

# **“LA GESTIONE DEL CICLO DI VITA DEI COMPONENTI E DEGLI ORGANISMI EDILIZI”**

**Bruno Daniotti, Sonia Lupica Spagnolo**

*Politecnico di Milano - BEST*

*Via Ponzio 31, Milano*

*bruno.daniotti@polimi.it, sonia.lupica@polimi.it*

## **Abstract**

Per le fasi di gestione degli organismi edilizi diventa sempre più importante governare gli aspetti relativi alla programmazione gestionale, in termini di definizione della durata ed affidabilità dei componenti edilizi per una previsione dei tempi e modi relativi all'intervento manutentivo, e quindi una valutazione più precisa del ciclo di vita dal punto di vista della sostenibilità ambientale ed economica dell'intervento.

Nel paper si intende presentare l'attività di ricerca in corso presso il Politecnico di Milano, in particolare relativamente alla valutazione della durabilità dei componenti edilizi, sia in termini di sperimentazione con prove di invecchiamento accelerato che in termini di messa a punto di metodi di previsione di durata.

Inoltre, si presentano le attività di collaborazione internazionale mirate alla costituzione di *service life management systems*, che consentano la previsione dei costi del ciclo di vita, ed una analisi degli impatti ambientali basati sul LCA, relativamente alla fase gestionale, e sui metodi di previsione della vita utile sviluppati in ambito nazionale ed internazionale.

In particolare, si presenterà l'attività di collaborazione con il CSTB mirata alla costituzione di una banca dati delle *reference service life* dei componenti edilizi.



**Ed. ISTeA – Italian Society of Science,  
Technology and engineering of  
Architecture**

## 1. Introduzione

La previsione di vita utile volta alla pianificazione di una manutenzione ottimizzata è utile per una valutazione in termini di *Life Cycle Costs* e *Life Cycle Assessment*, e contribuisce oltretutto a garantire un processo costruttivo sostenibile: la conoscenza della durabilità dei componenti edilizi (durata e affidabilità) è fondamentale per operarne una scelta in termini compatibili con la sostenibilità del loro impiego in funzione dell'obsolescenza differenziata dalle parti dell'edificio ed, in particolare, per decidere circa la tipologia manutentiva da adottarsi. Infatti, a parità di durata, la stima dell'affidabilità al tempo di durata consente di adottare la tipologia manutentiva ottimale e il complemento a uno del valore stimato per l'affidabilità orienta sul rischio di guasti verificabili durante la vita utile del componente.

Per consentire tale pianificazione manutentiva, basata sulla conoscenza della *Service Life*, è necessario pertanto implementare i metodi e gli strumenti di previsione della Vita Utile ad oggi disponibili: il gruppo "Durabilità" del Politecnico di Milano, a tal fine, sta conducendo un programma di ricerca volto all'applicazione ed allo sviluppo dei metodi di previsione descritti nella UNI 11156:06, attraverso le sperimentazioni finora effettuate e tuttora in atto su diversi elementi tecnici appartenenti alla classe delle pareti perimetrali non portanti.

## 2. Metodi per la valutazione della vita utile dei componenti edilizi

### 2.0 Metodi di previsione

La stima della Vita Utile in condizioni di progetto, secondo quanto indicato nella UNI 11156:06, si basa sull'utilizzo di uno dei seguenti tipi di metodo, che si differenziano principalmente per il grado di complessità (e quindi per la quantità di informazioni e risorse necessarie per applicarlo):

- metodo fattoriale: è un metodo che consente di determinare la vita utile in opera correggendo la Vita Utile di Riferimento (RSL) con dei fattori moltiplicativi (generalmente compresi tra 0.8 e 1.2) che tengono conto delle condizioni particolari in cui il componente è utilizzato (qualità di produzione, progettazione e posa in opera, agenti sollecitanti, manutenzione programmata molto frequente, particolare cura dei dettagli costruttivi,...). Il maggior pregio di tale metodo, che è contemporaneamente anche il suo più grande difetto, è la sua semplicità che consente di applicarlo economicamente anche in progetti di piccole dimensioni, ma che comunque risulta di assai scarsa affidabilità per la soggettività dei valori attribuiti ai fattori correttivi della Vita Utile di Riferimento.

Al fine di contenere gli errori legati appunto alla soggettività, il Politecnico di Milano ha studiato un'evoluzione di tipo semiprobabilistico di tale metodo, arrivando a definire un "metodo fattoriale evoluto", detto anche metodo

Montecarlo, che consente di stimare la vita utile del componente edilizio attraverso l'assegnazione, per ogni fattore proposto dal metodo fattoriale, non solo dei valori più probabili, ma anche degli intervalli di confidenza in cui tali valori possono con ogni probabilità muoversi; tramite poi l'ausilio di un software denominato "SL planning tool", appositamente studiato e messo a punto dal Politecnico di Milano, è possibile rielaborare su base semiprobabilistica i dati di input inseriti ed ottenere una distribuzione probabilistica delle ESL possibili.

Oltre a tale evoluzione del metodo fattoriale, il Politecnico di Milano sta inoltre anche operando sulla definizione di "griglie-guida" per, appunto, guidare il progettista nella corretta attribuzione dei valori dei fattori moltiplicativi del metodo fattoriale al fine di limitare il rischio di ottenimento di dati falsati dovuti alla soggettività del metodo stesso.

- metodi statistici: sono metodi che si basano sull'analisi stocastica sia del contesto sollecitante (agenti) sia del comportamento dei materiali. Data la loro natura statistica necessitano di un'elevata quantità di informazioni e comportano un grande impiego di risorse, risultando quindi economicamente applicabili solamente in progetti di grandi dimensioni.

Nei metodi statistici il degrado è trattato come un fenomeno stocastico: per ogni caratteristica, in ogni periodo di tempo, è definita una probabilità di degrado [di solito viene utilizzato il modello della catena di Markov]. In letteratura, si trovano rapporti di attività di ricerca e anche esempi di applicazione di tali metodi, che concentrano l'attenzione quasi sempre ad un solo materiale (il calcestruzzo armato) e ad un solo agente (la penetrazione di cloruri).

- metodi ingegneristici: sono metodi caratterizzati da un grado di complessità paragonabile a quello comunemente affrontato dai progettisti nella pratica di progettazione. Oltre al già citato fattoriale evoluto, che appartiene anche a questa categoria di metodi, il Politecnico di Milano ha anche sviluppato il metodo ingegneristico dei limiti prestazionali, basato sulla modellazione del decadimento delle prestazioni tecnologiche.

Le caratteristiche del metodo dei limiti prestazionali lo rendono utilizzabile specificatamente per la determinazione della vita utile di elementi tecnici che influiscono sulle condizioni di comfort ambientale dell'edificio, e quindi molto utile per la valutazione di durabilità di componenti d'involucro. Alla luce della definizione data la previsione della vita utile di un componente deve necessariamente basarsi sul concetto di prestazione.

In particolare, il metodo dei limiti prestazionali si propone di legare la definizione della vita utile di un componente alle prestazioni ambientali [comfort igro-termico] dello spazio che il componente delimita.

Il metodo è composto dai seguenti quattro fasi:

1. *Definizione degli obiettivi prestazionali.*

La prima attività da svolgere per stimare la vita utile di un componente utilizzando il metodo dei limiti prestazionali è la definizione delle prestazioni minime che lo spazio delimitato dal componente oggetto di stima delimita.

Si ritiene importante riferirsi a prestazioni dello spazio costruito, cioè a prestazioni direttamente percepibili dall'utente finale dell'edificio, per definire la durata di un componente. Questa scelta lega la durata del componente in opera alle ipotesi progettuali sullo spazio costruito (dimensioni dei locali, posizioni delle aperture, ...);

2. *Individuazione dei requisiti e delle specificazioni di prestazione che il componente deve fornire.*

Le prestazioni dello spazio (prestazioni richieste dall'utente) definite al punto 1 devono essere tradotte in prestazioni fornite dai componenti edilizi.

3. *Traduzione delle specificazioni di prestazione in specifiche tecniche delle caratteristiche funzionali e l'individuazione delle soglie di vita utile prestazionale.*

Si individuano, partendo dalle prestazioni richieste al componente, dei valori limite per le caratteristiche (funzionali) dei materiali costituenti il componente tali che il superamento degli stessi comporta l'impossibilità di ottenere le prestazioni ambientali obiettivo (e quindi la fine della vita utile). Tali valori limite vengono chiamati "limiti prestazionali".

4. *Stima della vita utile*

La stima della vita utile del componente nasce dal confronto tra l'andamento nel tempo delle caratteristiche funzionali dei materiali costituenti il componente stesso ed i valori di soglia (limiti prestazionali) trovati.

L'applicazione di uno dei metodi appartenenti alle citate classi metodologiche permette la previsione della durata dei singoli componenti edilizi e dell'intero edificio: in sede progettuale è quindi possibile operare delle scelte di materiale, tecnologia, sistema sulla base della previsione fatta. A tal proposito, mediante, ad esempio, l'introduzione del requisito di durabilità all'interno dei capitolati prestazionali è possibile richiedere in sede progettuale la definizione della vita utile dei componenti e dell'intero sistema-edificio, in modo da ottimizzare gli interventi previsti nel piano di manutenzione. In tale ottica, il capitolato prestazionale, recentemente redatto, relativo al progetto di realizzazione del nuovo polo universitario del Politecnico di Milano a Lecco impone precise specifiche circa sia il requisito di durabilità che di quello di affabilità e rappresenta un importante passo in avanti a livello progettuale. La validazione degli elaborati progettuali prodotti per la realizzazione del nuovo polo universitario valuterà dunque anche i contenuti relativi ai requisiti appena citati, costituendo un'utile cartina tornasole dell'effettiva applicazione (anche da parte di non "addetti ai lavori") dei contenuti delle ISO 15686 e della UNI 11156.

## ***2.1 Sperimentazione e raccolta dati***

Il metodo per la valutazione sperimentale della durabilità di componenti per l'edilizia presentato nella UNI 11156 si compone dei seguenti punti:

- definizione: delle esigenze degli utenti, dei requisiti tecnologici, dei requisiti connotanti l'elemento tecnico, del contesto sollecitante (tipo e intensità degli agenti), delle prestazioni richieste, caratterizzazione dei materiali, ecc.;
- preparazione: identificazione dei meccanismi di degrado e degli effetti, scelta dei criteri di misura per le caratteristiche funzionali e delle prestazioni tecnologiche, ricerca bibliografica, ecc.;
- prove preliminari: per testare le metodologie di prova e le tecniche di misura per le caratteristiche funzionali;
- esposizione e misura: la fase in cui si svolgono i test d'invecchiamento, sia naturale sia accelerato, ed in cui si misurano gli effetti degli agenti sui componenti edilizi (degradi);
- analisi ed interpretazione dei risultati: è il momento in cui, analizzando i risultati ottenuti con la sperimentazione (in termini di andamento delle prestazioni nel tempo), viene valutata una vita utile di riferimento per il componente, in determinate condizioni di sollecitazione (di riferimento).

Sulla base di questa metodologia di carattere generale, nel 2003, con il co-finanziamento del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, si è avviata in Italia una ricerca pluriennale su "Metodologie di progettazione e di valutazione della durabilità dei componenti edilizi in processi di produzione sostenibili: valutazione sperimentale di durabilità standard e loro correzioni per l'impiego del componente in specifiche condizioni di utilizzo finalizzate alla programmazione della manutenzione degli edifici". Il programma di ricerca ha sviluppato metodologie applicabili alla progettazione ed alla valutazione della durabilità dei componenti edilizi, sperimentando la valutazione su una gamma di componenti dell'involucro edilizio, quali quelli delle classi di pareti perimetrali verticali, di infissi esterni, di coperture continue e discontinue.

Nel programma hanno partecipato sei unità di ricerca di altrettante sedi universitarie italiane: Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Università di Napoli, Università di Palermo, Università di Brescia e Università di Catania.

I risultati presentati in una collana di pubblicazioni nel convegno di Palermo (settembre, 2006) su "La qualità tecnologica edilizia. La valutazione di durabilità dei componenti edilizi" mirano a configurare un significativo riferimento metodologico-sperimentale per l'innescare di una rete nazionale di sistematica sperimentazione circa la durabilità dei componenti edilizi sul territorio da condursi in laboratori tecnologici (prove di invecchiamento accelerato in condizioni standard) e monitoraggio all'esterno per il "rescaling" temporale della durabilità del componente nei diversi contesti ambientali di sollecitazione, con la finalità di fornire una graduale conoscenza della durabilità.

Il laboratorio di Durabilità dei Componenti Edilizi del Politecnico di Milano, sulla base del metodo normato, ha sviluppato una serie di sperimentazioni svolte per la valutazione della durata in condizioni di riferimento di pareti perimetrali verticali (non portanti) per due tipologie di soluzioni tecniche: una prima soluzione tecnica rappresentata da doppio tavolato in laterizio con interposto isolante termico ed una seconda soluzione tecnica in muratura con isolamento esterno (a cappotto).

Nel caso delle murature tradizionali si sono svolte prove in parallelo accelerate in ambiente condizionato di laboratorio e prove di esposizione ad invecchiamento naturale in esterno sul pacchetto esterno rappresentativo degli strati che direttamente subiscono le influenze degli agenti esterni, verificandone in seguito la possibilità di re-scaling temporale dei risultati: i risultati ricavati dalle prove accelerate sono stati confrontati con quelli letti in ambiente naturale, in modo che la coincidenza degli effetti misurati portasse ad equivalenze tra durate accelerate e durate reali.

In questa fase si è scelto di considerare come variabile del sistema il grado di protezione ottenibile con le pitture, e a questo proposito si è scelto di partire da soluzioni non protette e quindi di valutare in relazione a queste l'incremento del grado di protezione offerto da alcune categorie di pitture, variando di volta in volta tipologia di resina e peso percentuale nella composizione del prodotto verniciante.

Le prove accelerate in laboratorio hanno avuto inizio con la tipologia di campione pacchetto parziale nella versione non protetta e poi protetta dai prodotti vernicianti per la caratterizzazione del comportamento degli strati più esterni della muratura alle sollecitazioni indotte artificialmente e rappresentative delle sollecitazioni dovute agli agenti climatici. Durante la prima fase sperimentale, infatti, nella cella climatica sono stati inseriti quattro campioni alla volta, con la superficie esterna rivolta verso il centro della cella da dove avevano origine gli agenti del ciclo raggiunti i periodi di invecchiamento programmati.

Il ciclo a cui si sono sottoposti i provini nella seconda fase sperimentale possiede una durata complessiva di 6 ore e 25 minuti comprensiva dei transitori ed è strutturato come segue:

<b>FASE</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Umidità relativa (%)</b>	<b>Durata (minuti)</b>
Pioggia	20	95	60
Gelo	-20	95	90
Caldo Umido	55	95	60
Caldo Secco +UV	30	40	80

Tab 1 Composizione del ciclo di invecchiamento accelerato di laboratorio

Le murature sono state sottoposte periodicamente durante il periodo di invecchiamento a prove di caratterizzazione non distruttive: ispezione visiva dell'aspetto della pittura e, attraverso il rilevamento del peso, determinazione della quantità di acqua residua; inoltre si sono eseguite prove distruttive al termine del

periodo di invecchiamento su provini prelevati mediante carotaggio: determinazione della resistenza alla compressione dell'intonaco, dell'adesione del sistema intonaco esterno - laterizio, della porosità dell'intonaco, e, per il sistema intonaco-pittura, dell'assorbimento d'acqua, della resistenza alla diffusione del vapore e della microstruttura con analisi al microscopio. Queste prove sono state eseguite al tempo zero per tutte le tipologie e, ad intervalli regolari dopo cicli d'invecchiamento accelerato.

Gli stessi elementi testati nelle prove accelerate sono stati ricostruiti secondo le varie tipologie di pittura ed esposti verso Sud ad invecchiamento naturale in esterno sia a Milano che a Lugano, ambienti con condizioni climatiche simili ma con livelli di inquinamento diversi. Nel fare ciò si sono utilizzate due tipologie di inclinazione: quella verticale a 90° e quella inclinata a 45°, che, secondo normativa ISO dovrebbe portare ad accelerare l'invecchiamento esterno, variabile che quindi permetterebbe un confronto con i risultati delle prove accelerate molto prima di quanto si potrebbe fare con le prove ad inclinazione verticale. Al fine di valutare lo sviluppo del degrado nel tempo per i diversi campioni si è definita una classificazione dei livelli di degrado attraverso una scala dimensionale (da 0 a 3) basata sull'analisi fotografica:

DL0: film protettivo indenne e intatto

DL1: fessurazioni localizzate o rigonfiamenti lacerati

DL2: fitta rete di microcavillature, fessurazioni

DL3: presenza molto estesa di bolle lacerate, distacchi e cristallizzazione salina della superficie

Questo tipo di classificazione ha consentito la comparabilità delle analisi nel tempo e potrà essere utilizzata per strumentare le schede diagnostiche finalizzate a definire le modalità d'ispezione per questo tipo di soluzioni tecniche; confrontando i livelli di degrado riscontrati nei rilievi dei vari anni tra le due località di Milano e Lugano per le due inclinazioni si ottengono le seguenti conclusioni:

- Lo sviluppo del degrado per i campioni inclinati a 90° esposti a Milano e Lugano risulta molto simile; l'unica differenza sostanziale riguarda i campioni VL90 rivestiti con pittura a basso contenuto di resina vinilversatica che presentano uno sviluppo del degrado più veloce a Milano rispetto a Lugano
- Lo sviluppo del degrado si conferma come più veloce per i campioni inclinati a 45° rispetto ai campioni inclinati a 90°.

Per interpretare i risultati relativi allo sviluppo del degrado rispetto alle due località di esposizione dei provini (Milano e Lugano) si sono confrontati i dati climatici durante gli anni di esposizione dei provini in esterno a partire dal 1999, ottenendo i seguenti risultati:

- a Lugano risulta superiore la quantità di pioggia;
- a Milano risultano superiori i livelli di inquinamento (PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>), di energia solare incidente giornaliera e la temperatura media.

Da queste indicazioni relative agli agenti sollecitanti e dalle modalità di degrado si ipotizza che le pitture vinilversatiche subiscono un degrado maggiore a Milano a

causa di azioni termiche, dovute principalmente alla radiazione UV e si sta valutando l'influenza dell'attacco chimico. Il confronto tra i risultati delle prove di invecchiamento accelerato e di invecchiamento naturale in esterno, in particolare relativamente allo sviluppo dei livelli di degrado (analizzati in superficie ed attraverso sezioni al microscopio) nonché relativamente al decadimento prestazionale del grado protettivo all'acqua hanno consentito di valutare la Vita Utile di Riferimento per le pitture considerate. Innanzitutto l'analisi al microscopio ottico delle lamine sottili e l'analisi fotografica delle superfici ha consentito di correlare i livelli di degrado raggiunti nei campioni esposti in esterno con i campioni sottoposti ad invecchiamento accelerato in laboratorio.

In particolare nel caso dei campioni rivestiti da pitture con alto contenuto di resine vinilversatiche in laboratorio dopo 150 cicli ed esposti in esterno dopo 4 anni di invecchiamento naturale, si ottengono gli stessi livelli di degrado con presenza molto estesa di bolle lacerate, e distacchi. Il fattore di time-rescaling per le pitture a base di resine vinil-versatiche è stato quindi valutato in 4 anni in esterno equivalenti a 150 cicli di invecchiamento accelerato. La valutazione del decadimento prestazionale relativa al grado protettivo all'acqua del rivestimento esterno è stata effettuata la misura dell'assorbimento d'acqua dapprima sui provini con pittura ed in un secondo momento sugli stessi provini senza lo strato di pittura. Il grado protettivo è stato quindi valutato come differenza tra i due valori di assorbimento misurati sul valore di assorbimento dell'intonaco non protetto.

Dai risultati sperimentali effettuati alla fine dei 4 anni di invecchiamento naturale in esterno e dopo 150 cicli di invecchiamento accelerato in laboratorio emerge che, mentre i provini protetti da pittura acrilica mostrano ancora un grado protettivo rilevante, al contrario i provini protetti da pittura vinilversatica, hanno perso completamente le loro caratteristiche prestazionali relative al grado protettivo all'acqua e si può quindi concludere che hanno raggiunto la fine della vita utile.

Si può quindi sinteticamente concludere che:

- le pitture acriliche mostrano un miglior grado protettivo rispetto a quelle vinilversatiche;
- un alto contenuto di resina assicura una maggior protezione;
- le prove di laboratorio sui campioni rivestiti da pittura a base di resine vinilversatiche (ed in particolare a basso contenuto di resina) hanno stabilito che tale pittura termina la sua vita utile, dopo 4 anni di esposizione esterna, corrispondenti a 150 cicli di invecchiamento accelerato in laboratorio.

Il programma sperimentale relativo ai Sistemi di Isolamento Esterno a Cappotto applicato su muratura prevede attualmente lo studio del comportamento nel tempo dello strato esterno, ovvero l'insieme di malta rasante armata e rivestimento protettivo e conseguentemente sono stati realizzate quattro tipologie di provini, con malta rasante con resine acriliche e con resine viniliche, a loro volta con RPAC (Rivestimento Plastico ad Applicazione Continua) oppure con idropittura acrilica. Sono stati realizzati per ogni tipologia due campioni di dimensioni 100 x 100 cm

della soluzione tecnica completa, ovvero supporto murario e cappotto, uno di caratterizzazione iniziale (al tempo zero) ed uno sul quale valutare i degni ed i decadimenti prestazionali nel tempo. Questo ultimo viene sottoposto al ciclo di invecchiamento effettuato posizionandolo davanti alla camera climatica sottoposto quindi alle azioni climatiche esterne sulla faccia esterna e a condizioni controllate sulla faccia interna. Il primo campione ad essere sottoposto a prove presenta una malta rasante con resina vinilversatica e rivestimento a spessore. Il ciclo di invecchiamento accelerato è stato progettato in base all'analisi agenti - azioni - effetti, all'analisi della normativa esistente ed all'analisi dei dati climatici concernenti il contesto di Milano, oltre che in ragione di motivazioni tecniche e di esperienza data dalla precedente sperimentazione.

I	Ciclo estivo	Camera climatica				Laboratorio		Durata [min]
		n°	Fase	T <sub>aria</sub> [°C]	T <sub>sup,prov</sub> [°C]	T <sub>H2O</sub> [°C]	UR [%]	
1	Caldo secco+UV	35	<b>70 ± 5</b>	-	15 ± 2	26 ± 3	60 ± 5	60
2	Pioggia	<b>20</b>	-	20	95	26 ± 3	60 ± 5	60
Durata totale del ciclo in condizioni estive (transitori esclusi)								120

II	Ciclo invernale	Camera climatica				Laboratorio		Durata [min]
		n°	Fase	T <sub>aria</sub> [°C]	T <sub>sup,prov</sub> [°C]	T <sub>H2O</sub> [°C]	UR [%]	
1	Pioggia	<b>5 ± 1</b>	-	5 ± 1	100	19 ± 2	60 ± 5	60
2	Gelo	20 ± 2	<b>-20 ± 2</b>	-	-	19 ± 2	60 ± 5	180
3	Caldo invernale	30 ± 2	<b>30 ± 2</b>	-	50 ± 2	19 ± 2	50 ± 5	60
Durata totale del ciclo in condizioni invernali (transitori esclusi)								300

Tab. 2 Sottocicli di invecchiamento accelerato (in grassetto corsivo i valori di set-point)

Al fine di valutare il decadimento prestazionale della soluzione tecnica sono state adottate diverse tipologie di prova e misura delle caratteristiche funzionali:

- distruttive, al tempo zero ed alla fine di Vita Utile;
- non distruttive: ad intervalli costanti ed in continuo

I primi risultati ottenuti sono relativi al degrado superficiale del rivestimento a spessore che presenta le prime bolle diffuse dopo la prima serie di cicli di invecchiamento accelerato, di cui 50 estivi e 10 invernali. Le prossime fasi riguarderanno, a conclusione delle prove di invecchiamento accelerato in laboratorio, la valutazione finale del decadimento prestazionale fino al limite

prestazionale relativo al raggiungimento della fine di Vita Utile in condizioni di laboratorio; il confronto dei degradi e decadimenti prestazionali ottenuti in laboratorio con quelli risultanti dal rilievo su edifici reali ovvero da esposizione ad invecchiamento naturale in esterno consentirà infine la valutazione del re-scaling temporale e della Vita Utile di Riferimento effettiva.

## **2.2 Valutazione dell'affidabilità**

Il metodo di valutazione dell'affidabilità porta ad una valutazione qualitativa della probabilità di non accadimento di guasto del componente edilizio nell'arco di tempo che va dal cosiddetto tempo zero al tempo di durata o tempo di vita utile spontanea del componente stesso in esercizio.

Il metodo sviluppato dal Politecnico di Milano è stato recepito nella seconda parte della norma UNI 11156 del 2006 e costituisce un supporto utile nella fasi di progettazione della soluzione tecnica, in assenza di dati statistici relativi al tasso di guasto. Per esso si addivene ad una stima della affidabilità intesa come propensione di elementi tecnici espressa tramite valori numerici adimensionali, in scala 0-1 o tramite valori in percentuale in scala 0-100%. In relazione all'intervallo di valori assunti, il complemento a 1 (o a 100) del valore stimato di propensione all'affidabilità rappresenta il rischio di entrata in crisi dell'elemento durante la vita utile. Il che significa che bassi valori stimati di propensione all'affidabilità implicano elevato rischio che il componente si guasti prima di raggiungere il tempo di durata. Il progetto di una soluzione tecnica è valutato secondo le seguenti quattro chiavi di lettura.

La prima chiave di lettura attiene al grado di equilibrio nella distribuzione delle funzioni insito nella soluzione metaprogettuale ed è rivolta ad evidenziare il grado di equilibrio nella distribuzione delle funzioni, attraverso l'esame del modello funzionale che presiede il progetto dell'elemento tecnico. Detto grado di equilibrio è indice di intensità di affaticamento cui l'elemento si troverà ad essere soggetto nella sua fase di esercizio: si tratta dell'indice di affidabilità funzionale dell'elemento.

La seconda chiave di lettura attiene all'analisi oggettuale dell'elemento rivolta ad evidenziare il grado di prevedibile rispondenza dell'esecuzione dell'elemento alle intenzionalità di progetto. Detto grado di rispondenza esecutiva è insito nella soluzione progettuale ed è indice dell'imprecisione prevedibile nell'esecuzione, portatrice di rischi di cadute prestazionali nella fase di esercizio: si tratta dell'indice di affidabilità esecutiva dell'elemento.

La terza chiave di lettura attiene all'analisi del progetto rivolta ad evidenziare le potenziali variazioni dimensionali che si potranno manifestare nell'esercizio dell'elemento a fronte del contesto sollecitante (variabilità inerente) in generale interessanti in misura diversa gli elementi funzionali costituenti l'elemento tecnico; la conseguente non uniforme ginnastica dimensionale tra i diversi elementi funzionali dell'elemento tecnico potrebbe comportare rischi di precoce perdita di

integrità funzionale dell'elemento stesso: si tratta dell'indice di affidabilità inerente dell'elemento.

La quarta chiave di lettura attiene all'analisi del progetto rivolta ad evidenziare le eventuali incompatibilità chimico-fisiche che possono caratterizzare i diversi materiali costituenti l'elemento tecnico che si interfacciano tra loro. La presenza di incompatibilità di questo genere comporta rischi particolarmente critici per la conservazione nel tempo della struttura dell'elemento tecnico: si tratta dell'indice di affidabilità critica.

### **3. Gestione del ciclo di vita**

In ambito internazionale si è recentemente stretta una collaborazione tra Italia, Svezia, Francia, Norvegia, Inghilterra, Germania e il CIB, che si è tradotta in un progetto di ricerca europeo, coordinato dal Politecnico di Milano, che ha come obiettivo lo sviluppo e l'applicazione di sistemi di Life Cycle Management (LMS) rivolti alle piccole e medie imprese (SME: Small and Medium Enterprises) coinvolte nei processi di pianificazione e gestione della manutenzione nel settore della costruzione. Le piccole e medie imprese hanno quindi un ruolo di fruitori, ma anche di sviluppatori e fornitori dell'informazione relativa alla vita utile nell'applicazione di strumenti innovativi che gli permettano di garantire un servizio qualitativamente migliore ai loro clienti.

Il LMS sviluppato farà riferimento allo standard IFC (Industrial Foundation Classes) di IAI (International Alliance for Interoperability) per la definizione di "Building Information Model" (BIM), facilitando l'interoperabilità nello scambio dell'informazione. Il progetto permette quindi alle piccole e medie imprese di usufruire dei benefici ottenuti attraverso questa piattaforma e di contribuire alla modernizzazione della fruizione del servizio attraverso l'applicazione degli ICT-tools.

L'obiettivo ultimo infatti è quello di sviluppare ICT-tools interoperabili (servizi web) per lavori di pianificazione e gestione, in risposta alle richieste di progettisti, manutentori, real estate e facility managers. Tali strumenti saranno focalizzati sulla vita utile, sulla manutenzione e sugli aspetti in termini di sostenibilità, utilizzando tutte le informazioni finora raccolte sui metodi di previsione della vita utile.

Oltre a ciò, così come definito nella prima fase del programma di lavoro, si intendono creare dei gruppi Europei di lavoro per la definizione dei requisiti dal punto di vista dell'utente nelle fasi di progettazione e gestione

Un'altra collaborazione di rilevante importanza ai fini dello sviluppo di strumenti per la predizione della vita utile si è stretta tra il Politecnico di Milano e il CSTB ed è finalizzata alla realizzazione di una banca dati delle reference service life, al fine di permettere l'effettiva applicazione dei metodi fattoriali sopra descritti. Tale banca dati sarà un punto di convergenza dei dati provenienti da diverse realtà produttive, tutte coinvolte ed interessate alla durabilità dei componenti edilizi: progettisti, real estate, produttori e laboratori. Da ultimo, sempre a livello

Internazionale, il Politecnico di Milano si occuperà per conto del CIB della definizione dello stato dell'arte relativo appunto ai metodi di valutazione sperimentale della durabilità dei componenti e dei sistemi edilizi finalizzato appunto a costituire esso stesso un valido strumento e una solida base di partenza per successivi sviluppi.

## **4. Conclusioni**

I metodi di valutazione di durabilità dei componenti edilizi sviluppati in questi anni rappresentano uno strumento necessario per la valutazione della durabilità degli edifici nelle fasi di progettazione, per la programmazione gestionale dell'intervento, per la valutazione dei costi relativi al Ciclo di Vita, consentendo una ottimizzazione delle scelte progettuali dal punto di vista della sostenibilità dell'intervento, sia dal punto di vista economico (Life Cycle Cost) che dal punto di vista ambientale (Life Cycle Assessment).

In particolare la normativa UNI 11156 sulla "Valutazione delle durabilità dei componenti edilizi" rappresenta un utile riferimento italiano, conforme all'approccio internazionale delle norme ISO 15686 su Service Life Planning.

Il programma di ricerca nazionale ha consentito la costituzione di una rete di laboratori tecnologici nelle Università Italiane e la pubblicazione di risultati assai utili per la valutazione sperimentale delle durabilità.

Sulla base di questi risultati si aprono prospettive molto interessanti a livello internazionale di collaborazione su progetti specifici di ricerca e di coordinamento in ambito CIB. Si ritiene quindi importante che si prosegua nelle attività di ricerca a livello nazionale per poter mantenere la posizione di rilievo ottenuta a livello internazionale e per poter concludere le ricerche intraprese sulla durabilità dei componenti edilizi. In particolare si ritiene importante definire riferimenti metodologici (e normativi) per la valutazione della durabilità di componenti facenti capo alle classi di elementi tecnici oggetto di ricerca Nazionale ed iniziare a costruire una banca dati italiana relativa alla durabilità dei componenti.

Infine vi è la necessità di coniugare l'approccio durabilistica con i metodi per la programmazione della manutenzione degli edifici, tenendo conto degli aspetti economici, di sostenibilità ambientale e di valutazione del rischio tecnico - economico.

## **5. Citazioni e bibliografia**

1. Daniotti, B., (2005), La durabilità in edilizia, CUSL, Milano.
2. Daniotti, B., [cura di] (2006), La valutazione della durabilità di pareti perimetrali verticali non portanti, Ed. Editecnica, Palermo.
3. UNI 11156:06, La valutazione della durabilità dei componenti edilizi.