

aprile 2020

RIVISTA FONDATA  
NEL 1979  
ANNO XLII

# L'UFFICIO TECNICO

Poste Italiane S.P.A. - Spedizione in abbonamento postale - Aut. n. 372/2019 Periodico ROC - ISSN 0394-8293 - euro 41,00

MENSILE DI TECNICA EDILIZIA, URBANISTICA ED AMBIENTE PER AMMINISTRAZIONI PUBBLICHE PROFESSIONISTI E COSTRUTTORI

**PASSAGGI SICURI:**  
la manutenzione  
di ponti e gallerie

**Centro abitato:**  
nozione giuridica e  
regole per definirlo

**Mancato recepimento**  
del regolamento edilizio  
tipo. Cosa succede?

**Sicurezza in caso di**  
incendio: BIM e Fire  
Safety Engineering



**NOVITÀ!**



LA VOCE  
DEL DIRETTORE

  
**MAGGIOLI  
EDITORE**

# PROGETTO PONTI E INFRASTRUTTURE



Passaggi sicuri  
Ponti, gallerie, infrastrutture

istock.com/CHUNYIP WONG



La manutenzione delle infrastrutture e il ciclo di vita di ponti e gallerie  
*di Carlo Beltrami*

Verifica e progettazione sismica prestazionale di strutture ospedaliere –  
Parte II: applicazione a caso studio  
*di Mattia Francioli, Francesco Petrini, Franco Bontempi*

**L'UFFICIO  
TECNICO**

Partner tecnici



Partner istituzionali e Patrocini



**MAGGIOLI  
EDITORE**

## La manutenzione delle infrastrutture e il ciclo di vita di ponti e gallerie

► di Carlo Beltrami

Direttore Tecnico della Lombardi Ingegneria srl

Osservazioni, analisi e proposte di modelli dell'ingegneria civile e di gestione del patrimonio delle infrastrutture con il fine di intraprendere un percorso virtuoso nella strategia di mantenimento o eventuale rinnovo, fondandosi su principi di robustezza, durabilità e sostenibilità.

È ormai diffusa la percezione in Italia e in molti paesi avanzati (*in primis* gli Stati Uniti d'America, vedi Figura 1) che un'aliquota importante dell'esteso patrimonio delle opere d'arte che compongono le attuali infrastrutture stradali e ferroviarie in questi ultimi anni hanno raggiunto o sono prossimi al termine del proprio ciclo di vita.

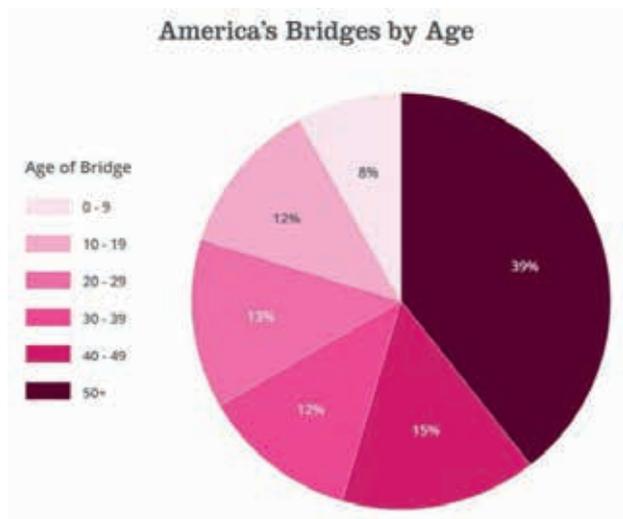


Figura 1 – Distribuzione di età dei ponti negli Stati Uniti d'America, il 39% ha 50 o più anni di vita

In Francia, una recente verifica del ministero dei trasporti sottolinea che il patrimonio stradale del paese è indebolito da decenni di mancata manutenzione. Un terzo dei ponti francesi è da riparare, e il 7% di questi presenta “rischi di crollo” e il 17% delle stra-

de richiede interventi strutturali. Un ponte viene riparato in media solo 22 anni dopo la comparsa dei primi segni di deterioramento.

Negli Stati Uniti, secondo un rapporto pubblicato a gennaio dall'American Road & Transportation Builders Association (ARTBA) 54.259 ponti (su un totale di 612.677) presentano “carenze strutturali”. Questi ponti hanno un'età media di 67 anni e ogni giorno sono attraversati dai veicoli 174 milioni di volte.

Tale processo si sta determinando a seguito di molteplici fattori legati a una fase storica piuttosto ampia e duratura di continuo sviluppo e ampliamento delle reti di trasporto e all'incremento del traffico, sia in termini di maggiore frequenza che di maggiore intensità di carico dei mezzi.

In Italia, come noto, la rete ferroviaria ebbe un impulso notevole alla fine del '800 giungendo già nel 1906 a un considerevole sviluppo di 13.075 km. Le prime autostrade italiane vennero pionieristicamente costruite a partire dagli anni Venti, la crescita considerevole della rete autostradale avvenne nel secondo dopoguerra passando da 1.169 km nel 1960 a 5.329 km nel 1975. Allo sviluppo importante delle autostrade, avviato intorno alla metà degli anni Cinquanta, ha coinciso un mantenimento nell'estensione della rete ferroviaria che dal 1955 al 1972 ha mantenuto una rete pressoché costante.

Nel 1973, quando il boom autostradale volse al termine, l'Italia risultava, per lunghezza complessiva, la terza nazione al mondo dopo gli Stati Uniti e la Germania. Attualmente la rete autostradale si attesta a una estensione di 6.943 km (2017) mentre la rete ferroviaria ha 16'777 km (2018) di linee in esercizio (di cui circa 1.500 km di AV/AC dopo il 2005).

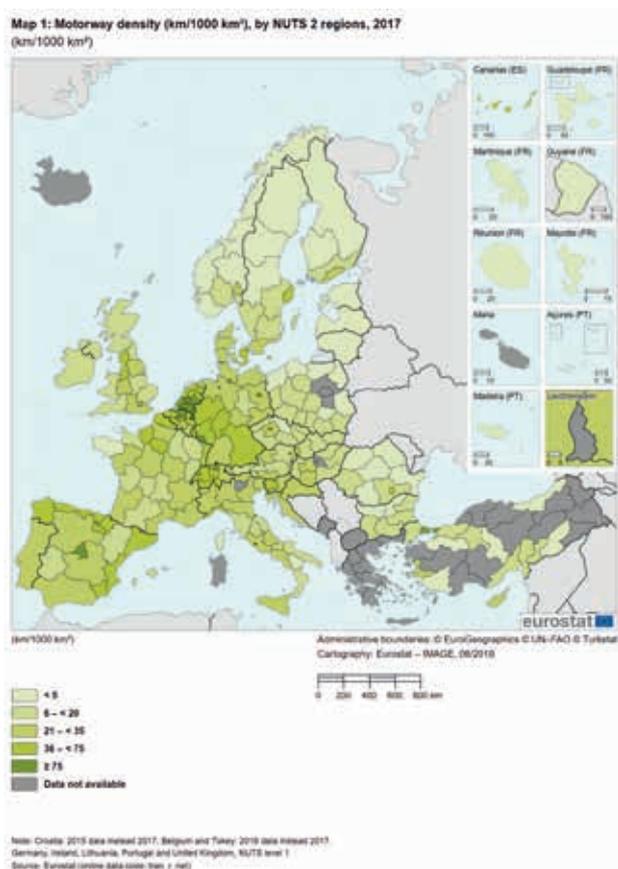


Figura 2 – Densità della rete autostradale in Europa (km / 1000 km<sup>2</sup>)

La trasformazione delle infrastrutture in Italia, e delle relative opere d'arte, è tuttavia avvenuta non solo per fasi di maggiore estensione chilometrica della rete ma anche per successivi ampliamenti o rifacimenti dettati principalmente dal crescente volume di traffico e conseguente necessità di incrementare la larghezza delle carreggiate e il numero di corsie (es. A4 Torino-Trieste o A1 Milano-Bologna) o in alternativa per migliorare i limiti dei tracciati inizialmente previsti (es. A2 Salerno-Reggio Calabria, A1 Bologna-Firenze, A7 Genova-Serravalle per la sola carreggiata direzione Milano). Nella rete ferroviaria il rinnovo è stato causato principalmente dalla sopravvenuta obsolescenza (per evoluzione delle tecnologie) e anche a causa degli eventi bellici delle due guerre, essendo gran parte della rete già sviluppata ai primi del '900.

Nel processo di costruzione delle reti di infrastrutture italiane, il patrimonio di opere d'arte (gallerie, ponti e viadotti) risulta di particolare rilevanza rispetto anche ad altri Paesi europei (vedi Germania, Francia e Regno Unito) a causa della particolare conformazione e orografia del territorio.

La grande crescita che la nostra rete autostradale, insieme a quella tedesca e francese, hanno avuto fino agli anni Settanta ha subito tuttavia una forte frenata nel suo sviluppo già nel 1980. Tale rallentamento ha avuto conseguenze in termini della congestione della rete autostradale: 1,80 km di rete autostradale ogni 10.000 autovetture, resta al di sotto della media europea (3,4 km per 10.000 autovetture). Ad ulteriore evidenza del trend in atto negli ultimi decenni la rete autostradale italiana è passata dai 4'000 km di estensione nel 1970 ai circa 7.000 km attuali, con un incremento del +60%, che però è inferiore a quello fatto registrare dal volume del traffico autostradale, passato da poco più di 10 miliardi di km percorsi ad oltre 70 miliardi di km, con un incremento del +700%.

L'evoluzione negli ultimi decenni dello scenario trasportistico si sovrappone purtroppo in modo sfavorevole alle caratteristiche in termini di "età" della maggior parte delle opere d'arte (ponti e gallerie) legate delle infrastrutture ferroviarie (eseguite dalla metà del 1800 e fino agli anni '50) ed in particolare modo delle infrastrutture autostradali (eseguite dagli anni '20 fino agli anni '70). Dopo aver costituito un fattore determinante per la crescita economica del Paese molte delle opere d'arte di cui oggi usufruiamo sono state mantenute in esercizio da più di 50-70 anni e probabilmente sono vicine al termine del ciclo di vita, anche il peggioramento delle condizioni ambientali e climatiche oltre all'incremento costante dello sfruttamento trasportistico hanno certamente influenzato in modo negativo. Similmente tutto questo sta accadendo anche in altri paesi industrializzati, dove purtroppo inaspettati crolli di opere d'arte (principalmente ponti e viadotti) si sono susseguiti e hanno generato una presa di coscienza della società intera per la necessità di intraprendere un piano di rinnovo e ricostruzione (es. si veda ad esempio il programma "Bridging the gap" della FHWA negli USA).

Un tema centrale dell'ingegneria civile contemporanea è quindi sempre più comprendere qual è il termi-

ne temporale utile di ogni costruzione affinché conservi un grado di sicurezza e sufficiente affidabilità in termini di prestazioni e funzionalità. Per “*vita utile rimanente*” si intende un periodo di vita attesa rimanente di una struttura esistente, all'interno del quale si attende che la struttura operi con la manutenzione ordinaria. Per quest'ultimo termine si intende tutti gli atti tecnici e amministrativi volti a mantenere l'opera il più aderente possibile alla sua configurazione originaria.

Questo tema sta quindi emergendo fra i più rilevanti per il settore dell'ingegneria civile, anche pensando agli importanti risvolti socioeconomici sia in termini di impatto indotto dalla perdita delle infrastrutture esistenti sia in termini di nuova opportunità economica data dal loro rinnovo e/o ricostruzione, come già peraltro successo in diverse epoche della nostra storia.

In termini di vita operativa le costruzioni civili esibiscono generalmente tempi assai più lunghi di quella dei sistemi industriali, veicoli di ogni tipo inclusi,

e la fenomenologia del degrado e dell'obsolescenza si manifesta generalmente in tempi notevolmente superiori rispetto a questi. Questo comporta che le opere d'arte civili principali che utilizziamo quotidianamente (ponti e gallerie in primis), che oggi valutiamo prossimi alla fine del ciclo di vita utile, sono state progettate e costruite da due a quattro generazioni prima della nostra, con tutto quello che ne consegue in termini di diversa sensibilità e consapevolezza tecnica sui temi della robustezza e durabilità strutturale oltre alla diversa gestione di qualità dei materiali (non è detto tuttavia in generale che la produzione del materiale di costruzioni in epoche passate sia stato di qualità inferiore a quella attuale) o disponibilità di nuove e diverse tecnologie costruttive o di materiali avanzati.

Il degrado di un sistema strutturale è comunque il prodotto di fenomeni complessi e inoltre le diverse componenti strutturali tendono a degradarsi in modo differenziato. Conseguentemente, la rappresentazio-



ne del degrado attraverso modelli matematici rigorosi è tutt'altro che semplice.

Recentemente sono stati proposti vari modelli semplificati che utilizzano un solo parametro sintetico che rappresenta l'efficienza del sistema strutturale in funzione del tempo. L'effetto del degrado è quindi rappresentato da funzioni decrescenti nel tempo con leggi esponenziali, definite *curve di ciclo di vita* o *curve di decadimento* (figura 3).

Quando un indice di prestazione di un'opera raggiunge il suo valore limite (es insufficiente resistenza, eccesso di deformazione, ecc.), la vita operativa della struttura si considera conclusa. In linea di principio, si può ritenere che detto limite sia raggiunto al termine della vita di progetto. Tuttavia, se durante la vita della struttura sono messi in atto interventi di manutenzione capaci di ristabilire il valore iniziale dell'indice, la vita operativa può essere estesa. Teoricamente, ripetendo gli interventi di manutenzione, la vita operativa di una struttura potrebbe essere estesa all'infinito ma occorre considerare che gli interventi di manutenzione hanno un costo (funzione ovviamente del degrado di recupero dell'indice di efficienza rispetto al valore di progetto) e quindi, con opportune analisi costi/beneficio, si possono definire strategie ottimali di gestione che altresì prevedano, oltre all'opzione di non procedere ad alcun intervento (opzione zero), la demolizione o la completa riabilitazione della struttura quando, per effetto dell'obsolescenza funzionale, il cumulo dei benefici attesi risulti inferiore ai costi cumulati.

Lo "*stato dell'arte*" della tecnica delle costruzioni sulla materia è tuttavia ancora limitato, solo nelle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2005 e successive (2008 e 2018) è stato introdotto il tema della verifica delle costruzioni esistenti, seppur ancora in forma embrionale e dedicata principalmente alla sicurezza delle costruzioni (tipicamente edifici) nei confronti del sisma. Pertanto, risulta essenziale mettere al centro dell'attività ingegneristica non solo la fase di progettazione delle nuove opere ma anche e a maggiore ragione lo studio dell'intero ciclo di vita, solo 10 anni fa nel 2008 è nata per raccogliere le migliori esperienze internazionali una associazione dedicata al tema (IALLCE, International Association for Life-Cycle Civil Engineering). Tale sensibilità risulta ben più sviluppata nel tempo storicamente nei campi dell'ingegneria industriale (meccanica, chimica, aeronautica,

navale, ecc.) dove l'efficienza del sistema risulta avere una più diretta conseguenza sulla funzionalità ovvero il sopraggiungere di guasti comporta pericoli di grande impatto sociale (caduta di un aereo, esplosione di impianti pericolosi, ecc.) o mette fuori uso beni di ingente valore economico (guasto navale, fermo di impianti di produzione, ecc.).

Mettere al centro il ciclo di vita delle opere civili significa anche potersi esprimere in qualsiasi periodo di funzionalità in termini di prestazioni, capacità ispettiva nei confronti di inevitabili fenomeni di degrado (attività di sorveglianza), capacità di attuare in modo costante interventi manutentivi sull'opera esistente valutandone l'efficacia nel tempo.

#### **La manutenzione delle infrastrutture**

La manutenzione è definita come un insieme di azioni intraprese per mantenere un sistema (ad es. macchina, edificio, infrastruttura) che opera a un livello di servizio prestabilito o superiore. La manutenzione differisce dalla ricostruzione in quanto pianificata ed eseguita durante la fase operativa del sistema, prima della pianificata sostituzione completa. La definizione di manutenzione per le British Standards BS4778-3.1 (1991) o BS3811 (1993): "*È il processo di mantenimento di un elemento in uno stato operativo sia prevenendo una transizione verso uno stato di guasto/rottura sia perseguendo un ripristino a uno stato operativo a seguito di un guasto/rottura*".

Le attività di manutenzione comprendono tutte le attività fisiche intese ad aumentare la vita utile del sistema. Queste attività potrebbero essere avviate perché si osserva che il sistema si trova in una particolare condizione identificata come guasto/rottura (generalmente riferite a un'attività di manutenzione "correttiva") oppure possono essere avviate prima che tale guasto/rottura si sia manifestato (generalmente riferite a un'attività di manutenzione "preventiva").

La manutenzione comprende sia azioni amministrative che tecniche, le quali associate consentono di preservare un sistema o ripristinarlo rispetto a un livello in cui può esercitare la funzione richiesta. I vantaggi a lungo termine della manutenzione "preventiva" e "correttiva" comportano un miglioramento della disponibilità e il prolungamento della vita utile del sistema (figura 3), riducendo i costi di sostituzione, riducendo i tempi di fermo del sistema e migliorando la modalità di gestione.

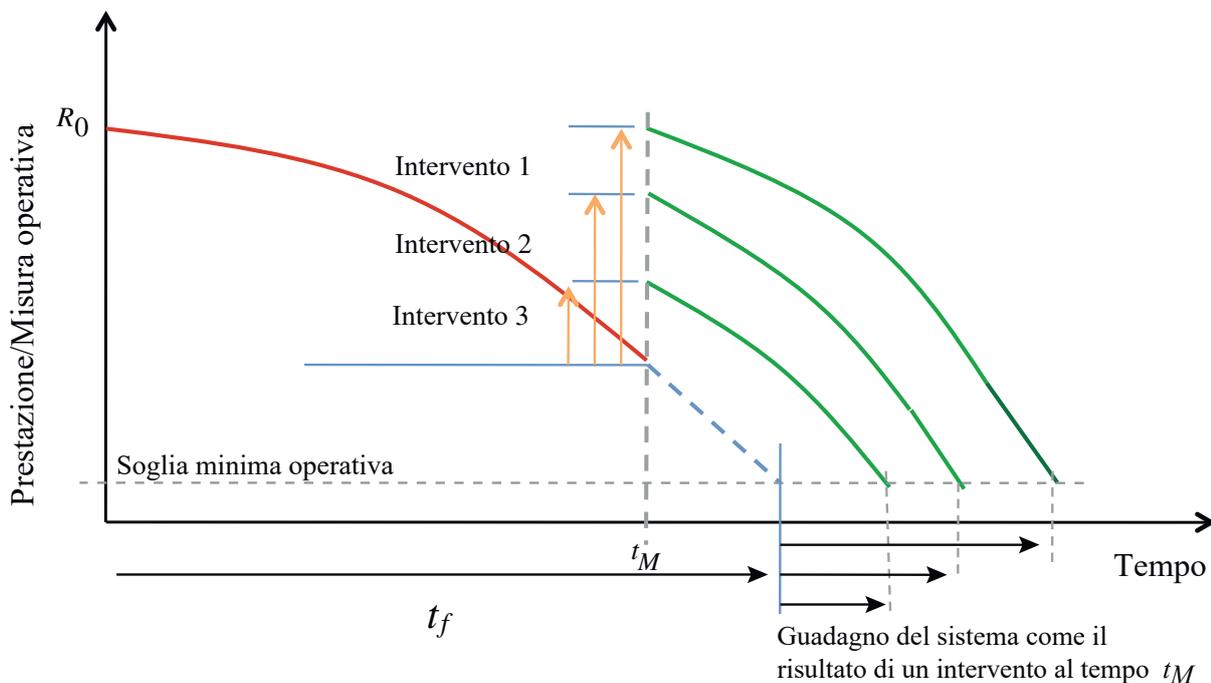


Figura 3 – Curva di ciclo di vita (o di decadimento) dell'opera e l'effetto indotto da interventi manutentivi di diverso livello [1]

La manutenzione “preventiva” comprende tutte le azioni volte a ridurre i costi futuri associati a una insufficiente prestazione (vale a dire, il calo degli indicatori di prestazione al di sotto di un minimo livello operativo) mentre il sistema è in condizioni operative soddisfacenti. La manutenzione “preventiva” è associata ad attività come la sostituzione programmata dei componenti (es. appoggi o barriere di sicurezza nei ponti, impianti nelle gallerie) e al retrofit strutturale (es. adeguamento della pericolosità sismica del sito) o ammodernamento e comprende anche la cosiddetta manutenzione essenziale, quali sono le attività necessarie per evitare una perdita di prestazione/sicurezza/funzionalità.

In molti casi, la manutenzione “preventiva” può richiedere che l'opera (ponte o galleria) venga messa fuori servizio per qualche tempo, e pertanto possono essere associati tempi di inattività, ma l'obiettivo è che questi tempi siano minimi e le attività possano essere eseguite durante i periodi di minimo funzionamento (es. evitando le ore di punta del traffico,

ovvero tipicamente nelle ore notturne). La manutenzione “preventiva” può o meno basarsi sul monitoraggio delle condizioni del sistema mentre è in funzione. D'altra parte, la manutenzione “correttiva” si concentra sugli interventi richiesti una volta che si è verificata una insufficiente prestazione dell'opera. La manutenzione “correttiva” è spesso più costosa della manutenzione “preventiva” poiché il costo può includere, oltre al costo di riparazione, maggiori costi di fermo dell'infrastruttura (ponti e gallerie chiuse per un ampio lasso di tempo) o la sostituzione dell'intero sistema strutturale (ricostruzione di campate di ponti o di rivestimenti di gallerie). Mentre la manutenzione “preventiva” viene generalmente eseguita in base a una politica predefinita (ad esempio fissa intervalli di tempo), la manutenzione “correttiva” viene eseguita a intervalli di tempo imprevedibili perché i tempi in cui si manifesta l'insufficiente prestazione non possono essere conosciuto a priori.

Le attività di manutenzione possono essere classificate anche in base all'intensità dell'intervento; que-

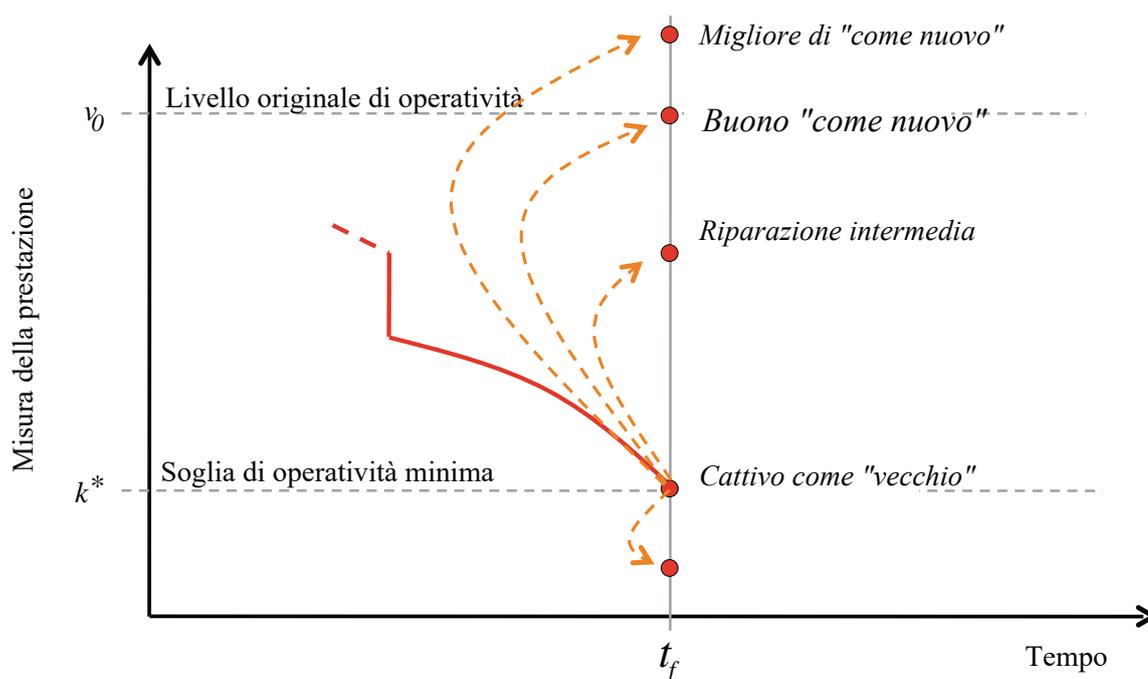


Figura 4 – Classificazione dell'azione di manutenzione in funzione dell'intensità dell'intervento [1]

sto corrisponde nell'aumento del miglioramento della prestazione del sistema rispetto al suo stato originale. Pertanto, se la manutenzione è richiesta ed eseguita, si possono considerare quattro possibili strategie (figura 4).

- **Manutenzione perfetta:** l'intervento riporta il sistema alle condizioni iniziali ("buono come nuovo").
- **Manutenzione minima:** in caso di guasto del sistema, l'intervento di manutenzione porta il sistema a uno stato operativo ma non migliora materialmente la condizione che si è determinata poco prima del guasto ("cattivo come vecchio").
- **Manutenzione imperfetta:** le condizioni del sistema dopo l'intervento di manutenzione sono intermedie tra "buono come nuovo" e "cattivo come vecchio".
- **Manutenzione aggiornata:** il sistema viene portato dopo l'intervento di manutenzione ad una condizione prestazionale migliore rispetto alla condizione iniziale ("migliore della nuova").

La pianificazione della manutenzione riguarda la stima dei tempi degli interventi e l'estensione delle riparazioni. Si basa comunemente su linee guida generali e il giudizio ingegneristico; nella maggior parte dei casi è di tipo prescrittivo e non tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'infrastruttura o non tiene in conto in modo ottimale i dati prestazionali osservati (ad esempio le ispezioni).

I tempi della pianificazione e sviluppo di un programma di manutenzione sono comunemente espressi come un problema di ottimizzazione il cui obiettivo è massimizzare la disponibilità dell'infrastruttura al minimo costo. Ciò significa mantenere l'infrastruttura operativa in condizioni accettabili durante il periodo di tempo massimo. Le Strategie di manutenzione classiche includono le seguenti.

- **Manutenzione periodica:** consiste in ispezioni, manutenzioni e aggiornamenti periodici di parti dell'infrastruttura per prevenire guasti; si chiama anche manutenzione basata sul tempo.

- **Manutenzione predittiva:** viene eseguita in base ai risultati di ispezione o diagnosi/monitoraggi del sistema. Rispetto alla manutenzione periodica, la manutenzione predittiva può essere interpretata come manutenzione basata sulle condizioni effettive.
- **Manutenzione correttiva:** viene eseguita solo dopo il guasto dell'infrastruttura, portando quindi l'infrastruttura di nuovo in servizio.

Molte politiche di manutenzione per sistemi o componenti sono state riportate nella letteratura, esse possono essere raggruppate come segue:

- *periodica:* la manutenzione viene eseguita a intervalli di tempo fissi, indipendentemente dalla storia del guasto.
- *a seconda dell'età:* la manutenzione viene eseguita a un'età prestabilita o riparata in caso di fallimento;
- *limite di guasto:* la manutenzione viene eseguita solo quando il tasso di guasto (o qualsiasi indicatore di prestazione) raggiunge un livello di soglia predefinito; quindi i guasti nel sistema vengono riparati;
- *sequenziale:* la manutenzione viene eseguita a intervalli, che diventano più brevi col tempo;

- *limite di riparazione:* questa politica valuta il sistema in caso di guasto ed è suddivisa in: *costo limite di riparazione* e *termine temporale di riparazione*. Nel primo caso il sistema viene riparato se il costo della riparazione è inferiore a un valore predefinito; altrimenti, l'elemento viene sostituito. Nel secondo caso, il limite è imposto in base al tempo di riparazione anziché al costo;
- *conteggio dei numeri di riparazione:* il sistema viene sostituito in caso di "x" errori; i primi "x - 1" errori sono indicati come riparazione minima. Dopo la sostituzione, il processo riparte da zero;
- *basato sulla garanzia:* la manutenzione e la sostituzione sono definite in base alle condizioni specificate nelle politiche adottate di garanzia.

In molti sistemi complessi, in particolare i sistemi di infrastruttura, potrebbe non essere possibile osservare in modo continuativo le condizioni del sistema. In tali casi, ispezioni prestabilite volte a determinare le condizioni del sistema in un determinato momento giocano un ruolo fondamentale e sono parte integrante di una strategia di manutenzione. In molti casi, le ispezioni possono determinare il livello di degrado riscontrato dal sistema; in altri, come nei sistemi

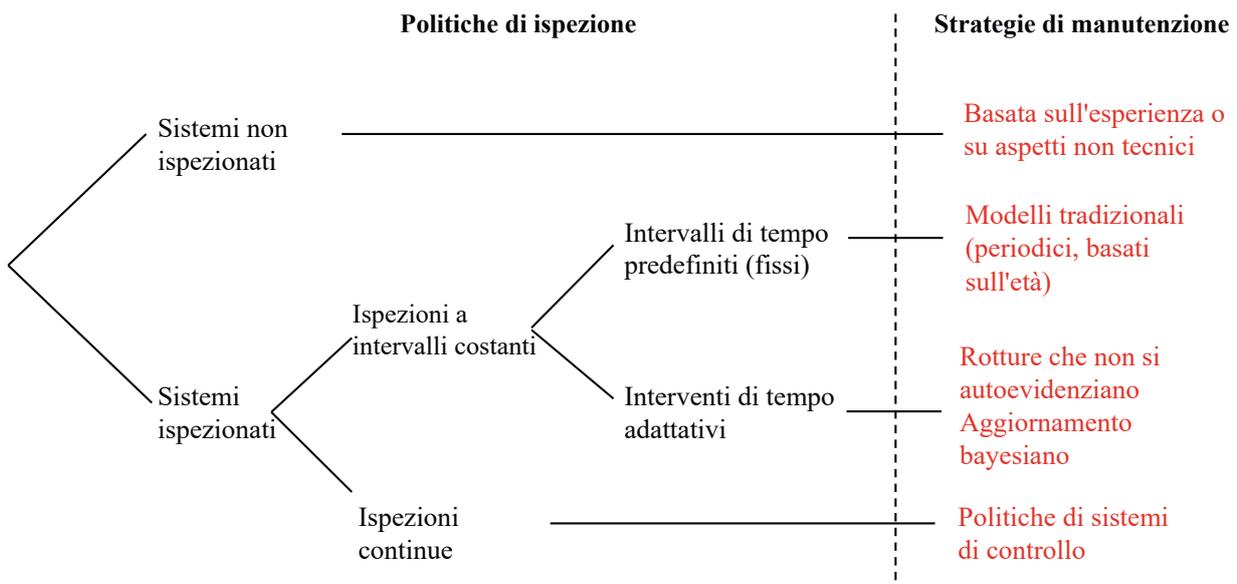


Figura 5 – Relazione fra politiche di ispezione e di manutenzione [1]



di stand-by o di protezione, possono semplicemente determinare se il sistema è operativo o meno. In entrambi i casi, le ispezioni restituiscono informazioni preziose al gestore che può utilizzarle nella pianificazione di futuri interventi. Tuttavia, le ispezioni comportano costi che devono essere considerati nella pianificazione della manutenzione. Per esempio, le ispezioni possono richiedere che l'operatività dell'infrastruttura venga interrotta o ridotta, risultando in una perdita o riduzione della funzionalità durante l'ispezione (classico esempio l'uso di *bay-bridge* per l'ispezione di intradosso delle travate dei ponti, che prevede l'occupazione parziale della carreggiata). Le ispezioni possono richiedere prove distruttive sui materiali o componenti, nel qual caso saranno previsti costi di sostituzione o riparazione da sostenere indipendentemente dallo stato effettivo del sistema. L'ispezione di sistemi in località remote (ad esempio come le pile di ponti nell'alveo dei fiumi) può comportare

costi considerevoli per una squadra d'ispezione per accedere all'opera. Questi costi dovrebbero essere inclusi nella determinazione di un costo totale del piano di manutenzione per sistemi che richiedono ispezione.

La definizione di una strategia di manutenzione è fortemente correlata alla politica di ispezione. Nella figura 5 si illustra una struttura ad albero che descrive la relazione tra le politiche di ispezione e manutenzione. Lo schema non intende essere completo ma sottolineare che la strategia per valutare lo stato (condizione) di un sistema nel tempo è fondamentale per un'efficace strategia di manutenzione. In molti studi il problema della manutenzione è affrontato indipendentemente dalla politica di ispezione; questo è equivalente al primo caso nella figura 5. Tuttavia, una politica di manutenzione ottimale richiede il bilanciamento del rapporto costi / benefici di un particolare programma di ispezione. Alcuni fattori che influenza-

no tale decisione includono costi diretti, accessibilità in sito, e impatto sulla disponibilità e criticità del sistema, tra gli altri.

In base alle tematiche sopra esposte e all'esperienza negli ultimi decenni nel campo della progettazione e consulenza dell'ingegneria civile nelle infrastrutture in Italia e all'estero, si espongono di seguito alcune riflessioni, spunti e proposte in merito a un possibile migliore sviluppo del tema "manutenzione" nelle opere civili attinenti alle infrastrutture in Italia.

Si auspica **un maggiore grado di interconnessione e un maggiore approfondimento sulla trattazione della durabilità nelle diverse fasi trasversali alla vita delle opere**, ovvero: fra (i) concezione (progettazione), (ii) esecuzione (direzione lavori e collaudo) ed (iii) esercizio (gestione). In particolare, si osserva:

- i. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (esempio NTC2018) chiariscono che l'effettiva durata della costruzione non è valutabile in sede progettuale, venendo a dipendere da eventi futuri fuori dal controllo del progettista. Di fatto, la grande maggioranza delle costruzioni nell'ambito delle infrastrutture ha avuto e ha, anche attraverso successivi interventi di ripristino manutentivo, una durata effettiva molto maggiore della vita nominale (tipicamente 50 anni per costruzioni normali) quantificata nelle NTC. Tuttavia, il termine "vita nominale" nelle NTC incide nella progettazione di nuove strutture per la definizione di alcuni fattori: durabilità, valore del copriferro minimo, periodo di riferimento delle azioni sismiche, azioni permanenti/variabili/eccezionali, apparecchi d'appoggio, stato limite della fatica, ancoraggi attivi nel terreno di tipo permanente. Si auspica che i futuri aggiornamenti delle Norme Tecniche per le Costruzioni esplicitino in dettaglio ogni aspetto del degrado delle strutture, attuando un effettivo "*Progetto per la durabilità*" un esempio di riferimento è la normativa per il progetto dei ponti AS 5100.5-2017 applicata in Australia.
- ii. La fase esecutiva dei lavori è governata da specifiche dettate dai capitolati tecnici, spesso legati alla sola misura delle modalità realizzative e della loro qualità intrinseca senza spesso tenere in conto l'impatto di problematiche emerse nelle fasi costruttive sulla durabilità dell'opera. La fase del "collaudo" statico è intesa unicamente come verifica della prestazione strutturale prevista a pro-

getto al fine della messa in esercizio dell'opera, in aggiunta potrebbe rappresentare un riferimento chiaro di prestazione strutturale a cui fare riferimento durante l'intera vita utile dell'opera ovvero come punto di riferimento per i risultati di eventuali successivi monitoraggi che si rendessero necessari (afflitti solitamente da difficile e soggettiva interpretazione).

- iii. In fase di esercizio di un'opera il ruolo centrale è svolto dal piano di manutenzione (manuale d'uso, manuale di manutenzione, programma di manutenzione), originato inizialmente dalla fase progettuale (progetto esecutivo) ed (eventualmente)



aggiornato dalla direzione lavori a seguito di variazioni costruttive documentate nel progetto *as-built*, il gestore solitamente recepisce il piano di manutenzione nella fase di messa in esercizio dell'opera e successivamente lo adatta e o aggiorna in funzione delle proprie esigenze (spesso legate a modalità consolidate o ai vincoli economici contingenti).

In conclusione, si evidenzia che attualmente la catena “*vita utile*” e le valutazioni di durabilità sono molto frammentate e gestite spesso dal progettista fino al gestore, tale elemento viceversa dovrebbe essere molto più dettato/vincolato da quest'ultimo (in base a

standard indipendenti). Il proprietario, o per suo tramite il gestore, dovrebbe essere messo in grado di indicare un modello decisionale per cui tutte le fasi antecedenti la messa in esercizio ne tengano in conto. Si auspica che **ogni fase di vita delle opere d'arte nelle infrastrutture sia valorizzata economicamente** in modo esplicito: progettazione, costruzione, esercizio con ispezione e manutenzione, smantellamento e conferimento. Tale impegno risulta essenziale per la pianificazione delle risorse e come quadro economico di riferimento (ad oggi in uso per il solo valore della sola progettazione, ma non sempre, e della costruzione) di un'opera rispetto alla società che si attende un patrimonio di infrastrutture efficiente ed essenziale per lo sviluppo della propria economia. Tale impegno richiede una conoscenza molto estesa di estimo e di economia, non sempre reperibili nell'ambito della sola professione ingegneristica.

La proprietà di un'opera appartenente a una infrastruttura (e anche non) dovrebbe essere interessato a esprimersi, in fase di concezione dell'opera, sulla sua **durata presunta**, con riferimento a un modello di manutenzione e un modello di durabilità. La proprietà secondo le NTC già esprime la Vita Nominale e la “classe d'uso”, spesso però tale informazione di base confluisce in alcuni scenari di progetto (ad esempio ai fini della verifica sotto le azioni sismiche) ma non impatta solitamente per la qualità e controllo in fase esecutiva (standard e test di esecuzione della direzione lavori e collaudo) né tanto meno nella fase di esercizio (piano di manutenzione). In definitiva alla “scadenza” della durata presunta di un'opera ci si attende un processo indipendente di riesame, per valutare le capacità residue ovvero eventuali anni di estensione della vita utile prima della sostituzione/rinnovo finale dell'opera stessa.

Si auspica che i ruoli di progettazione, costruzione, direzione lavori e collaudo, sorveglianza (tramite ispezione), valutazione dello stato di degrado e quindi valutazione della vita utile residua, valutazione dell'esaurimento delle prestazioni e quindi necessità di rinnovo/sostituzione dell'opera, siano affidati a un **soggetto indipendente dal gestore e dalla proprietà**. Tale indipendenza dovrebbe essere assicurata sia dalla variabilità dei soggetti privati e pubblici chiamati a ricoprire tale ruolo che dalla presenza aggiuntiva di **autorità di controllo con adeguati organi tecnici e poteri decisionali** che possa attuare verifiche indipenden-



ti e trasparenti dell'operato di tutti gli attori coinvolti nella filiera della "vita utile" dell'opera. Anche attività di "due diligence" o di "controllo esterno", tanto utilizzate nel mondo anglosassone e francese, avrebbero una valenza rilevante nel processo e sarebbe auspicabile un incremento in tale senso in Italia.

Si auspica che le opere più importanti (ponti e gallerie) che compongono un'infrastruttura, spesso vitale per la società e la sua economia, possano essere aggiudicate a operatori economici secondo **prezzi di mercato e premiando la massima qualità nei risultati raggiunti a fine costruzione** abbandonando le politiche di aggiudicazione governate dal criterio del "massimo ribasso economico" nelle offerte. Tali opzioni se rappresentano un momentaneo risparmio dell'ente proprietario/gestore nella fase iniziale della progettazione / costruzione / messa in esercizio hanno comportato spesso in Italia, a lungo termine, in una mancanza di qualità progettuale/costruttiva generando maggiori oneri manutentivi, che si sono "tramandati" alle generazioni successive causando di fatto una riduzione della vita utile in un'opera (per non parlare dei danni indiretti causati dalla peggiore fruizione dell'opera stessa). Tali criteri andrebbero auspicabilmente estesi anche alla fase di progettazione / manutenzione delle opere stesse.

Si auspica un **aggiornamento normativo** sia in termini di legislazione che di decreti ministeriali/attuativi legati alla fase di sorveglianza (è in vigore a riguardo una legge del 1967) e manutenzione delle opere afferenti le infrastrutture. Si osserva un notevole divario tecnico e culturale in tale ambito rispetto all'evoluzione che si è avuta parallelamente nel settore delle costruzioni, grazie allo sviluppo di materiali più performanti e a tecnologie più avanzate (ad esempio i monitoraggi), a alle diverse evoluzioni e aggiornamenti delle Norme Tecniche per le Costruzioni. È singolare apprendere che ad oggi non esista un chiaro quadro di norme/standard e certificazioni sulle fasi di controllo / prove / valutazione delle opere civili, ad esempio l'ispezione dei ponti si ispira a norme coniate nei controlli non distruttivi / CND del settore industriale (UNI EN ISO 9712:2012). Si auspica inoltre la redazione di un **Testo Unico sulla Manutenzione** delle opere civili, come riferimento uniforme delle conoscenze e della gestione del rischio. Prevedendo anche nuove responsabilità dei diversi attori, ad esempio: progettazione (redazione obbligatoria di una relazione sul-

la durabilità, per esempio in opere con classe d'uso III o IV), esecuzione/collaudo (controlli sperimentali e valutazioni prestazionali della durabilità dell'"*as-built*"), esercizio/gestione (obbligo di aggiornamento periodico dei parametri di affidabilità prestazionale delle opere, verifica dell'efficacia del monitoraggio come strumento di diagnosi delle strutture utile alla prevenzione del rischio).

Si auspica l'**incremento delle indagini e prove su scala reale su parte delle opere d'arte destinate alla demolizione**, come fonte diretta di conoscenza al fine di tarare i modelli (anche probabilistici) che stimano l'incertezza del comportamento strutturale nel tempo (es. precompressione o duttilità) e il degrado dei materiali (es. fenomeni di ossidazione e riduzione di resistenza) a fine vita utile delle opere ovvero a seguito di fenomeni di invecchiamento e/o di condizioni ambientali e antropiche sopraggiunte con riferimento alle ipotesi iniziali formulate in fase di progettazione e collaudo. Tale proposta, che si potrebbe attivare anche con riferimento all'interesse pubblico sulla materia, si ispira similmente al ruolo dell'"anatomia patologica" nella medicina. Si cita ad esempio il progetto di ricerca BRIDGEI50 che si propone di studiare con ricerche teoriche e indagini sperimentali le prestazioni residue di un viadotto in calcestruzzo armato pre-compresso (c.a.p.) recentemente dismesso dopo una vita di servizio di circa 50 anni a Torino.

### Il Value of Information (Vol)

Tradizionalmente l'ingegneria è stata considerata una disciplina per la risoluzione dei problemi. Tuttavia, sebbene le capacità di "*problem solving*" siano importanti, il concetto che risulta davvero centrale nell'ingegneria moderna è quello del **decision making** (ovvero processo decisionale): *il processo di scelta tra percorsi d'azione alternativi, che significa selezionare tra opzioni disponibili definite in base a una serie di restrizioni (ad es. tecniche, economiche, sociali) per assegnare in modo ottimale le risorse disponibili*. Sarebbe auspicabile che la **governance della manutenzione delle opere civili nelle infrastrutture si affidi ad un processo decisionale**, un esempio interessante è l'applicazione della teoria del **Vol Value of Information**. In un quadro caratterizzato da incertezza, il Vol fornisce uno strumento pratico che punta a rispondere alla domanda "*quanto sarebbe utile acquisire delle informazioni più dettagliate sul problema posto per*

*meglio indirizzare la decisione finale, anziché decidere subito sulla base dei dati limitati attualmente a disposizione?”*. Si tratta in sostanza di un'utile stima a priori della convenienza a raccogliere o meno informazioni aggiuntive (ad esempio indagini sperimentali e monitoraggi su ponti) sulla decisione da prendere (mantenere o demolire un ponte). La misura della convenienza è legata alla limitazione d'incertezza che si è in grado di raggiungere dopo l'elaborazione delle nuove informazioni. Matematicamente il Vol si può definire come la differenza tra il costo che si deve sostenere nello scenario iniziale, cioè nel caso in cui nessuna azione di approfondimento sia intrapresa, e quello che si prevede di sostenere una volta acquisite le informazioni aggiuntive, sottraendo ancora il costo delle operazioni di raccolta. Si ha effettiva convenienza a raccogliere le informazioni solo quando il Vol risulta maggiore di zero. Il valore che si ottiene rappresenta inoltre il massimo ammontare che l'operatore razionale dovrebbe essere disposto a pagare per acquisire informazioni aggiuntive; superando questo limite, infatti, il bilancio economico diventa sicuramente sfavorevole.

Si auspica che il dibattito sorto negli ultimi anni, alimentato anche da superficiali fonti giornalistiche, in merito alla preferenza delle costruzioni metalliche rispetto alle costruzioni in calcestruzzo armato o pre-compresso nei nuovi impalcati da ponte, rispetto ai temi di durevolezza ed affidabilità, sia al più presto abbandonato perché sostanzialmente privo di fondamento tecnico e scientifico. Nella storia degli ultimi 100 anni ci sono stati purtroppo crolli disastrosi di ponti in entrambe le tipologie di materiali, i fenomeni di degrado e ammaloramento dei materiali è un fenomeno che accomuna entrambe i materiali sopra citati qualsiasi sia l'elemento protettivo (vernici e copriferro nel c.a./c.a.p., la vernice o la patina ossidata nelle carpenterie metalliche) per non parlare dei difetti costruttivi che potenzialmente si possono annidare in entrambe le tipologie strutturali. Sarebbe opportuno invece sottolineare che **grande parte del deterioramento e della perdita di funzionalità delle opere nelle infrastrutture in Italia sono cagionati sostanzialmente dalla scarsa (se non assenti) manutenzione nella gestione delle acque a contatto con le strutture portanti**. Infatti, la scarsa/nulla manutenzione delle guaine di impermeabilizzazione e degli scarichi idrici di piattaforma negli impalcati da ponte, anche se non con-

siderati elementi strutturali primari, hanno apportato negli anni considerevoli danneggiamenti a solette, travate e sottostrutture oltre a veicolare la permeazione nelle strutture portanti di sali di cloruro, indotti da agenti antigelo, fattori di amplificazione dei fenomeni di corrosione nelle armature e nelle carpenterie metalliche. Il tema ha riguardato anche gran parte delle gallerie costruite in passato senza impermeabilizzazione, tipicamente fino ai primi anni '80, e soggette quindi a costanti venute d'acqua dal contesto idrogeologico che comportano a lungo termine il dilavamento dei calcestruzzi e un'accelerazione del degrado nei rivestimenti.

Si auspica di superare il dibattito insorto negli ultimi anni sulla imputata migliore o peggiore gestione della manutenzione delle infrastrutture, qualora attuata da soggetti pubblici o privati o viceversa. Nell'ambito della Unione europea si evidenzia che lo strumento di efficacia che potrebbe essere preso a riferimento e promosso nell'ambito della gestione delle infrastrutture sarebbe in questo caso il **Partenariato Pubblico-Privato PPP**: *“collaborazione tra il settore pubblico e il settore privato allo scopo di erogare un prodotto o un servizio tradizionalmente forniti dal settore pubblico. I PPP riconoscono che **entrambe le parti hanno dei vantaggi nell'adempimento degli incarichi specifici. Permettendo ad ogni settore di fare ciò che sa fare meglio, i servizi pubblici e le infrastrutture possono essere forniti nella maniera più economicamente efficiente**. Lo scopo complessivo del partenariato pubblico privato, è, tuttavia, strutturare la relazione tra le parti, così che **i rischi sono sostenuti da coloro più capaci di controllarli e il valore accresciuto è ottenuto attraverso lo sfruttamento delle capacità e delle competenze del settore privato**”*. La Corte dei Conti europea ha tuttavia messo di recente in evidenza che i potenziali vantaggi dei PPP spesso in Italia non si concretizzano, in quanto *“per attuare con successo i progetti PPP è necessario disporre di capacità amministrative non indifferenti, che possono scaturire solo da quadri istituzionali e normativi adeguati e da una lunga esperienza nell'attuazione di progetti PPP. La Corte ha constatato che attualmente tali capacità esistono solo in un numero limitato di Stati membri dell'Ue”*. Si auspica pertanto che al più presto sia attivata un'agenzia di promozione del PPP a supporto di iniziative d'informazione, formazione, azioni che a differenza di altri Paesi

sono mancate in Italia. Occorre strutturare un sistema di affiancamento come avviene in tutto il mondo, affinché il soggetto pubblico possa godere d'informazioni, formazione, tutoraggio, strumenti e incentivi perché questa alleanza con il privato sappia allineare la dotazione infrastrutturale e il livello di servizi garantiti dalla pubblica amministrazione e nello specifico a quello degli altri Paesi. Anche nel campo della Finanza di Progetto "Project Financing" si osserva un arretramento nel nostro Paese, diversamente da altri Stati europei che si sono dotati di società per supportarne l'applicazione in Italia, dopo la costituzione dell'Unità tecnica finanza di progetto (UTFP) nel 1999, anziché provvedere che fosse,

nel tempo, dotata di competenze, deleghe e risorse, la si è progressivamente depotenziata.

L'autore ringrazia vivamente il Prof. Aldo Norsa (Guamari srl) per il proficuo confronto sull'argomento, che ha dato spunto a questa iniziativa, e il prezioso supporto alla revisione del testo. Si ringrazia inoltre i Prof. Fabio Biondini (Politecnico di Milano e associazione IALLCE) e il Prof. Mauricio Sanchez-Silva (Universidad de los Andes, Bogotá) per la grande disponibilità ed il sempre alto profilo scientifico che ho potuto riconoscere nei numerosi scambi di idee e spunti su molti argomenti oggetto di loro ricerca e divulgazione.

#### Bibliografia

- [1] M. SANCHEZ-SILVA, G.-A. KLUTKE, *Reliability and Life-Cycle Analysis of Deteriorating Systems* (Springer, 2016)
- [2] P. CIALDINI, *Genesi, nascita e crescita della rete ferroviaria e stradale*. Le Strade, numero di gennaio/febbraio 2016
- [3] *Gli investimenti in infrastrutture di trasporto. Scelte di finanziamento e spunti di riflessione dai progetti recentemente sviluppati in Italia*. Rapporto Università Luiss Guido Carli (CASMEF) e Deloitte Financial Advisory S.r.l.
- [4] Circolare M.LL.PP. n. 6736/61 del 19.7.67, *Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali*.
- [5] Circolare M.LL.PP. n. 34233 del 25.2.91, *Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali*
- [6] UNI EN ISO 9712:2012 Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive
- [7] Legge 5 novembre 1971, n. 1086, *Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e pre-compresso ed a struttura metallica*.
- [8] F. BIONDINI AND DAN M. FRANGOPOL *Life-Cycle Design, Assessment, and Maintenance of Structures and Infrastructure Systems*. American Society of Civil Engineers, 2019, Reston, VA, USA
- [9] UNI/TR 11634, *Linee guida per il monitoraggio strutturale* (aprile 2016)
- [10] The International Association for Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE, <http://www.ialcce.org/>)
- [11] NCHRP REPORT 483 - Bridge Life-Cycle Cost Analysis (2003)
- [12] fib bulletin 80 "Partial factor methods for existing concrete structures" (Dicembre 2016)
- [13] fib bulletin 86 "Safety and performance concepts – Reliability assessment of concrete structures. Guide to a good practice" (Agosto 2018)
- [14] BS4778-3.1 (1991) "Quality vocabulary. Availability, reliability and maintainability terms. Guide to concepts and related definitions"
- [15] BS3811 (1993) "Maintenance Management Terms in Terotechnology"
- [16] 2017 Report Infrastructure Report Card <https://www.infrastructurereportcard.org/>
- [17] J. VON NEUMANN, O. MORGENSTERN, *Theory of Games and Economic Behavior*, 3rd edn. (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1953)
- [18] R.A. HOWARD, 1965. *Information value theory*, IEEE transactions on systems science and cybernetics.
- [19] A.C. MILLER, 1975. *The value of sequential information*, Management science 22(1):1-11.
- [20] ICRI committee 160, *Sustainability for repairing and maintaining concrete and masonry buildings*
- [21] Australian Standard AS 5100.5-2017 *Bridge design – Part 5: Concrete*
- [22] BRIDGE50 Research Project: *Residual Structural Performance of a 50-Year-Old Bridge* <http://www.bridge50.org/>
- [23] Commissione europea, *Guidelines for Successful Public – Private Partnerships*
- [24] I comuni italiani e il Partenariato Pubblico Privato. Documento di analisi N. 15. Ufficio Valutazione Impatto. Senato della Repubblica, 1° marzo 2018.