

## 5. APPLICAZIONI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE ALLA DIFESA DAI TERREMOTI

*Antonio Padula e Carlo Gavarini*

**Abstract:** During the last ten years the Research Unit has carried on its investigations relative to the utilisation of AI methodologies for seismic protection. Interesting results have been obtained, due to the possibilities the same methodologies offer to:

- supply operative tools for activities on field, in general Expert Systems;
- supply a user friendly environment, also dealing with large amount of information coming from various sources: survey and evaluation of data, decisions, design provisions, priorities, code specifications...;
- manage uncertain data and/or heuristic or empirical information, as well as to deal with semantic value of linguistic sources.

The research results have been illustrated in the works indicated in the bibliography. Seismic risk is the common connotation unifying the different questions dealt with. Further applications in the frame of Civil Engineering and Architecture are possible, too.

The investigations regard:

- priority choices in interventions on monuments under seismic risk. The proposed tool: Expert System *EXPRIM*;
- utilisation of "Fuzzy Set" theory for the interpretation of historical data regarding seismic damages;
- post-earthquake usability assessment of buildings damaged by an earthquake or by a seismic crisis. The proposed tool: Expert System *AMADEUS*;
- definition of an Informative System and of a Knowledge Based System for monuments and/or historical building heritage that should guide in data supply and management, as well as in safeguard and risk mitigation interventions.

In the course of the investigation different kinds of informative tools have been used, such as normal programming languages, *PROLOG* and the shell *NEXPERT OBJECT*. The exigency to have at disposal a tool able to use the Fuzzy logic, as well as the problems inherent to the same investigations has led the Research Unit to set up an original shell called *KSBT*.

### 5.1 Introduzione

La scrivente Unità di Ricerca ha sviluppato negli ultimi dieci anni il filone di ricerca "Applicazioni di Intelligenza Artificiale alla Difesa dai Terremoti", rivelatosi di notevole interesse, capace come è di:

- fornire strumenti operativi per attività "sul campo", in genere sotto forma di Sistemi Esperti;

- gestire in modo "friendly" operazioni caratterizzate dalla presenza di una molteplicità di discipline, tale da rendere difficili e delicati operazioni di vario genere comprendenti rilevamento di dati, valutazioni, decisioni, scelte progettuali, priorità, applicazioni di normative;
- gestire dati incerti e/o conoscenze di natura euristica ed empirica, nonché trattare il valore semantico di fonti linguistiche.

Il filone si è sviluppato con una serie di risultati illustrati nei lavori indicati in bibliografia, riguardando diverse problematiche tutte riferite al denominatore comune costituito dalla presenza del Rischio Sismico, anche se molti aspetti sono senz'altro riproponibili per altri problemi della Ingegneria Civile e della Architettura. Dette problematiche sono, in ordine cronologico:

- il problema delle scelte di priorità negli interventi su monumenti esposti al Rischio Sismico, che ha visto la proposta del Sistema Esperto EXPRIM [01,02];
- la applicazione della teoria degli "Insiemi sfuocati" alla interpretazione dei dati storici su danni sismici [03,04,09];
- il giudizio di agibilità degli edifici più o meno danneggiati da un terremoto o da una crisi sismica caratterizzata da un susseguirsi di repliche, ricerca che ha visto la proposta del Sistema Esperto AMADEUS [06,08];
- la definizione di un Sistema Informativo e un Sistema a base di conoscenza su monumenti e/o edilizia storica, atti ad indirizzare nella raccolta dei dati e nella loro successiva gestione, sino alla definizione di interventi di conservazione e concomitante riduzione del rischio [13,17,18].

Nel corso di tali studi la Unità di Ricerca ha utilizzato vari strumenti informatici, quali normali linguaggi di programmazione, PROLOG e la shell NEXPERT OBJECT. A proposito di detta shell, essendo sopravvenuta la esigenza di avere a disposizione uno strumento che consentisse l'uso della "Logica fuzzy", sia nelle problematiche ora citate che nel rilevamento della vulnerabilità sismica [05,07,10,11,15], la stessa Unità di Ricerca è pervenuta alla messa a punto di una shell originale, detta *KSBT* [12,14,16,19].

## 5.2 Exprim

EXPRIM è un Software che traduce in Sistema Esperto la scheda CARISMA per i monumenti, proposta da uno degli autori nel 1991 [20], fornendo la possibilità di elaborare i dati e pervenire alla individuazione di priorità di intervento.

Il modello di rischio e priorità di intervento, costruito sulla base delle informazioni raccolte a mezzo della scheda di primo livello, è un modello molto semplice. I classici modelli di rischio che vengono proposti usualmente per beni

esposti aventi valore riconducibile a termini quantitativi, in particolare monetari, non sono applicabili nel caso attuale. Occorre individuare qualche criterio che consenta di definire e gestire la variabile "valore" del singolo monumento, nonché confrontarla, a fronte di problematiche che richiedono la istituzione di priorità, con altre variabili anch'esse molto importanti, quali il rischio per le vite umane e il degrado, nonché il fattore onnipresente rappresentato dalla limitatezza delle risorse economiche disponibili. Il classico concetto di bilancio benefici-costi si ripresenta quindi con svariate sfaccettature, ovvero in un iperspazio nel quale le due ordinate si moltiplicano entrambe; infatti i "benefici" di un eventuale intervento sul monumento sono:

- l'arresto del degrado;
- la conservazione del bene culturale;
- la riduzione del rischio di perdita del bene;
- la salvaguardia delle vite umane;
- 

i "costi" invece consistono in:

- le perdite di identità culturale associate agli interventi;
- le perdite di fruizione associate ad eventuali restrizioni dell'uso;
- le risorse materiali utilizzate per gli interventi.

E' parso opportuno prendere i seguenti provvedimenti:

- collocarsi in uno spazio a metrica discreta semplificata, nel quale ogni grandezza sia assegnabile a tre possibili valori (oltre, in alcuni casi, al valore nullo): alto, medio, basso (oppure buono, medio, cattivo); in particolare ciò vale per: la sismicità del sito, il degrado, la vulnerabilità sismica del monumento, il valore del monumento;
- distinguere la variabile degrado e la sua evoluzione dalla variabile vulnerabilità sismica;
- distinguere il "rischio monumento" dal "rischio persone", dove il primo si riferisce alla possibilità che la costruzione subisca danni da futuri terremoti, mentre il secondo si associa alla possibile offesa alle vite umane.

Un'altra questione basilare nel presente contesto riguarda l'accertamento della vulnerabilità sismica della costruzione monumentale ed il suo incrocio con i dati di pericolosità sismica del sito.

Passando alla pericolosità, si può osservare come essa venga per lo più accertata a partire da dati storici di intensità macrosismica. Da qui discende il "postulato", ovvero assunto fondamentale della presente metodologia: se la storia sismica del monumento è "significativa", in termini di eventi e danni subiti, essa è la sola informazione che serve per quanto riguarda il rischio sismico. Se invece ciò non

accade occorre passare attraverso la conoscenza di pericolosità e vulnerabilità, con le modalità che sono descritte in [01,02].

Attribuito che sia il "Rischio monumento" (RM), rimangono da definire:

- la "occupazione" (OC);
- il "rischio persone" (RP);
- il "rischio esterno" (RE);
- il parametro "degrado e sua evoluzione" (DE);
- il "valore" del monumento (VA);
- la priorità di intervento, basata sui tre parametri RM, DE e VA.

Il Sistema Esperto EXPRIM è stato costruito a mezzo della Shell NEXPERT OBJECT, con impiego dei linguaggi C e CLIPPER, rispettivamente per il controllo dei Flussi e per l'implementazione di procedure esterne alla Base di Conoscenza.

### 5.3 Macrosismica e insiemi sfocati

Quasi sempre gli effetti di terremoti storici sulle costruzioni sono riportati in una forma descrittiva e linguistica, dipendente dalla soggettività dell'osservatore e lontana dalla terminologia tecnica oggi in uso. Appare quindi utile una metodologia formalizzata per la interpretazione delle informazioni, che possa tenere conto dell'attendibilità e/o imprecisione delle informazioni stesse. Il modello proposto permette le seguenti operazioni:

- passaggio dalla forma descrittiva e linguistica delle informazioni, alla loro forma ingegneristica;
- gestione ed elaborazione della incertezza relativa ai dati;
- gestione della pluralità delle informazioni.

Nella costruzione del modello, per rappresentare una operazione semantica, sono state definite l'*Interpretazione Lessicale* e l'*Interpretazione Contestuale*, ed è stata impiegata la "Fuzzy Set Theory" che, con i concetti di *linguistic variable*, *fuzzy relation*, *compositional rule of inference* e *aggregation of fuzzy sets* ha permesso di ottenere una rappresentazione, tramite insiemi sfocati, del danno subito da ogni elemento strutturale su cui sono state raccolte le informazioni storiche e, successivamente, di effettuare una elaborazione che conduce ad una stima d'intensità del terremoto, tramite una relazione danno/intensità costruita tenendo conto della tipologia di ogni elemento strutturale.

Per seguire lo sviluppo del modello nei suoi dettagli si veda [03,04,09].

## 5.4 Amadeus

Nel 1985 uno degli autori propose una metodologia che fornisse gli strumenti concettuali e formali per eseguire opportunamente le operazioni di valutazione di agibilità su edifici colpiti da sisma. La proposta metodologica si concretizzò dapprima in una scheda di rilevamento [21,22], poi in un Sistema Esperto basato sulla conoscenza che la metodologia impiegava [23,24].

Si è poi passati alla versione 3 del sistema esperto [06,08] la quale teneva conto di varie circostanze intervenute successivamente all'implementazione delle prime due versioni. Tali circostanze hanno consentito di pervenire a proposte di perfezionamento di tipo metodologico, informatico ed operativo. Infatti:

- si sono potute effettuare applicazioni “in vivo”, in occasione del terremoto di Santa Lucia 1990 in Sicilia Orientale, operando in particolare nella città di Augusta;
- è stata pubblicata una procedura americana per i giudizi di agibilità, messa a punto dalla nota Associazione ATC [25];
- si è rivelata particolarmente interessante e produttiva la possibilità di ricorrere alla Teoria dei Fuzzy Sets o Insiemi Sfocati, che consente una più ricca e più consapevole formalizzazione delle incertezze nelle quali si imbatte l'operatore, offrendo poi, in fase di elaborazione dei dati, la opportunità di combinare e “proiettare” le incertezze sui dati in incertezze sugli effetti in modo sufficientemente chiaro e calibrabile;
- il riesame critico dell'intero procedimento ha consentito di individuare e separare con maggiore chiarezza i differenti aspetti dello stesso:
- aspetti riguardanti quali parametri esaminare e più in generale come compiere la indagine preliminare alle decisioni;
- aspetti concernenti la raccolta in Banca Dati delle relative informazioni;
- criteri da porre alla base delle decisioni, i quali hanno almeno in parte il significato di indicazioni di tipo normativo.

Rivista quindi l'intera logica del Sistema Esperto si è poi, per la implementazione del Sistema, scartata la shell precedentemente usata (che era la TEXAS) e si è preferito l'impiego del linguaggio PROLOG, oltre ad alcune procedure in CLIPPER.

AMADEUS 3.0 è un sistema a base di conoscenza portatile e interattivo mirato all'assistenza di tecnici durante le operazioni di valutazione in condizioni di emergenza. È importante far rilevare che la funzione del sistema consiste nel guidare le varie fasi dell'ispezione, in modo tale che l'operatore possa concentrare la propria attenzione sugli aspetti più significativi, e nel suggerire certe conclusioni circa il giudizio sull'agibilità dell'edificio; non vengono pertanto surrogati la capacità e il potere decisionale dell'operatore stesso, riguardo ai quali quest'ultimo conserva piena responsabilità.

Il ricorso alla teoria degli insiemi sfocati, diffusamente impiegata nella definizione dei percorsi decisionali, ha consentito di utilizzare il linguaggio naturale sia nella realizzazione dell'interfaccia con l'utente, che nella definizione di concetti e valori di verità. Tuttavia, in alcune parti del sistema sono state utilizzate anche regole di produzione euristiche fondate sul *ragionamento plausibile*, basato sull'elaborazione simbolica delle informazioni, e consistente nel dedurre certe conclusioni da fatti che appaiono corretti. AMADEUS 3.0 possiede inoltre un modulo di aggiornamento che offre la possibilità sia di intervenire all'interno di una stessa base di conoscenza, consentendo modifiche ritenute necessarie al variare di situazioni e contesti (introduzione di nuove regole, rimozione o modifica di regole esistenti), sia di creare nuove basi di conoscenza.

AMADEUS 3.0 può essere attivato sia per rilevare i dati direttamente sul campo, utilizzandoli immediatamente per la stima dell'agibilità, sia per valutare dati provenienti da files esterni. Le informazioni raccolte sul campo, unitamente alle valutazioni del sistema, possono essere registrate direttamente su files in formato DBF. Ciò consente di ripetere le valutazioni del sistema sugli stessi dati, su dati modificati o aggiornati successivamente al rilevamento, oppure su dati elaborati *ad hoc* per esperimenti o simulazioni.

Per quanto riguarda le applicazioni, lo strumento AMADEUS rimane un prototipo, di non facile impiego da parte di una utenza vasta; attualmente è in corso, nell'ambito di una convenzione promossa dal Servizio Sismico Nazionale, la messa a punto di un Sistema Esperto completamente nuovo, mirato alla diffusione, e basato sulle più recenti esperienze in tema agibilità, in particolare quella legata al terremoto Umbro Marchigiano 1997/98.

## **5.5 Sistema informativo per i beni architettonici**

Il sistema informativo è stato progettato [13,17,18] in base ad una scheda strutturata in modo da suddividere i suoi contenuti in distinte sezioni, denominate "pacchetti", ognuna delle quali è caratterizzata da un distinto contenuto disciplinare.

Un elemento portante della logica posta alla base del Sistema è costituito dalla *storia*. Il concetto fondamentale è che la conoscenza di tutta la storia del bene architettonico sia della massima importanza, e tale conoscenza si dovrà poter fornire attraverso una duplice modalità di lettura dei dati: fissando l'attenzione su un particolare momento storico, ovvero visionando una "fotografia" datata del Bene (lettura sincronica dei dati), oppure fissando l'attenzione su una rappresentazione evolutiva attraverso le varie date significative (lettura diacronica).

Un altro aspetto fondamentale del Sistema è quello di voler avviare un dialogo fra svariati settori disciplinari, spesso assai diversi tra di loro, la cui incomunicabilità ha posto spesso problemi importanti concernenti: il confronto, il livello, i valori, le scelte, le priorità.

Il Sistema, a questo stadio, riguarda le pareti, definite attraverso gli oggetti elementari che le compongono: elementi murari, aperture, finiture. Ognuno di questi

oggetti è caratterizzato da una serie di dati e attributi che mirano a ricostruire le proprietà geometriche, materiche e funzionali dell'organismo edilizio; ad essi infatti viene associata una rappresentazione grafica. L'intera parete si delinea così come giustapposizione di oggetti che di volta in volta si adattano alle soluzioni di continuità presenti nella parete stessa. La rappresentazione grafica, oltre ad essere utile per l'immediatezza con cui visualizza lo stato di fatto della parete, è utilizzata anche per elaborazioni basate su tecniche di ragionamento geometrico, finalizzate a diagnosi da definire (ad esempio, a fini di vulnerabilità e rischio sismico).

È ora in corso una rivisitazione mirata a completare lo strumento e a renderlo utile per la stesura di Codici di Pratica, del tipo di quelli proposti in [26,27,28,29].

La presente ricerca è anch'essa finanziata dal CNR, ma sotto l'egida del Comitato Beni Culturali.

## **5.6 Ksbt**

Il crescente interesse nelle potenzialità dell'Intelligenza Artificiale quale valido supporto alla gestione dei problemi relativi alla Difesa dai Terremoti, ed in particolare la constatazione che molti dei problemi vedono la presenza di dati incerti, euristici, empirici, ha suggerito alla Unità di Ricerca di intraprendere lo studio e la messa a punto di uno strumento che consenta la costruzione di Sistemi Esperti, o meglio Sistemi a Base di Conoscenza, da parte di utenti esperti nel proprio "Dominio di Conoscenza", ma non in Informatica; uno strumento siffatto, come è noto, prende il nome di SHELL, ed il suo interesse, stante la possibilità di impiego diretto, è evidente.

Un primo prototipo di tale SHELL, alla quale è stato dato il nome di KSBT (Knowledge-based Systems Building Tool), è stato proposto in [12]; una prima applicazione alla stima della vulnerabilità sismica è stata proposta in [14]; successivi risultati sono stati presentati in [16,19].

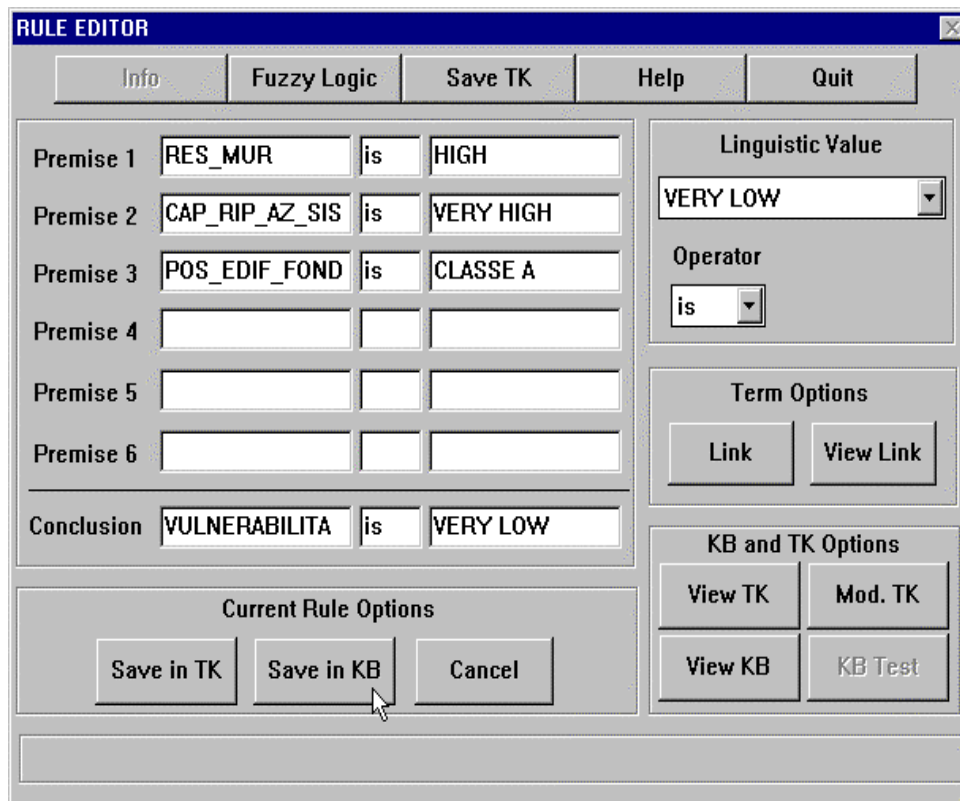


Fig. 5.1 - Rule editor di Ksbt.

In particolare la shell sviluppata consente all'esperto del dominio (tramite l'ambiente "RULE EDITOR" di Fig. 5.1) di definire regole "miste", contenenti cioè variabili *fuzzy* e *non-fuzzy* (come per esempio variabili numeriche) e quindi di sfruttare le potenzialità del ragionamento approssimato solo per quelle variabili che richiedono necessariamente l'uso di espressioni linguistiche per la loro definizione (Fig. 5.2), e di poter ricorrere negli altri casi all'impiego di metodologie di ragionamento tradizionale.

### 5.6.1 *Trattamento delle informazioni di natura qualitativa*

#### 5.6.1.1 *Uso di tecniche di ragionamento approssimato*

Sinteticamente, si può dire che il ragionamento approssimato si caratterizza per la possibilità di dedurre, a partire da uno schema inferenziale del tipo "IF  $P$  THEN  $Q$ " in cui  $P$  e  $Q$  siano proposizioni *fuzzy*, e da una proposizione  $P'$  solo approssimativamente coincidente con  $P$ , una proposizione  $Q'$  approssimativamente simile a  $Q$ . Questo genere di inferenza, incompatibile con i sistemi logici ordinari, è resa possibile per mezzo di un'interpolazione logica che generalizza il *modus ponens* classico.

In maniera più specifica, nella realizzazione del motore inferenziale della *shell*



si è optato per un impiego congiunto dell'inferenza compositiva approssimata *max-min* e di un'opportuna regola di implicazione, mediante la quale fosse possibile trasformare una proposizione condizionale *fuzzy* quale "IF  $x$  is  $A$  THEN  $y$  is  $B$ " ( $x \in U$ ;  $y \in V$ ;  $U, V$  insiemi di definizione) in una relazione (o associazione) *fuzzy* definita in  $U \times V$ . La *shell* consente di selezionare la regola di implicazione più appropriata, in dipendenza del problema di volta in volta esaminato. Ad esempio, l'esigenza di generalizzare l'implicazione classica, che risulta falsa se e solo se il valore di verità dell'antecedente è uguale a 0 e quello del conseguente è uguale a 1, suggerisce l'impiego della regola di Lukasiewicz, che può essere scritta come

$$R_L(A, B) = \int_{U \times V} \min \{1, 1 - m_A(u) + m_B(v)\}(u, v) \quad (5.1)$$

in cui  $u \in U$ ,  $v \in V$ , e  $\mu_F(u)$  rappresenta la **funzione di appartenenza** dell'elemento  $u$  all'insieme  $F$ . Tuttavia, tale operatore fornisce il più delle volte valori prossimi o uguali all'unità, dal momento che  $\min \{1, 1 - m_A(u) + m_B(v)\} < 1$  se e solo se  $\mu_A(u) > m_B(v)$ , il che equivale a ignorare l'informazione contenuta nell'associazione  $(A, B)$ . Per quanto riguarda la costruzione del sistema esperto per la valutazione della vulnerabilità sismica, è stata allora presa in considerazione la regola di Mamdani [5], definita come

$$R_M(A, B) = \int_{U \times V} \min \{m_A(u), m_B(v)\}(u, v) \quad (5.2)$$

La definizione (5.2) può essere estesa al caso di implicazione con antecedente multiplo [6], del tipo "IF  $x_1$  is  $A_1$  AND  $x_2$  is  $A_2$  AND ... AND  $x_n$  is  $A_n$  THEN  $y$  is  $B$ ", nel modo seguente:

$$R_M(A_1, A_2, \dots, A_n; B) = \int_{U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \times V} \min \{ \min [m_{A_1}(u_1), m_{A_2}(u_2), \dots, m_{A_n}(u_n)], m_B(v) \} / (u_1, u_2, \dots, u_n, v) \quad (5.3)$$

in cui  $u_j \in U_j, j = 1, 2, \dots, n, v \in V$ . Data l'inferenza:

**conoscenza:** IF  $x_1$  is  $A_1$  AND  $x_2$  is  $A_2$  AND ... AND  $x_n$  is  $A_n$  THEN  $y$  is  $B$

**fatto:**  $x_1$  is  $A_1'$  AND  $x_2$  is  $A_2'$  AND ... AND  $x_n$  is  $A_n'$

---

**conclusione approssimata:**  $y$  is  $B'$

la conseguenza  $B'$  può essere ricavata dall'intersezione delle conseguenze  $B_j'$  delle singole componenti di ragionamento *fuzzy*

**conoscenza:** IF  $x$  is  $A_j$  THEN  $y$  is  $B$

**fatto:**  $x$  is  $A_j'$

---

**conclusione approssimata:**  $y$  is  $B_j' = A_j' \circ R_M(A_j; B)$ ,

ovvero

$$B' = \bigcap_j B'_j \quad (5.4)$$

essendo  $m_{B'_j}(v) = \max_{u_j} \min \{m_{A_j}(u_j), m_B(v)\}$ . Nel caso che gli antecedenti siano combinati per mezzo del connettivo logico OR, la ricomposizione avviene invece secondo la relazione

$$B' = \bigcup_j B'_j \quad (5.5)$$

### 5.6.1.2 Implementazione di sistemi fuzzy

Nell'implementazione della *shell* particolare attenzione è stata rivolta alla possibilità di sviluppare e utilizzare sistemi *fuzzy* a base di regole.

I sistemi *fuzzy* sono costituiti da  $m$  regole *fuzzy* distinte del tipo "IF  $x$  is  $A_i$  THEN  $y$  is  $B_i$ " ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), ognuna delle quali rappresenta una corrispondenza tra insiemi *fuzzy* di input,  $A$ , in insiemi *fuzzy* di output,  $B$ . L'input  $A$  attiva le regole in parallelo, in misura variabile con gradualità. Come conseguenza di ciascuna delle regole accese, vengono inizialmente ottenuti degli output  $B'_i$ ; successivamente l'adozione di criteri decisionali opportuni permette di determinare il risultato del processo inferenziale,  $B'$ . In particolare, la *shell* effettua il calcolo di  $B'$  mediante la sovrapposizione dei singoli output  $B'_i$

$$B' = \sum_{i=1}^m w_i B'_i \quad (5.6)$$

dove  $w_i$  rappresenta la credibilità, ovvero la forza della regola  $i$ -esima. Infine l'output  $B$ , secondo che venga richiesto in forma sintetica ovvero come valore puntuale su una scala numerica, viene derivato da  $B'$  per mezzo di tecniche di approssimazione linguistica (nel caso specifico, si è adottata la minimizzazione di una distanza metrica della classe di Minkowski rispetto a valori linguistici di riferimento) o, rispettivamente, di defuzzificazione, quali la ricerca del centroide della distribuzione *fuzzy* costituita da  $B'$ .

Allo scopo di consentire sia l'implementazione che l'utilizzo di sistemi *fuzzy*, è stato appositamente sviluppato un motore inferenziale *fuzzy* di tipo *backward chaining*. Il modulo per l'esecuzione della regola compositiva di inferenza viene utilizzato anche nella fase di costruzione assistita di basi di conoscenza *fuzzy* (Fig. 5.2). Si ricorre al *matching* simbolico nel caso di coincidenza tra fatti e antecedenti delle regole, mentre la regola compositiva di inferenza viene attivata nel caso di *matching* parziale tra fatti e antecedenti (ad esempio, se i valori di verità degli antecedenti sono intermedi tra *vero* e *falso* della logica classica).

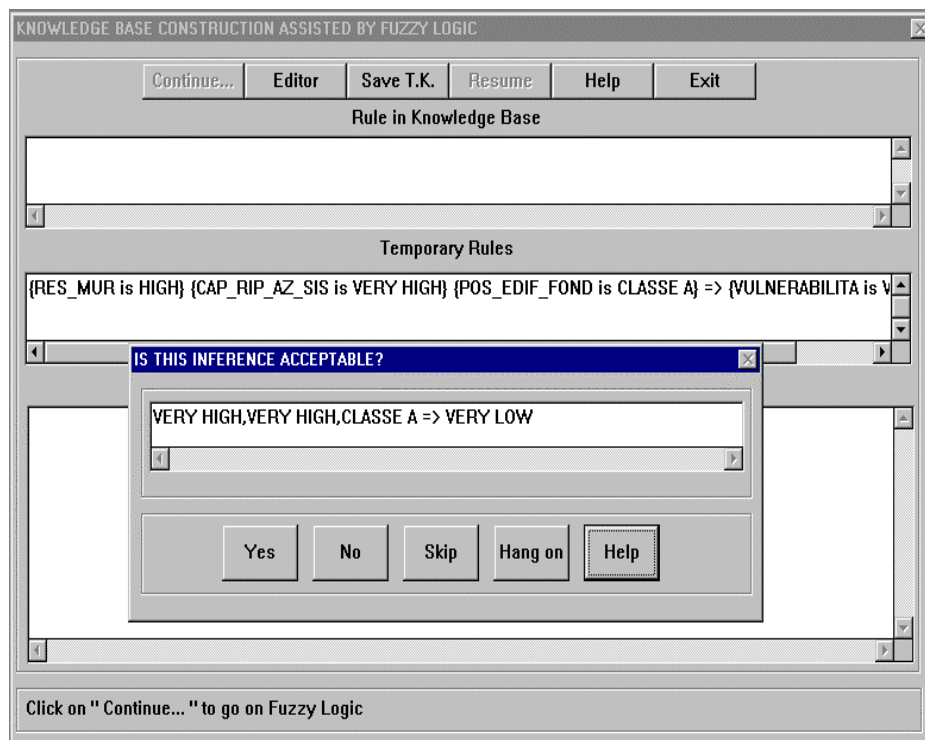


Fig. 5. 2 - Esempio di costruzione di una base di conoscenza fuzzy.

Oltre agli elementi costitutivi, quali l'ambiente di scrittura delle regole (Fig. 5.1), il motore inferenziale, la possibilità di ridefinire o modificare le regole, lo sviluppo guidato di basi di regole *fuzzy* ecc., la shell è stata dotata di funzioni e ambienti aventi lo scopo di agevolare i processi di acquisizione ed estrazione della conoscenza necessari alla formalizzazione delle regole. Vengono così fornite all'esperto del dominio:

- la possibilità di associare alle singole regole e alle singole variabili testi, immagini e grafici esplicativi della situazione che si intende descrivere e di supporto al rilevamento dei dati (Fig. 5.3). In questo modo l'esperto può fornire, unitamente alla base di conoscenza, una serie di informazioni, anche in forma iconica, che rendono più immediato l'uso del sistema esperto. Il futuro utente potrà, durante la fase del rilevamento o delle valutazioni, richiamare tali informazioni che possono costituire, quindi, un vero e proprio *explanation system*, associato alla base di conoscenza;
- la possibilità di considerare, come variabile del problema, il risultato di una procedura definita in altro ambiente come variabile del problema;
- la possibilità di specificare una propria scala dei valori linguistici e le relative funzioni di appartenenza (fig 5). Infatti di particolare utilità, nella costruzione delle basi di conoscenza *fuzzy*, si è rivelata la possibilità di

scegliere gli operatori di logica *fuzzy* appropriati, e di definire o modificare la forma delle funzioni di appartenenza, la cui calibratura ha costituito uno dei nodi cruciali nell'assicurazione della congruità del sistema esperto di cui sotto.

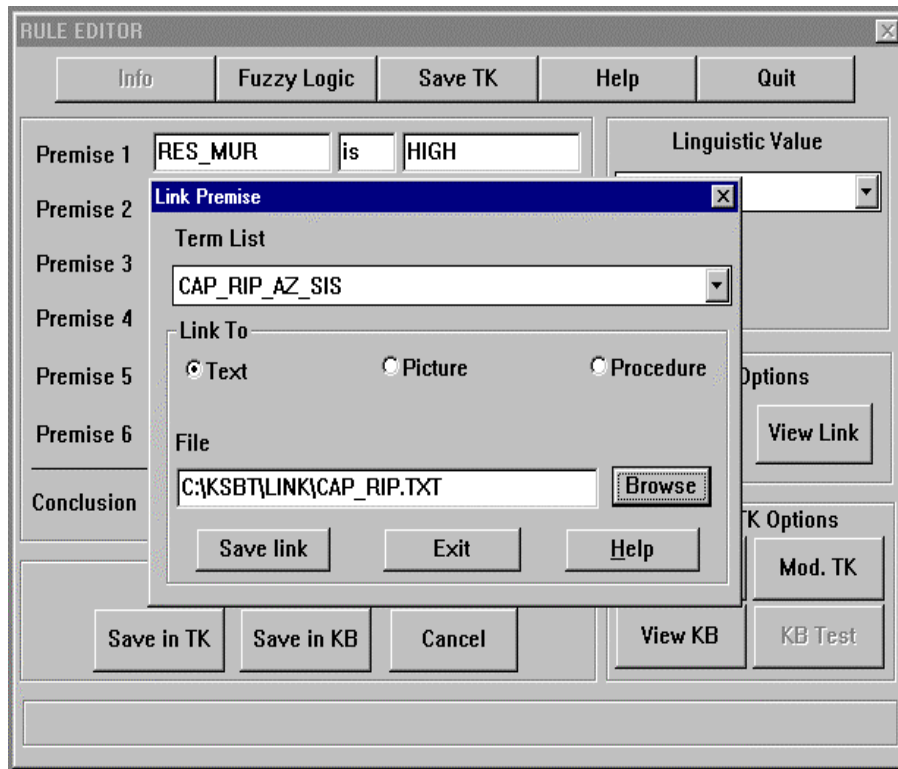


Fig. 5.3 - Esempio di associazione per una variabile del sistema.

### 5.6.2 Uso di Ksbt per la stima della vulnerabilità sismica

Lo sviluppo di un sistema esperto per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, schematicamente rappresentato in Fig. 5.4 [16], ha consentito di verificare la funzionalità e l'affidabilità della stessa *shell* nell'organizzazione di un progetto generale e complesso.

Di particolare utilità nella costruzione delle basi di conoscenza *fuzzy* si è rivelata la possibilità di scegliere gli operatori di logica *fuzzy* appropriati e di definire o modificare la forma delle funzioni di appartenenza (Fig 5.5).

Utilizzando le nuove funzioni implementate, si sta procedendo ad una nuova formulazione del sistema esperto, partendo da un livello più basso di definizione delle variabili. Infatti per la valutazione della vulnerabilità, non verrà più richiesto all'utente di fornire giudizi qualitativi direttamente sui singoli parametri, così come definiti nella Scheda di Rilevamento di II Livello del GNDT, ma di procedere ad un reale rilevamento "guidato" dei dati. Così facendo sarà possibile eseguire una valutazione della vulnerabilità sia direttamente *in situ* che in fasi successive sulla

scorta dei dati rilevati ed archiviati. La base di conoscenza messa a punto e fornita insieme alla shell, è tuttavia da ritenersi soltanto un punto di partenza per lo studio del problema.

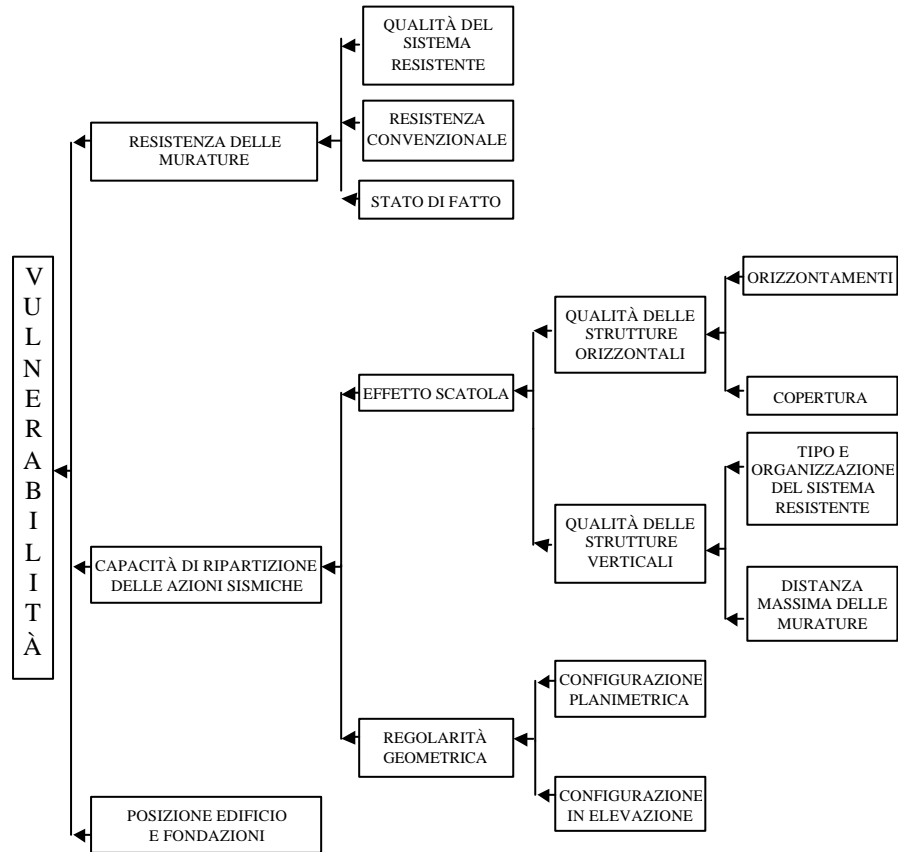


Fig. 5.4 - Struttura del sistema esperto per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura.

Le nuove funzioni implementate all'interno di KSBT hanno permesso ora di soddisfare l'esigenza di riprodurre in modo soddisfacente le caratteristiche di un problema quale quello della stima di vulnerabilità, ossia l'effettiva integrazione delle tecniche per la gestione di variabili *fuzzy* e *non-fuzzy*, sia attraverso l'applicazione delle metodologie della *logica sfocata* sia attraverso procedure algoritmiche tradizionali.

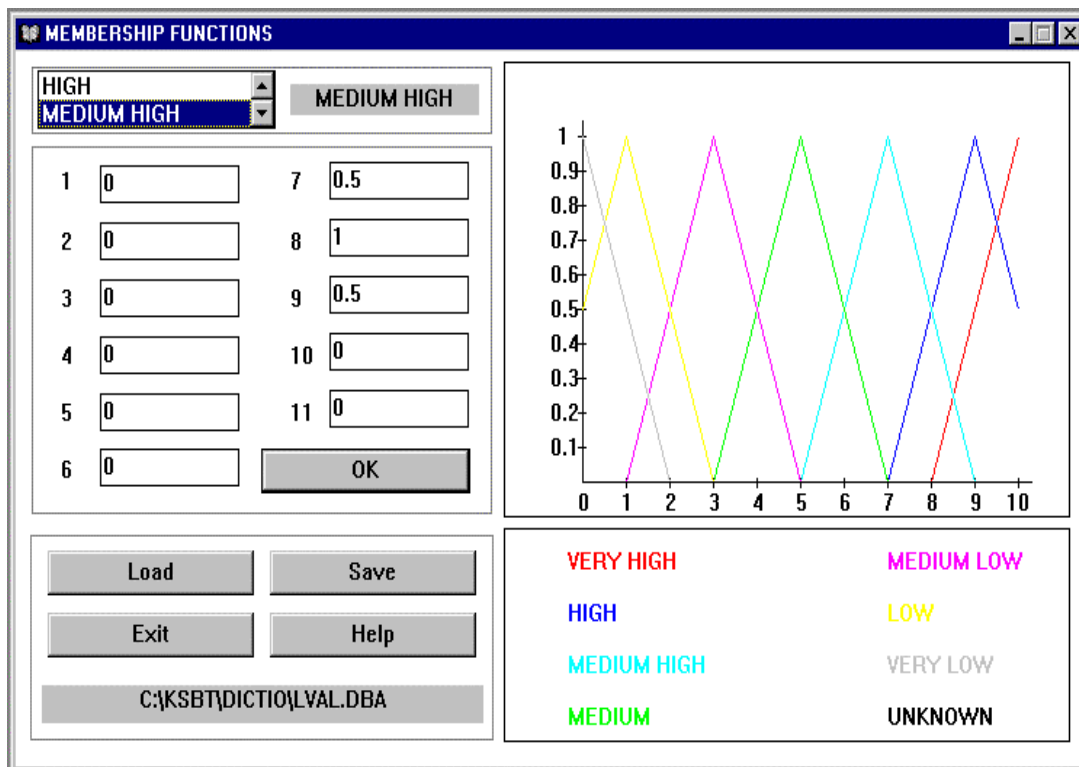


Fig. 5.5 - Definizione delle funzioni di appartenenza.

#### 5.6.2.1 Breve descrizione delle principali funzioni

Vengono qui presentate, in modo molto sintetico, le funzioni principali della shell così come si presentano attraverso l'utilizzo dei menu.

- File
  - Exit : esce dal programma.
- Knowledge
  - Open: consente di aprire una base di conoscenza esistente o di crearne una nuova
  - Evaluation: Avvia l'ambiente delle valutazioni
  - Update
    - New Rule: avvia il Rule Editor
    - Modify Rule: permette di modificare le regole contenute nella base di conoscenza specificata.
  - Link: consente di effettuare e/o visualizzare le associazioni delle regole contenute nella base di conoscenza specificata.
- Fuzzy Logic
  - Membership functions: consente di accedere all'ambiente per la modifica delle funzioni di appartenenza

## 5.7 Conclusioni

Al giorno d'oggi i problemi di ingegneria, ed in particolare quelli concernenti la Difesa dai Terremoti, vanno visti in termini *decisionali*, *gestionali* e *predittivi*. La risoluzione di tali problemi richiede un più veloce accesso a una quantità sempre maggiore di informazioni, mentre si rendono necessarie risorse più efficaci sia nell'analisi e nella comprensione delle informazioni disponibili, sia nella gestione di quella parte delle informazioni che, invece, non sono disponibili. Nel tentativo di modellare la conoscenza, le metodologie e i concetti dell'IA possono potenzialmente fornire strumenti per gestire *grandi quantità di informazioni in presenza di grandi quantità di incertezza*, che insieme costituiscono la *complessità*, terreno comune a molti problemi di ingegneria di importanza fondamentale. La cooperazione della conoscenza causale e di quella empirica, l'integrazione di differenti strutture matematiche per il trattamento delle incertezze e l'interazione con i componenti algoritmici, si rivelano allora necessità imprescindibili al fine di riprodurre in maniera efficace le situazioni reali, e di risolvere al meglio tutti quei problemi caratterizzati da aspetti di tipo complesso.

Un ulteriore fattore di complessità, peraltro di altro tipo, si manifesta quando ci si trova a trattare problemi connessi ad "oggetti" che afferiscono a quell'altro ramo professionale che va sotto il nome di Architettura, ed in particolare quelli che si chiamano Beni Culturali; ecco allora che la sommatoria dei vari linguaggi disciplinari può diventare una "Babele", accompagnata come è di altri problemi: normativi, rappresentativi (grafica piuttosto che calcoli), culturali in genere.

Gli strumenti sin qui proposti dalla Unità di Ricerca appaiono di qualche interesse, lasciando intravedere la grande importanza che ha, qualunque sia il versante sul quale ci si trova ad operare, la capacità di "guardarsi" intorno, capendo che ci possono essere altre esigenze, altri valori, altri aspetti, che possono interferire in modo non necessariamente marginale con il problema specifico allo studio.

Ricordiamo infine che quando si dice guardarsi intorno, ci si riferisce ad uno spazio a 4 dimensioni, nel quale è quindi compreso il tempo, e con esso la Storia.

## Bibliografia

- Gavarini C., Padula A.: EXPRIM: Un Sistema Esperto per la definizione di priorità di intervento su edifici monumentali in zona sismica, *Ingegneria Sismica*, 2/1992 - [01]
- Gavarini C., Padula A.: EXPRIM: An Expert System for seismic risk evaluation of monuments, Workshop "Application of Intelligence Techniques in Seismology and Engineering Seismology", Walferdange, Luxembourg, march 1992 - [02]
- Padula A., Gavarini C.: Un modello per la interpretazione dei danni e la conseguente valutazione dell'intensità di terremoti storici, ARCo: Associazione per il Recupero del Costruito, Primo Convegno Nazionale: *Manutenzione e Recupero nella Citta` Storica*, Roma 27-29/04/93 - [03]
- Padula A., Gavarini C., Nodargi B.: Interpretazione dei dati storici sui danni sismici e calcolo della Intensità Macrosismica tramite l'impiego della Teoria degli Insiemi Sfocati, *6o Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica*, Perugia ottobre 1993 - [04]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A.: Un Sistema a Base di Conoscenza per la valutazione della Vulnerabilità Sismica degli edifici in muratura con l'uso della Teoria degli Insiemi Sfocati per il trattamento dell'incertezza, *6o Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica*, Perugia ottobre 1993 - [05]
- Gavarini C., Padula A., Le Rose L., Tiriticco F.: AMADEUS 3.0: nuova versione di un Sistema Esperto per la valutazione di agibilità su edifici colpiti da sisma, *6o Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica*, Perugia ottobre 1993 - [06]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A.: Vulnerability and/or damage assessment of structures before/after earthquake: Use of Expert Systems and Fuzzy Set theory, *First Workshop of The European Group for Structural Engineering Applications of Artificial Intelligence (EG-SEA-AI)*, Lausanne, Switzerland, march 1994 - [07]
- Gavarini C., Padula A.: AMADEUS 3.0: A new knowledge based system for the assessment of earthquake damaged buildings, *10th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, aug.-sept. 1994 - [08]
- Padula A., Gavarini C.: From Seismic Historical Information to Seismic Intensity Assessment through Fuzzy Set Theory, *10th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, aug.-sept. 1994 - [09]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A.: Seismic evaluation of buildings: a global A.I. approach, Secondo Simposio italo-francese di Ingegneria Sismica: *Rafforzamento e riparazione delle strutture in zona sismica*, Nizza, 12-14 ottobre 1994 - [10]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A.: Il ruolo della Intelligenza Artificiale nella definizione di un approccio globale alla protezione sismica degli edifici, Convegno "Terremoti in Italia": *previsione e prevenzione dei danni*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 1-2 dic. 1994 - [11]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A., Vittori F.: A Knowledge-Based Systems Building Tool, Convegno "IABSE Colloquium" *Knowledge Support Systems in Civil Engineering*, Bergamo, march 1995 - [12]
- Gavarini C., Bruno S., Canofeni G., Di Stefano A., Oliva C., Padula A.: Protezione sismica dei beni architettonici: definizione di un sistema informativo quale presupposto per un approccio interdisciplinare alla prevenzione dei danni e alla tutela, *Convegno "L'Ingegneria Sismica in Italia": 7 Convegno Nazionale*, ANIDIS, Siena 25-28 Set. 1995 - [13]



- Bruno S., Gavarini C., Padula A., Vittori F.: KSBT: uno strumento per la costruzione di sistemi a base di conoscenza e sua applicazione alla stima della vulnerabilità sismica, *Convegno "L'Ingegneria Sismica in Italia": 7 Convegno Nazionale*, ANIDIS, Siena 25-28 Set. 1995 - [14]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A.: An AI Approach to the Management of Uncertainty in Post-Earthquake usability of Buildings Assessment, International Conference on Information Technology in Civil and Structural Engineering Design - "*Taking Stock and Future Directions*", University of Strathclyde - Glasgow, august 1996 - [15]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A., Vittori F.: Costruzione di un Sistema Esperto sulla vulnerabilità sismica tramite l'impiego della Shell KSBT, "*L'Ingegneria Sismica in Italia*": 8 *Convegno Nazionale*, Taormina, 21-24 Set. 1997 - [16]
- Bruno S., Di Stefano A., Gavarini C., Padula A.: An expert system for the seismic protection of architectural building heritage, ERES 99, *Earthquake Resistant Engineering Structures 99*, 15-17 June 1999, Catania, Italy - [17]
- Gavarini C., Bruno S., Di Stefano A., Padula A.: Seismic safeguard of Cultural Heritage: Definition of a Knowledge Based System for Monuments, 2nd International Congress on *Science and Tecnology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Paris, July 1999 - [18]
- Bruno S., Gavarini C., Padula A., Vittori F.: Applicazioni di Intelligenza Artificiale alla Ingegneria Sismica e alla Sismicità Storica, *IX Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Torino, 20-23 settembre 1999 - [19]
- Gavarini C.: CA.R.I.S.M.A. Un approccio sistematico alla catalogazione, al rilevamento, alla sorveglianza e alla manutenzione programmata dei monumenti. Impostazione generale e prime ipotesi di sviluppo; *5o Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia*, Palermo, 29/09-02/10, 1991 - [20]
- Gavarini C.: A proposal of an inspection form for emergency decisions on buildings after an earthquake, PRC-US-JAPAN Trilateral Symposium/Workshop *on Engineering for multiple natural hazard mitigation*, Beijing, January 1985 - [21]
- Gavarini C.: Agibilità degli edifici dopo un terremoto; una proposta metodologica, "*L'Industria Italiana del Cemento*", n. 6, 1985 - [22]
- Gavarini C., Pagnoni T., Tazir H.: AMADEUS: A knowledge-based system for the assesment of earthquake damaged buildings, IABSE Colloquium: *Expert Systems in Civil Engineering*, Bergamo, october 1989 - [23]
- Tazir H., Pagnoni T., Gavarini C.: Knowledge Acquisition for Postearthquake Usability Decisions. In T. Arciszewski & L. Rossman (eds.), *Knowledge Acquisition in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, 1992 - [24]
- Applied Technology Council: ATC-20 Procedures for postearthquake safety evaluation of buildings - [25]
- Giuffrè A. (a cura di): *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici. Il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma-Bari, 1993 - [26]
- Giovanetti F. (coord.), Giuffrè A. ed altri: *Manuale del Recupero di Città di Castello*, Edizioni DEI Tipografia del Genio Civile, Roma - [27]
- Giuffrè A., Carocci C.: *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione dei Sassi di Matera*, Edizioni La Bauta, Matera 1997 - [28]
- Giuffrè A., Carocci C.: *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del Centro Storico di Palermo*, Editori Laterza, Roma-Bari, 1999 - [29]