



Sara Domini

Dottore di ricerca in Ingegneria Civile, attualmente è docente a contratto per il corso di Estimo e contabilità dei lavori presso l'Università degli Studi di Udine. Si occupa delle tematiche inerenti la valutazione dei costi globali degli edifici e la gestione dei patrimoni immobiliari. Svolge inoltre attività di libero professionista nell'ambito della contabilità dei lavori pubblici e del coordinamento della sicurezza dei cantieri in fase di progettazione ed esecuzione.

L'estimo della manutenzione. *Estimating Maintenance.*

L'evoluzione delle tecnologie costruttive richiede un'integrazione tra soggetti specializzati nella progettazione: la multidisciplinarietà che si viene a creare si qualifica allora come elemento indispensabile per un'attenta definizione di scelte che oltre a possedere le caratteristiche di qualità devono essere in grado di garantire, durante il ciclo di vita dell'edificio, anche un approccio gestionale che risulti economicamente vantaggioso. Fondamentale è individuare una metodologia grazie alla quale poter creare quegli strumenti atti a sviluppare analisi economiche in grado di fornire soluzioni ottimali per verificare la gestione della qualità totale da un lato e i costi totali dall'altro. Per affrontare la stima dei costi di manutenzione in ambito edilizio, ambito della ricerca, è indispensabile studiare un organismo edilizio con caratteristiche proprie industriali in modo da ridurre in numero le variabili temporali e permettere la creazione di un database affidabile.

The evolution of construction technologies needs an integration between designers: this is essential to define solutions owning quality and economy to assure, during the life cycle of a building, a correct management approach, economically useful.

Founding a methodology to realize instruments to develop economical analysis to give valid solutions to verify quality management, as topicality of the project, and value engineering, as total costs, is very important.

To estimate maintenance costs in building trade, object of this research, is important to study a building, realized as industrial building, to reduce the number of temporal variables and create a reliably database: so it will possible to have a reliable maintenance cost available.

L'evoluzione delle tecnologie costruttive dovuta allo sviluppo dei processi costruttivi richiede, in particolar modo in fase progettuale, un'integrazione tra soggetti specializzati nella progettazione delle varie componenti. La multidisciplinarietà che si viene a creare si qualifica allora come elemento indispensabile per un'attenta definizione di scelte che oltre a possedere le caratteristiche di qualità devono essere in grado di garantire, durante il ciclo di vita dell'edificio, anche un approccio gestionale che risulti economicamente vantaggioso. I fenomeni di obsolescenza e di degrado degli edifici, infatti, spesso derivano da un lato da una errata progettazione poco attenta all'integrazione degli aspetti architettonici, tecnologici e di processo costruttivo e dall'altro anche dalla mancanza di idonei strumenti atti a sviluppare previsioni sul comportamento degli edifici. L'obiettivo, in questa sede, è quello di individuare una metodologia grazie alla quale poter creare

quegli strumenti atti a sviluppare analisi economiche in grado di fornire le migliori soluzioni per verificare l'obsolescenza del progetto, la sostenibilità ambientale, l'efficacia della funzionalità d'uso degli spazi e delle tecnologie, la gestione della qualità totale (Total Quality Management) e la soluzione ottimale in termini di costi totali (Value Engineering). Il campo di indagine, in questa fase, è stato circoscritto alla manutenzione degli edifici. Nella prima parte vengono rintracciati i primi approcci del passato inerenti non tanto l'aspetto prestazionale quanto l'aspetto economico in funzione dei soggetti promotori. Nel secondo paragrafo vengono presentati i metodi estimativi per la determinazione dei costi di manutenzione: definire il costo di manutenzione significa infatti disporre di un database che descriva il comportamento nel tempo di un componente edilizio. Il ciclo di vita di un componente

edilizio dipende da un numero elevato di variabili di difficile determinazione. Ne deriva che affrontare la stima dei costi di manutenzione in ambito edilizio significa studiare un'organismo edilizio in generale e dei componenti edilizi in particolare con caratteristiche proprie industriali. Nell'ultima parte viene individuato il campo di indagine nel quale dovrà essere studiata una metodologia: allo stato attuale e con gli strumenti di cui si dispongono, il campo di ricerca si identifica con quello dei componenti industriali standardizzati. In questo modo è possibile ridurre le variabili temporali, creare un database attendibile e definire un altrettanto affidabile costo di manutenzione.

L'APPROCCIO ECONOMICO DELLA GESTIONE MANUTENTIVA

Il concetto di manutenzione è correlato fin dalle sue prime definizioni al concetto del "buon costruire". Fino a metà Novecento la durabilità del

materiale è presa in considerazione nel suo aspetto tecnico, legata principalmente alle questioni di conservazione e manutenzione, senza alcun riguardo per la componente economica. Attorno agli anni '60 il concetto di durata[1] viene sostituito da quello di durevolezza[2], assumendo una connotazione non più solo progettuale ma anche economica. Di Sivo rintraccia in Blanchère, nell'opera "Savoir batir" uno dei primi approcci al problema costo-qualità nell'ottica del ciclo di vita dell'edificio e di costo globale. Un tentativo seppur debole di affrontare aspetti non solo quantitativi, legati quindi alla frequenza delle manutenzioni, ma anche economici della prassi manutentiva, relazionati alla componente di costo, viene promosso nel 1963 dalla Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite[3]. Nel 1967 anche la Cee, come ricorda Molinari[4], avvia una serie di ricerche aventi come oggetto l'analisi dei problemi economici e tecnici della manutenzio-

ne e dell'ammodernamento degli immobili[5]. Nel 1968 a Roma viene organizzato un convegno[6] attorno al tema delle politiche della casa sull'onda del dibattito aperto dalla Cee; in un primo momento sembrò che il tema della manutenzione degli edifici dovesse porsi al centro di future esperienze e ricerche, in realtà in seguito e fino agli anni '80 non ci si occupò più di problematiche manutentive. Diversamente, dagli anni '70 in avanti in Inghilterra, in Francia e in Svezia, le sperimentazioni condotte permisero di evidenziare le relazioni esistenti tra gli aspetti prestazionale, economico e gestionale della manutenzione. In Inghilterra l'approccio economico assume un ruolo primario nella valutazione dell'efficienza del sistema edilizio aprendo la strada a ricerche per la creazione di modelli matematici per l'analisi qualitativa e la valutazione dell'andamento dei costi in esercizio. L'acquisizione di tali modelli è

culminata nell'ultimo decennio in avanzati programmi di gestione delle problematiche manutentive con l'implementazione e lo sviluppo di molte banche dati. In tal modo si è radicato il principio per cui una gestione qualitativa del patrimonio edilizio si basa sul controllo della componente di costo globale. Anche in Francia, infatti, la gestione del patrimonio edilizio dell'HLM (Habitations à Loyer Modéré)[7] avviene grazie a soluzioni informatizzate che permettono di prevenire in anticipo i costi, favorendo in un programma decennale l'accumulo di una riserva economica nel caso di riparazioni o di manutenzioni straordinarie di una certa importanza. L'Italia, come rileva Zennaro[8], in ritardo rispetto alle analoghe realtà comunitarie, non ha saputo attuare politiche capaci di occuparsi del problema della manutenzione. La manutenzione, in Italia, è sempre stata legata a operazioni di recupero del patrimonio a carico degli istituti delle case popolari. L'ex IACP (Istituto Autonomo delle Case Popo-

COSTO GLOBALE O COSTO DEL CICLO DI VITA - LCC	COSTI INIZIALI	COSTI DI PROMOZIONE	Costi di studio
		COSTI DI PRODUZIONE	Costi di progettazione
	Costo dell'area		
	Costo delle attrezzature		
	Costo di costruzione		
	Profitto di impresa		
	COSTI DI GESTIONE	COSTI DI FUNZIONAMENTO	Costi amministrativi dell'immobile
			Costi di approvvigionamento
			Costi di smaltimento
			Costi di conduzione impiantistica
			Oneri fiscali e costi assicurativi
		COSTI DI MANUTENZIONE	Costi di riparazione e manutenzioni cicliche
			Costi di sostituzione
			Costi di pulizie
COSTI FINALI	COSTI DI RIQUALIFICAZIONE	Costi di manutenzioni esterne	
		Costi di modifiche	
		Ristrutturazione	
		Vendita immobile a demolizione ultimata	
			Dismissione e ricostruzione

1. Schema che riassume le componenti di costo globale del ciclo di vita di un edificio secondo la suddivisione proposta da Potenza S. in I costi della produzione edilizia, Cluva Università, Venezia,

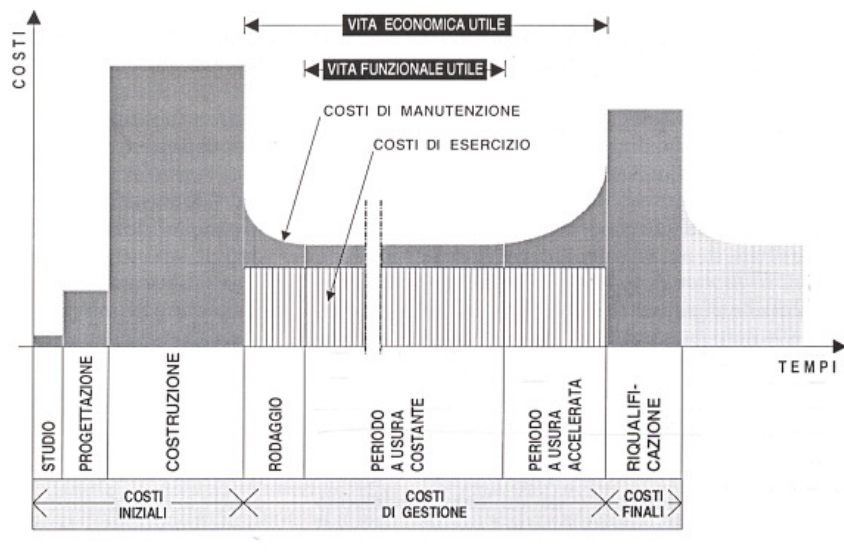
1982 e Molinari C. in *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

lari) di Milano agli inizi degli anni Novanta, infatti, ha messo in atto delle procedure manutentive da applicarsi alle nuove edificazioni per effettuare una corretta gestione del patrimonio immobiliare. È stato creato un Centro Ricerche e Sviluppo con lo scopo di compiere degli studi sistematici sullo stock abitativo dell'Ente: in tal modo si è creata una banca dati in grado di supportare un programma di manutenzione preventiva programmata. Di riflesso questo ha favorito degli atteggiamenti accorti sulla scelta delle imprese: infatti, in fase di appalto le imprese sono tenute a prevedere opere manutentive per un periodo temporale compreso tra i tre e i cinque anni. Questo tipo di appalto consente di effettuare, da un lato una preselezione delle imprese stesse, e dall'altro permette di considerare il costo globale e non solo quello iniziale di realizzazione. Si evidenzia pertanto come il problema manutentivo nel suo aspetto economico venga affrontato

prevalentemente da Enti che debbano gestire un patrimonio edilizio residenziale costituito da abitazioni destinate a una utenza a basso e medio reddito. In generale i soggetti promotori di interventi che richiedano un'analisi qualitativa economica sono soggetti che dispongono di un vasto patrimonio immobiliare a fronte di limitate risorse economiche per la sua gestione. Inoltre allo stato attuale emergono in letteratura diversi approcci al problema manutentivo: diversità determinata dalle esperienze condotte in passato che nei paesi come l'Inghilterra e la Francia o negli Stati Uniti hanno permesso di creare delle banche dati grazie alle quali esplicitare il costo di manutenzione come percentuale del costo globale istituendo una relazione per quanto possibile analitica dipendente dalle varie tipologie di manufatti edilizi. In Italia, invece, l'interesse nell'ultimo decennio è stato rivolto all'aspetto prestazionale: infatti, a

livello normativo, ciò è culminato nell'obbligo della redazione, in fase di progetto esecutivo di un'opera pubblica, di un piano di manutenzione. Tale piano si basa essenzialmente sull'organizzazione di un database nel quale vengono raccolte tutte le informazioni inerenti la programmazione della manutenzione al fine di mantenere, per quanto possibile, per l'opera in generale e per il componente in particolare le funzionalità originarie.

APPROCCI ESTIMATIVI AL COSTO DI MANUTENZIONE
La manutenzione, come evidenziato in precedenza, non può essere considerata come fase indipendente del processo costruttivo. Essa dipende da scelte che influenzano anche l'entità, in particolare, del costo di manutenzione e in generale del costo globale di un organismo edilizio, considerato nell'intero ciclo di vita. Il costo globale viene definito in ambito europeo secondo la norma inglese BS 3811-1984[9] ed è



2. Distribuzione nel tempo delle diverse componenti di costo globale tratta da Molinari C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

pertanto "...il costo totale della proprietà di un elemento materiale, comprendente tutti i costi di acquisizione, formazione del personale, esercizio, manutenzione, modificazione e dismissione, la cui valutazione ha lo scopo di supportare decisioni sui requisiti che devono essere richiesti o modificati e inoltre come metodo di controllo su elementi esistenti o da realizzare".

Delle varie classificazioni inerenti i costi componenti il costo globale si è proposta di seguito una suddivisione che sintetizza la trattazione di Stefania Potenza[10] e di Claudio Molinari[11], permettendo di giungere a una completa ed esauriente definizione delle componenti del costo globale. Il costo globale (vd. fig. 1), viene suddiviso in tre categorie:

- costi iniziali;
- costi di gestione;
- costi finali.

I costi iniziali comprendono tutti i costi necessari

alla realizzazione dell'opera, mentre i costi di gestione comprendono tutti i costi necessari a garantire e a supportare il funzionamento dell'immobile rispetto al compito ad esso assegnato per il suo intero ciclo di vita.

I costi finali comprendono i costi che si manifestano al termine della vita economica utile dell'edificio e dipendono dalle possibili strategie immobiliari che si possono perseguire.

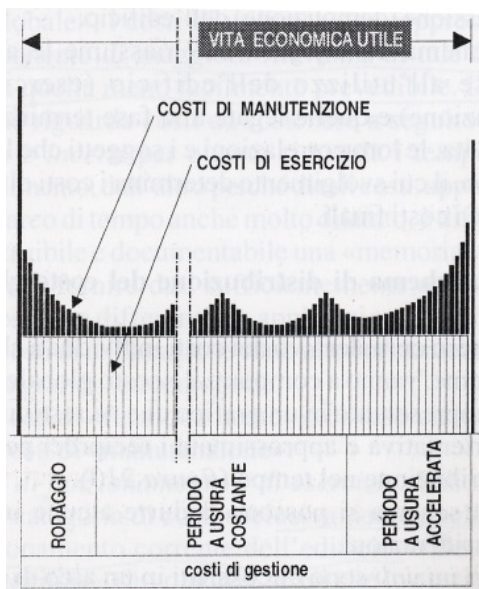
Le componenti del costo globale incidono e si distribuiscono nel tempo in modo non uniforme sul lungo periodo e presentano il tipico andamento "a vasca da bagno" come evidenzia la fig.2.

Nell'arco del ciclo di vita utile dell'edificio il costo di costruzione e il costo di riqualificazione sono molto elevati rispetto alle altre componenti. Nella vita economica utile dell'edificio[12], i costi di esercizio, identificabili con i costi di funzionamento secondo la precedente classificazione, rimangono costanti, mentre i costi di manutenzione, come si

vede dalla fig. 3, sono variabili e si ripetono ciclicamente, in funzione dalla probabilità e cadenza temporale degli eventi di guasto.

Tra le varie componenti di costo globale, la determinazione dei costi di gestione in generale e di manutenzione in particolare risulta difficoltosa. Il costo globale, a seconda degli obiettivi che si vogliono perseguire, viene valutato utilizzando tre metodi:

1. metodo del valore totale scontato: tutti i costi, inclusi quelli della manutenzione, vengono convertiti alla data effettiva di completamento dell'edificio;
2. metodo del costo totale annuo: tutti i costi, incluso il costo iniziale, vengono convertiti in costi medi annui da sostenere durante la prevista durata in vita dell'edificio;
3. metodo dei costi cumulati: tutti i costi, compresi quelli iniziali e di manutenzione vengono convertiti alla data prevista per la demolizione dell'edificio. In linea generale il problema che si deve affron-



3. Andamento nel tempo dei costi di esercizio e di manutenzione tratta da Molinari C. *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

tare per la determinazione di costi che insorgono in tempi diversi riguarda l'attualizzazione dei vari capitoli di spesa. Tutti i modelli di attualizzazione si basano sulla relazione che permette di calcolare il valore attuale di un importo disponibile a data futura utilizzando il tasso di sconto [13]:

$$VA = VF \cdot \frac{1}{(1+r)^t}$$

dove: VA = valore attuale; VF = valore futuro; r = tasso di sconto in centesimi; t = numero di annualità. Da tale formula derivano modelli più specifici di seguito sinteticamente riportati fortemente dipendenti dagli obiettivi che devono essere perseguiti. Il valore attuale dei costi futuri ricorrenti a cadenza annuale (VA) utilizza la seguente formula:

$$VA = \sum_{t=1}^N \frac{C}{(1+r)^t} \quad (1)$$

dove: VA = valore attuale; C = costo annuale ricor-

rente; r = tasso di sconto in centesimi; N = numero di annualità per cui si esegue il calcolo. In maniera equivalente la (1) può essere scritta come:

$$VA = C \cdot \frac{(1+r)^N - 1}{(1+r)^N \cdot r} \quad (2)$$

Il modello viene utilizzato per la valutazione economica di un progetto o il confronto tra progetti alternativi o varianti di uno stesso progetto per i soli costi di gestione o manutenzione. In tal modo è possibile convertire tutti i costi stimati alla data effettiva di completamento dell'edificio, utilizzando il metodo del valore totale scontato citato in precedenza.

Il metodo dell'equivalente annuale viene impiegato per esprimere i costi di manutenzione (e anche iniziali) in termini di annualità costanti.

La formula deriva dalla (2) e viene espressa come:

$$EA = C = VA \cdot \frac{(1+r)^N \cdot r}{(1+r)^N - 1} \quad (3)$$

dove: VA = valore attuale dei costi iniziali e/o di manutenzioni periodiche; C = equivalente annuale o ripartizione annuale dei costi (a valore attuale) a sostenere per N anni.

Il metodo sostituisce il precedente nel momento in cui si vogliono confrontare soluzioni alternative che prevedono per i vari componenti durate di vita economica diverse. Se i costi durante un tempo determinato subiscono delle oscillazioni è possibile convertirli al valore attuale e poi calcolare l'equivalente annuale del valore attuale.

Il metodo delle annualità posticipate trova applicazione nel caso in cui si volesse calcolare gli accantonamenti necessari per ricostruire un capitale VF.

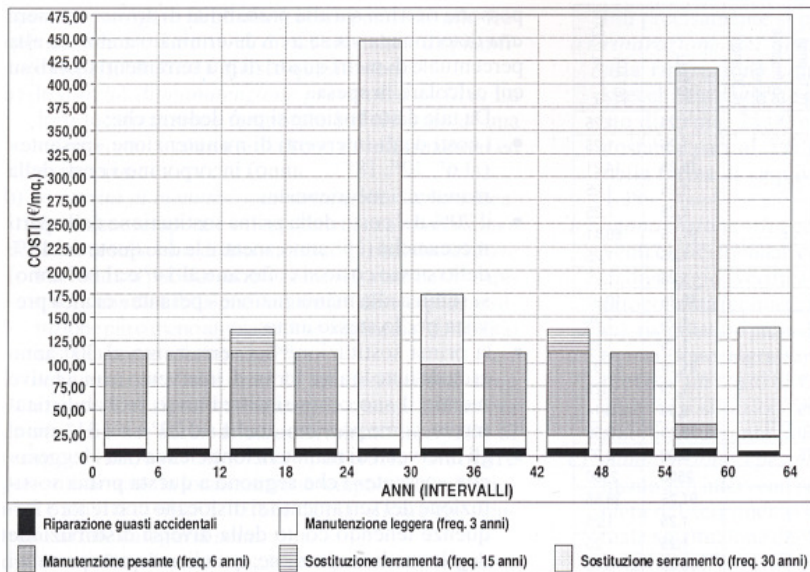
$$A = VF \cdot \frac{r}{(1+r)^N - 1} \quad (4)$$

dove: VF = valore a prezzi correnti dei costi iniziali da ricostruire dopo N anni; A = annualità posticipata per la ricostituzione del capitale finale;

N = numero totale di annualità di cui si esegue il calcolo; R = tasso di sconto in centesimi.
L'espressione (4) viene utilizzata per calcolare gli accantonamenti annuali necessari a riacquistare dei beni strumentali al termine della vita utile o a sostituire, dopo un numero di anni predeterminato, i componenti o gli impianti di un immobile. Ai fini della presente ricerca, saranno valutati i metodi per la determinazione del solo costo di manutenzione.
Il secondo e il terzo metodo permettono di esprimere i costi di manutenzione come costi ripartiti su più annualità permettendo di mettere a confronto soluzioni diverse con cicli di vita diversi. Inoltre esprimendo i costi di manutenzione come costi medi annui è possibile inserire con una certa facilità previsioni di spesa in piani economici pluriennali di manutenzione.
In relazione ai vari tipi di manutenzione e alle componenti da analizzare, la stima dei costi di manu-

tenzione è diversa e per certi aspetti più complessa rispetto a quanto esposto. Infatti si riconoscono due modalità principali di manutenzione:
- manutenzione sostitutiva, dopo n anni di vita, per esempio per un componente;
- manutenzione programmata che interessa dopo n anni degli interventi riparativi o preventivi, ciclici, e dopo $n+x$ anni interventi di sostituzione.
Nel caso in cui si voglia stabilire per un certo intervento quale sia la forma più conveniente di manutenzione da attuare, il costo per entrambe le tipologie deve essere tradotto in un parametro omogeneo. Sulla base dei modelli precedentemente illustrati si individuano due metodi di stima:
1. stima degli "equivalenti annuali";
2. stima degli "accantonamenti".
La stima degli equivalenti annuali prevede il confronto del costo annuo di manutenzione che esprime il costo totale attualizzato di tutti gli interventi di manutenzione. A tal fine due sono le

fasi che caratterizzano tale metodo: la prima fase prevede l'attualizzazione di tutti i costi di ciascuna delle due forme alla data dello studio, mentre la seconda fase prevede la conversione del costo totale attualizzato nell'equivalente annuale corrispondente alla durata di vita del componente. La stima degli accantonamenti annuali utilizzando il modello illustrato precedentemente (espressione (3)) permette di calcolare la somma di cui disporre in periodi di tempo predeterminati al fine di svolgere le necessarie manutenzioni.
I metodi di stima per i costi di manutenzione dipendono in maniera più o meno complessa da variabili di difficile determinazione come la durata di vita dell'edificio o del componente, la frequenza degli interventi di manutenzione sul componente e il tasso di interesse. L'utilizzo del modello per equivalenti annuali riduce notevolmente l'incertezza probabilistica legata alla distribuzione temporale degli eventi che determinano specifici interventi di manuten-



4. Esempio di un profilo di manutenzione per un serramento su un periodo di 64 anni con costi aggregati per intervalli di 6 anni e ripartiti per tipi di attività manutentiva. Valori in €/mq. tratta da Molinari C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

zione. Il metodo non risulta funzionale nel caso in cui si voglia produrre un piano di manutenzione a breve o medio termine da inserire in programmi di intervento annuali o per decisioni strategiche al fine di individuare i tempi più opportuni in cui svolgere le manutenzioni. In alcuni casi è necessari che i costi futuri delle manutenzioni abbiano una localizzazione temporale precisa: ne deriva che riportando tali considerazioni su un istogramma, l'andamento dei costi di manutenzione in funzione del tempo è irregolare. Si ottiene il così detto profilo di manutenzione fig.4, definito come l'istogramma che riporta l'andamento dei costi di manutenzione nel corso della vita del fabbricato[14].

Nell'esempio riportato, l'istogramma evidenzia chiaramente le tipologie di manutenzione attuate nel corso del tempo e i differenti costi sostenuti. I costi risultano elevati nel caso di sostituzione a fronte però di una manutenzione pesante che nel caso dei serramenti si mantiene costante per tutto il periodo.

In realtà tale istogramma può essere finalizzato a un determinato intervallo temporale, in dipendenza della validità di un piano.

Un'altra problematica che si evidenzia nell'applicare i modelli di stima precedentemente illustrati risiede nella mancanza di dati certi inerenti il reperimento e la classificazione dei costi di manutenzione. Solo da una decina di anni sono in uso i programmi software che consentono di creare delle banche dati relative al comportamento nel tempo di materiali e componenti edilizi.

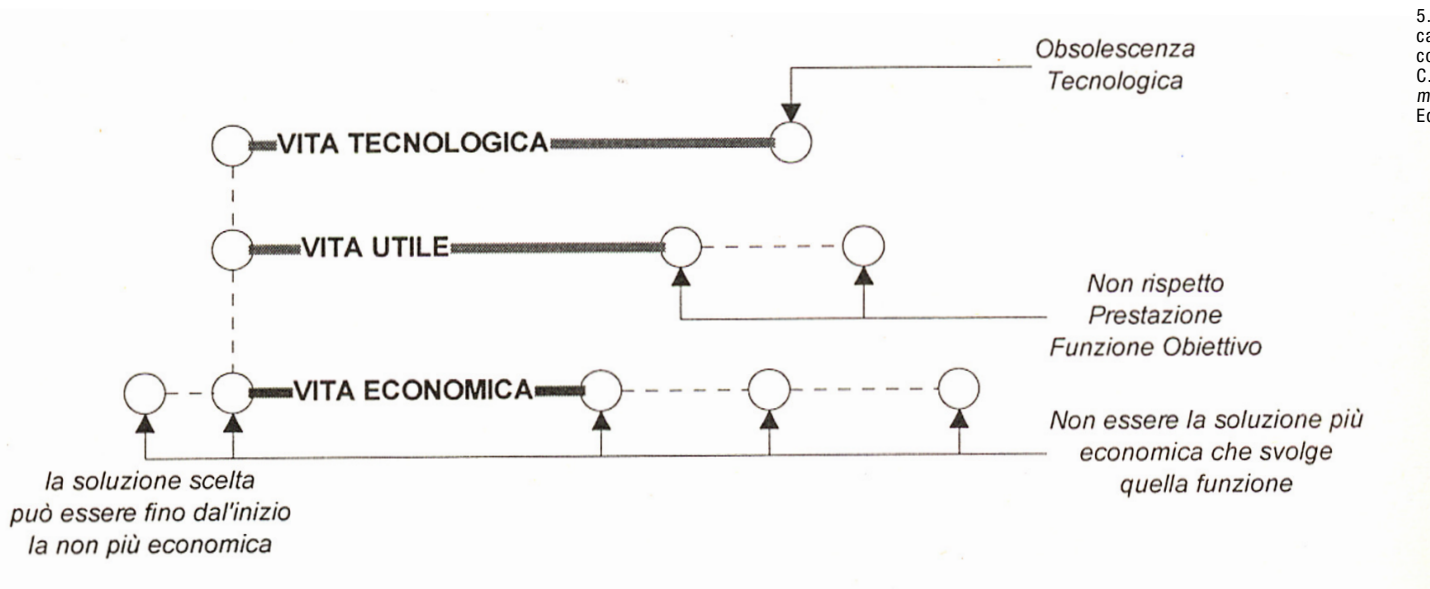
L'APPROCCIO ECONOMICO-PRESTAZIONALE AL COSTO DI MANUTENZIONE

La difficoltà di determinare il costo globale e in particolare il costo di manutenzione risiede, come già evidenziato in precedenza, nel valutare il comportamento nel tempo di un edificio o di parti dello stesso. Queste stesse tematiche sono state affrontate intorno agli anni '50 in ambito industriale, per gli

impianti di produzione.

Si è sviluppato così un ambito scientifico disciplinare, limitatamente alla produzione industriale, definito come "terotecnologia"[15].

La trasferibilità dei metodi applicati in ambito industriale ai prodotti edilizi è sempre stata molto dibattuta: da una lato il componente edilizio, in un ambito prestazionale, ha caratteristiche "strutturali" diverse dal componente industriale, dall'altro le variabili utilizzate per definire il componente industriale possono essere applicate a qualsiasi componente edilizio. Tuttavia negli ultimi anni, come rileva Manfron[16], l'edilizia ha subito un'accelerazione ed una modificazione mirata al raggiungimento di scopi più simili a quelli dell'industria e meno a quelli dell'edificare. Il motivo va ricercato nel raggiungimento di un obiettivo di qualità: in tal modo si è raggiunto un sensibile miglioramento dei processi produttivi e dell'organizzazione del lavoro aumentando la capacità di



5. Rapporto tra vita tecnologica, utile ed economica di un componente tratta da Molinari C., *Procedimenti e metodi della manutenzione* edilizia, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

risposta la mercato.

Pertanto utilizzando terminologie proprie del settore industriale è possibile definire in maniera analoga anche per l'ambito edilizio alcuni parametri di tipo prestazionale che servono a definire i costi.

Tuttavia, nell'ottica di definire la durata di un componente è utile puntualizzare la definizione di vita utile a partire dall'articolazione del termine vita:

1. vita tecnologica: è definita come il numero di anni al termine dei quali per cause di innovazioni tecnologiche e di mercato l'elemento è da ritenersi obsoleto;
2. vita utile (prestazione o funzionale): definita come il numero di anni per cui un elemento svolge le proprie funzioni nel rispetto di prestazioni prestabilite come obiettivo;
3. vita economica: è il numero stimato di anni per cui l'elemento adottato rappresenta la soluzione economicamente più vantaggiosa nello svolgi-

mento di quella funzione.

La vita economica è quella che più di ogni altra interessa per ridurre il costo totale degli edifici ma è strettamente legata alle altre due durate e in una analisi di costo globale può essere solo stimata. In fig. 5 vengono rappresentate le tre tipologie di vita di un componente edilizio.

Il parametro che permette di esprimere il rapporto tra durata di vita di un componente e la sua qualità è l'affidabilità.

L'affidabilità, intesa come "la probabilità che l'unità operativa (elemento o sistema di elementi interagenti) funzioni senza guastarsi, a un livello predisposto per un certo tempo t e in determinate condizioni ambientali" [17] diventa allora parametro fondamentale per associare la durata di vita con la presunta qualità prestazionale.

L'affidabilità di un sistema è minore dell'affidabilità dei singoli componenti che lo costituiscono. Per valutare l'affidabilità del subsistema si posso-

no usare diverse procedure:

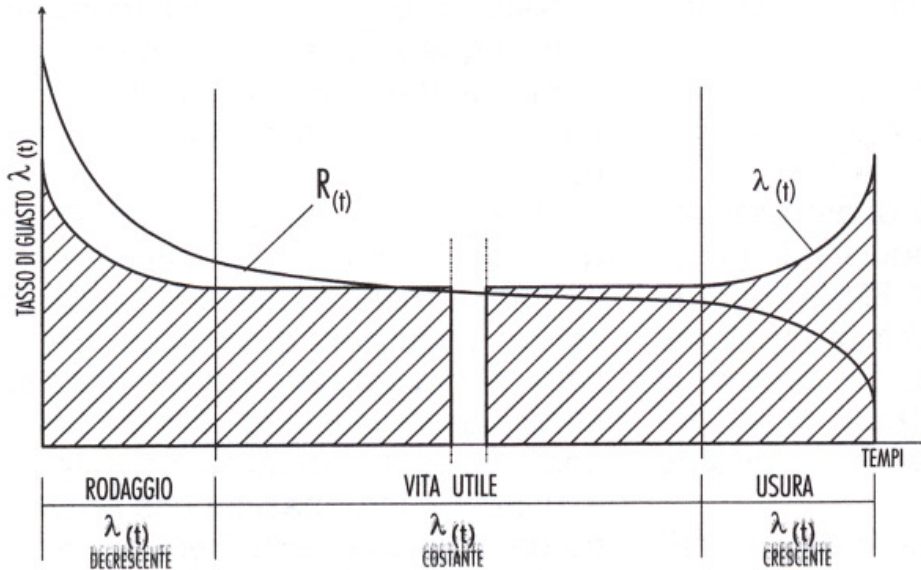
- utilizzare le informazioni provenienti dal funzionamento prolungato di nel tempo di molti subsistemi uguali alle stesse condizioni di impiego;
 - utilizzare le informazioni che provengono dal funzionamento per un breve periodo di tempo di pochi subsistemi e successivamente elaborare queste informazioni con procedimenti di tipo statistico;
 - utilizzare la conoscenza dove esista dell'affidabilità delle parti per valutare la conoscenza complessiva del sistema.
- Pertanto l'affidabilità è funzione della probabilità degli eventi di guasto. Con elaborazioni di tipo statistico essa viene definita come:

$$R_t = 1 - \int_0^t f_t dt$$

dove:

Rt = affidabilità o probabilità di funzionamento (in

6. Andamento del tasso di guasto $\lambda(t)$ di un elemento tecnologico e della sua funzione di affidabilità R_t tratta da Gottfried A., La qualità edilizia nel tempo, Hoepli, Milano 2003



inglese Reliability);

$$\int_0^t f_t dt = \text{densità di probabilità di guasto}$$

La probabilità che l'unità operativa continui a funzionare dopo il tempo t è data dal complemento a 1 della funzione "distribuzione cumulativa" di probabilità.

Fondamentale, al fine di completare la nozione di affidabilità, è definire la funzione tasso di guasto $\lambda(t)$. Essa rappresenta la funzione di densità di probabilità che un elemento, sopravvissuto fino al tempo t , si guasti in un successivo intervallo dt .

$$\lambda_t = \frac{P}{dt}$$

dove: P = probabilità che si verifichi il guasto;
 dt = intervallo di tempo entro cui vi è la probabilità che un elemento si guasti.

La relazione che lega l'affidabilità al tasso di

guasto[18] è la seguente:

$$R_t = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

In fig. 6 viene riportato l'andamento del tasso di guasto per un elemento e la sua funzione di affidabilità.

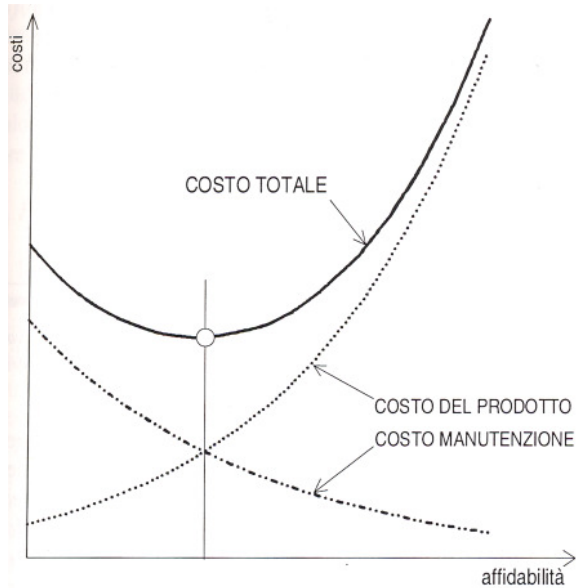
Il tasso di guasto ha un andamento decrescente nella fase di rodaggio, si mantiene costante durante la vita utile del componente e ha un andamento crescente durante il periodo di usura. L'affidabilità, contrariamente, ha un andamento decrescente durante tutto il ciclo di vita del componente.

Il tasso di guasto durante la vita utile tende a mantenersi costante e a stabilizzarsi dopo la fase di rodaggio in cui la presenza di guasti iniziali è determinata da difetti di materiali originari o difetti nel montaggio. Nella fase di usura l'aumento del tasso di guasto è legato

all'inevitabile invecchiamento e alla possibilità che si manifestino "guasti da usura". Le analisi inerenti l'affidabilità si relazionano direttamente all'andamento dei costi durante il ciclo di vita di un edificio, come evidenziato nella fig. 7.

Elevati valori di affidabilità comportano un incremento dei costi di produzione e un decremento dei costi di manutenzione. L'incremento di affidabilità oltre certi limiti comporta un incremento di costo di produzione superiore alla diminuzione dei costi di manutenzione. È necessario pertanto determinare il punto di minimo sulla curva di costo totale in cui il rapporto costi-affidabilità risulta ottimale.

L'applicabilità delle variabili definite in precedenza implica una attenta definizione del ciclo di vita utile dell'elemento tecnologico, che deve poter essere scomposto in fasi che



7. Rapporto tra affidabilità e costi tratta da Molinari C. *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

possano essere programmate ed economicamente preventivate.

In tal modo sui componenti è possibile avere un maggior controllo in fase di assemblaggio riducendo i fattori di aleatorietà dovuti, ad esempio, a errori di posa in opera. Ne deriva che i prodotti prefabbricati, trattati come veri e propri prodotti industriali, sono sottoposti a logiche di controllo di qualità e di gestione economica.

Rispetto ai componenti tradizionali, la variabile legata alla fase di posa in opera ha un minimo grado di aleatorietà: le condizioni al contorno hanno un maggior grado di definizione e questo permette di determinare con minimo grado di incertezza tempi e relativi costi manutentivi.

In tal modo è possibile, già nella fase di progettazione, valutare i prodotti edilizi-industriali attraverso schede che ne individuino

i requisiti, le prestazioni e i costi per l'intero ciclo di vita, evidenziando il legame tra componente quantitativa e qualitativa.

È in particolar modo nella fase preliminare e definitiva l'utilizzo della tecnica del Life Cycle Cost o LCC[19] permette di confrontare soluzioni tecnologiche molto diverse tra loro evidenziandone gli aspetti riguardanti i benefici ottenibili da scelte di natura funzionale, architettonica, urbanistica e sociale. In fase di progetto esecutivo, invece, la tecnica LCC, minimizzando i costi permette di decidere tra soluzioni tecnologiche aventi prestazioni equivalenti.

CONCLUSIONI

I componenti edilizi intesi come prodotti industriali favoriscono la gestione di schede informative. Tali schede, redatte a cura del costruttore, oltre a riportare le caratteristi-

che prestazionali dovrebbero evidenziare anche le componenti di costo legate non solo alla fase di fornitura dell'elemento ma anche alla sua manutenzione.

In un approccio estimativo al costo di manutenzione, si favorisce la realizzazione di una banca dati facilmente integrabile con i software per la valutazione, secondo le metodologie prima indicate, dei tipi di manutenzione da attuare.

In un approccio economico le schede di prodotto, individuando le caratteristiche di affidabilità e tasso di guasto, permettono di effettuare l'analisi dei costi dell'intero edificio e per tutto il ciclo di vita, attraverso il metodo del LCC.

Un prodotto edilizio è innovativo non solo per i vantaggi che può fornire in termini prestazionali ma anche per la competitività economica espressa in termini di costi iniziali

NOTE

[1] De Sivo definisce la durata come la capacità di un materiale o di un componente di mantenere inalterate nel tempo le proprie caratteristiche fisiche, morfologiche e prestazionali. De Sivo M., *Il progetto di Manutenzione*, Firenze, Alinea Editrice 1992, pagg.9-53, 112-174.
[2] Blanchere, nell'opera, *Savoir Batir*, Paris, 1969, definisce la "durezza" come "un'esigenza di natura economica che si può esprimere anche in questi termini: tutte le esigenze umane devono essere soddisfatte durante n anni, essendo normali le condizioni naturali, essendo garantita la manutenzione, essendo sostituire certe parti della costruzione durante l'intero periodo, se questo è ammesso ed è stato previsto".
[3] United Nations-Economic Commission for Europe, *Cost Repetition Maintenance. Rela-*

ted Aspects of building prices, United Nations Publication, Geneva, 1963.
[4] MOLINARI C. (a cura di), *Manutenzione in edilizia*, Franco Angeli, Milano, 1989 pag. 9-90.
[5] "Enquetes sur les problemes economiques et techniques de l'entretien et de la modernisation des immeubles", agosto 1967.
[6] *La politica dell'abitazione in Italia*, Convegno di studi organizzato dall'InArch, Roma, giugno 1968.
[7] Abitazioni a canone modico, destinate a nuclei familiari ben integrati nel sistema socio-economico.
[8] Zezzaro, P., *I metodi della manutenzione edilizia nazionali e comunitari*, in "Manutenzione delle costruzioni", Utet, Torino, 1998.
[9] La norma inglese recepisce le definizioni elaborate dalla EQQC-European Organization for Quality Control in un docu-

mento dal titolo *Glossary terms used in the management of quality*, (5a edizione del 1981).
[10] Potenza, S., *I costi della produzione edilizia*, Cluva Università, Venezia, 1982, pagg. 1-69.
[11] Molinari, C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli, 2002, pagg. 215-262.
[12] Come definito successivamente, la vita economica utile di un edificio è il numero di anni per cui l'edificio rappresenta la soluzione economicamente più vantaggiosa nello svolgimento della sua funzione.
[13] È definito come il tasso che riflette il valore temporale del denaro dell'investitore.
[14] Lee, R., *Manutenzione edilizia programmata*, Milano, Hoepli 1993, pag. 25.
[15] Tecnologia multidisciplinare che si occupa di tutte le misure tecnico economiche ed attività dei sistemi tecnici di

produzione per tutta la durata della loro vita, dagli inizi degli studi economici e di progetto, alla progettazione di dettaglio, costruzione, installazione, messa in marcia, manutenzione, gestione, al fine di minimizzare il costo del sistema nell'intero arco della sua vita.
[16] Manfron, V., Siviero, E. (a cura di), *Manutenzione delle costruzioni*, Utet, Torino 1998, pagg. 1-30, 345-387.
[17] Molinari, C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Sistemi Editoriali, Napoli, 2002, cit., pag.53

di costi che si manifestano durante il ciclo di vita. In tal modo si favorisce l'introduzione di un approccio economico alla progettazione rispondendo a esigenze di mercato che richiedono figure "economicamente e tecnologicamente" formate. La complessità della materia può essere affrontata in futuro sviluppando il tema di un approccio economico-qualitativo nell'ottica di applicazioni software. A questo scopo è necessario che venga sviluppata l'analisi di un caso reale testimone di uno stato dell'arte che evidenzia le metodologie messe in atto nella valutazione economica di interventi di nuova costruzione a sostituzione di edifici esistenti. Parimenti dovrà essere analizzato un caso su cui poter sperimentare la comparazione tra componente economica e qualitativa. Solo attraverso la formazione di strumenti

sarà possibile introdurre in maniera efficace una mentalità economicamente e qualitativamente orientata in ambito progettuale per rispondere alle richieste di mercato.