più importanti opere d'arte della storia dell'arte. Dai dati sopra riportati è possibile notare come tutti gli indicatori di rischio siano all'interno del "campo d'azione", risultando quindi accettabili per quanto riguarda i criteri di accettazione indicati. Nessuno dei Settori ha bisogno di misure di mitigazione, si è solo riportato un esempio di mitigazione rispetto alle caratteristiche esterne, al fine di dare un esempio di applicazione del Metodo di trattamento dei rischi. La sede OPD è un esempio di edificio che avrebbe potuto avere una più ridotta "area accettabile" rispetto ai criteri di accettazione. La maggior parte degli indicatori di rischio sono vicini a 5 e il manager dell'edificio avrebbe potuto scegliere 5 come limite superiore (invece di 5,5) per accrescere ancor più le prestazioni dell'edificio in termini di protezione dei contenuti.

**7. Conclusioni**

I risultati dei contributi di questo lavoro sono riassunti di seguito:

**Procedura di gestione del rischio incendio per i contenuti di valore in edifici del patrimonio storico.** La procedura descritta in questo contributo si basa su un metodo semi-quantitativo di valutazione del rischio associato ad un metodo di trattamento che propone pacchetti di misure per ridurre il rischio incendio. A causa della sua architettura, la procedura assume la sua massima affidabilità ed efficacia se applicata nella regione Toscana

**Uno strumento di gestione facile da usare.** Il manager degli edifici storici è il primo

**Remarks on the case study**

The Opificio delle Pietre Dure building in Fortezza da Basso has a very simple architectural configuration and distribution. Despite of this profitable aspect, we have inside the building some of the most important works of art in Art History.

From the above data is possible to notice that all the Risk Indicators are inside the "action area", so they are acceptable with respect to the stated acceptance criteria. None of the Sectors needs mitigation measures, it is just reported an example of mitigation with respect to the External Characteristics in order to give an example of the Risk Treatment Method application. OPD base is an example of building that could have had a smaller "acceptable area" with respect to the acceptance criteria. Most of the Risk Indicators are around 5 and the building's manager could have choose 5 as upper limit (instead of 5,5) to increase more and more the performance required to the building in contents protection.

**7. Conclusions**

The findings and contributions of this work are summarised below:

**Fire Risk Management Procedure for Valuable Contents.** The Procedure described in this paper is based on a semi-quantitative method of risk assessment associated to a risk treatment method that proposes packages of measure to mitigate fire risk. Because of its architecture, the procedure assumes its maximum reliability and effectiveness if applied to the Italian situation, especially in the Tuscany region.

**An easy-to-use management instrument.** Historical Building's manager is the first addressee of the Procedure and choice of a simple method, graphically user friendly, makes it an easy-to-use instrument.



destinatario della Procedura e la scelta di un metodo semplice, graficamente facile da usare, lo rende uno strumento molto accessibile.

Tuttavia, alcune domande rimangono ancora senza risposta: una delle più importanti è l'applicazione della procedura nel campo delle assicurazioni. Possono essere stabiliti rapporti importanti tra indici di rischio provenienti dalla procedura e i premi assicurativi da versare per la protezione dei contenuti di valore. Il procedimento proposto può inoltre essere il nucleo di un semplice software, utile per i gestori edifici storici al fine di mantenere un elevato livello di sicurezza, sia per i contenuti che per l'edificio.

However, several questions still remain to be answered in future works: one of the most important is the Insurance application of the procedure. Important relationships can be established between risk indexes coming from the Procedure and the insurance premium to be pay for contents.

The proposed procedure can be the core of an user-friendly software useful for the historical buildings managers in order to maintain an high safety level both for the contents and for the building.

## 8. References

1. Capone, P., Cristaudo, P., Iannalfi, A., Giusti, T. "Progettazione integrata dei laboratori di restauro: il caso studio dell'Opificio delle Pietre Dure", OPD Restauro 19 (2008), 233-240.
2. Kidd, S., (1995) "Heritage Under Fire - A guide to the protection of historic buildings". Fire Protection Association, Edinburgh.
3. Okoli, C., and Pawlowski, S. D. "The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications". Information and Management, 42 (2004), 15-29.
4. OBE, I. M., Ed. Cost Action C17 - "Built Heritage: Fire loss to Historic Buildings: Executive Summary of Recommendations", Edinburgh, (2007).
5. OBE, I. M., Ed. Cost Action C17 - "Built Heritage: Fire loss to Historic Buildings: Final Report Part 1". Edinburgh, (2007).
6. OBE, I. M., Ed. Cost Action C17 - "Built Heritage: Fire loss to Historic Buildings: Final Report Part 2". Edinburgh, (2007).
7. Saaty, T. L. "Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process". Management Science 32, 7 (1986), 841-855.
8. Saaty, T. L. "Decision making with the analytic hierarchy process". Int. J. Services Sciences 1, 1 (2008).
9. Saaty, T. L. "How To Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process".
10. Vandeveldc, P., and Streuve, E. (2005) "Fire Risk Evaluation To European Cultural Heritage: FiRE TECH Decision Supporting Procedure - User Guide". Department of Flow, Heat and Combustion Mechanics, Sint-Pietersnieuwstraat 41 - Gent (Belgium).

## 3.1 Automation in Construction