

La gestione globale di reti complesse

(Prima Parte)

MONITORARE NECESSE EST... MA ANCHE, E PIÙ CHE, MAI GESTIRE RETI COMPLESSE IN MANIERA PREVENTIVA, COORDINATA E CENTRALIZZATA. QUESTO OBIETTIVO, A CUI TUTTI GLI OPERATORI AMBISCONO MA CHE PER ORA NON SEMBRANO RIUSCIRE A RAGGIUNGERE, PUÒ ESSERE AVVICINATO METTENDO IN CAMPO UN METODO OGGETTIVO, DA APPLICARE IN CONTEMPORANEA A MIGLIAIA DI PONTI, CHE PREVEDE SENSORI REAL TIME, INTERVENTI DI SICUREZZA PER IL TRAFFICO E DI RINTEGRO "TEROTECNOLOGICO". IN UNA PAROLA: BRIGHT, BRIDGE HEALTH TESTING & SOLVING.



Gabriele Camomilla
Terotecnologo

La situazione dei ponti italiani richiede un ripensamento globale dei loro sistemi di gestione perché: sono la parte debole della infrastruttura; sono mediamente "vecchi". Il concetto di vita utile, recentemente introdotto, è già superato, perché se solo una percentuale minima la raggiungesse contemporaneamente, la fruizione di infrastrutture vitali per il paese andrebbe in crisi. Quindi la manutenzione tradizionale, che ripara ciò che si rompe, non basta; ci vorrebbe una reintegrazione di vita utile progressiva, che assicuri un'affidabilità aumentata e in linea con le esigenze del futuro, usando le conoscenze migliorate nel momento dell'intervento rispetto a quelle della costruzione originaria. Occorre un metodo di controllo affidabile, tempestivo e a basso costo unitario, che permetta la sicurezza di tutte le strutture principali, prevenendo non solo i crolli, ma anche le messe fuori uso, per non incorrere in devastanti avvenimenti di cui il Polcevera è il grido di allarme e la cui soluzione di demolizione e ricostruzione non è perseguibile per centinaia di opere. Ciò sia per tempi e costi che per perdita di funzionalità delle infrastrutture. Metodo, infine, che indichi come incrementare la potenzialità di funzionamento perdute nel tempo. I criteri di sorveglianza, monitoraggio e intervento vanno profondamente cambiati e non si sta facendo perché:

- Si mantiene il criterio soggettivo per la valutazione di stato;
- Si usano (raramente) monitoraggi complessi, non multi-

plicabili per migliaia di opere;

- Non si dice nulla su come intervenire sulle opere con carenze di affidabilità.

La soluzione deve soddisfare a tutte le necessità individuate, pena una regressione insostenibile del nostro modo di vivere. La soluzione a tutti questi problemi esiste ed è stata messa a punto nelle sue parti essenziali. Si chiama BRIGHT. Necessita di un'applicazione immediata che la consolidi e la diffonda. Oltre alla sicurezza delle reti, assicurerebbe anche lavoro qualificato diffuso sul territorio, oltre a una maggiore tranquillità, per i valutatori visivi, con la sua parte di monitoraggio in real time delle parti critiche, applicabile da subito.

L'autore

GABRIELE CAMOMILLA, già direttore tecnico di Autostrade SpA (dal 1970 al 2005) e consulente Anas (dal 2005 al 2014), è da molti anni il punto di riferimento, in Italia, per quanto riguarda la terotecnologia, ovvero il complesso di azioni che servono a mantenere scientificamente la funzionalità delle strutture di trasporto sia nelle parti costituenti (tecnica dei ponti, delle pavimentazioni o delle barriere) sia nell'organizzazione che fa funzionare la strada in termini di gestione del traffico e della sua scorrevolezza nelle diverse condizioni di funzionamento.



1. Naturalmente tutte queste attività avevano comunque una forte dose di soggettività, mitigata dalla relativa omogeneità della rete autostradale dell'epoca e dalla omogeneità del personale preposto alle valutazioni. Oggi è palese il pericolo della soggettività delle valutazioni: prima della caduta di parte del viadotto Polcevera i degni erano forse sottostimati, ma oggi sono sicuramente sovrastimati con la conseguenza che si teme il crollo di moltissime opere.

2. Nel seguito suddivideremo questi criteri in due grandi categorie, quelli strutturali che partono dall'analisi dei movimenti per stabilire le anomalie che li generano e quelli materialistici che, dalla decadenza dei materiali (corrosione dell'acciaio principalmente), stimano le resistenze residue rispetto a quelle originarie; comunque nel passato anche misure di stato strumentali e non solo visive a volte facevano parte delle sorveglianze.

La sorveglianza alle origini

La prendo da lontano, dopo la caduta nel 1966 di una campata mal riparata del ponte di Ariccia, fu promulgata la Circolare n° 6736/61/AI del 19/7/1967 che prescriveva "Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali", ovvero la "sorveglianza". In Autostrade, la società che conosco meglio per averci lavorato 35 anni, la preparazione di una struttura preposta alla sorveglianza fu facile e immediata: erano ancora presenti gli uffici tecnici delle Direzioni Lavori delle opere appena finite ancora in fase di costruzione, per cui gli stessi tecnici furono adibiti alla funzione del controllo nel tempo. Per loro era come seguire nel tempo l'invecchiamento (potrei dire la "maturazione" di un figlio appena uscito nell'agone della vita, ben conosciuto e al quale apparivano le prime rughe di espressione); le loro valutazioni erano comunque *molto soggettive*.

Arrivai alla conduzione del settore nel 1985 e "i figli" erano cresciuti di numero, occorreva uniformare il modo con cui si guardavano e come si valutava la loro evoluzione, dare cioè un indirizzo che riducesse la soggettività, per permettere le comparazioni tra lo stato di opere diverse valutate da esperti diversi. Nacquero così i primi criteri con cui valutare e classificare l'affidabilità di reti di opere, perché il fine non era solo quello della Circolare del 1967, ma quello della programmazione della manutenzione nei tempi e nei modi migliori per lo scorrimento contemporaneo del traffico autostradale. Questo lo dico per far comprendere meglio la metodologia di monitoraggio di rete che spiegherò, nata 30 anni dopo queste prime esperienze¹. Già allora la valutazione del ponte specifico o di una sua parte non era il solo problema. Si doveva anche decidere quale e quando uno dei ponti delle migliaia sorvegliati doveva essere "operato" per primo. Le tre finalità successive del settore erano: *Sorveglianza - Auscultazione - Manutenzione*. DOVE, QUANDO, COME intervenire erano le risposte da dare. La valutazione di stato per il progetto di ripristino era Auscultazione, e interveniva dopo la fase *Sorveglianza*.

Oggi questo concetto non è ancora chiaro, tutti ricercano² metodi di rilevamento strumentali, "per sorvegliare" le resistenze residue, l'affidabilità dell'opera. Ma questa è un'azione da effettuare solo dopo avere individuato quale opera deve essere "riparata" e non può essere il metodo di sorveglianza generale. Anche perché i metodi strumentali di cui

si parla comportano tempi di elaborazione lunghi e complessi. Se le opere sono troppe, non possono essere realizzati operativamente, in modo efficace, per tutte le loro parti. Richiederebbero una schiera di misuratori/valutatori con conoscenze specifiche di livello elevato, che non esiste. Quindi già allora, oltre alla ricerca che vedremo dell'oggettività più spinta delle valutazioni di stato visive, cercavamo un criterio analitico, cioè basato sui numeri, per dare le priorità agli interventi da effettuare che, tramite ulteriore auscultazione (incremento della valutazione di stato) andavano progettati e affidati. Il tutto comportava, e comporta ancora naturalmente, di:

- Avere delle valutazioni di stato che fossero "preventive" alla fase pericolosa;
- Tenere conto delle altre variabili circa le priorità, alcune delle quali erano la vicinanza di più interventi contemporanei anche di tipo diverso e il tipo di problematica da risolvere. All'epoca il problema non era mai di tipo economico, perché tutto ciò che era considerato "problematico" per la sicurezza, veniva eseguito al più presto. Altro parametro vincolante era la scorrevolezza del traffico, il che comportava l'uso di sistemi innovativi molto efficaci e poco invasivi della superficie di uso stradale. Mi dilungo nella descrizione di queste tecniche antiche di gestione delle reti di ponti *perché esse sono ancora le uniche usate - quando lo sono - per dare valutazioni globali necessarie alla programmazione degli interventi*, sia di ulteriore valutazione di stato che di riparazione.

La sorveglianza visiva e il giudizio soggettivo

Il giudizio di tipo soggettivo è ancora oggi usato nelle sorveglianze delle opere d'arte infrastrutturali. Assomiglia a quello di usato in campo medico dove viene definito valutazione clinica ed è la valutazione iniziale che fa il medico quando da sintomi o da auscultazioni semplici si fa un quadro della situazione, che porta ad azioni terapeutiche. Nella clinica medica come nella valutazione visiva dei ponti le valutazioni e le opinioni possono essere, anche di molto, diverse tra loro. Quindi, anche per i ponti, è un metodo che si presta a fornire giudizi non sempre omogenei e funziona bene in gruppi di gestione eticamente motivati, coesi e funzionanti armonicamente, senza condizionamenti di tipo economico o coercitivo. Uniche variabili aggiuntive posso-



L'articolo integrale in anteprima sul web

Un'esclusiva di *leStrade* sulla carta e sul web

Dalla protezione catodica a un approccio "globale" alla manutenzione dei ponti. Della prima abbiamo parlato giusto un decennio fa, con l'ingegner Camomilla, "correva" il numero di Ottobre di *leStrade* annata 2010. Lo stesso pezzo, di straordinaria attualità, l'abbiamo riproposto sul numero speciale *Strade d'Italia* dell'anno scorso, *leStrade* 12/2018, a pagina 60. Non era fantascienza da pianeta Mongo,

quello di Flash Gordon, ma pura tecnica. In quell'occasione e poi in quella del successivo intervento sulla "mancata" ma possibile riqualificazione del Polcevera ("*White Hawk Down Abbattere o salvare?*", *leStrade* 1-2/2019), Camomilla iniziò a parlarmi di BRIGHT e della sorveglianza dei ponti inseriti in reti complesse. Su queste pagine, ma non solo, come vedremo, un primo traguardo: di BRIGHT riusciamo ora a parlare in modo approfondito! Sull'edizione cartacea lo faremo qui e sul prossimo numero di Gennaio-Febbraio, il primo del 2020 che verrà distribuito anche ad Asphaltica. Due punta-

te la cui ragione è semplicemente legata allo spazio. Dal momento che, tuttavia, il nostro primo dovere di divulgatori è quello di agevolare la massima diffusione dei temi di interesse, abbiamo pensato di pubblicare la versione integrale dell'articolo sul web e sui nostri social. Quando? Subito. Basta andare a fare un giro su lestradeweb.it o scansionare con un'apposita App il QR Code che accompagna questo box (in alto a sinistra). Buona lettura, cartacea, digitale e poi ancora cartacea. Senza offese per McLuhan il mezzo, questa volta, non è il messaggio, che *questa volta* conta molto di più (FA).

no essere le ragioni di trasposizione legate alla gestione del traffico, da gestire sempre con la massima attenzione alla sicurezza. Si lavorò a lungo per rendere più omogenei i giudizi degli esperti; in primo luogo fu pensato il Manuale SAMOA: Sorveglianza, Auscultazione e Manutenzione Opere d'Arte stradali (fig. 1).

Con esso si definì il modo con cui rilevare le diverse parti delle opere e di come riportare estensione e tipo di difetti aggiungendo anche un elenco di fotografie o disegni che li descrivevano con le cause probabili. Da esso sono derivati tutti i manuali e metodi di rilievo in uso ancora oggi. Ad esso successivamente furono aggiunte delle valutazioni legate a combinazioni di difetti che definivano i "voti" da attribuire alle condizioni rilevate³. Detti voti servivano a valutare comparativamente opere diverse in modo da dare un giudizio globale che permetteva di graduare nel tempo gli interventi. La combinazione dei voti con la qualità della struttura è riportata in fig. 2. Detti voti Erano tarati per interventi preventivi e non indicavano mai pericoli di crolli imminenti. Qui di seguito, il dettaglio del voto 7, il peggiore della serie che abbassa fortemente il punteggio di stato dell'opera, avvicinando la data di intervento.

Voto 7 Stato fortemente deteriorato

Delaminazioni, distacchi, ammaloramento del calcestruzzo così come la corrosione dell'armatura ordinaria sono prevalenti. La corrosione dell'armatura di precompressione ha portato/sta portando a una riduzione della sezione resistente. È necessario valutare attraverso un'analisi strutturale l'impatto del deterioramento sulla resistenza (condizioni ultime/di servizio) dell'elemento o delle campate (ponte) a breve termine.

La valutazione di stato complessiva basata sulla estensione % delle parti con i voti sopra definiti, comprensibile a tutti anche senza essere esperti, infatti confluiva in un indicatore di stato del ponte (o sua parte) I_p che variava da 100 - ottimo stato a 0 - intervento immediato, secondo la formula:

$$I_p = 100 - (12E + 8D + 4C)$$

In cui le lettere A, B, C derivano dalla percentuale di parti che hanno i voti da 1 a 7 secondo le indicazioni della tabella precisate nella scheda in fig. 2.

Naturalmente, la presenza di voti alti (negativi) era molto importante ai fini della graduatoria dei tempi di progetto del ripristino e dell'intervento. I voti risalgono a 25 anni fa, per opere molto meno invecchiate dal tempo e dall'uso. Naturalmente opere che avessero avuto problemi strutturali palesi andavano trattate immediatamente.

I rilievi strumentali

Come ricordato, già dal 1985 si svilupparono anche sistemi di prova numerici per integrare le valutazioni visive, con la cui evoluzione nel tempo si misurava l'avanzamen-

S.A.M.O.A. capostipite di molti emuli METODO SOGGETTIVO GUIDATO

BRIDGE-MANAGEMENT-SYSTEM MANUALE S.A.M.O.A.

Ideato ed applicato in autostrade spa IRI dal 1985

SAMOA derivava da anni di sorveglianza tradizionale e permetteva di rendere più omogeneo il rilievo, sempre di tipo «umano», per arrivare al

SAMOA - E I SUOI DERIVATI - UNIFORMA I RILIEVI CON SCHEDE DI RILIEVO E DESCRIVE I DIFETTI (149).

Ancora oggi usato, ma contestato SEPARA OPERE IN "BUONA SALUTE" DA OPERE "SOSPETTE", sulle quali cambiare la frequenza di visita, fino al monitoraggio continuo.

RICHIEDE TECNICI MOLTO QUALIFICATI (ognuno valuta 25 opere medie)

1

MISURA DELLA QUALITÀ (PERFORMANCE) - INDICATORE $I_p = I_{\text{PONTI}}$		2
1. INDICATORE	: $I_p = I_{\text{PONTI}}$	
1.1 Nome dell'indicatore	: Stato dei ponti	
1.2 Descrizione	: Detrazione da 100 della somma delle percentuali cumulate del numero di opere che sono nelle diverse classi di misura, escluse quelle in A.B. C	
	$I_p = 100 - (12E + 8D + 4C)$	
1.3 Unità dell'indicatore	: valore da 100 a 0	
1.4 Livelli di qualità	: I : $80 \leq I_p \leq 100$ OTTIMO : II : $60 \leq I_p < 80$ BUONO : III : $40 \leq I_p < 60$ DISCRETO : IV : $20 \leq I_p < 40$ SUFFICIENTE : V : $0 \leq I_p < 20$ INSUFFICIENTE	
1.5 Categoria dell'indicatore	: A SICUREZZA Stato dell'infrastruttura	
2. PARAMETRO DI RIFERIMENTO		
2.1 Apparecchio o sistema di misura	: Rilievi visivi e strumentali	
2.2 Tipo di misura	: VOTO standardizzato su difetti codificati	
2.3 Opera, sezione o tratto a cui si riferisce	: Ponti e Viadotti (Luce > 10 m) presi Singolarmente o per elementi	
2.4. Classifica delle misure	: A voti 0.1.2.3 MOLTO BUONO/BUONO : B voti 4 DISCRETO : C voti 5 SUFFICIENTE : D voti 6.7 CARENTI : E voti > 7 RICHIEDE AZIONE	
2.6 Utilizzazioni dell'indicatore	- Pianificazione delle manutenzioni - Budget lavori - Probabilità di collasso/Qualità delle opere	
2.7 Periodicità di misura	- Biennale, salvo necessità	

1. Il Manuale S.A.M.O.A.

2. La scheda per la valutazione dei pont. Era uno dei 14 Indicatori di Qualità delle strutture autostradali, usati per giudicare l'efficienza dei concessionari

3. Quadro sinottico delle prove integrative delle valutazioni visive

3. I voti furono riportati in una ricerca del 2003 sponsorizzata dal Ministero delle Infrastrutture che avrebbe dovuto produrre un Capitolo prestazionale per le strade, Sorveglianze comprese, dal titolo "Disciplina per la costruzione e manutenzione delle infrastrutture stradali e corrispondenti criteri di progettazione e collaudo". CIRIS, Centro Sperimentale Interuniversitario di Ricerca Stradale. I voti si riferivano alle singole parti valutate; poi c'era la valutazione dell'opera intera ed infine quella delle tratte autostradali. Un'opera poteva avere un voto 7 anche su di una sola trave che andava rivalutata indipendentemente dal resto del ponte.

4. Per esempio la carbonatazione dei copriferro che crea allarmi continui nell'opinione pubblica non qualificata e che è il più facile da diagnosticare, ma anche il meno importante per la resistenza strutturale delle opere, sarebbe facilmente risolvibile per sempre con le tecniche più avanzate di protezione catodica - vedi al paragrafo "Attività di completamento della gestione delle opere", che però è applicata molto raramente.

LE PROVE STRUMENTALI DEL PASSATO : dalle carote alle prove globali non distruttive

Anche all'epoca dell'uso delle valutazioni visive culminate nel SAMOA si sono **sviluppate le prove sui materiali** per valutazioni obiettive dell' stato delle strutture

Le prime erano le valutazioni divenute poi «classiche» delle misure degli **spessori di carbonatazione** con la fenofaleina . Poi c'erano le valutazioni sugli acciai per valutarne le corrosioni e le condizioni tensionali.

Le misure delle tensioni presenti sui calcestruzzi e sugli acciai tramite estensimetri

TUTTE PROVE PUNTUALI CHE DAVANO INFORMAZIONI AGGIUNTIVE MA NON POTEVANO FORNIRE VALORI CERTI SULLO STATO DI STRUTTURE COSI GRANDI

Per avere valori affidabili sarebbero servite centinaia di carote e saggi, impossibili materialmente da eseguire

Già dal 1985 cisi rese conto della necessità di integrare le prove classiche puntuali con **MISURE NON DISTRUTTIVE che coprissero interamente le strutture da valutare**

Mappature di potenziale : usate ed abbandonate per difficoltà di esecuzione ed imprecisione sui dati della corrosione rilevate

Riflettometria ad impulsi RIMT la più completa e verificata in modo completo per conoscere corrosione e vuoti dei cavi di precompressione. Ancora oggi uniche.

Prove dinamiche con valutazione delle frequenze proprie e delle loro variazioni nel tempo

Anche queste ultime erano però erano di tipo diagnostico da elaborare per ottenere dati di affidabilità numeriche, non sempre però con livelli di precisione elevata.

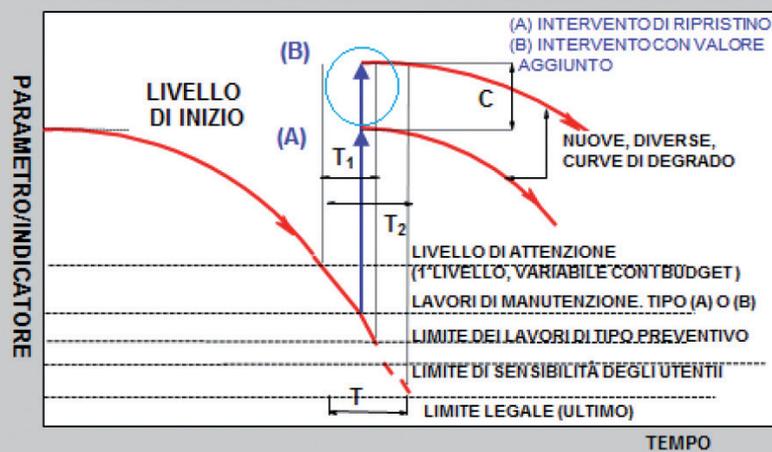
NON SORVEGLIANZA VERA, MA AUSCULTAZIONE DI PROGETTO, CON NECESSITÀ DI INTERVENIRE DECISA

La svolta nel 2005 quando iniziarono gli studi per l'applicazione dei sensori di Emissione Acustica E.A. oggi usabili in modo operativo in BRIGHT **3**

LE FASI DELLA TEROTECNOLOGIA

4

LE CURVE DI DEGRADAZIONE



$T = \text{TEMPO PER DECIDERE} < \text{PREVENZIONE } T_1 \text{ } C = \text{QUOTA DI POSSIBILE MIGLIORAMENTO (B - A)}$
 $\text{RIPARAZIONE } T_2$

4. La terotecnologia in sintesi: mantenere al momento giusto, con interventi migliorativi non noti all'atto della costruzione

5. Vedi anche "La terotecnologia dei ponti: un bene necessario e negletto. La scienza della manutenzione funzionale ai suoi livelli più bassi - Il riscatto possibile" - Di Gabriele Camomilla rivista online INGENIO Ottobre 2019 ingenio-web.it.

6. Questa diversità di opinioni tra i tecnici ha generato sospetti sul modo di utilizzare i voti che si presta a sollecitazioni di tipo gerarchico o ad interpretazioni anche penalmente rilevanti, qualora confermate, del modus operandi seguito. Tolgono comunque autorevolezza ad un metodo usato con vantaggio per anni e che non ha ancora alternative.

già individuato come problematica. Ancora oggi sono usate, sempre con la stessa finalità in quanto non possono essere usate come monitoraggio di rete di *enne* ponti, in quanto non hanno la tempestività dell'informazione necessaria alla sorveglianza oppure richiederebbero, per essere realmente significativi, interventi anche distruttivi massicci, non eseguibili in pratica.

I rilievi di stato attuali

Constatiamo quindi, a mia conoscenza, che i metodi ancora oggi in uso abituale (nelle organizzazioni stradali o ferroviarie che lo fanno in modo sistematico) non si sono evoluti in modo sistematico nella ricerca dell'oggettività/automazione/tempestività dell'informazione, malgrado la maggior importanza che la Sorveglianza e le sue fasi successive abbiamo assunto con l'invecchiamento delle opere.

I rilievi visivi

I metodi di rilevamento dello stato di degrado ponti e viadotti si basano ancora su ispezioni periodiche fatte da esperti con l'ausilio dei diversi manuali sviluppati nel tempo, che contengono immagini dei difetti rilevabili nelle diverse parti delle opere. Sono quindi rilievi periodici sempre di tipo molto soggettivo, che risentono molto più che nel passato della diversa preparazione, in esperienze e durata, dei soggetti rilevatori; comportano anche comparazioni nel tempo non sempre agevoli e ripetibili. Le opere invecchiate, inoltre, hanno il conseguente inevitabile e crescente decadimento della loro capacità di resistenza, difficilmente rilevabile in modo visivo. Esso, alla lunga può portare a un collasso strutturale, anche improvviso e inaspettato, spesso di tale entità da compromettere la loro funzionalità in sicurezza. Questo fatto può avvenire perché fenomeni vistosi e palesi come quelli dovuti alla *carbonatazione dei copriferro*⁴ sono sopravvalutati, e distraggono l'attenzione da altri più subdoli, legati alle azioni dinamiche incessanti che possono portare a *collassi per fatica*, i cui sintomi non sono facilmente visibili. Infatti spesso appaiono come fessure di aspetto innocuo che hanno però importanza diversa a seconda di dove si presentano e a seconda del tipo di struttura e della sua vicenda operativa in termini di tipo e intensità del traffico. *La fatica degli acciai non era stata messa in conto nelle progettazioni degli anni del boom delle costruzioni stradali e autostradali degli anni '60-90 e la loro presenza non è correlata alle variazioni di resistenza degli acciai soggetti per esempio alla tensocorrosione; per questi motivi anche misure non distruttive di tipo tradizionale, con accelerometri straingages o riflettometrie ad impulsi, ancora in uso, non hanno riferimenti di resistenza a cui confrontarsi per trovare il livello di affidabilità residuo dell'opera in esame.* La loro manutenzione, che dovrebbe essere un processo continuo nel tempo, poi dipende dal diverso tipo di strutture, dall'accessibilità e complessità degli elementi strutturali su cui intervenire e che ha *diversi criteri di intervento* in base ai criteri spesso disattesi della terotecnologia dei ponti⁵ (vedi fig. 4), come ricordato anche nel paragrafo dedicato alle Norme in atto (NTC 2018) e alle recenti Linee Guida MIT UIT, ancora incomplete e scarsamente utilizzabili, che riguardano il settore. I punti dolenti, spesso non risolvibili in modo efficace, possono essere riassunti nella carenza di conoscenze della geometria esterna e delle armature interne, con date di esecuzione originaria e dei diversi interventi manutentivi se presenti dei manufatti esistenti sulla rete da rilevare, diversi anche per tipologia ed età. L'altra difficoltà è quella dell'esecuzione di analisi sperimentali puntuali e distruttive e per la valutazione del loro stato di salute strutturale, che spesso non sono in grado di dare elementi certi sull'effettivo stato di salute delle diverse parti dell'opera per i motivi ricordati in fig. 3. In questo modo, quindi, i piani di manutenzione preventiva basati sulla comparazione in gravità del livello stimato del danno tra le diverse strutture sono ancora estremamente soggettivi. Il criterio ormai consolidato per moderare la soggettività di valutazioni continua a essere quello dell'assegnazione di voti dovuti alla presenza di più difetti concomitanti, definiti da fotografie o schemi che

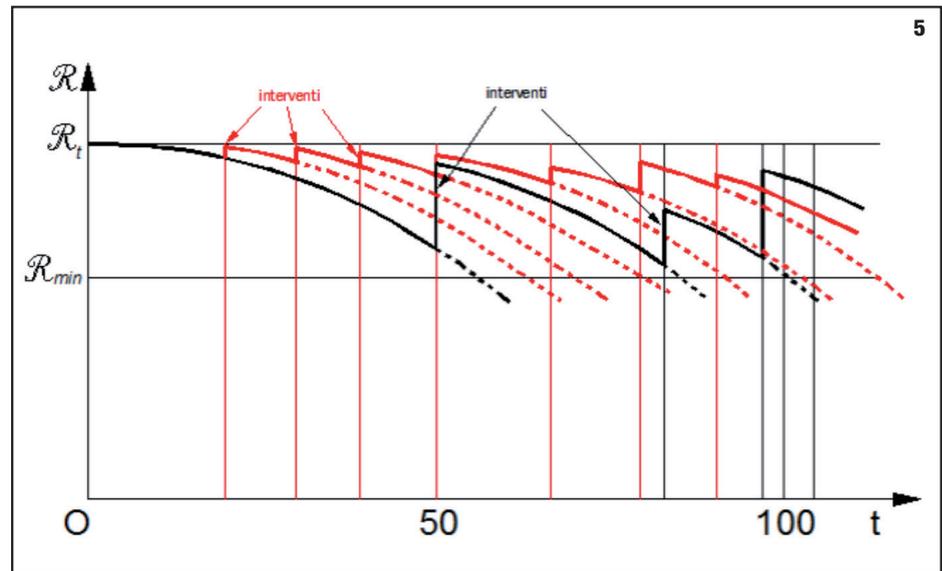
li descrivano. Permane comunque la prevalenza della soggettività, in quanto detto criterio è sempre operato da tecnici diversi⁶, che spesso danno indicazioni sull'intera opera d'arte e non sulle singole parti. Queste ultime invece, anche se limitate nello spazio, potrebbero, da sole, causare l'inagibilità dei manufatti o situazioni di pericolo. Un esempio tipico sono i viadotti a più campate, ognuna delle quali composta da più travi. Spesso poi non si rilevano le condizioni al contorno dell'opera e non si fa riferimento al cambiamento di condizioni idrogeologiche o di traffico, o all'età della struttura che comporta un cambiamento di funzionalità e/o di resistenza delle singole parti.

I monitoraggi strumentali odierni

A parte le prove tradizionali sui materiali praticamente non diverse da quelle degli inizi, alcune opere d'arte, a seguito delle ispezioni, vengono monitorate con metodi non distruttivi riferiti a un elemento completo di struttura, con metodi diagnostici complessi che ricalcano quelli descritti al paragrafo "I rilievi strumentali". Gli strumenti odierni sono più avanzati e potenti rispetto ad essi, ma richiedono comunque interpretazioni soggettive e non esaustive, anche se strumentali e comunque non sono in grado di dare allarmi di pericoli di cedimento in tempo reale. Questi metodi, che di solito vengono applicati solo a opere d'arte molto importanti per il loro costo e la loro complessità, prevedono l'installazione di reti localizzate di sensori cablati (accelerometri, estensimetri, sonde di temperatura) che richiedono comunque tutti, tempi di elaborazione lunghi per definire lo stato dell'opera misurata e il conseguente progetto di manutenzione accurato con risultati non sempre molto affidabili. Altri metodi strumentali nuovi, tra i più avanzati, effettuano misure di comportamento globale come, l'analisi dei modi di vibrare delle diverse parti della struttura generata dai veicoli in movimento, oppure la misura sia di movimenti dinamici da traffico che di movimenti nel tempo, effettuati con metodi interferometrici terrestri o satellitari, costituiscono sistemi con sensori e/o apparecchiature di rilevazione molto costose che richiederebbero per avere un'efficacia più precisa, una preventiva classificazione del comportamento della struttura senza danni, per consentire un confronto tra quella sana e quella degradata, la cui condizione deve essere conosciuta. L'uso di l'impiego di sensori in fibra ottica poi, è valido solo se le fibre sono state precedentemente inserite nelle strutture da valutare.

Innovazioni nelle norme sulle sorveglianze

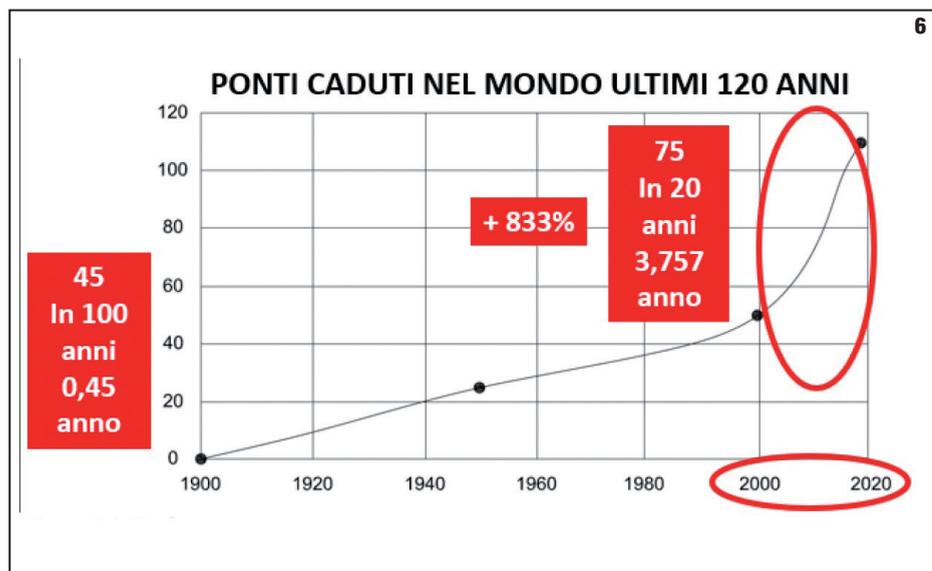
Le normative⁷ cominciano quindi a fornire criteri di valutazione delle opere esistenti. Nella nuova circolare delle NTC 2018 sono inserite delle indicazioni aggiuntive specifiche per i ponti esistenti⁸. Un'interessante novità è l'inserimento di una serie di paragrafi che non trovano corrispondenza nelle NTC, ma che comunque forniscono indicazioni utili per la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi dei ponti esistenti. In particolare il documento citato in nota recita: "Al punto 2.4.1 delle norme, anche ai fini delle verifiche sismiche, è definita



la 'vita nominale di progetto' di un'opera, V_N , che è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale l'opera, purché ispezionata e mantenuta come previsto in progetto, manterrà i livelli prestazionali e svolgerà le funzioni per i quali è stata progettata. Le opere sono classificate in tre differenti categorie, per ciascuna delle quali viene fissato il valore minimo di V_N : 10 anni per le strutture temporanee e provvisorie e quelle in fase di costruzione, 50 anni per le opere con livelli di prestazione ordinari, 100 anni per le opere con livelli di prestazione elevati. V_N è dunque il parametro convenzionale correlato alla durata dell'opera alla quale viene fatto riferimento in sede progettuale per le verifiche dei fenomeni dipendenti dal tempo, (ad esempio: fatica, durabilità, ecc.), rispettivamente attraverso la scelta ed il dimensionamento dei particolari costruttivi, dei materiali e delle eventuali applicazioni di misure protettive per garantire il mantenimento dei livelli di affidabilità, funzionalità e durabilità richiesti". Il comportamento atteso per la resistenza R di un'opera al decorrere del tempo t è una graduale riduzione che, comunque, non deve mai scendere al di sotto della Resistenza minima R_{min} cui corrisponde il livello di affidabilità minimo ammesso, come chiaramente rappresentato nel grafico di fig. 5, anch'esso estratto dal documento citato (in cui è denominato Fig. C.2.1).

Come si vede, diverse strategie di manutenzione sono possibili (le curve rosse sono alternative alla curva nera, quella più usualmente adottata). Al riguardo la Circolare recita: "Va anche segnalato, come sintetizzato nella figura C.2.1, che non è necessario concentrare gli interventi al termine di V_N , perché sono possibili anche strategie d'intervento alternative, che prevedono interventi più contenuti e più ravvicinati nel tempo". Quello che non si dice in modo semplice (in effetti cosa non facile) è il modo con cui queste grandezze fondamentali R e R_{min} vanno calcolate. La manutenzione è sempre articolata in "manutenzione ordinaria" e "manutenzione straordinaria" in modo poco chiaro, come capita sempre quando non si parte da considerazioni tecniche, quando la distinzione è più bilancistica che funzionale al ri-

5 (Fig. C.2.1). Evoluzione dell'affidabilità strutturale e del periodo di vita nominale in funzione delle strategie d'intervento



6. Crollo dei ponti in crescita. A fronte di un aumento dell'833% tra la media 0,45 ponti/anni del periodo 1900-2000, e 3,75 ponti/anno degli ultimi 20 anni, l'Italia ha cadute minori, 1,7 ponti/anno (10 ponti crollati nel periodo)

sultato. Semplificando, *l'ordinaria è spesa e la straordinaria è investimento*. Tutto ciò per esempio, come ben noto, ha avuto la sua parte nella vicenda del viadotto Polcevera: **la manutenzione è, dunque, sempre un investimento per il futuro.**

Meritoria l'introduzione del concetto di vita nominale VN: la durata da prevedere ha guidato sempre, come detto, le società concessionarie in quanto la loro responsabilità era definita per un tempo preciso.

Il valore di 50 anni prescelto non è però dell'ordine di grandezza giusto per opere come i ponti e viadotti stradali, che devono avere durate sicure più elevate. Ma la pecca è il fatto che non si prevede - confrontare il diagramma della norma con quello di fig. 5 - l'azione fondamentale della manutenzione scientifica, la *terotecnologia* - è che **l'intervento deve essere migliorativo**, legato a eventuali esigenze mutate al momento di intervento e/o alle nuove conoscenze su tecniche e materiali acquisite negli anni passati dalla costruzione¹⁰; anche l'indicazione degli interventi di manutenzione da prevedere nel progetto originale è incompleta, perché non si indica che si potrà tener conto delle tecnologie possibili nel futuro.

Quindi il concetto di vita nominale V_N non è realistico, non deve essere considerato come la data di "morte" certa della struttura. La verità è che la gestione del ponte non deve avere una visione temporale limitata: il ponte deve essere sempre in buone condizioni. In questo modo, per opere così importanti per i ponti si arriva a una *vita utile senza fine* (predefinita), un ergastolo al contrario: **fine vita mai.**

Altra decisione da prendere da parte del legislatore sarebbe, sempre a mio parere, quella di tornare sui suoi passi e di rendere più agevoli, per enti pubblici o privati, i contratti legati al mantenimento funzionale di queste opere strategiche, almeno per quanto riguarda le ricerche dei procedimenti innovativi e le prime applicazioni sperimentali per svilupparli, con maggiori autonomie dal punto di vista contrattuale e con società specializzate. Queste autonomie del resto sono già concesse a organizzazioni pub-

bliche con finalità pubbliche (quali ferrovie, esercito e simili) per le attività di ricerca innovativa, ma da esse sono escluse le strade.

Linee guida MIT 2019

Le recenti - agosto 2019- "Linee Guida MIT sulla manutenzione dei viadotti autostradali" pubblicate dall'UIT di Roma sono ancora piuttosto generiche sulle azioni operative da svolgere e comunque, come linee guida non vincolanti, non aiutano a mio parere neppure il rispetto formale della problematica della Sorveglianza che sarebbe assicurato *solo se le linee guida assumessero una configurazione di normativa o istruzione*, che però oggi non possono avere, perché nessuno dei metodi è stato tarato per un tempo abbastanza lungo su un numero di opere significativo. Essendo costituite in molte parti fondamentali da documenti illustrativi di tipo discorsivo, mantengono la essenza fortemente soggettiva che ne deriva. La stessa critica si può riferire ai numerosi metodi speditivi per la valutazione dello stato di conservazione e/o del rischio: non se ne conosce la validità predittiva e il rischio che si corre è che vengano interpretati in maniera troppo precauzionale, arrivando a gravi riduzioni di funzionalità delle infrastrutture o vengano sottostimati, con la conseguente possibilità di gravi crolli o interruzioni di servizio. *Occorre un metodo che dia la certezza della problematica con una misura più precisa del livello di pericolosità dei degradi.*

Necessità di cambiamento

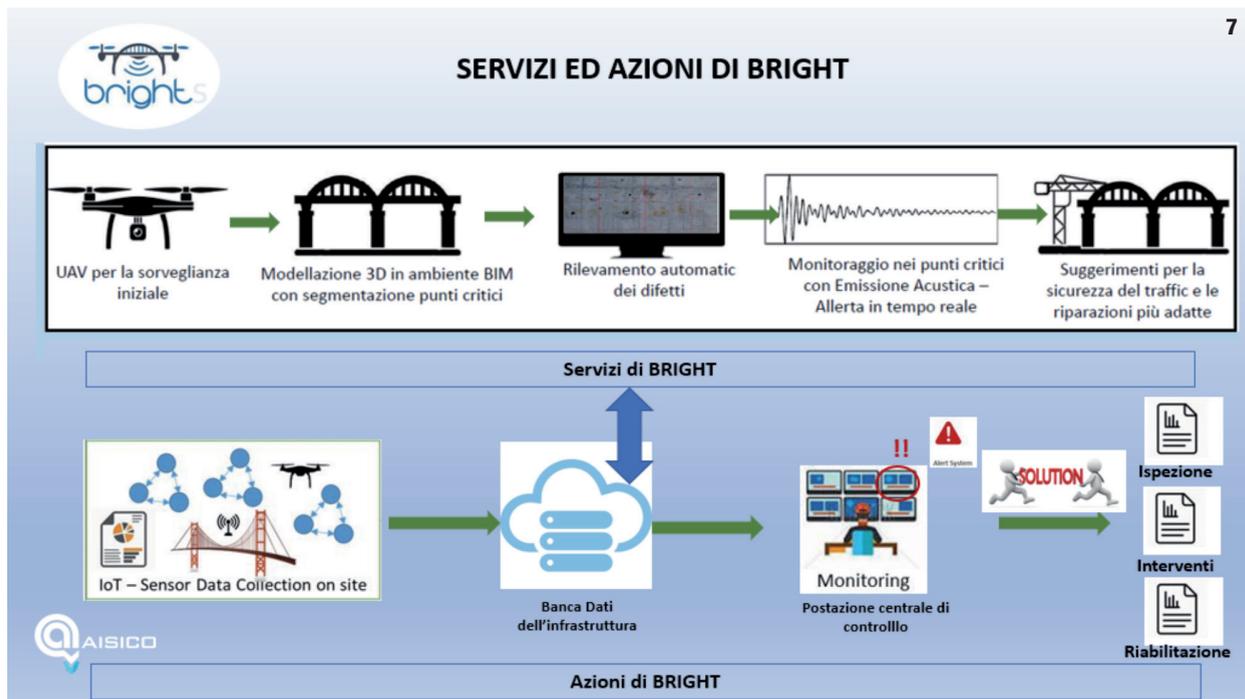
Alla luce di ciò, non si ritengono più sufficienti i soli rilievi visivi, prescritti dalle norme, che sono peraltro difficili da svolgere capillarmente e comunque costituiti da criteri sempre di tipo fortemente soggettivo dei diversi valutatori. E neppure attraverso i metodi di monitoraggio attuali che danno solo informazioni da elaborare in modo complesso si riesce a risolvere il problema, fondamentale, della prevenzione dei pericoli di malfunzionamento, che arrivano fino al crollo, come sta avvenendo sempre più spesso nelle reti, di strutture di questo tipo. In fig. 6 è mostrato un grafico indicativo del numero dei ponti crollati negli ultimi 120 anni. Si nota l'accelerazione nei crolli dovuta sia all'aumento del numero delle opere costruite negli ultimi decenni del secolo scorso, ma anche dovuti all'invecchiamento delle medesime. Vi è quindi una necessità significativa e urgente di disporre di metodologie e di tecniche precise, il più possibile oggettive e automatiche, di ispezione, monitoraggio, con diagnosi e prognosi delle parti più a rischio dei ponti e viadotti, per stabilire un livello molto affidabile di prevenzione di guasto strutturale reale con preallarmi in tempo reale ed interventi codificati. Non è poi sufficiente controllare solo le grandi opere, che si conoscono spesso nei dettagli, ma occorre anche valutare le opere relativamente minori, quelle che non sarebbero essenziali per gli utilizzatori, ma che potrebbero parimenti mandare in crisi per tempi lunghi i sistemi di trasporto e delle quali spesso si ignorano progetti e resistenze dei materiali costituenti.

7. Una pregevole raccolta di normative specifiche è quella fornita da W. Salvatore in "Valutazione del rischio strutturale - forma e sostanza" con la presentazione di numerosi metodi speditivi per le ricordate valutazioni edito della Giornata di studio ENEA del 14 febbraio 2019 sul Monitoraggio e valutazione di ponti e viadotti.

8. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, pubblicate nella Gazzetta Ufficiale n. 35 del 1/02/2019, Supplemento Ordinario n. 5.

9. V. Mori, Y., Ellingwood, B.R., (1993), Reliability-based service-life assessment of aging concrete structures, Journal of Structural Engineering.

10. Negli Stati Uniti questa concezione della durata preconstituita senza miglioramenti ha portato e porta a gravi problemi anche di crolli di ponti che raggiungono la fine vita a gruppi numerosi, contribuendo con buon numero al comportamento esponenziale di fig. 6.



Ponti, azioni necessarie per una moderna gestione

La gestione dei ponti deve essere composta da una serie di azioni correlate tese a mantenere sempre funzionante in sicurezza il complesso delle strutture che costituiscono la rete delle infrastrutture. Esse sono le seguenti:

1. Classificare¹¹ tutte le opere della rete per tipologia e materiali in modo che i difetti che verranno riscontrati nel tempo, siano catalogati in categorie di gravità ben individuate a priori e valide per tutte le opere dello stesso tipo.
2. Rilevare le opere con sistemi automatici e restituirle sotto forma di disegni gestibili da suddividere nelle diverse parti costituenti, ognuna delle quali ha una sua posizione nell'affidabilità del funzionamento complessivo, individuando poi quelle critiche per l'affidabilità strutturale.
3. Riportare sulle aree critiche individuate i difetti presenti tramite il loro riconoscimento in automatico e suddividerle in due grandi categorie: quelle senza problemi in atto e quelle con difetti da valutare ulteriormente; graduare queste ultime secondo la gravità delle condizioni¹².
4. Mettere sotto controllo continuo queste parti così individuate con sensori che avvertano in tempo reale il variare delle condizioni, collegati a un centro di ascolto, in modo da avere allarmi preventivi sul loro peggioramento.
5. Definire a priori i principali criteri di intervento immediato in caso di allarme, in modo da poter gestire con regole l'emergenza sull'opera che ha dato segni di peggioramento. I criteri, riguarderanno le azioni sul traffico che la percorre, e quelle per la successiva riparazione una volta verificata la causa dell'allarme. I criteri di riparazione dovranno riportare l'opera a condizioni di affidabilità uguali all'opera nuova, o migliori di esse, se possibile con le conoscenze nuove acquisite. Questi criteri precostituiti quindi vanno rivisti periodicamente. La gestione operativa descritta per reti con opere d'arte numerose e complesse è affidabile se *tutti i processi elencati vengo-*

no svolti in modo strumentale "oggettivo" o automatico che dir si voglia e non più soggettivo, con l'ausilio di sistemi informatizzati tali da tenere sotto controllo migliaia di elementi senza problemi. Naturalmente si potrà partire gradualmente usando dapprima i dati già disponibili, anche soggettivi, da sostituire o incrementare con i nuovi metodi, così come vedremo si fa con il metodo BRIGHT descritto nel seguito.

Il metodo BRIGHT¹³

Tutte le caratteristiche definite come fondamentali dalla precedente analisi sono soddisfatte dal metodo BRIGHT che è nato proprio per la gestione di reti di ponti e viadotti. BRIGHT è un servizio completo composto da più parti, sintetizzato nella fig. 7.

Azioni di BRIGHT in sintesi

1. **Rilievo** Rilevamento automatico dei ponti con droni;
2. **Modellazione 3D automatica** con successiva segmentazione dei modelli 3D con classificazione automatica degli elementi per importanza strutturale, al variare delle tipologie e dei materiali delle opere;
3. **Valutazione danni visibili in superficie** tramite rilevamento automatico dei difetti, loro classificazione per prestazioni di sicurezza strutturale; graduatoria di affidabilità in automatico di parti di criticità comparabile;
4. **Rilevamento evoluzione danni** tramite installazione di reti di sensori sugli elementi in cui sono stati individuati i danni strutturali, sensori che permettono il monitoraggio continuo dell'evoluzione con allarmi in tempo reale, preventivo alla rottura con la tecnica dell'emissione acustica o altra equivalente;
5. **Gestione operativa dati rilevati e monitorati:** controllo remoto centralizzato di tutte le strutture monitorate. Indicazioni sulle modalità di intervento immediato in caso di allarme per le ispezioni successive di dettaglio, gli interventi immediati e quelli successivi con le tecniche e relativi prezzi per operare le riabilitazioni necessarie. ■■

¹¹. La classificazione deve essere oggettiva e questa caratteristica è legata a principi tecnici non opinabili sulla reale importanza strutturale di certe parti rispetto ad altre, con eventuali dubbi da sciogliere con decisioni a favore della maggior sicurezza dei risultati e comunque sempre rivedibili con possibili adeguamenti dettati dall'uso.

¹². Naturalmente, in caso di problemi già di rilevante entità far partire subito le azioni del punto 4 con apposizione dei sensori di E.A.

¹³. Il metodo è brevettato: domanda n° 102019000014922 del 22/8/2019 in molte delle sue parti essenziali e originali, oltre a far tesoro di soluzioni di valutazione di stato e d'intervento consolidate in decenni di applicazione dei singoli metodi da parte degli autori del brevetto.

La seconda puntata sarà pubblicata su *leStrade* 1-2/2020.