







scenza, quale testimonianza significativa nella sua complessità. In questa prospettiva, è necessario massimizzare la conoscenza globale del manufatto, attribuendo pari valore, pari dignità, pari importanza e pari diritto di tutela a tutte le componenti e le testimonianze materiali presenti nella fabbrica. L'intervento di manutenzione non viene quindi determinato da formulazioni generalizzanti e aprioristiche, ma nasce essenzialmente solo attraverso osservazioni e analisi puntuali, specifiche di tipo indiziario-diacronico. In altre parole si sottolinea l'importanza di un approccio conoscitivo del singolo oggetto, inteso come unicum irripetibile. Di conseguenza, la manutenzione deve essere organizzata con un metodo coerente ad un approccio conoscitivo e scientifico del fenomeno del degrado e/o di dissesto per valutare se e dove si riscontri una effettiva esigenza del progetto: "[...] è possibile esercitare il massimo rispetto della conservazione, limitando le operazioni al minimo indispensabile e fermandole *prima del giusto*"<sup>5</sup>.

Alla luce di tanto, si ritiene che nella formulazione di un progetto di manutenzione sia indispensabile il raggiungimento di alcuni obiettivi che garantiscono la massimizzazione del rispetto dell'opera, consci che qualsiasi tipo di intervento è per sua natura una modificazione dell'opera stessa: "bisogna limitare le trasformazioni (demolizioni, sostituzioni, ripristini, ecc.) allo stretto necessario in base alla sola necessità di posticipare i fenomeni indotti dal degrado e/o dal dissesto"<sup>6</sup>. L'attività di manutenzione-conservazione non postula in alcun modo il ritorno ad uno stato originario dell'opera, ma rispetta le stratificazioni accumulate nel tempo su di essa. Il monumento-documento va conservato integro, così come si trova, messo a riparo da ogni possibile contaminazione, in nome di un progresso culturale e scientifico. Il valore, "la coscienza storica sa che ogni calcolo e ogni integrazione umana è suscettibile dell'errore soggettivo"<sup>7</sup>; pertanto il documento, in

quanto unico, oggetto immutabile, deve restare possibilmente intatto, affinché i posteri possano controllare i nostri tentativi di contenimento del degrado. "L'obiettivo della manutenzione-conservazione può essere sintetizzato per concludere "nell'aurea massima terapeutica del *primum non nocere*"<sup>8</sup>. La manutenzione si configura come elettiva espressione operativa del percorso teorico-metodologico ed operativo della conservazione intesa come mero contenimento, fino a dissolversi completamente in essa.

A questa posizione culturale si contrappone l'orientamento che postula l'esigenza di una *manutenzione-ripristino* del costruito storico, che trova giustificazione nella (presunta) possibilità di ripetere nel tempo interventi che fanno tutti capo ad un progetto originale, di cui si ammette la possibilità di una esecuzione differita nel tempo. Si vuole in tal modo superare la visione della manutenzione ricondotta concettualmente ai criteri gerarchici del restauro, da cui riceve il ruolo subordinato di "sorella povera", ovvero inserita nel quadro di un'operatività comunque definita secondo il principio selettivo dell'individuazione di valori, e di contrapporvi il significato che la manutenzione stessa esprime: consuetudine *fisica*, conoscenza materiale esplicita attraverso la pratica rivolta a un oggetto costruito, cui si riconosce una molteplicità irriducibile di valenze culturali. Si calcola, in questo modo, di non dover dar conto di quale nozione d'autenticità e di conservazione fa da sfondo a questo equivoco progetto manutentivo: "Il restauro una tantum assomiglia sempre più al metodo ormai condannato in medicina, che dimentica l'importanza dell'impostazione preventiva per concentrarsi sull'operazione chirurgica, acrobatica e spettacolare, ma necessariamente traumatica e pericolosa"<sup>9</sup>. Lo spazio di una regolare manutenzione si apre solo quando il manufatto, "riscattato dalle ragioni del tempo", esibisce una sua impronta di *verità*: il bisogno di mantenere un edificio non può essere per nulla inter-

pretato alla maniera di un conveniente e costante criterio conservativo, bensì come l'equivalente di un necessario completamento del restauro, poiché "la manutenzione inizia solo quando termina il restauro"<sup>10</sup>. È interessante riportare la posizione di M. Manieri Elia in riferimento alla capacità di adattamento nel tempo dell'architettura: "quanto più un'architettura o un contesto edilizio sono strutturalmente complessi, tanto più essi (come ogni altro organismo) saranno capaci di adattarsi all'ambiente mutevole nel tempo - infatti, gli edifici storici devono a tale capacità la propria conservazione - ; e la loro compagine ed il loro aspetto, manifesteranno, magari, anche attraverso le forme del proprio degrado, tracce della loro più o meno travagliata vicenda storica. Ed è in queste tracce, osservate, nel loro significato e nella stratificazione dei significati assunti nel tempo - come segno del rapporto con gli uomini e con lo scorrere degli eventi -, che potremo riconoscere qualità ed autenticità. E, questa volta, disporremo di un concetto di autentico che non rifiuta la natura evolutiva del contesto storico, anzi l'assume come un carattere specifico, per il quale l'autenticità stessa non legata ad una situazione data, può rilanciarsi e svilupparsi nel tempo, e riconfermarsi nella vitalità attuale delle trasformazioni"<sup>11</sup>. La teoria del restauro come manutenzione-ripristino trova una sua sanzione ufficiale nella Carta del Restauro 1987, ed una sua ampia giustificazione culturale nelle raffinate riflessioni di Paolo Marconi che hanno suscitato numerosi consensi ma anche reazioni forti. Scrive, a questo proposito, l'architetto e studioso romano: "com'è calzante il con-

<sup>5</sup> S. PRATALI MAFFEI, *Conservazione e manutenzione del costruito: ipotesi e proposte per un capitolato speciale di appalto*. Tesi di dottorato di ricerca in Conservazione dei beni architettonici, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, 1993, p.

<sup>6</sup> M. J. SPIGNESE, L. JURINA, *La manutenzione come programmazione della conoscenza*, in Atti del convegno di studi di Bressanone, Ed. Arcadia ricerche, Venezia, 1999, pp. 399-408.

<sup>7</sup> A. RIEGEL, *Il moderno culto dei monumenti*, cit. p. 52.

<sup>8</sup> S. PRATALI MAFFEI S., op. loc. cit.

<sup>9</sup> P. MARCONI, op. cit., pp. 120-137.

<sup>10</sup> G.P. TRECCANI, *Manutenzione come cura del costruito*, in AA.VV., *Ripensare alla manutenzione*. Ricerche, progettazione, materiale, tecniche per la cura del costruito, Atti del convegno di studi di Bressanone, Edizione Arcadia ricerche, Venezia, 1999, p. 103.

<sup>11</sup> M. MANIERI ELIA, *La conservazione: opera differita*, in "Casa-bella", n. 582, 1991, p. 43.





quello di produzione e di gestione nella vita utile dell'edificio considerato. Le esperienze condotte in alcune nazioni come Francia e Gran Bretagna evidenziano l'importanza del ruolo di una promozione e incentivazione nel settore della cultura manutentiva, quando cioè manutenzione non significa intervento a guasto avvenuto, ma strategia di intervento preventivo e le operazioni da prevedersi sono logicamente da raccordarsi alle caratteristiche del prodotto, prefissate nella fase progettuale.

Le maggiori difficoltà che si incontrano per programmare la manutenzione nel settore delle costruzioni monumentali derivano dall'oggettiva difficoltà di prevedere la vita utile dei componenti nelle varie condizioni di esercizio, e ciò in quanto queste dipendono dalle tecniche e dalle modalità costruttive, che sono diverse anche in rapporto all'organizzazione e alle modalità di lavoro in cantiere. L'attività manutentiva, da sempre competenza degli architetti e delle maestranze edili, può oggi utilizzare competenze specifiche per risolvere i vari problemi legati al degrado dei materiali, pur dovendo, almeno per gli edifici storici, fare i conti con tecniche innovative tutte da verificare. La prassi manutentiva, strettamente collegata a quella del restauro, è comunque relazionata ad una caratteristica ben evidente dei materiali da costruzione impiegati: la *durabilità*<sup>22</sup>. Vale a dire che i nodi della questione manutentiva si stringono tutti intorno alla categoria fondante della *durabilità*<sup>23</sup>, senza evidentemente escludere altre categorie, con le implicazioni che ciò comporta in termini di dialettica fra conservazione ed innovazione, fra patrimonio monumentale e produzione seriale programmata su cicli temporali corti.

### **Il sistema aperto di manutenzione per il patrimonio architettonico**

Il progetto di manutenzione del patrimonio architettonico deve tenere conto di due principi fondamentali

attorno ai quali impostare una corretta programmazione degli interventi manutentivi.

Da una parte bisogna tenere sempre presente che il patrimonio architettonico è in continua trasformazione<sup>24</sup>, sia per i suoi valori formali e sostanziali, sia per le sue funzioni nonché per il suo rapporto con l'ambiente esterno; dall'altra il progetto di manutenzione e di programmazione degli interventi deve liberarsi dalla logica di solo contenimento del degrado per concentrarsi sulla cura dell'oggetto e del suo insieme che porti il monumento ad un nuovo stile di vita (salutista) che allontani il più possibile interventi chirurgici di restauro.

A tela proposito, infatti, il nuovo regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, che alla categoria dei beni culturali dedica un intero titolo (il XIII°, comprendente gli artt. dal 211 al 224), attribuisce alla manutenzione degli immobili facenti parte del patrimonio storico-culturale una specifica attenzione. Il quarto ed ultimo comma dell'articolo 212 ritiene infatti necessario fornire una definizione tecnica di "manutenzione", abbinandola implicitamente al concetto di "manutenzione programmata". Il testo del comma è il seguente:

*"La manutenzione consiste in una serie di operazioni tecniche specialistiche periodicamente ripetibili volte a mantenere i caratteri storico-artistici e la materialità e la funzionalità del manufatto garantendone la conservazione"*.

Il consolidamento di tale principio, deriva dalla concezione propria della manutenzione che, per sua stessa natura, ha in sé una duplice funzione: quella dell'intervento e quella della cura come prevenzione.

È necessario, quindi, per il patrimonio storico-architettonico l'integrazione della concezione di "lavoro-intervento con quella più ampia di sistema"<sup>25</sup> il che implica di considerare in modo integrato non solo le attività strettamente esecutive di intervento, ma quelle informative, programmatiche, organizzative, ispettive, diagno-



**Fig. 3** Articolazione del sistema organizzativo di manutenzione

stiche e di controllo del bene edilizio storico.

Questo passaggio può però avvenire in maniera graduale attraverso due percorsi, uno teorico e l'altro operativo. Al livello teorico l'obiettivo sarà quello di ricostruire il quadro problematico che si apre nel momento in cui si intenda affrontare programmaticamente la manutenzione del patrimonio edilizio tutelato; una sorta di progetto di fattibilità per la manutenzione programmata, che individua entro un sistema organizzato di manutenzione, sia i nodi problematici da risolvere e sui quali avviare specifici programmi di ricerca, sia strumenti necessari al funzionamento del sistema.

Sul versante immediatamente pratico, l'obiettivo sarà quello di far emergere, attraverso la politica dei "piccoli passi", e del "praticabile da subito", i punti di crisi procedurale. Così strutturato il sistema potrà fornire informazioni utili tali da capire dove e come un intervento di opportunità o di piccolo passo, si colloca all'interno di altre strategie di manutenzione programmata definibile a livello teorico. In questo modo si stabilisce una integrazione tra le due nature della ma-

<sup>22</sup> Cfr. G. K. KOENIG, Opere durevoli, opere effimere, in "Modulo", n. 145, 1988, pp. 14-19.

<sup>23</sup> In una definizione data dal comitato dell'associazione internazionale FIP - Federation Internazionale de la Précontrainte - e del CEB (Comité Eurointernational du Béton), la durabilità viene espressa come "l'attitudine di un'opera a sopportare attacchi di agenti aggressivi di diversa natura mantenendo inalterate caratteristiche meccaniche e funzionali". Questa definizione, che fa riferimento al comportamento del materiale nelle condizioni ambientali e di esercizio, equivale a esprimere la durabilità come una proprietà a lungo termine, legata quindi alla perdita di funzionalità del tempo.

<sup>24</sup> Cfr. A. BELLINI, op. cit.

<sup>25</sup> A. BALDIN, L. FURLANETTO, A. ROVERSI, F. TURCO, Manuale di manutenzione degli impianti industriali, Ed. Angeli, Milano, 1981, p. 21.

nutrizione che oggi vengono confuse: quella legata all'intervento manutentivo e quella che viene comunemente chiamata dai tecnologi la "gestione"<sup>26</sup> del monumento.

L'articolazione del sistema organizzativo di manutenzione così ipotizzato si dovrà sviluppare in tre grandi aree tra loro interagenti e che, a loro volta, individuano sotto-articolazioni strumentali ed operative<sup>27</sup>. La prima, definita area della progettazione, si riferisce alle condizioni che, pur stando a monte del problema manutentivo, ne determinano in tempi successivi la praticabilità e la programmabilità. La seconda area, quella prettamente operativa, si riferisce alla struttura vera e propria degli interventi.

In fine in posizione baricentrica rispetto alle due aree precedenti, si colloca quella definita de sistema informativo<sup>28</sup>. Quest'ultima risulta baricentrica non solo nello schema organizzativo, ma anche nell'importanza che assume rispetto alla possibilità di programmare nel tempo gli interventi.

La costruzione di un sistema informativo efficiente, diffuso e che operi con continuità è infatti una condizione indispensabile allo sviluppo di programmi di manutenzione.

Non si tratta di rinviare la soluzione del problema a condizioni e tempi più propizi o livelli decisionali di ordine superiore, quale il restauro, ma di individuare i percorsi di ricerca che possono comunque consentire una razionalizzazione dell'attuale e tradizionale pratica della manutenzione, nella quale permangono ampie zone di ombra sia sul piano tecnico che su quello organizzativo e nello stesso tempo consentire la messa a punto di strumenti e strutture organizzative finalizzate all'osservazione costante dei fenomeni, in modo da avere informazioni immediate ed aggiornate<sup>29</sup>.

Nella prospettiva della manutenzione programmata, la conoscenza, la memoria dell'edificio storico deve poter essere raccolta e condivisa, attraverso opportuni strumenti informativi, fra tutti gli operatori che partecipano, a diversi livelli e ruoli, alla cura della fabbrica.

Attualmente nel cantiere della manutenzione non è ancora compiuto il superamento della figura tradizionale dell'architetto della fabbrica ed anche dell'artigiano, figure che detengono la memoria delle tecniche storiche o del processo costruttivo dell'edificio e sovrintendono al suo mantenimento con continuità nel tempo.

Quindi, partendo dal presupposto che qualsiasi nuova operazione di manutenzione su un manufatto e, ancora di più quello vincolato, non può che essere pensata in relazione alle vicende conservative dello stesso, il progetto di manutenzione non può prescindere "dalla controllabilità e verificabilità delle informazioni relative ad un oggetto"<sup>30</sup>, archiviate nel corso del tempo.

Così come la medicina agli inizi del secolo XIX ha fatto un salto di qualità superando la divisione in scuole rigidamente contrapposte ed applicando il metodo sperimentale allo studio teorico dei fenomeni<sup>31</sup>, anche la disciplina del restauro, alla quale senza dubbio la manutenzione appartiene, dovrebbe compiere la stessa trasformazione.

Il metodo sperimentale, impiegato sistematicamente in ambito sanitario, ha comportato una incessante osservazione del soggetto da curare e una accurata e rigorosa documentazione di quanto veniva fatto per curarlo<sup>1</sup>.

Allo stesso modo dovrebbe essere possibile operare la manutenzione del costruito storico.

Il primo obiettivo è quello di archiviare e ordinare tutte le informazioni accumulate nel corso del tempo e renderle in tal modo utilizzabili per progettare l'intervento di manutenzione.

Così nel "sistema aperto di manutenzione"<sup>32</sup> sono i fatti, anzitutto i fatti precisi, concreti, ordinati e raggruppati, interrogabili ed osservabili in ogni momento, a guidare la ricerca e la cura.

Si tratta in sostanza di sottoporre le idee di progetto al controllo dei fatti ed alla possibilità di rivederle alla luce delle trasformazioni dell'opera stessa. Dalla razionalizzazione, così, del sistema aperto di manutenzione, po-

tranno eseguirsi immediatamente interventi di manutenzione, definiti interventi dei "piccoli passi", sempre anche questi governati dalla istanza prima della massimizzazione della materia costruita pervenutaci e dalla logica della manutenibilità degli interventi stessi. Allo stesso tempo indirizzare gli interventi e l'opera verso una nuova concezione di "stile di vita", che ne migliori l'utilizzo, ne favorisce la conservazione, eliminando tutte quelle cause esogene ed endogene che alimentano sia l'invecchiamento naturale sia il degrado patologico.

In questo modo la manutenzione potrà soddisfare le istanze dell'intervento della prevenzione e della massimizzazione della conservazione della materia costruita. ■

<sup>26</sup> Cfr. R. DI GIULIO, Nuove tecnologie e gestione della manutenzione, in "Modulo", n. 147, 1988.

<sup>27</sup> Cfr. C. MOLINARI, Manutenzione in edilizia, nozioni, problemi, prospettive, Ed. Franco Angeli, Milano, 1989, pp. 45 - 46.

<sup>28</sup> Sulla struttura dei sistemi informativi per la manutenzione, cfr. La manutenzione e l'organizzazione dell'informazione, in Frames n.56, 1995; S.I.M.E. Sistema informativo per la manutenzione edilizia, Alinea, 1996.

<sup>29</sup> Cfr. E. ARBIZZANI, Manutenzione e gestione degli edifici complessi, Ed. Hoepli, Milano, 1991, p. 46.

<sup>30</sup> P. GASPAROLI, Il controllo di qualità negli interventi esecutivi di manutenzione delle superfici, in AA.VV., Ripensare alla manutenzione. Ricerche, progettazione, materiale, tecniche per la cura del costruito, Atti del convegno di studi di Bressanone, Edizione Arcadia ricerche, Venezia, 1999, p. 295.

<sup>31</sup> Cfr. K. JASPERS, Il medico nell'età della tecnica, Raffaello Cortina, Milano, 1991

<sup>32</sup> Cfr. M. FILETTI MAZZA, G. ROSARIO, M.G. VACCARI, Organizzazione informatica della scheda di restauro, in "OPD Restauro", 2/1990, p. 49-66.

## L'Autore



**L'Architetto** *Ciro Buono* si laurea in Architettura presso l'Università degli Studi di Napoli "Federico II", 1994 con la votazione di 110/110 e lode e dignità di stampa, con tesi in restauro architettonico. Ha collaborato alle attività didattiche; lezioni e seminari presso la cattedra di "Restauro architettonico" dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", corso di laurea in Architettura, dal 1994 ad oggi. Consegue il titolo di dottore di Ricerca, nel 2003, in Conservazione dei Beni Architettonici, con la tesi "La manutenzione dei monumenti: applicazioni, teorie e nuovi orientamenti". Esperto in manutenzione ha svolto nel 2003 l'incarico professionale di responsabile operativo per il servizio di manutenzione e conduzione degli impianti generali e di quelli di prova del CIRA di Capua (CE) (Centro Italiano Ricerche Aerospaziali).



quentemente usata è la seguente: fondazioni, struttura portante in acciaio o calcestruzzo o muratura, tamponamenti esterni, solai, rivestimenti di facciata, divisori interni, rivestimenti interni plastici e ceramici, serramenti, pitturazioni interne ed esterne, copertura e sue protezioni, rete scarichi esterni; impianto idraulico e sanitario; impianto di riscaldamento; impianto elettrico.

Classificherò lo stato di conservazione in cui  $B$  può istantaneamente trovarsi, in certi  $p$  possibili livelli  $\{S_1, S_2, \dots, S_p\}$ , a partire ad uno stato  $S_j$  di edificio nuovo (o come-nuovo) fino ad uno stato finale  $S_p$  in cui l'edificio è da considerarsi fuori-uso, attraverso  $(p-2)$  stati di conservazione intermedi  $S_2, \dots, S_{p-1}$ ; indicherò con  $\{t_1=0, t_2, \dots, t_p\}$  l'insieme degli istanti di ingresso di  $B$  in ciascuno di quegli stati.

Fisserò senz'altro l'attenzione su un insieme di  $p=2$  livelli di conservazione, e l'indagine riguarderà la sola transizione di stato  $S_1 \rightarrow S_2$ , in cui  $S_2$  indica quello stato degradato cui a volta a volta è principalmente rivolto l'interesse del pianificatore. In un modello più esteso si converrà, per esempio:  $S_1$ : edificio nuovo,  $S_2$ : iniziale stato di degrado,  $S_3$ : avanzato stato di degrado,  $S_4$ : pessimo stato di conservazione,  $S_5$ : fuori-uso. L'intervallo temporale  $[0, t_1)$  di residenza di  $B$  in  $S_1$  sarà indicato con  $\mathcal{F}$ .

Prenderò in considerazione il solo degrado naturale di  $B$ , cioè quello che si osserva in assenza di interventi di recupero del tipo  $S_j \rightarrow S_p$ , con  $j < i$ , e di un significativo programma di manutenzione compiuto in  $[0, t_1)$  sull'edificio stesso. Supporrò, in altre parole, che l'edificio  $B$  degradi a  $S_2$  per la prima volta, e definitivamente, nell'istante  $t_1$ .

**2.2 L'approccio probabilistico.** L'indagine probabilistica della transizione  $S_1 \rightarrow S_2$  è fondata sulla possibilità di pervenire alla distribuzione della variabile aleatoria (v.a.)  $\mathcal{F}$  relativa all'intero edificio  $B$ , quando siano note le distribuzioni del "tempo a  $S_2$ " per i suoi componenti e/o sottosistemi.

A tal fine associamo al processo di degrado  $S_1 \rightarrow S_2$  di  $B$  le seguenti distribuzioni caratteristiche:

- la funzione densità di probabilità  $f(t)$  di  $\mathcal{F}$ :

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{\Pr\{t < \mathcal{F} \leq t + \Delta t\}}{\Delta t}$$

- la cumulata  $F(t)$ :

$$F(t) = \Pr\{\mathcal{F} > t\} = \int_t^{\infty} f(t) dt;$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

funzione non decrescente, che dà la probabilità, per  $B$  di degradare a  $S_2$  prima dell'istante  $t$ , essendo  $B$  nuovo (o come-nuovo) in  $F(t)$  misura la non affidabilità di  $B$ , con riferimento all'istante  $t$ ,

- la funzione sopravvivenza:

$$\mathcal{F}(t) = \Pr\{\mathcal{F} > t\} = 1 - F(t)$$

probabilità di non osservare degrado  $S_1 \rightarrow S_2$  di  $B$  durante l'intervallo di tempo  $[t_1=0, t]$ , essendo l'edificio  $B$  nuovo (o come-nuovo) in  $\mathcal{F}(t)$  è la affidabilità di  $B$  con riferimento all'istante  $t$ ; osserviamo che l'affidabilità  $\mathcal{F}(t)$  di  $B$ , eguaglia la sua disponibilità (secondo la dizione usuale della teoria dell'affidabilità) nello stesso intervallo di tempo.

- indicato infine con  $\tau_k$  il tempo impiegato dal generico componente  $c_k \in B$  ad entrare nel proprio stato  $S_2^k$  (supposto nuovo, o come-nuovo in  $t=0$ ), si introducono anche, con ovvio significato dei simboli, le seguenti distribuzioni:

$$f_k(t), F_k(t), \mathcal{F}_k(t) \quad k = 1, \dots, n.$$

Metto ora a punto una procedura di simulazione della dinamica di invecchiamento del fabbricato, che consenta la sintesi dell'affidabilità  $\mathcal{F}_k(t)$  di  $B$  quando siano note le affidabilità dei singoli componenti e siano opportunamente  $\mathcal{F}_k(t)$  ( $k = 1, \dots, n$ ) descritte le relazioni tra affidabilità complessiva dell'edificio e affidabilità dei suoi componenti.

Nel Paragrafo 3, descrivo la dinamica degrado  $S_1 \rightarrow S_2$  di  $B$  come albero di guasti, cui associo descrizione grafica ed analitica.

Nel Paragrafo 4 propongo adeguate tecniche numeriche Monte Carlo per la simulazione al computer del pro-

cesso di invecchiamento  $S_1 \rightarrow S_2$ , e ne mostro l'applicazione ad un semplice schema. L'apparato tecnico proposto in questa nota è particolarmente vantaggioso, o addirittura indispensabile, nello studio di schemi molto fini dell'edificio, cioè in presenza di un elevato numero di componenti e/o sottosistemi. L'interesse di architetti e tecnologi è rivolto alla possibilità di usare il modello «a scatola chiusa» per confronti preliminari tra le affidabilità di differenti soluzioni di progetto, mediante rapidi run su personal computer o su pocket calculator.

### Criteri di simulazione della dinamica di degrado dei fabbricati

**3.1 Idee di base.** Le osservazioni sperimentali relative alla gestione di grandi ensemble di case residenziali popolari ci consentono di stabilire che la transizione di stato  $S_1 \rightarrow S_2$  dell'edificio complessivo, è dovuta ad una opportuna combinazione di certe transizioni di stato  $S_1^k \rightarrow S_2^k$  di suoi componenti  $c_k$ .

Possiamo ritenere che un edificio residenziale medio abbia raggiunto la soglia  $t_2$  e stia degradando a  $S_2$  o quando un certo numero di suoi componenti e/o sottosistemi simultaneamente degrada a  $S_2^k$  (si pensi all'insieme dei rivestimenti interni, dei rivestimenti esterni, dei pavimenti, ecc.) oppure quando il degrado di stato  $S_1^k \rightarrow S_2^k$  riguarda un solo sottosistema  $c_k$  la cui funzione sia, nell'organismo edile, particolarmente rilevante (si pensi alle finiture di copertura, alla rete degli scarichi meteorici e grondaie, a certi impianti tecnici, ecc.).

Seguendo questa linea di pensiero si è pervenuti ad affrontare il problema di simulazione scomponendo il sistema edile  $B$  in sottosistemi  $c_k$  che contribuiscono all'affidabilità complessiva secondo connessioni in parallelo o in cascata, ciascun sottosistemi potendo essere, a sua volta, riguardato come un complesso di più elementari componenti in cascata o in parallelo, e quindi descrivendo la dinamica  $S_1^k \rightarrow S_2^k$  di  $B$  con un opportuno albero di guasti. Questa tecnica, che fornisce

un prezioso supporto grafico e analitico per l'indagine del processo di degrado dei suoi componenti, consente di mettere in luce gli aspetti più significativi del fenomeno, *facilitando l'indagine dell'intero meccanismo di invecchiamento del fabbricato*.

Quando si siano opportunamente modellate le relazioni interne tra i contributi dei vari componenti e subsistemi alla durabilità del complesso edile, e si sia data descrizione quantitativa alle *singole affidabilità*, la simulazione della dinamica di invecchiamento del fabbricato è riconducibile a comodi schemi interattivi, ed i metodi della *teoria dell'affidabilità* possono essere vantaggiosamente utilizzati per pervenire all'*affidabilità complessiva*.

**3.2 La dinamica del degrado edile come albero di guasti.** Un albero di guasti assunto a rappresentare la transizione di stato  $S_1 \rightarrow S_2$  dell'organismo edile  $B$ , è una rete di opportune connessioni tra certi eventi elementari caratteristici del degrado di singoli componenti di  $B$ : attraverso tale rete possono sintetizzarsi eventi più complessi, conseguenza dei primi (ad esempio, il degrado dell'edificio complessivo). Gli eventi componenti il grafo sono legati, secondo rapporti di causa ed effetto, da reti di porte logiche AND e OR, ciascuna con più *eventi in input* ed un solo evento in *output*. Si intende che la descrizione quantitativa di questi legami non può che essere di natura stocastica, per l'elevata incertezza che condiziona la conoscenza della gran parte dei parametri in gioco.

L'evento in output dalla porta AND si verifica solo se tutti gli input si verificano contemporaneamente, mentre si verifica l'output di una porta OR se uno soltanto degli eventi in input è verificato. Userò nel seguito il simbolo  $\wedge$  per la porta AND ed il simbolo  $\vee$  per la porta OR.

Fisserò nel seguito l'attenzione, a puro titolo esemplificativo, sui seguenti sette *subsistemi edili*:

- $c_1$ : rivestimenti di facciata,
- $c_2$ : copertura e sue finiture,
- $c_3$ : grondaie,

- $c_4$ : serramenti esterni,
  - $c_5$ : serramenti interni,
  - $c_6$ : rivestimenti interni,
  - $c_7$ : impianti di riscaldamento/raffrescamento ed elettrico,
- connessi da un *grafo di affidabilità* del tipo



in cui lo schema di degrado coinvolge cinque subsistemi in cascata, due dei quali sono costituiti da coppie di componenti in parallelo.

L'*albero di degrado* dell'esempio numerico che svilupperemo nel seguito, si rifà dunque ai seguenti *sette eventi basilici*  $b_1, \dots, b_7$  che *supporremo statisticamente indipendenti*:

$b_i \triangleq$  il componente  $c_i$  entra nel proprio stato  $S_i^1$   $i = 1, \dots, 7$ . Supporremo, che nel generico istante  $t$  ciascun subsistema  $c_k$  possa trovarsi o nel proprio stato  $S_k^1$  ovvero in  $S_k^2$ . Analogamente per l'organismo  $B$ , con riferimento ai suoi stati  $S_1$  ed  $S_2$ .

L'albero stesso converge ad un *evento finale* "d":

$$d \triangleq \left\{ \begin{array}{l} \text{l'edificio } B, \text{ nel complesso,} \\ \text{entra nel proprio stato } S_2 \end{array} \right\}$$

Il problema analitico è così ricondotto alla interpretazione stocastica dell'evento finale quando siano note le distribuzioni degli eventi basilici  $b_i$ . Nel grafo di degrado in Figura 1, è

$$\beta_{ij} \triangleq b_i \wedge b_j$$

**3.3 Descrizione formale dell'albero di degrado.**

Darò ora una compatta descrizione analitica della rete di connessione tra eventi basilici  $b_i$  ed evento finale  $d$ .

Riferendomi, per generalità, ad  $n$  componenti edili  $c_i$ , indico con  $\mathbf{b} = (b_1, \dots, b_n)$  il vettore degli eventi basilici.

Nel generico istante  $t$  della vita in servizio di  $c_i$ ,

l'evento  $b_i$  può verificarsi oppure no, e supporrò possibili tutte le combinazioni tra gli  $n$  eventi basilici.

Possiamo compattamente descrivere lo *stato istantaneo degli eventi basilici* introducendo il vettore  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  tale che:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{se l'evento } b_i \text{ si sta verificando, ovvero il componente} \\ & \text{edile si è entrato nel proprio stato } S_i^1; \\ 0 & \text{se l'evento } b_i \text{ non si è ancora verificato, ed il componente,} \\ & \text{è tuttora nello stato } S_i^2. \end{cases}$$

Se si suppone, come già detto, che qualunque stato  $\mathbf{x}$  del vettore  $\mathbf{b}$  sia possibile, e si indica  $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$  una generica configurazione binaria del vettore  $\mathbf{x}$ , si perviene subito alla seguente relazione:

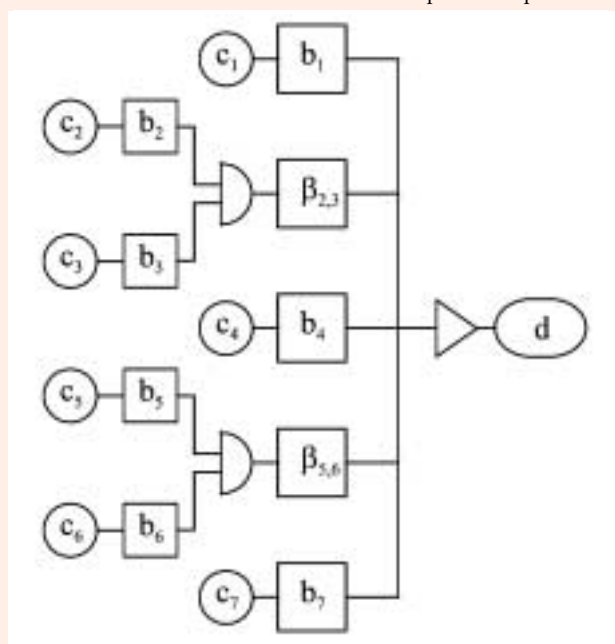
$$0 < Pr\{\mathbf{x} = \mathbf{X}\} = \prod_{i=1}^n [x_i = X_i] < 1 \quad \forall \mathbf{X}$$

Osservo peraltro che  $Pr\{b_i\} = \langle x_i \rangle$  (si veda 3.4), e che la traduzione algebrica delle relazioni booleane elementari  $b_i \wedge b_j$  e  $b_i \vee b_j$  è chiaramente data da  $x_i \cdot x_j$  e, rispettivamente, da  $(1 - (1 - x_i)(1 - x_j))$ .

Quanto alla *descrizione dello stato finale*  $d$ , propongo l'introduzione del seguente scalare:

$$Y(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{se l'evento } d \text{ si sta verificando, cioè se l'edificio} \\ & \text{sta entrando nel proprio stato } S_2; \\ 0 & \text{in caso contrario.} \end{cases}$$

che chiamo *funzione di degrado dell'edificio*, mi sono riferito al semplice modello a sette componenti prece-



**Fig. 1** Logica di degrado

dentemente introdotto, usando formalismi ed elementari sviluppi di tipo booleano.

Se  $Y_{2,3} = Y(x_2, x_3)$  e  $Y_{5,6} = Y(x_5, x_6)$  e indicano le funzioni di degrado del subsistema  $\{c_2, c_3\}$  e, rispettivamente, del subsistema  $\{c_5, c_6\}$ , dall'esame dell'albero in Figura 1 si trae subito che l'edificio  $B$  entra nel proprio stato di conservazione quando entrambi i componenti  $c_2$  e  $c_3$ , e rispettivamente,  $c_5$  e  $c_6$ , entrano nel proprio stato  $S_2$ . In simboli:

$$\begin{cases} (\exists i : x_i = 0) \Rightarrow (Y_{2,3} = 0) \\ (\forall i : x_i = 0) \Rightarrow (Y_{2,3} = 1) \end{cases} \quad (i=2,3)$$

Relazioni analoghe valgono per  $y_{5,6}$ . Possiamo pertanto scrivere:

$$Y_{2,3} = x_2 \wedge x_3 = x_2 \cdot x_3 \quad \& \quad Y_{5,6} = x_5 \wedge x_6 = x_5 \cdot x_6$$

D'altra parte, la costruzione della funzione d'invecchiamento  $Y_{1,7}$  per i cinque componenti edili in cascata ( $\{c_2, c_3\}$  e  $\{c_5, c_6\}$ ) considerati, chiaramente, come tutt'uno):

$$c_1 \quad (c_2, c_3) \quad c_4 \quad (c_5, c_6) \quad c_7$$

dipende chiaramente dalle seguenti relazioni:

$$\begin{cases} (\forall i : x_i = 0) \Rightarrow (Y_{1,7} = 0) \\ (\exists i : x_i = 1) \Rightarrow (Y_{1,7} = 1) \end{cases}$$

(con l'indice "i" variabile sui cinque subsistemi in cascata).

Abbiamo quindi:

$$Y(\mathbf{x}) = x_1 \vee Y_{2,3} \vee x_4 \vee Y_{5,6} \vee x_7$$

Concludendo, alla funzione caratteristica dell'albero di degrado dell'edificio  $B$  descritto in Figura 1 può darsi la seguente comoda formulazione:

$$Y(\mathbf{x}) = 1 - (1 - x_1)(1 - x_2 x_3)(1 - x_4) \quad (1)$$

**3.4 Dalla funzione di degrado all'affidabilità dell'edificio.** Quando si possiede la funzione d'invecchiamento  $Y(\mathbf{x})$  dell'edificio, è anche subito nota l'affidabilità  $\mathcal{A}(t)$  dell'edificio  $B$  in funzione delle affidabilità  $\mathcal{F}$

$f_k(t)$ ,  $k = 1, \dots, n$ , dei suoi componenti (vedi 2.2). È sull'uso di queste funzioni di sopravvivenza che fonderò gli sviluppi Monte Carlo del para-grafo successivo.

Dò ora precisa formulazione ai parametri introdotti nei precedenti paragrafi; la descrizione non può che essere di natura stocastica, a causa dell'incertezza che condiziona la conoscenza degli aspetti salienti del processo in esame (si veda 2.2).

Se  $u_i = \mathcal{F}_i(t)$  indica la probabilità che il componente edile  $c_i$  si trovi, nell'istante  $t$ , nel proprio stato  $S_1^i$ , e  $w_i = 1 - u_i = F_i(t)$ , e indica la probabilità che quello stesso componente sia invece, nello stesso istante  $t$ , nello stato  $S_2^i$  (si veda 2.2) allora  $\mathbf{x}$  è un *vettore casuale* (si veda 3.3) e per la variabile aleatoria  $x_i$  si ha chiaramente:

$$Pr\{x_i = 1\} = w_i \quad Pr\{x_i = 0\} = u_i$$

e

$$\langle x_i \rangle = 0 \cdot u_i + 1 \cdot w_i = w_i$$

Segue subito che:

$$\begin{aligned} Pr\{\text{comp. } c_i \text{ entra in } S_2^i\} &= \quad (2) \\ Pr\{b_i\} &= Pr\{x_i = 1\} = F_i = \langle x_i \rangle \end{aligned}$$

e dualmente:

$$Pr\{\text{comp. } c_i \text{ tuttora in } S_1^i\} = \overline{\mathcal{F}} = 1 - \langle x_i \rangle$$

Pertanto, l'affidabilità in  $t$  dell'edificio complessivo  $B$  può esprimersi (vedi (1), 3.3):

$$\begin{aligned} Pr\{\text{edificio } B \text{ tuttora in } S_1\} &= \quad (3) \\ \overline{\mathcal{F}}(t) &= (1 - \overline{\mathcal{F}}_1) \cdot (1 - \overline{\mathcal{F}}_2 \overline{\mathcal{F}}_3) \cdot \\ & (1 - \overline{\mathcal{F}}_4) \cdot (1 - \overline{\mathcal{F}}_5 \overline{\mathcal{F}}_6) \cdot (1 - \overline{\mathcal{F}}_7) \end{aligned}$$

Infatti dalla  $F(t) = \langle y(\mathbf{x}) \rangle$  traiamo  $\mathcal{A}(t) = 1 - \langle y(\mathbf{x}) \rangle$ , cioè ;

$$= 1 - \langle (1 - (1 - x_1)(1 - x_2 x_3)(1 - x_4) \dots) \rangle;$$

e quindi

$$\overline{\mathcal{F}} = (1 - \langle x_1 \rangle) (1 - \langle x_2 \rangle \langle x_3 \rangle) (1 - \langle x_4 \rangle) \dots$$

Ricordando la (2), si giunge subito alla (3).

Per i test numerici sul modello mi sono rifatto alle densità di probabilità  $f_i(t)$ ,  $i=1, \dots, n$  (vedi 2.2), e da quelle ho poi ricavato numericamente le sopravvivenze  $\mathcal{F}_i(t)$  per vari valori della variabile  $t$ .

L'indagine ha riguardato, a puro titolo esemplificativo, le seguenti tre *differenti modalità di costruzione e manutenzione dell'edificio B*:

**1-a simulazione:** materiali e mano d'opera di media qualità, sia per le operazioni di costruzione dell'edificio sia per quelle di manutenzione in esercizio,

**2-a simulazione:** materiali e mano d'opera di cattiva qualità; i parametri statistici in  $f_i(t)$  sono stati stimati sulla base delle osservazioni disponibili,

**3-a simulazione:** materiali di prima scelta e mano d'opera qualificata.

### Procedure monte carlo per la simulazione del degrado dell'edificio

**4.1** Nelle sue linee fondamentali, la tecnica di simulazione Monte Carlo adottata nel seguito consiste nel sintetizzare al computer, un elevato numero di volte, l'albero di guasti caratteristico della classe di edifici in esame, ogni volta a partire casualmente da un differente stato degli eventi di base. Il trattamento statistico dei risultati consente infine di inferire le volute informazioni sul degrado di  $B$ .

Per generare un nuovo stato iniziale all'inizio di ogni sintesi, ho usato un opportuno algoritmo per la *generazione automatica di numeri casuali di voluta distribuzione*, essendo disponibili campioni di numeri casuali uniformemente distribuiti.

**4.2** Riferendomi ancora all'albero di degrado descritto in 3.2, ho fondato il processo di sintesi sulle seguenti ipotesi:

- l'albero di degrado prende vita da sette eventi basici statisticamente indipendenti, ciascuno relativo ad un subsistema edile,
  - il vettore  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_7)$  esaurisce, con le proprie determinazioni binarie, tutte le possibili combinazioni degli eventi basici,
  - la funzione binaria  $Y(\mathbf{x})$  descrive l'occorrenza dell'evento finale in relazione ad un dato stato basico  $\mathbf{x}$ ,
  - indichiamo con  $M$  l'elevato numero di sintesi Monte Carlo dell'albero di degrado.
- L'iter di simulazione adottato può così riassumersi:

- si considera il primo istante  $t$  di una successione temporale discreta opportunamente fissata all'interno dell'intervallo di servizio del sistema edile,  
 - si considera l'affidabilità, in quel  $t$ , del generico componente edile; se  $\mathbf{e} = (e_1, \dots, e_7)$  è un generico vettore binario di un insieme caratterizzante stati inaffidabili dell'edificio, cioè tale per cui se  $\mathbf{x} = \mathbf{e}$ , l'edificio  $B$  è ormai nello stato  $S_2$  (è il caso, nel semplice esempio cui ci riferiamo, di vettori  $\mathbf{e}$  in cui o  $e_1$  o  $e_4$  o  $e_7$  eguaglia l'unità, o di vettori in cui sia  $e_2$  che  $e_3$ , o sia  $e_3$  che  $e_6$ , eguagliano l'unità) tale affidabilità può esprimersi nel modo seguente:

$$\mathcal{F}(t) = \Pr\{Y(\mathbf{x}) = 0\} = 1 - \sum_c (Y(\mathbf{e}) \cdot \Pr \mathbf{x} = \mathbf{e}) = 1 - (Y(\mathbf{x}))_x \quad (4)$$

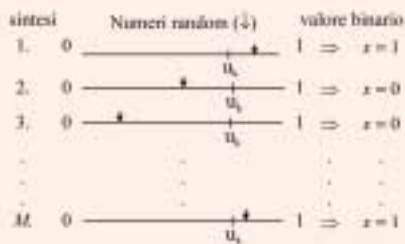
si genera un vettore  $\mathbf{r} = (r_1, \dots, r_7)$  di numeri casuali, tali che  $r_i$  è estratto da un insieme di numeri distribuito secondo  $F(\cdot)$ , inaffidabilità del componente edile  $c_i$ . A tal fine ho inizialmente estratto un numero casuale  $r_i$  da una distribuzione uniforme su  $(0,1)$ , e successivamente, posto  $r_i = F(r_i) = 1 - \mathcal{A}(r_i)$ , ho ricavato  $r_i$ . Le routines Matlab sono disponibili presso l'Autore.

- si determina, in corrispondenza al precedente, un vettore binario  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_7)$  nel modo seguente:  
 componente  $c_k$

$$\begin{aligned} \text{se } r_k \geq \mathcal{A}_k(t) &\Rightarrow x_k = 1 \\ \text{se } r_k < \mathcal{A}_k(t) &\Rightarrow x_k = 0 \end{aligned}$$

- le precedenti operazioni sono state ripetute  $M=10^3$  volte, considerando, in totale, le  $M$  coppie  $(\mathbf{r}_1, \mathbf{x}_1), (\mathbf{r}_2, \mathbf{x}_2), \dots, (\mathbf{r}_M, \mathbf{x}_M)$ .  
 Il procedimento è schematizzato nel seguente schema:  
 componente  $c_k$ :

$t$ (anni)	5	12	25	45	70	100
$\mathcal{A}(t)$						
1. a simulazione $\mathcal{A}(t)$	.71	.55	.30	.15	.10	.08
2. a simulazione $\mathcal{A}(t)$	.70	.45	.20	.09	.01	.00
3. a simulazione affidabilità osservata	.72	.58	.45	.30	.17	.11
	.69	.52	.31	.16	.11	.06



- la voluta affidabilità  $\mathcal{F}(t)$  dell'edificio  $B$  in  $t$  si valuta, infine, come rapporto tra il numero di volte in cui, nelle sintesi operate, l'edificio  $B$  risulta degradato in  $S_2$  ed il numero totale delle sintesi stesse.

Quanto al numero delle sintesi Monte Carlo, esso è stato fissato con gli usuali metodi della inferenza statistica per la ricerca degli intervalli di confidenza nella stima dei parametri. Ho fatto uso del seguente *stimatore binomiale* (consistente):

$$\sigma = \frac{\sum_k Y(\mathbf{x}_k)}{M}$$

alla cui varianza, che eguaglia la varianza di ciascun  $Y(\mathbf{x}_k)$  divisa per  $M^2$ , ho infine dato la seguente formulazione:

$$\text{var}[\sigma] = \frac{\mathcal{F}(t) \cdot [1 - \mathcal{F}(t)]}{M}$$

Gli sviluppi numerici per il semplice caso qui descritto, hanno coinvolto in totale 7000 numeri casuali, si passa al successivo istante  $t$  della successione temporale e si ripetono le precedenti operazioni.

I risultati numerici mostrano buon accordo con le scarse osservazioni disponibili in fatto di degrado  $S_1 \rightarrow S_2$  dell'intero fabbricato.

Sono in corso sviluppi numerici per sequenze temporali molto più dense; essi consentiranno di integrare le osservazioni sperimentali disponibili sul degrado dell'intero edificio.

Sono in corso ulteriori significativi sviluppi dei criteri seguiti nei precedenti paragrafi.

Si intravedono interessanti prospettive nell'uso sistematico dell'algoritmo di sintesi qui delineato, implementato su PC o pocket calculator per testare, in sede di progetto, l'influenza di vari insiemi di parametri sull'affidabilità dell'edificio. Dal confronto di *numerose ideali dinamiche di degrado* possono trarsi informazioni per guidare sia le *scelte progettuali* sia il *planning della manutenzione* in esercizio.

Ancora, il modello proposto si presta vantaggiosamente a sistematiche classificazioni delle dinamiche di degrado degli edifici per differenti *tipologie architettoniche*, differenti *tecnologie di costruzione*, differenti *politiche di manutenzione* o *condizioni ambientali*, differenti tipi di *utenti*. ■

### L'Autore



**Attilio Carotti** si è laureato al Politecnico di Milano nel 1967. Svolge la propria attività di ricerca nel Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano. I suoi contributi scientifici riguardano la dinamica sismica e l'aerodinamica di grandi strutture dell'Ingegneria Civile, nonché i fondamenti teorici delle tecniche di attenuazione delle vibrazioni meccaniche in campo strutturale civile e in dinamica sismica geotecnica. Autore sia di modellistica matematica sia di progetti per prove sperimentali su oscillatori retroazionati (servosistemi elettroidraulici, controllori I.Q. controllori adattativi). Ha anche dato contributi in problemi dinamici non-lineari (isolatori non-lineari multistadio) e, più recentemente, in problemi di impatto ad alta energia. Autore di oltre 60 memorie scientifiche su riviste internazionali e atti di congressi internazionali. Autore di testi e manuali specializzati. Ha collaborato e collabora con l'industria (edile in particolare) in progetti di R&D, anche nella messa a punto di modelli matematici. È socio della European Mechanics Society (EURO-MECH), dell'Unione Matematica Italiana (UMI) e della Società Italiana di Fisica (SIF). È stato socio fondatore della ACS Associazione di Controllo Strutturale.



“*principessa*” del mercato delle costruzioni, se è vero - come stima il CRESME<sup>2</sup> - che già nell'ultimo biennio la manutenzione assorbiva da sola più del 58 per cento degli investimenti globali settoriali (quasi 92 miliardi di euro su 157,3 miliardi complessivi), consolidando un trend avviato fin dai primi anni '90 e rappresentando di fatto l'unico comparto in costante crescita nel mondo delle costruzioni nell'ultimo decennio.

Non solo, ma sta per diventare “*regina*”, se è vero che entro il 2005, arriverà ad assorbire più del 60 per cento degli investimenti globali del mercato. Il boom economico della manutenzione è stato accompagnato negli ultimi anni da un processo di profonda e decisiva innovazione settoriale che è risultato e risulta tuttora contraddistinto da importanti e concomitanti fenomeni di interfacciamento con altri ambiti operativo-disciplinari strategici.

Questi fenomeni di interfacciamento riguardano il rinnovato rapporto tra la manutenzione e il progetto, tra la manutenzione e i sistemi produttivi avanzati del settore edilizio, tra la manutenzione e il mercato in espansione dei servizi tecnico-gestionali, tra la manutenzione e il mercato finanziario immobiliare, tra la manutenzione e la tecnologia, tra la manutenzione e il management d'impresa ed, infine, tra la manutenzione e la cultura della qualità.

E segnatamente attraverso il sempre più stretto rapporto di interazione/integrazione con la cultura della qualità, la manutenzione sta assorbendo e metabolizzando una linfa apportatrice di rilevanti innovazioni in termini di evoluzione/trasformazione di contenuti, di funzioni e di finalità: il tema della qualità assume di fatto la funzione di motivo conduttore, compenetrandosi e fondendosi con il tema stesso della manutenzione.

Si è dunque in presenza di un nuovo contesto che crea finalmente le condizioni per attualizzare, valorizzare, potenziare ed applicare concretamente sul campo i contenuti e le finalità della manutenzione, consentendo di inquadrarla in un'ottica de-

cisamente innovativa e correttamente rapportata al progresso dei tempi e alle esigenze della società.

Questo nuovo contesto risulta profondamente permeato dai processi di innovazione che - come è stato premesso - hanno investito e stanno tuttora investendo tanto l'ambito legislativo e tecnico-normativo, quanto l'ambito culturale-operativo, quanto lo stesso ambito di mercato della manutenzione immobiliare/urbana.

### **Le innovazioni legislative: da “lavori” a “servizi”**

Senza dubbio decisivi per la definizione di un nuovo quadro di riferimento avanzato per la manutenzione immobiliare/urbana sono risultati gli input direttamente o indirettamente innescati da un'articolata produzione legislativa imperniata su quattro capitali strategici:

- la Legge 109/1994 (legge-quadro sui lavori pubblici), insieme al collegato regolamento di attuazione (DPR 554/1999), che ha proiettato l'ottica della manutenzione fin nella stessa fase di progettazione delle opere pubbliche (il soddisfacimento in fase di progetto del “requisito di manutenibilità” come condizione irrinunciabile per la futura gestione delle nuove opere) ed ha amplificato - attraverso il “piano di manutenzione” - la sua nodale funzione di programmazione ed il suo ruolo strategico ai fini del mantenimento nel tempo della qualità delle opere realizzate;

- il DLGS 157/1995 che, recependo la direttiva 92/50/CEE in materia di appalti pubblici di servizi, ha fondato le basi per una storica e non solo giuridica evoluzione dal concetto di “lavori di manutenzione” (eseguibili attraverso attività ed opere determinabili e controllabili spesso solo in termini di mera quantità) al concetto di “servizi di manutenzione” (progettabili, organizzabili, realizzabili, verificabili e comparabili, invece, in termini di standard, di prestazioni e di risultati di qualità ed in funzione di univoche responsabilità di gestione);
- la serie di leggi e decreti legislativi, susseguitisi dal 1990 al 1994, che ha

reso obbligatorio per gli enti locali il passaggio da bilanci di tipo “amministrativo-finanziario” a bilanci di tipo “economico-patrimoniale”, trasformando di fatto i patrimoni immobiliari e urbani da “voci di bilancio” (il più delle volte) passive, a “risorse economiche attive” da dover mantenere, valorizzare e gestire con criteri manageriali e secondo principi di programmazione, trasparenza, efficienza ed economicità, al fine di conseguire risultati di natura economica (come strumento interno di produzione finanziaria autonoma), oltre che sociale (come principale strumento di attuazione delle finalità istituzionali);

- le leggi prodotte dal 1995 ad oggi in materia di “fondi immobiliari” che, disciplinando ed incentivando forme innovative di investimento del mercato finanziario nel settore immobiliare, da un lato hanno prefigurato nuovi e potenzialmente estesi scenari di operatività e sinergia intersettoriale, dall'altro hanno di fatto indirettamente esaltato la funzione della manutenzione come strumento fondamentale di preservazione/incremento della *redditività* e della *qualità* dei patrimoni immobiliari oggetto di investimento.

### **Le innovazioni tecnico-normative: le linee guida UNI**

Interagendo parallelamente, la simultanea produzione e diffusione di un nuovo complesso di norme settoriali ha tracciato un organico sistema di coordinate di riferimento tecnico e processuale per la manutenzione.

Tra le norme endogene al settore della manutenzione, la Norma-quadro UNI 10604 del 1997, con il supporto della nuova serie di norme ad essa collegate, ha puntualmente delineato i “Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione di immobili”, fornendo il primo sistematico inquadramento tecnico-normativo settoriale ed introducendo l'avanzato concetto di manutenzione intesa come servizio teso a “garantire l'utilizzo del bene, mantenendone il

valore patrimoniale e le prestazioni iniziali entro limiti accettabili per tutta la vita utile e favorendone l'adeguamento tecnico e normativo alle iniziali o nuove prestazioni tecniche scelte dal gestore o richieste dalla legislazione" e a conformarsi e svilupparsi secondo il "sistema qualità" introdotto dalla normativa settoriale.

Ed infine, nell'ambito della normativa esogena al settore della manutenzione, le norme tecniche rispettivamente contenute nei DLGS 626/1994 e 494/1996 e nella Legge 10/1991 e nel DPR 412/1993 hanno individuato proprio nella manutenzione uno degli strumenti-chiave per produrre significativi innalzamenti di qualità, affidabilità ed efficienza tecnico-prestazionale in settori nevralgici come quelli della gestione della sicurezza e della gestione dei consumi energetici.

### Tra manutenzione in qualità e manutenzione della qualità

Il nuovo contesto legislativo e tecnico-normativo ha dunque aperto la strada ad un insieme di condizioni/situazioni al contorno favorevoli alla manutenzione.

Questo quadro innovativo, tuttavia, rappresenterebbe solo una condizione necessaria ma non sufficiente all'avanzamento e allo sviluppo della manutenzione se non fosse strettamente associato ad un concomitante processo di innovazione culturale-operativa.

L'innovazione, in questo caso, si sta tangibilmente realizzando attraverso il processo di avvicinamento e di successiva integrazione e coesione tra la cultura/prassi della manutenzione e la cultura/prassi della qualità.

La filosofia della qualità fornisce già oggi una nuova matrice concettuale e comportamentale sulla quale modellare ed orientare contenuti, funzioni e finalità della manutenzione.

In quest'ottica, la logica qualitativa diventa ormai la logica stessa della manutenzione e - come tale - vi trasfonde le proprie caratteristiche genetiche, apportando significative in-



### Terotec: il "laboratorio" per la manutenzione

L'Associazione Terotec - Laboratorio per l'Innovazione della Manutenzione e della Gestione dei Patrimoni Urbani e Immobiliari ([www.terotec.it](http://www.terotec.it)) è stata fondata nel maggio 2002. Terotec è un "laboratorio tecnologico-scientifico" di riferimento nazionale che ha per scopo istituzionale la promozione, lo sviluppo e la diffusione della cultura e dell'innovazione nel campo della manutenzione e della gestione dei patrimoni urbani e immobiliari, con precipua applicazione a beni immobiliari, beni storici, artistici e architettonici, infrastrutture viarie, reti tecnologiche, verde e arredo urbano. Le attività istituzionali di Terotec hanno come destinatari tutti i soggetti pubblici e privati che operano e/o hanno interesse nel campo della manutenzione e della gestione dei patrimoni urbani e immobiliari e si sviluppano attraverso progetti finalizzati nei settori della ricerca applicata e dell'innovazione tecnologica, della sperimentazione organizzativo-gestionale, della formazione manageriale, della normazione tecnico-procedurale e dell'informazione specialistica.

Tra i più recenti progetti realizzati da Terotec: la norma UNI 11136:2004 "Global

Service per la manutenzione dei patrimoni immobiliari. Linee guida" (coordinamento gruppo nazionale di lavoro); il "Lessico del Facility Management" (studio pubblicato da Il Sole 24 Ore); "Censiform 2004", primo censimento nazionale dell'offerta formativa nel settore della gestione e della manutenzione immobiliare. A Terotec è affidato il coordinamento del gruppo nazionale di lavoro UNI per la normativa tecnica europea sul Facility Management (CEN TC 348).

I soci promotori (fondatori\*) di Terotec sono:

- ANCE - Associazione Nazionale Costruttori Edili\*
- Condotte Immobiliare spa
- Coopservice scri\*
- DeltaDator spa
- EUR spa\*
- FISE - Federazione Imprese di Servizi\*
- Groma sri\*
- Harpaceas Insight sri\*
- Insula spa\*
- La Fiorita scri
- Manitalidea spa\*
- Mantencoop scri\*
- Pirelli & C. Real Estate Facility Management spa\*.

novazioni tanto di "processo" quanto di "prodotto". In termini di "processo", la manutenzione diventa (tende a diventare) sempre più "manutenzione *in qualità*" ed in questa nuova dimensione deve essere ora reinterpretata come "sistema", come "servizio" e come "programma" <sup>3</sup>.

Gestire la manutenzione in qualità dei sistemi immobiliari e urbani significa, pertanto, soddisfare esigenze esplicite ed implicite degli utenti/clienti destinatari attraverso un sistema, servizio, programma manutentivo sotteso e conforme ad un processo unitario quality oriented di sistematizzazione, attuazione, ottimizzazione, controllo e costante miglioramento.

Il che comporta (comporterà), gradualmente, l'adozione di un approccio organizzativo-gestionale sempre più di stampo manageriale, a cui devono (dovranno) necessariamente

uniformarsi tanto la domanda quanto l'offerta di manutenzione per poter sviluppare in qualità il circuito esigenze- requisiti-prestazioni, perseguendo obiettivi di efficienza, efficacia ed economicità.

In termini di "prodotto", la manutenzione diventa (tende a diventare) sempre più "manutenzione *della qualità*".

Gestire la manutenzione della qualità dei sistemi immobiliari e urbani significa, pertanto, passare da una concezione statica ad una concezione dinamica della stessa qualità, da intendersi come sistema programmabile ed aggiornabile nel tempo di standard di funzionalità e prestazionalità dei sistemi da garantire e/o conseguire durante tutto il loro ciclo di vita utile.

Il che comporta (comporterà), gradualmente, una progressiva saldatura tra il processo integrato di manuten-

zione ed i processi integrati di programmazione, progettazione e realizzazione dei sistemi immobiliari e urbani, all'interno di un processo edilizio-urbano integrato in cui il concetto di qualità viene (verrà) esteso dinamicamente fin nella fase di gestione e di esercizio dei singoli sistemi.

### **I problemi aperti e gli scenari di sviluppo**

Se queste dunque appaiono essere le coordinate di riferimento e gli scenari di innovazione ed evoluzione della manutenzione immobiliare/urbana, è opportuno soffermarsi in questa sede anche su quelle che al momento risultano essere le problematiche settoriali aperte ed i nodi da porre fin da oggi al centro del dibattito, al fine di tentare di individuare approcci mirati e soluzioni congruenti.

Sei i punti strategici da inserire all'ordine del giorno del dibattito settoriale sulla manutenzione al fine di indirizzarne un suo corretto sviluppo:

1. quali sistemi programmatori e gestionali per la committenza pubblica;
2. quali assetti organizzativi e strutturali per le aziende erogatrici di servizi manutentivi;
3. quali competenze tecnico-professionali per gli operatori sia della domanda che dell'offerta;
4. quali processi di qualificazione per l'offerta;
5. quali forme procedurali e contrattuali per gli appalti;
6. quali risorse finanziarie da mettere in campo.

Sul primo aspetto, si ritiene che di fronte alla complessità intrinseca dei processi di programmazione e di coordinamento delle attività di manutenzione, estese o da estendersi peraltro alla scala urbana, sia ormai inderogabile l'esigenza di una ridefinizione dei compiti e delle funzioni di "cabina di regia" che la committenza pubblica è chiamata ad assumere una volta per tutte, specie alla luce delle evidenti discrasie ogni giorno riscontrabili nell'irrazionale quanto inadeguata gestione degli interventi manutentivi su edifici, strade ed impianti sotterranei delle nostre città.

A ciò nondimeno corrisponde un diffuso quanto obsoleto assetto strutturale ed organizzativo di molte aziende che operano nel settore, ancorato il più delle volte a modelli già in uso per la gestione di lavori pubblici o di singoli servizi parcellizzati, ma evidentemente inadeguati per la gestione coordinata di servizi manutentivi integrati rivolti a sistemi immobiliari e urbani quanto mai complessi, differenziati e nello stesso tempo strettamente compenetrati. In contrapposizione a ciò, deve segnalarsi l'ancora ad oggi limitata presenza di un gruppo di aziende nazionali e multinazionali "specializzate" (di grande e media

ne di nuove figure e competenze tecniche e professionali espressamente dedicate al "management" dei servizi di manutenzione immobiliare e urbana (dal Facility al Maintenance Management): tanto il settore della domanda, quanto il settore dell'offerta di manutenzione esprimono infatti la pressante necessità di dotarsi di nuovi quadri tecnico-professionali in grado di gestire e governare la novità e la complessità insite nei processi di programmazione, progettazione, organizzazione, realizzazione e controllo dei servizi di manutenzione rivolti ai sistemi immobiliari e urbani <sup>4</sup>.

Altrettanto nodale risulta il tema del-

### **Global Service Manutenzione: le nuove linee guida normative UNI**

È stata pubblicata a settembre 2004 la norma UNI 11136 "Global Service per la manutenzione dei patrimoni immobiliari. Linee guida". Frutto di due anni di intenso lavoro, è il risultato di un'articolata iniziativa normativa promossa e coordinata da Terotec (coordinatore gruppo nazionale di lavoro: Prof. Silvano Curcio) nell'ambito della SC3 dell'UNI (presidente: Prof. Claudio Molinari), con la copartecipazione attiva e la condivisione di qualificati rappresentanti della committenza pubblica (in particolare il Dipartimento delle Risorse Strumentali della Presidenza del Consiglio dei Ministri, il Comune di Bologna, il Comune di Modena e Poste Italiane), delle imprese operanti nel settore del Facility Management (tra cui le associazioni di categoria ANCE e FISE ed imprese promotrici di Terotec) e del mondo universitario (in particolare il Politecnico di Milano, l'Università di Brescia, il Politecnico di Torino e l'Università IUAV di Venezia). La norma 11136

rappresenta di fatto una fondamentale "linea guida" per l'impostazione dei processi di Global Service di manutenzione rivolti ad immobili e patrimoni immobiliari pubblici e privati, al fine di uniformarne l'approccio, su una base comune di riferimento metodologico-operativo, tanto da parte dei committenti quanto degli assuntori.

La norma si incentra in particolare sulle seguenti fasi-chiave del processo di Global Service:

- la fase di impostazione preliminare (da parte del committente);
- la fase di impostazione della richiesta di offerta (da parte del committente);
- la fase di impostazione del progetto di offerta (da parte del potenziale assuntore).

La norma costituisce la prima linea guida sul Global Service emanata a livello europeo e, insieme alle altre norme prodotte dalla SC 3 dell'UNI, pone l'Italia all'avanguardia nel campo della normazione tecnica settoriale

dimensione) che operano espressamente nell'ambito del Facility Management e del Global Service e che di fatto stanno acquisendo una posizione preminente nel mercato settoriale.

Il terzo aspetto problematico si ricollega direttamente ai precedenti e riguarda il tema della sistematica progettazione e diffusione di formazione specificamente orientata alla creazio-

l'adeguata qualificazione delle strutture operanti nel campo della manutenzione: di indubbia rilevanza, ma non risolutiva, appare in tal senso la possibilità per la committenza pubblica di utilizzare come strumento di individuazione, valutazione, selezione e controllo nell'ambito dell'ancora eterogeneo e non consolidato panorama nazionale degli operatori setto-

riali (società di servizi tecnico-gestionali, imprese di manutenzione, imprese di costruzione in fase di riconversione/specializzazione nel settore della manutenzione, ecc.), uno specifico sistema di garanzia della qualità realizzabile a partire dalla vigente normativa in materia e certificabile da organismi appositamente accreditati. L'individuazione di nuove e più adeguate forme procedurali e contrattuali per gli appalti di manutenzione e di nuove e più commisurate risorse finanziarie da associare alle sempre più esigue risorse a disposizione nei bilanci della committenza pubblica, costituiscono di certo gli aspetti problematici verso il cui approccio necessita una più incisiva capacità progettuale oltre che una più spiccata e mirata predisposizione alla sperimentazione sul campo. Per quanto attiene al primo aspetto, occorre segnalare l'avvio tanto di progetti a livello nazionale di studio, analisi e valutazione dell'impatto di formule "Global Service oriented" sul mercato della manutenzione urbana, quanto di prime significative esperienze locali di gare di appalto sempre in Global Service per la manutenzione integrata delle città. Nel contesto che si è tentato fin qui di inquadrare, lo sviluppo del mercato della manutenzione appare sempre più decisamente caratterizzato dall'evoluzione/integrazione verso il/nel mercato del Facility Management dei "servizi integrati" per gli immobili e per la città. A diretta testimonianza dell'evoluzione della manutenzione dall'immobiliare all'urbano, va sottolineato il fatto che si è già in presenza di un mercato del Global Service di seconda generazione: sintomatica di questa tendenza sono gli appalti attivati dal Comune di Bologna per il primo "City Global Service", dal Comune di Milano per la gestione dell'intero sistema del verde urbano e da diversi altri enti locali (Provincia di Firenze, Comune di Prato, Comune di Pisa, Comune di Reggio Calabria, ecc.) per la gestione e la manutenzione del sistema stradale. Per quanto concerne il secondo aspetto problematico, è tempo ormai

di individuare o progettare ex novo strade alternative e/o integrative al finanziamento pubblico, esplorando anche le finora mai adeguatamente considerate e valutate opportunità offerte dal cosiddetto "marketing territoriale", studiando altresì forme innovative di coinvolgimento a livello finanziario di operatori privati in programmi di manutenzione e riqualificazione urbana in cui pubblico e privato riescano a trarre i rispettivi ritorni (in termini prioritariamente sociali il primo, economico-finanziari il secondo).

Al riguardo, si ritiene quanto mai opportuno avviare il dibattito (così come anche la messa a punto e l'attivazione di iniziative sperimentali sul campo) riguardo all'ipotesi, che si lancia in questa sede, di progetti innovativi di "maintenance financing", al fine di stimolare, e se possibile innescare, - così come è avvenuto per il "project financing" delle opere pubbliche - una specifica attenzione ed una correlata progettualità verso lo studio e la sperimentazione di nuove forme di finanziamento della manutenzione per gli immobili e per le città. ■

### Riferimenti bibliografici

- AA. VV., *La manutenzione urbana. Idee ed esperienze in Europa*, Il Sole 24 Ore, Milano, 1990;
- AA. VV., *Manutenzione. Scienza della conservazione urbana*, Il Sole 24 Ore, Milano, 1994;
- CRESME, *Il mercato delle costruzioni. Lo scenario di medio periodo 2002- 2007*, CRESME, Roma, 2002;
- Curcio S. (a cura di), *Manutenzione dei patrimoni immobiliari. Modelli, strumenti e servizi innovativi*, Maggioli, Rimini, 1999;
- Curcio (a cura di), *Lessico del Facility Management. Gestione integrata e manutenzione degli edifici e dei patrimoni immobiliari*, Terotec/Il Sole 24 Ore, Milano, 2003;
- Curcio S., *Dagli edifici alle città: gli scenari innovativi della manutenzione urbana*, in AA. VV., *La Manutenzione Urbana*, Atti della Conferenza,

- la Repubblica Affari & Finanza, Roma, 2003;
- Dioguardi G., *La città della qualità*, in Dioguardi G., *Ripensare la città*, Donzelli, Roma, 2001;
- Molinari C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. La manutenzione come requisito di progetto*, vol. I, Esselibri, Napoli, 2002;
- Talamo C., *La manutenzione in edilizia. Le coordinate di una nuova professione*, Maggioli, Rimini, 1998.

<sup>1</sup> Dioguardi G. (2001).

<sup>2</sup> CRESME (2002).

<sup>3</sup> Secondo i tre nuovi "paradigmi di riferimento culturale" individuati da Talamo C. (1998).

<sup>4</sup> In questa direzione, significative e qualificate iniziative sono state recentemente intraprese nell'ambito della formazione universitaria. Tra le diverse, in particolare, si segnalano per il carattere innovativo e sperimentale:

- il Master di 2° livello in "Gestione integrata dei patrimoni immobiliari", promosso dall'Università di Roma "La Sapienza"/Facoltà di Architettura "Valle Giulia" e da Terotec;
- il Corso di formazione avanzata in "Gestione informatizzata dei patrimoni immobiliari e urbani" promosso dallo "IUAV" Università di Venezia/Facoltà di Pianificazione del Territorio e da Terotec.

### L'Autore



**Silvano Curcio è direttore generale di Terotec (v. scheda), docente di "Gestione informatizzata dei patrimoni immobiliari e urbani" presso il ClaSIT dell'IUAV Università di Venezia, coordinatore scientifico e docente del Master "Gestione integrata dei patrimoni immobiliari" presso l'Università La Sapienza di Roma. È coordinatore nazionale del comitato normativo UNI "Global Service per la manutenzione dei patrimoni immobiliari" e del gruppo di lavoro UNI per la normativa tecnica europea sul Facility Management (CEN TC 348). È autore di numerose ricerche e pubblicazioni sulla gestione e manutenzione immobiliare e urbana.**