

Ponti e viadotti: la necessaria visione attuale

L'importanza della conoscenza profonda degli aspetti meccanici e dell'organizzazione della struttura, per valutarne consapevolmente lo stato e predisporre eventuali modifiche

Di **Franco Bontempi** - 15 maggio 2019

© RIPRODUZIONE RISERVATA



È già stato scritto tutto

“Recenti gravi avvenimenti interessanti la stabilità di opere d’arte e manufatti stradali ripropongono la considerazione della **necessità di organizzare nel modo più efficiente il necessario controllo** periodico delle condizioni statiche delle opere stesse.

Controlli intesi nel senso più completo: accertamento periodico delle condizioni di stabilità delle varie strutture, ed in particolare di quelle portanti, e controllo dello stato di conservazione ai

fini del mantenimento in efficienza delle stesse e delle altre parti accessorie.

I controlli devono investire anche le pertinenze dei manufatti: oltre alle infrastrutture in elevazione occorre portare la massima assidua attenzione anche a quelle inferiori: zona di posa delle fondazioni, letto ed alveo dei corsi d’acqua, scarpate e terreno latistante, d’intesa con i competenti uffici del Genio Civile, in relazione anche a **eventuali variazioni nel regime dei corsi d’acqua stessi**“.

Queste parole hanno oltre mezzo secolo: come ben noto, sono tratte, infatti, dalla Circolare Ministero dei Lavori Pubblici N°6736/61A1 del 19/07/67 – “Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d’arte stradali”. Dopo *oltre mezzo secolo* tuttavia, esse mantengono drammaticamente la loro attualità, evidenziando tutta la cura che deve essere dedicata alle infrastrutture di una nazione.

Avendo in mente queste parole, nel presente contributo, si vuole brevemente esporre quella che si ritiene una necessaria visione attuale su ponti e viadotti, sul loro esame e sul loro giudizio.

I concetti di struttura e di infrastruttura

La Società Civile per le sue esigenze e il suo sviluppo si affida a **costruzioni di diversi tipi**. Una suddivisione pertinente tra le tante, individua:

- strutture, ovvero costruzioni che hanno una ben precisa localizzazione;
- infrastrutture, ovvero insiemi di costruzioni, allineate a formare una o più linee spaziali.
- In quest’ultimo caso, si parla di **sistemi infrastrutturali** ovvero strutture collegate tra loro in reti. Con riferimento alle sole reti viarie, comprendenti ponti e viadotti, è naturale riferirsi al sistema infrastrutturale sviluppato ai tempi della Roma Antica e rappresentato in Fig.1: appare evidente la natura connettiva per il territorio svolta da un sistema infrastrutturale viario, con evidenti riverberi sulle attività sociali ed economiche.
- Alla luce di queste considerazioni, **le seguenti caratteristiche risultano essenziali in ponti e viadotti:**
- l’esigenza e l’importanza di un collegamento stabile fra differenti parti di un territorio, sottintende la indicazione di una necessaria vita estesa della struttura, ovvero di un ampio orizzonte temporale che l’opera deve affrontare;

- la necessità di garantire un collegamento stabile richiede che le opere d'arte abbiano requisiti stringenti di disponibilità, ovvero di possibilità di utilizzo corretto nel tempo, risultando in termini prestazionali interruzioni del servizio, parziali o temporanee, comunque negative;
- un'opera d'arte come un ponte o un viadotto ha un valore che trascende la semplice costruzione, risultando di importanza per un sistema, quello infrastrutturale, più ampia; un eventuale crisi di una tale opera d'arte ha quindi riverbero indiretto più ampio della mera crisi strutturale, anche in dipendenza della sua collocazione e delle caratteristiche globali di ridondanza della rete stessa;
- la eventuale crisi catastrofica della singola opera d'arte può coinvolgere direttamente un numero indeterminato di persone e condurre a quello che viene definito disastro: questa dimensione di danno è dunque particolarmente significativa, toccando la pubblica incolumità.

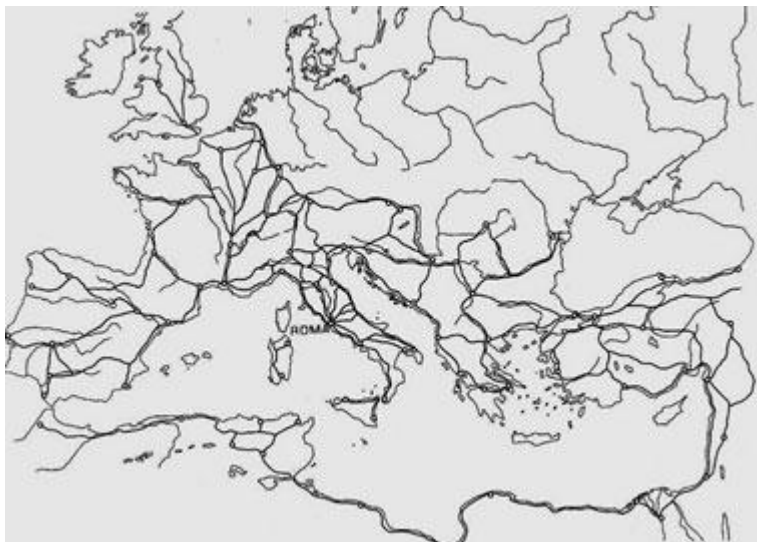


Figura 1 – Rete infrastrutturale ai tempi della Roma Antica

Queste considerazioni – per i ponti e i viadotti – sono riassunte dalle NTC 2018, nei concetti di:

VITA NOMINALE DI PROGETTO: la vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I: per le costruzioni con livelli di prestazioni elevati, si arriva ad indicare il valore di 100 anni.

CLASSI D'USO: con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe III: Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.

Classe IV: Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.

La natura pubblica di un ponte o un viadotto

Si è osservato che un'opera d'arte come un ponte o un viadotto riveste una funzione sociale ovvero acquisisce immediatamente una **natura pubblica**. Giuridicamente, l'incolumità pubblica è definita come un bene giuridico individuato nella vita e nell'incolumità fisica di un numero indeterminato di persone, che può essere messo in pericolo o danneggiato nel caso dei reati specificatamente indicati agli artt. 422-452 del Codice Penale. Ad esempio, nel Codice Penale l'Art. 449 cita:

Chiunque cagiona per colpa un incendio o un altro disastro preveduto dal capo primo di questo titolo, è punito con la reclusione da uno a cinque anni.

La precisazione *per colpa*, fa riferimento a casi in cui vi sia stata **imperizia, imprudenza o negligenza**, le quali devono valutarsi in rapporto alla qualifica ed all'attività in concreto svolta dall'agente, sulla base delle quali viene poi commisurato il modello di diligenza media.

I delitti colposi di danno sono destinati a punire le condotte colpose di chi metta in pericolo particolari beni giuridici, in maniera tale da mettere in pericolo la pubblica incolumità. I delitti contro l'incolumità pubblica sono tutti contraddistinti dalla diffusività del danno, tale da minacciare un numero indeterminato di persone, non individuabili a priori: viene dunque a configurarsi un doppio livello di indeterminatezza, riguardante sia il raggio d'azione degli effetti della condotta, sia le persone offese. La forte anticipazione della soglia di quanto sia penalmente rilevante viene giustificata dalla natura stessa dei reati contro la pubblica incolumità, in grado di colpire sia la collettività che il singolo individuo.

A riguardo della natura pubblica di un'opera d'arte, la Circolare Ministero dei Lavori Pubblici N. 6736/61A1 del 19/7/1967 – “Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali”, presenta al paragrafo 3. Aspetto giuridico:

Le opere d'arte ed i manufatti stradali fanno parte integrante della strada e ne seguono la condizione giuridica. L'accertamento periodico delle condizioni di stabilità delle dette opere rientra pertanto nella attività di manutenzione della strada ed incombe, pertanto, alle Amministrazioni, alle Società ed agli Enti proprietari, gestori, o concessionari delle strade ed autostrade di provvedervi con tutta assiduità.

La responsabilità di tali Enti nasce ogni qualvolta dalla violazione degli obblighi manutentori e di controllo della strada od autostrada derivino all'utente della strada lesioni di un suo diritto, danneggiamenti o pericoli per la sua incolumità.

Ne discende che i Funzionari ed i dipendenti dello Stato e quelli degli Enti pubblici, Società private ecc. sono direttamente responsabili, secondo le leggi amministrative, civili e penali dei danni eventualmente subiti dagli utenti della strada in dipendenza di dissesti o crollo di opere d'arte stradali.

È anche pregnante il seguente passo:

La vigilanza ed il controllo delle opere d'arte sono fatti squisitamente tecnici, tuttavia la loro organizzazione deve essere programmata anche a livello amministrativo, per gli importanti riflessi di natura giuridica che la sicurezza delle infrastrutture stradali implica nel quadro della gestione delle pubbliche strade.

Questa precisazione, individua chiaramente anche la dimensione amministrativa e gestionale della responsabilità, alzando il livello della stessa dal mero piano tecnico a quello manageriale.

L'integrità strutturale di un ponte o di un viadotto

La **valutazione della stato** (delle condizioni di sicurezza e della capacità prestazionale) di un'opera d'arte non è un processo elementare e non è automatizzabile, a differenza di quanto alle volte semplicisticamente affermato, in termini immediati. In termini generali, si deve sempre considerare che una struttura non è un semplice insieme di elementi e parti strutturali, ma risulta avere una gerarchia di composizione ben precisa. La comprensione di questo aspetto è essenziale: è la comprensione alla base del giudizio clinico del medico che valuta la salute di un paziente conoscendo l'anatomia del corpo.

Esistono, dunque, parti globali e particolari locali, collegati da **interfacce** ben precise: dal punto di vista strettamente meccanico, esistono regioni della struttura caratterizzate da regime statico semplice e regolare (le cosiddette *B-regions*) e regioni di singolarità i cui il regime statico è articolato con concentrazioni di sforzo (*D-regions*).

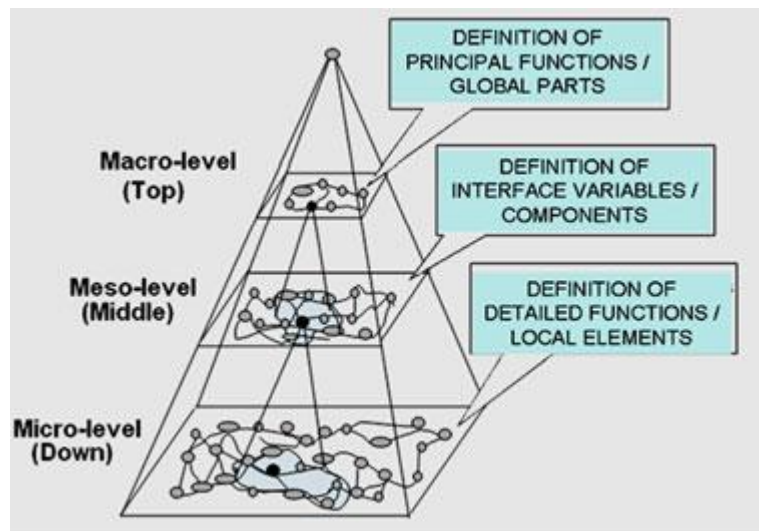


Figura 2 – Organizzazione gerarchica di una struttura

Un termine che può sintetizzare complessivamente lo stato di un'opera d'arte è **integrità strutturale**. Si può partire dal Vocabolario Treccani, in cui si trova:

integrità s. f. [dal lat. *integrītas* -atis]. – 1. L'essere integro, intero, intatto; lo stato di una cosa che possiede tutte le sue parti, i propri elementi e attributi, che conserva intatta la propria unità e natura, o che non ha subito danni, lesioni, diminuzioni quantitative o qualitative: salvaguardare l'i. del territorio nazionale; verificare l'i. dei sigilli, controllare che siano intatti; restituire un testo alla sua i.,

quando ci sia giunto mutilo o alterato; difendere l'i. della lingua, preservarla da contaminazione di parole straniere e sim.; osservare, applicare le leggi nella loro i., interamente, pienamente, senza eccezioni o omissioni; i. di un corpo (umano), l'esser sano, illeso, atto a tutte le sue funzioni; e con riferimento allo stato di verginità della donna: i. dell'imene, i. verginale, o assol. integrità. 2. In senso morale, l'essere integro, incorrotto; onestà, rettitudine assoluta: i. di vita, di costumi; l'i. dei giudici, dei testimoni, di un funzionario. Anche, l'essere intatto, privo di colpa o di accusa: i. del nome, della fama, dell'onore.

Questa ampia definizione può essere ricondotta nel caso delle costruzioni alla seguente:

Integrità strutturale è la **qualità di una costruzione** di avere tutte le sue parti organizzate ordinatamente capaci di sviluppare le proprie funzioni in modo da garantire la sicurezza delle persone (e dell'ambiente) oltre alle prestazioni previste per la costruzione.

Con integrità strutturale si può intendere, quindi, sinteticamente sia l'insieme di tutte le qualità strutturali, sia la singola qualità quando opportuno. Ovviamente, dovrà essere considerato come la qualità varia per la struttura a partire dalla sua configurazione nominale, nuova, nel corso della vita della stessa. Al riguardo, con l'ausilio della Fig.3 si possono introdurre idealmente i principali aspetti del tema:

- sull'asse verticale, è riportata la *integrità strutturale*, intesa, come visto precedentemente, come misura complessiva della abilità di una costruzione di sopportare i carichi a cui è soggetta svolgendo le funzioni per le quali è stata realizzata;
- il piano orizzontale, rappresenta l'*orizzonte temporale*; in effetti, lungo la sua vita, una costruzione esperisce due tipologie di eventi:
- i primi, hanno luogo con continuità e possono essere rappresentati su un asse lungo la cui direzione la costruzione perde naturalmente (se si vuole per ragioni termodinamiche) in continuo qualità: qui le cause di degrado sono *ambientali*, a causa dell'ambiente in cui la struttura è immersa (es. corrosione), o *antropiche*, legate cioè all'uso che si fa della costruzione (es. fatica); in questi casi, si parla di *durabilità*;
- i secondi eventi, hanno invece natura discreta: si presentano cioè in ben precisi istanti, essendo legati a incidenti, ovvero azioni accidentali; in questi casi, si hanno ben *precise discontinuità* nella qualità strutturali, presentandosi questi eventi come localizzati nel tempo e con caratteristiche speciali; in questi casi, si deve introdurre il concetto di costruzione



Figura 3 – Orizzonte temporale nella vita di una

Come si vede dalla Fig.3, la generica costruzione sviluppa nel tempo una precisa traiettoria a seconda degli eventi che la costruzione stessa esperisce. In particolare, lungo la vita della costruzione, si può porre il problema, di dover riportare la integrità della stessa ad un livello accettabile: proprio la **capacità di una costruzione** (e più in generale di una infrastruttura) **di recuperare un livello adeguato di integrità è rappresentato dalla resilienza**.

Configurazioni di un ponte o un viadotto e relativi processi di valutazione e verifica

Il concetto di traiettoria di vita per un'opera d'arte permette di inquadrare correttamente e coerentemente tutte le attività di verifica della stessa. Con riferimento alla Fig.4, si può dunque considerare:

- Come l'opera d'arte in esame è stata concepita, progettata e verificata in un preciso momento storico, in cui erano presenti (spesso in forma implicita) idee, conoscenze e pratiche accettate dalla comunità tecnica e scientifica in quel momento storico: l'insieme di questi presupposti, costituisce il *design clima* in cui è nata l'opera; in tal senso, la struttura come progettata è caratterizzata da una qualità – una integrità strutturale – che si definisce “as designed”.
- La struttura come è realizzata, è contraddistinta dallo stato “as built”: in generale, la qualità dell'opera realizzata risulta inferiore a quella pensata nel progetto, per le inevitabili difficoltà nel realizzare realmente un manufatto e per le ovvie inclinazioni della natura umana.
- In preciso istante lungo il dispiegarsi della sua traiettoria di vita, l'opera si trova in uno stato “as actual”: è questa la situazione in cui può essere necessario attivare un processo di *structural assesement*; tale attività è quella prevista dalle NTC 2018 al paragrafo 8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA che cita:

La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.
- La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:
- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso superiore;
- esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità.

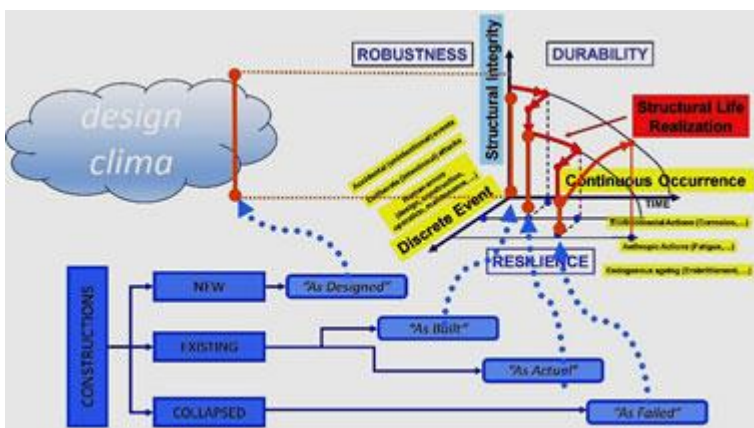


Figura 4 – Attività lungo la vita di una costruzione

È chiaro che l'attivazione di queste procedure di verifica implicano una **costante attività di vigilanza sulle opere d'arte**. Al riguardo, ancora la Circolare Ministero dei Lavori Pubblici N°6736/61A1 del 19/07/67 – “Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali”, cita:

La vigilanza sullo stato di consistenza e sulla statica delle opere d'arte e dei manufatti stradali deve essere permanente. La vetustà di alcune

opere, l'effetto di riparazioni successive, l'influenza della crescente intensità della circolazione, l'aumento dei carichi trasferiti alle strutture da questa circolazione, lo “stress” provocato dall'intensificarsi delle azioni dinamiche (velocità, vibrazioni, ecc.) esigono oramai una maggiore e più continua attenzione da parte dei tecnici preposti agli organismi interessati all'esercizio sicuro della viabilità di ogni importanza ed a qualsiasi livello.

La vigile ed intelligente sorveglianza consentirà, così, di prevenire danni, o maggiori dissesti, mediante la tempestiva adozione di provvedimenti adeguati. In ogni caso consentirà di scoprire in tempo segni premonitori di eventuali cedimenti, o lesioni, crolli incipienti e quindi permetterà mediante pronti interventi, allarmi, sbarramenti, provvedimenti limitativi e cautelativi, ecc. di scongiurare eventi drammatici e vere e proprie catastrofi.

Infine, se si verifica una crisi strutturale, è necessario valutare la situazione dell'opera “as failed” ovvero sviluppare l'autopsia della opera d'arte crollata. La Fig.5 illustra il percorso critico che porta a capire come si è sviluppata una crisi strutturale: sono elencati, ordinatamente, i diversi punti da considerare, *design clima – concezione strutturale – disegni – calcolazioni – scelta di materiali e componenti – fasi realizzative – uso – situazioni accidentali/eccezionali – manutenzione – monitoraggio*. La ricostruzione di tutti questi passi, è un procedimento proprio dell'ingegneria forense, e, in termini fattivi, permette di aumentare le conoscenze della comunità tecnica e scientifica.

Deve essere ancora sottolineato che **è esperienza comune che una crisi strutturale si presenta quando le debolezze – le mancanze – in ciascuno di questi passi si allineano**, e quella che è solo potenzialmente una minaccia (*hazard*) si concretizza in una crisi, perforando metaforicamente tutte le difese dell'opera e della sua gestione.

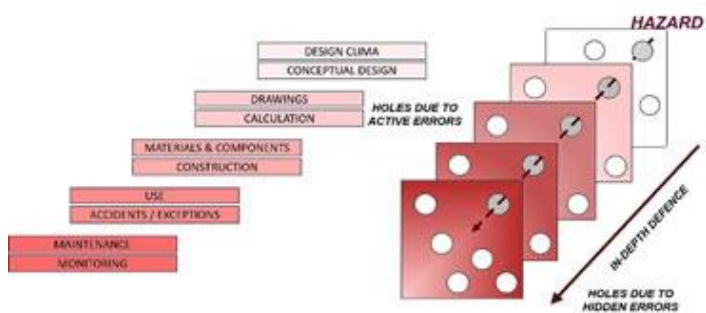


Figura 5 – Il percorso critico di valutazione di un'opera d'arte

In conclusione di questo paragrafo, vale la pena ribadire che la **valutazione analitica della sicurezza strutturale è un processo logico e sistematico che parte dalla comprensione dell'organizzazione della struttura** (visione sistemica). In una struttura di devono distinguere le varie parti strutturali (*macro-livello, meso-livello, micro-livello*) al fine di evidenziarne subito la criticità e gli adeguati livelli di protezione. Infatti,

anche con riferimento a quanto detto per la Fig.2, in una struttura si hanno:

- aspetti di dettaglio – livello micro – che riguardano proprietà sezionali come gli spessori per i profili in acciaio o la posizione delle barre di armatura nel caso del c.a.;
- aspetti a livello di elemento / sottostruttura, che riguardano la forma o la sagoma di queste parti, come ad esempio il tracciato dei cavi di precompressione;
- aspetti a livello macroscopico, che riguardano la topologia ovvero le connessioni fra le varie parti strutturali e che influenzano il percorso dei carichi.

Questa individuazione, è collegata ai livelli di modellazione nel processo complessivo di analisi strutturale, con eventuali oculte strategie di sottostrutturazione o impostazione multi-livello. Tutto questo al fine di dare un fondato giudizio sui risultati delle verifiche e sullo stato della struttura in esame, con necessaria confidenza sul significato delle verifiche stesse.

Sul concetto di manutenzione

Come visto parlando dell'orizzonte temporale che riguarda un'opera d'arte, il primo punto concerne la **durabilità della struttura**. La Fig.6 illustra questo aspetto: il degrado continuo della integrità strutturale nel tempo rischia di diventare inaccettabile e può essere contrastato con una strategia che preveda a) un iniziale sovradimensionamento dell'opera o di sue parti specifiche, o b) con un processo di manutenzione. In entrambi i casi, è necessario prevedere economicamente quanto necessario, considerando compiutamente il ciclo di vita dell'opera d'arte (*life cycle*). Queste considerazioni devono essere presenti dall'inizio del progetto dell'opera, e in particolare nella concezione strutturale si deve già predisporre quanto necessario per ottenere la manutenibilità dell'opera, definita come:

Manutenibilità (vedere UNI 13306:2010 p. 4.4)

Attitudine di una entità, in certe condizioni d'uso, ad essere mantenuta o ripristinata in uno stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta, quando la manutenzione è effettuata in date condizioni, e vengono adottate le procedure e le risorse prescritte.

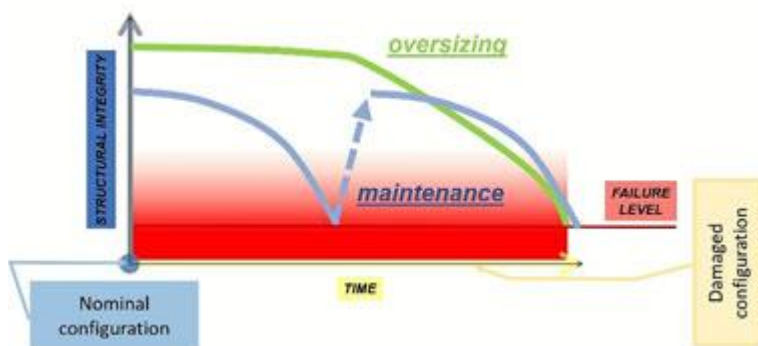


Figura 6 – Durabilità di un'opera d'arte e strategie per ottenerla: sovradimensionamento (*oversizing*) e manutenzione (*maintenance*)

La manutenzione è definita come il complesso delle operazioni necessarie a conservare la conveniente funzionalità, efficienza e sicurezza – ovvero l'integrità strutturale di un'opera d'arte. Precisamente, con manutenzione si intende:

il mantenere in buono stato; in partic., insieme di operazioni che vanno effettuate per tenere sempre nella dovuta efficienza funzionale, in rispondenza agli scopi per cui sono stati costruiti, un edificio, una strada, una nave, una macchina, un impianto, ecc.: m. ordinaria, straordinaria; m. di strade, di argini, di canali; m. di macchinari, di autoveicoli, di armi; lavori di m.; l'ascensore è fermo per m.; assumere, avere la m. di un impianto, l'incarico di provvedere alla conservazione e al buon uso di questo, eseguendo anche, se necessario, le opportune riparazioni e sostituzioni di pezzi [Treccani].

Nella manutenzione, come insieme delle operazioni necessarie per mantenere in buono stato, in piena efficienza qualcosa, si distingue fra:

- manutenzione ordinaria, insieme delle operazioni svolte ordinariamente al fine di mantenere qualcosa in efficienza, ovvero mantenerne l'integrità strutturale;
- manutenzione straordinaria, complesso di particolari lavori destinati a migliorare la qualità di qualcosa, ovvero aumentarne l'integrità strutturale.

Specificatamente, la **norma UNI EN 13306** (Manutenzione – Terminologia di manutenzione) definisce gli interventi di manutenzione come quelli contraddistinti dalla combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta.

In particolare, con manutenzione ordinaria si intende la tipologia d'interventi manutentivi (progettuali, organizzativi ed operativi) durante il ciclo di vita, atti a:

- mantenere lo stato di integrità e le caratteristiche funzionali originarie/in essere del bene;
- mantenere o ripristinare l'efficienza dei beni;
- contrastare il normale degrado;
- assicurare la vita utile del bene;
- ripristinare la disponibilità del bene a seguito di guasti e/o anomalie.
- Generalmente questi interventi sono richiesti a seguito di:
 - rilevazione di guasti o avarie (manutenzione a guasto o correttiva);
 - attuazione di politiche manutentive (manutenzione preventiva, ciclica, predittiva secondo condizione);
 - esigenza di ottimizzare la disponibilità del bene e migliorarne l'efficienza (interventi di miglioramento o di piccola modifica che non comportano incremento del valore patrimoniale del bene).

I suddetti interventi di manutenzione ordinaria non modificano le caratteristiche originarie (dati di targa, dimensionamento, specifiche costruttive, ecc.) del bene stesso e non ne modificano la struttura essenziale e la destinazione d'uso.

Anche da queste parole, è chiara l'origine sistemica della manutenzione nell'ingegneria meccanica, ovvero nei casi di veicoli o di velivoli. Nelle opere d'arte dell'ingegneria civile, un interesse particolare risultano avere componenti strutturali speciali come gli appoggi di ponti e viadotti, per i quali risulta significativo quanto ben noto in letteratura, riassumibile con quanto si può trarre dalle CNR 10018 – Apparecchi di appoggio per le costruzioni – Istruzioni per l'impiego:

11.5. Manutenzione

Ogni apparecchio di appoggio, o se sufficiente ogni famiglia di apparecchi, dovrà essere dotato di un manuale di manutenzione in cui il Costruttore indicherà modalità, tempistica e frequenza degli interventi di manutenzione.

Come già fatto cenno, in precedenza, gli apparecchi di appoggio strutturali hanno generalmente una vita utile inferiore a quella delle strutture servite.

Pertanto, oltre alla accuratezza ed alle accortezze da adottare all'atto della posa in opera, particolare importanza rivestono i controlli e la manutenzione di tali dispositivi in esercizio.

In taluni casi, pertanto, in relazione alle esigenze prestazionali richieste, gli apparecchi di appoggio possono rappresentare addirittura dei veri e propri meccanismi la cui efficienza deve essere sufficientemente garantita, oltre che per assicurare il più corretto comportamento statico dell'insieme, anche per evitare danni alle strutture,

Da tale descrizione appare chiaro:

- gli apparecchi di appoggio hanno una vita utile minore di quella della struttura che supportano: la loro sostituzione deve essere prevista e inquadrabile in manutenzione ordinaria;
- gli apparecchi di appoggio intesi come meccanismi, devono essere periodicamente ispezionati e mantenuti per il loro corretto funzionamento.

Queste osservazioni sono rafforzate leggendo nel seguito delle CNR 10018:

11.6. Visite periodiche

Gli apparecchi di appoggio dovranno essere controllati con visite periodiche alle opere, verificando tra l'altro:

- il corretto posizionamento sulle strutture e le condizioni dell'allettamento o del fissaggio sulle stesse;
- l'assenza di movimenti imprevisti e di deformazioni;
- la capacità di fornire alle sovrastrutture i gradi di libertà progettualmente previsti, controllando il comportamento cinematico degli apparecchi stessi, e verificando le entità degli spostamenti e delle parti mobili, sia sotto carico che nei diversi periodi stagionali;
- l'assenza di rotture;
- il buono stato di conservazione delle protezioni anticorrosive e dei dispositivi parapolvere;
- le condizioni delle superfici di rotolamento e di slittamento;
- la conservazione di un uniforme contatto delle superfici come progettualmente previsto;
- le geometrie di progetto, ad es. il parallelismo e la planarità delle superfici di scorrimento.

La periodicità di tali visite rimanda alla **previsione (prescrizione) di un programma di manutenzione ordinaria**.

Invece, si intende con **manutenzione straordinaria** l'insieme delle azioni migliorative (manutenzione migliorativa), la manutenzione preventiva rilevante (quali ad esempio revisioni, che aumentano il valore dei sistemi e/o ne prolungano la longevità), ed in taluni casi anche correttive (manutenzione correttiva), quando l'intervento correttivo aumenta in modo significativo il valore residuo e/o la longevità del sistema, il cui scopo non è dettato da una esigenza impellente di ripristinare il livello ottimale di funzionamento, ma piuttosto da una gestione economica, nel tempo, del sistema mantenuto.

La manutenzione straordinaria non ha infatti lo scopo di mantenere nel tempo il livello di disponibilità (compito invece che è assegnato alle azioni manutentive che fanno capo alla manutenzione ordinaria) ma, come dice la parola stessa, ha proprio un carattere di straordinarietà, ossia interviene nelle grandi manutenzioni ai sistemi, specie quelli che debbono funzionare a ciclo continuo, affinché fra un periodo e l'altro di intervento ci siano problemi minimi di deriva e di avaria, in genere coperti con ridondanze o riconfigurazioni del sistema. Nel caso di ponti e viadotti, questa situazione può essere quella di un allargamento della sede stradale: anche in questo caso, un'adeguata previsione progettuale è essenziale.

Sul concetto di robustezza

La robustezza strutturale è la **proprietà di una costruzione di mostrare una perdita di qualità proporzionata all'evento negativo causa di tale perdita**. In tal modo, se la struttura è robusta, esiste una relazione continua e regolare fra la causa innescante il decadimento di integrità strutturale ed il conseguente effetto.

Si può illustrare graficamente il concetto di robustezza strutturale considerando come in Fig.7 in ordinata la misura della qualità in esame: tale grandezza può essere, ad esempio, la capacità portante rispetto ad una condizione di carico, rappresentata dal moltiplicatore di carico; in generale, in ordinata si può riportare una qualsiasi capacità prestazionale o una grandezza rappresentativa la sicurezza strutturale; in ascissa si riporta l'entità – la magnitudo – dell'evento negativo, che può essere pensato come un danno strutturale o anche un errore nella concezione o nel calcolo della struttura

Delle due strutture in esame in Fig.7, si nota come quella indicata col colore verde sia di qualità migliore nelle condizioni integre, o nominali, rispetto a quella indicata col colore blu: la stessa risulta però meno robusta della seconda, come si vede dal maggior degrado di qualità, a parità di danno. Viene subito in mente il caso di un pilastro in cemento armato cerchiato con spirale (caso verde) rispetto a quello di un pilastro quadrato staffato (caso blu): nel primo caso, un taglio della armatura a spirale fa perdere per una altezza consistente l'azione di confinamento, al contrario del taglio della singola staffa nel secondo caso che risulta danno localizzato.

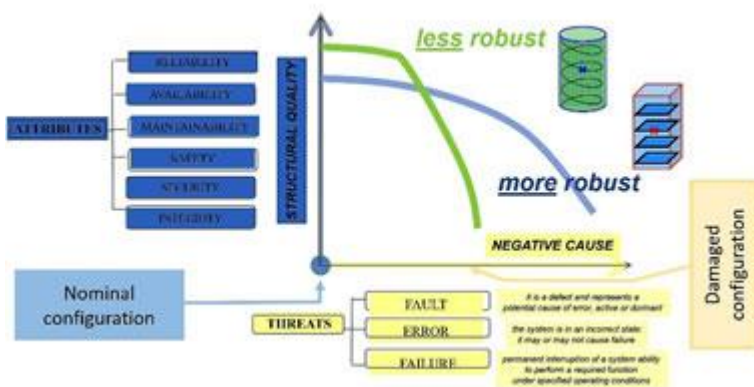


Figura 7 – Robustezza strutturale

È interessante notare che nel corso di circa venti anni, la definizione di robustezza strutturale si è allargata includendo – accanto ad azioni accidentali quali fuoco, esplosioni e impatti – anche gli effetti legati all'errore umano. Infatti, già nelle basi degli Eurocodici negli anni '90, si trova la definizione:

Robustness is the ability of a structure to withstand events like fire, explosions, impact or the consequences of human error, without being damaged to an extent disproportionate to the original cause.

Inoltre, vale la pena sottolineare che la robustezza strutturale richiede, oltre al punto di vista *intensivovisto* precedentemente come perdita di capacità portante regolare e proporzionale alla causa, anche un punto di vista *estensivo*, ovvero una limitata diffusione spaziale del danno nella struttura.

Le strategie per ottenere la robustezza strutturale, in un certo senso una duale dell'altra, sono concettualmente semplici, ma devono essere presenti sin dalla concezione strutturale:

- aumento della connessione delle varie parti strutturali, introducendo un elevato grado di continuità, in modo che le azioni si possano trasferire dalla parte collassata a quelle adiacenti, ovvero la costruzione abbia al suo interno una ridondanza di percorsi atti a trasmettere l'azione;
- suddivisione della costruzione in compartimenti, in modo che il collasso di una parte della struttura non si propaghi alle parti adiacenti.
- È ancora illuminante il processo con cui si valuta la robustezza di un'opera. Si devono imporre, singolarmente, le seguenti cause esplorative:
- carichi nominali, arbitrari ma ragionevoli e significativi per lo scenario considerato, al fine di saggiare il comportamento strutturale complessivo: è necessario considerare comunque disposta secondo una direzione orizzontale, una frazione dei carichi agenti in direzione verticale;
- assenza di elementi strutturali, per valutare le conseguenze della loro perdita a prescindere dalla causa, al fine di individuare quelli critici.

Queste valutazioni, servono a comprendere nel profondo la organizzazione del sistema strutturale e le sue tare genetiche, e possono evidenziare anche errori nella concezione dello schema strutturale.

Considerazioni finali

Questo contributo ha presentato i concetti essenziali per una necessaria visione attuale su ponti e viadotti, sul loro esame e sul loro giudizio. Per queste opere, inserite in reti infrastrutturali a servizio e supporto di tutte le esigenze e necessità della Società Civile, è intrinseca la natura pubblica e il livello significativo di responsabilità, non solo sul piano tecnico ma anche a livello gestionale e manageriale.

La valutazione dello stato di integrità strutturale di un'opera d'arte, sia in termini di prestazioni sia in termini di sicurezza, non può prescindere da una profonda comprensione del sistema strutturale, organizzato in forma gerarchica con parti con differenti caratteristiche meccaniche. Senza questa conoscenza, attività di monitoraggio come quelle attualmente – alle volte forzatamente proposte, risultano sterili di risultati concreti, considerando misurazioni non indicative e rilevando anomalie di cui non si sa valutare l'esatta natura e importanza.

Ponti e viadotti vivono un orizzonte temporale rilevante, in cui durabilità e robustezza sono le caratteristiche più rilevanti, e che conferisce importanza agli aspetti economici – diretti e indiretti – del cosiddetto ciclo di vita: durabilità e robustezza sono i concetti prestanti.

La durabilità riferisce al degrado continuo delle qualità strutturali che deve essere contrastato, all'inizio con una corretta concezione strutturale che consideri la manutenibilità come proprietà irrinunciabile dell'opera (pensando a una modularità degli elementi strutturali e una loro facile accessibilità e sostituibilità), e prevedendo (prescrivendo) uno specifico puntuale programma di manutenzione, che non sia sostanzialmente solo da appariscente modulistica.

La robustezza strutturale è la **qualità** che garantisce la sopravvivenza dell'opera d'arte lungo l'orizzonte temporale, in cui la stessa si trova ad affrontare eventi imprevisti e, qualche volta, imprevedibili. A questo riguardo, si deve onestamente sottolineare che l'azione sismica non può più essere considerata evento imprevisto. Le ultime parole sono dedicate, ancora, a sottolineare l'importanza della conoscenza profonda degli aspetti meccanici e dell'organizzazione della struttura per valutarne consapevolmente lo stato, per predisporre a eventuali modifiche, anche considerando le condizioni al contorno dell'opera inserita in una rete infrastrutturale e in uno specifico territorio che devono essere tenuti in conto.