



MINISTERO DELLE  
INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

DIREZIONE GENERALE  
PER LA VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

Ufficio Ispettivo Territoriale di Roma

**VERIFICHE, MONITORAGGIO E MANUTENZIONE DEI  
VIADOTTI AUTOSTRADALI**

Roma, 8 Agosto 2019

Ing. Placido Migliorino

MIGLIORINO PLACIDO  
MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
07.08.2019 07:56:36 CEST

## 1. Visite straordinarie sicurezza viadotti

Il crollo del Ponte Morandi, avvenuto il 14/08/2018, ha confermato la necessità di riesaminare le priorità programmatiche delle infrastrutture ed in particolare, per le opere esistenti, di procedere a verifiche di dettaglio definendo, altresì, adeguati criteri di monitoraggio manutentivo.

Conseguentemente il Signor Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, ha incaricato l'Ufficio Ispettivo Territoriale di Roma di eseguire, sulla rete di propria competenza, verifiche straordinarie finalizzate ad accertare lo stato conservativo dei viadotti e le relative condizioni di sicurezza.

L'incarico, a differenza di quanto normalmente espletato nell'ordinaria attività di vigilanza autostradale, prevedeva che l'accertamento non fosse demandato alle Società Concessionarie nell'ambito della esclusiva responsabilità di cui all'art. 14 del Codice della Strada, ma si espletasse individuando criteri di verifica disposti direttamente dall'Ufficio del Ministero.

Tale modo di procedere è stato, pertanto, inquadrato nell'ambito di una attività straordinaria che integrava quella ordinaria nella quale, come detto, erano state fino ad allora le Società Concessionarie ad eseguire autonomamente le verifiche.

Per ottemperare al mandato ricevuto UIT Roma ha eseguito, dal mese di settembre 2018 al mese di luglio 2019, circa 180 sopralluoghi verificando lo stato di altrettanti viadotti rientranti nella rete autostradale di propria competenza, che si estende per circa 2000 km del centro-sud della nazione.

Le Società Concessionarie e le Autostrade interessate dai sopralluoghi e verifiche sono le seguenti.

- Autostrade per l'Italia DT5-DT6-DT7-DT8: A1 Chiusi-Napoli, A12 Roma-Civitavecchia, A14 Riccione-Bari-Taranto, A16 Napoli-Canosa; A30 Caserta-Salerno;
- Strada dei Parchi: A24 Roma-Teramo, A25 Torano-Pescara;
- Società Autostrade Meridionali: A3 Napoli-Pompei-Salerno;

- Tangenziale di Napoli: A56 Tangenziale di Napoli;
- Società Autostrada Tirrenica: A12 Livorno-S.Pietro in Palazzi, A12 Tarquinia-Civitavecchia.

Gli esiti dei sopralluoghi sono stati riportati in specifici verbali, sottoscritti dai Rappresentanti del MIT e delle Società Concessionarie quelli in contraddittorio, e solo dai rappresentanti del MIT quelli eseguiti autonomamente.

I viadotti ispezionati, nella maggior parte dei casi, appartenevano alla famiglia delle opere ammalorate individuate come tali dalle stesse Società Concessionarie, ed hanno interessato anche le superfici interne degli impalcati a cassone.

I sopralluoghi hanno sostanzialmente confermato un grado di ammaloramento, in alcuni casi molto avanzato, tale da rendere necessarie, a giudizio di UIT Roma, le verifiche di sicurezza prescritte dal capitolo 8 delle NTC 2018.

UIT Roma ha accertato anche le condizioni di transitabilità provvisoria dei viadotti, in accordo alle prescrizioni normative, disponendo in alcuni casi la totale interdizione al traffico e in altri casi restrizioni all'uso, compatibili con le ridotte capacità prestazionali dei viadotti.

Sono state verificate tutte le relazioni, i calcoli e le ipotesi di caratterizzazione assunte dalle Società Concessionarie, rilevando il ripetersi di anomalie che condizionavano in maniera rilevante i risultati delle verifiche medesime.

In particolare le Società Concessionarie inizialmente intendevano applicare alle strutture non i carichi previsti dalle NTC 2018, ma quelli derivanti dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 1962 ovvero quelli di progetto.

Tale criterio è stato rigettato.

Inoltre, la caratterizzazione dei materiali e delle sezioni geometriche, oltreché dello stato della precompressione, quasi sempre non consentiva di raggiungere il prescritto livello di conoscenza LC3 a cui poteva essere associato un fattore di confidenza  $FC=1,0$ . A tal proposito, infatti, spesso le Società si limitavano a replicare nelle verifiche le ipotesi progettuali.

Non di rado, infine, le verifiche erano state proposte allo Scrivente per famiglia tipologica di opera (impalcati a cassone, a travi, etc...) e non per singolo viadotto. Ne derivava una mediazione dello stato dell'arte che, ovviamente, non poteva essere condivisa.

L'esperienza maturata nel settore, pertanto, ha reso necessaria l'elaborazione del presente documento, che non vuole sostituire o anticipare le specifiche disposizioni normative o eventuali circolari di futura emanazione da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Al contrario il documento intende fornire alcune indicazioni preliminari utili a prevenire anomalie di calcolo che potrebbero rendere poco esaustive e coerenti con la realtà le verifiche agli SLE e SLU, e contiene opportuni suggerimenti per la definizione di adeguati programmi di manutenzione e monitoraggio strutturale.

Questa attività si incardina nelle funzioni d'istituto della Direzione Generale per la Vigilanza sulle Concessionarie Autostradali prescritte dal DM 346/2014 che, nello specifico, prevede la definizione delle linee di indirizzo, il coordinamento e l'adozione dei provvedimenti ritenuti necessari ai fini della sicurezza stradale, oltreché il monitoraggio delle autostrade.

A tal fine UIT Roma si è avvalso, anche, del supporto di diverse Istituzioni Universitarie, tra cui la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma La Sapienza, del Politecnico di Torino, dell'Università di Trento e di alcuni Professionisti esterni che collaborano con l'Università Federico II di Napoli, a cui è rivolto un vivo ringraziamento per la collaborazione manifestata.

Sono state eseguite diverse prove di carico e sono in corso ulteriori attività scientifiche che, tuttavia, non saranno completate prima di 12 mesi.

Tra le prove di carico più significative si cita la prova a collasso del viadotto abbandonato Alveo Vecchio al km 122+700 dell'autostrada A16 Napoli-Canosa, la prova sul viadotto Colle Castino dell'autostrada A24 Roma-Teramo, e la prova di carico eseguita sul viadotto Coltano dell'autostrada A12 Livorno-S-Pietro in Palazzi.

Il presente documento, pertanto, vuole rappresentare una prima sintesi degli accertamenti eseguiti e fornire, come detto, le prime indicazioni utili per le verifiche e il monitoraggio manutentivo delle opere d'arte esistenti, nelle more che sia completato l'ulteriore

approfondimento scientifico commissionato alle Università, attraverso le Società Concessionarie.

## **2. Analisi dello stato manutentivo**

Le verifiche di sicurezza e funzionalità, prescritte dal capitolo 8 delle NTC2018, devono necessariamente rappresentare il momento di sintesi finale di una attenta analisi e di un costante monitoraggio dello stato manutentivo.

Dette verifiche si rendono, infatti, necessarie qualora il degrado riscontrato, o più semplicemente il mutare delle condizioni d'uso delle opere, interagisca con le reali capacità statiche delle strutture e la loro funzionalità.

In conformità alle indicazioni contenute nella Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 6736-61-A1 del 19/07/1967 e s.m.i. le ispezioni sulle strutture devono essere eseguite con cadenza periodica almeno trimestrale, e devono consentire di individuare i difetti manutentivi, preliminarmente catalogati. I risultati di tali ispezioni sono riportati nelle specifiche schede di cui ogni Società dovrà dotarsi.

A riguardo il citato DM 346/2014 ha individuato negli Uffici Ispettivi Territoriali della DGVCA, e quindi anche in UIT Roma, gli organi competenti per l'approvazione dei programmi e dei criteri di manutenzione elaborati dalle Società Concessionarie.

L'esame dei piani manutentivi delle Concessionarie, da parte del Concedente, era già previsto dalle convenzioni vigenti, anche prima del DM 346 citato. Tuttavia, solo a seguito dell'emanazione di detto Decreto questa funzione di responsabilità è stata trasferita agli Uffici Ispettivi.

Il recente parere CT-40046/2018 prot. 176891 del 28/03/2019 dell'Avvocatura Generale dello Stato ha confermato tale orientamento giuridico.

Ciò premesso, si pone il problema di definire una procedura decisionale, basata su analisi multicriteria, che consenta di sviluppare un adeguato piano di monitoraggio e controllo delle opere, individuando altresì una scala di priorità degli interventi manutentivi da eseguire.

A riguardo UIT Roma ha istituito un tavolo tecnico con le Società Concessionarie rientranti nelle proprie competenze territoriali, il cui obiettivo è quello di individuare un parametro che sinteticamente rappresenti la vulnerabilità manutentiva, attraverso un “Fattore di rischio” della singola opera d’arte. Al tavolo tecnico partecipa anche una Istituzione Universitaria a cui è stato commissionato specificatamente l’approfondimento scientifico.

Tale Fattore sarà correlato con diversi indici, ognuno dei quali rappresenta un rischio specifico che può incidere sulla sicurezza globale, oltreché sulla durabilità dell’opera d’arte.

A titolo esemplificativo ma non esaustivo si possono indicare i seguenti indici:

- indice di criticità manutentiva: determinato a seguito delle ispezioni periodiche, rappresenta il degrado presente nel ponte/viadotto;
- indice di invecchiamento: tiene conto dell’età del ponte e della sua vita utile;
- indice di vulnerabilità di precompressione: stimato a seguito delle effettive cadute di precompressione a tempo infinito e dei difetti nei cavi di precompressione;
- indice di pericolosità sismica: corrispondente alle coordinate geografiche dell’opera (accelerazione al suolo sul bedrock) e alla sua vulnerabilità sismica (confronto capacità/domanda);
- indice di pericolosità idrogeologica;
- indice di esposizione al traffico: tiene conto del TGM della tratta autostradale;
- indice di esposizione: in ragione della pericolosità verso o dall’ambiente esterno (presenza di infrastrutture o insediamenti sensibili sottostanti o adiacenti).

L’obiettivo del Tavolo tecnico istituito da UIT Roma è, pertanto, quello di individuare la procedura multicriteria che consenta di definire, per ogni ponte/viadotto, un indice di rischio, qualitativamente rappresentato dalla seguente formula

$$\text{Rischio} = \text{Vulnerabilità} \times \text{Pericolosità} \times \text{Esposizione}$$

Quanto sopra al fine di poter mappare tutte le opere presenti e associare ad ognuna di esse una priorità di intervento.

Tale procedimento deve, tuttavia, essere integrato con le verifiche di sicurezza e funzionalità che, inevitabilmente, renderanno prioritari i relativi interventi di adeguamento nel caso di pregiudizio statico o funzionale.

La necessità di procedere alle verifiche di sicurezza in parola, deve risultare dalle schede di rilievo delle visite periodiche (indice di criticità manutentiva) che, pertanto, non si devono limitare a rappresentare una indagine meramente visiva dell'opera. Al contrario dette schede devono evidenziare, attraverso indagini indirette, anche eventuali criticità strutturali non sempre visionabili.

Ci si riferisce in particolare ai difetti dei cavi di precompressione e alla determinazione della precompressione residua, che non può essere ipotizzata coincidente con la previsione progettuale. Spesso infatti le cadute di tensione a tempo infinito, sono sensibilmente diverse da quelle ipotizzate nel progetto originario, raggiungendo valori sensibilmente superiori al 30%.

Un tale "difetto" raramente è visibile e quindi, deve essere adeguatamente ispezionato e verificato con prove specifiche.

Si ricorda che il valore della precompressione residua e della relativa armatura, ha una rilevanza sia nelle verifiche a taglio agli SLU (controtaglio), che nelle verifiche a flessione agli SLU dove i cavi intervengono con la loro resistenza analogamente all'armatura ordinaria, che nelle verifiche agli SLE per la presenza di detensionamento o fessurazione nelle combinazioni di carico rara e frequente.

Di seguito si riporta il criterio grafico per la determinazione dello stato di precompressione residua, utilizzato dal DISG della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma, nella prova di carico del viadotto Colle Castino dell'autostrada A24 Roma-Teramo.

Autore:

prof. ing. Davide Bernardini

Professore Associato di Meccanica delle Strutture

presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica

Università di Roma La Sapienza

### Metodo grafico per la valutazione della precompressione residua tramite il momento di fessurazione

Nel processo di valutazione delle prestazioni strutturali di viadotti esistenti in c.a.p. può essere utile ricorrere all'esecuzione di prove di carico a flessione. Il massimo carico applicabile in prove di questo tipo deve essere attentamente valutato e devono essere preventivamente determinati criteri di stop che scongiurino il raggiungimento di stati limite irreversibili.

Ciononostante, può accadere di osservare l'apertura di fessure per livelli di sollecitazione inferiori a quelli massimi previsti per la prova. In questi casi, può essere utile applicare in forma grafica il metodo del momento di fessurazione per stimare il valore della precompressione residua. Facendo riferimento, per semplicità, ad un viadotto a travate appoggiate, la tensione all'intradosso nella sezione di mezzera ad inizio prova può essere scritta nella forma  $\sigma_{c,inf,0} = \sigma_{c,inf,G} + \sigma_{c,inf,P}$  dove  $\sigma_{c,inf,G}$  è il contributo dei carichi permanenti e  $\sigma_{c,inf,P}$  quello della precompressione. Analizzando il tracciato dei cavi e le fasi costruttive può essere possibile esprimere o stimare il secondo contributo in funzione di un valore efficace  $\sigma_{p,res}$  della precompressione residua. Durante lo svolgimento della prova di carico, all' $i$ -mo step di carico, la tensione di intradosso

$$\sigma_{c,inf,i} = \sigma_{c,inf,G} + f(\sigma_{p,res}) - \frac{M_{Q,i}}{W_{inf,Q}}$$

è definita a meno del valore incognito della precompressione residua. Se la relazione  $f$  è lineare, gli step di carico determinano rette parallele  $r_i$  nel piano  $(\sigma_{p,res}, \sigma_{c,inf})$ . Assumendo che l'apertura delle fessure sia osservata tra lo step  $a$  e lo step  $b$ , l'intersezione tra le rette  $r_a, r_b$  con la retta orizzontale  $\sigma_{c,inf} = f_{c,t}$  che rappresenta la condizione di fessurazione, determina un intervallo  $(\sigma_{p,res,a}, \sigma_{p,res,b})$  all'interno del quale si deve trovare il valore della precompressione residua. Se il viadotto è stato fessurato precedentemente alla prova, l'apertura delle fessure avviene in corrispondenza della decompressione e non è necessario stimare la resistenza a trazione  $f_{c,t}$ .

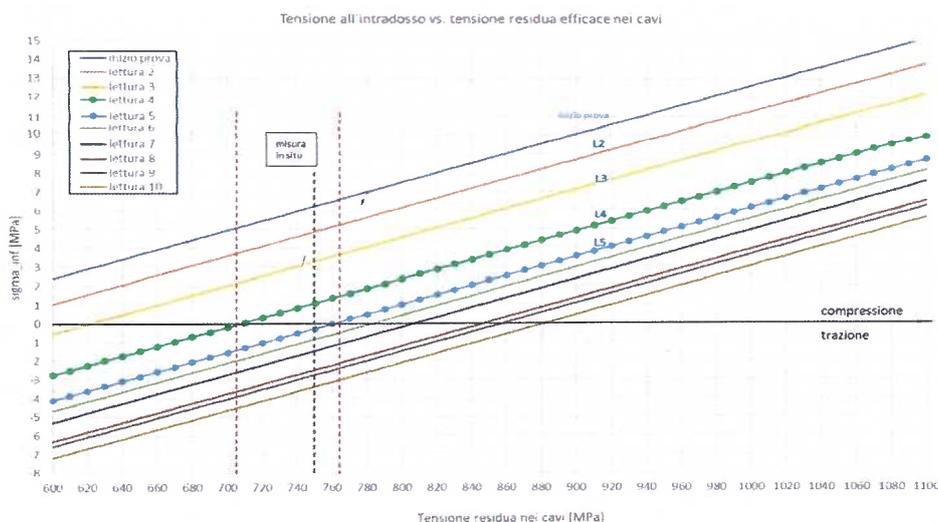


Figura 1. Esempio di applicazione. L'apertura delle fessure è osservata in corrispondenza della decompressione tra gli step di carico 4 e 5. Le due rette rosse tratteggiate identificano l'intervallo che approssima la precompressione residua. In questo caso, il valore medio delle misure in situ, eseguite tramite prove di rilascio, cade all'interno dell'intervallo identificato.

Analogo discorso deve essere esteso agli apparecchi di appoggio ed ai dispositivi antisismici il cui non corretto funzionamento, per anomalie ad esempio nel sistema oleodinamico, quasi sempre non viene percepito a seguito di una superficiale analisi visiva.

L'inadeguato comportamento dei sistemi di appoggio può avere conseguenze rilevanti non solo sugli impalcati ma anche, e principalmente, sulle pile dove potrebbero essere trasmessi sforzi non previsti in progetto e non compatibili con la capacità delle strutture.

Parimenti dovranno essere evidenziate quelle situazioni di ammaloramento che potrebbero avere incidenza sulle capacità dissipative sotto l'azione sismica.

Determinante, a tal proposito, è la valutazione della perdita di duttilità del sistema resistente, per effetto degli ammaloramenti riscontrati nelle armature ordinarie, ad esempio delle pile. L'instaurarsi di una gerarchia di rotture fragili a taglio, piuttosto che a pressoflessione, o più semplicemente la riduzione della capacità deformativa delle pile, può ridurre e in alcuni casi eliminare la dissipazione dell'energia sismica e quindi aumentare la vulnerabilità sismica dell'opera. Tale eventualità deve essere dettagliatamente riportata nelle schede di rilievo.

A riguardo UIT Roma ha commissionato, attraverso la propria Società Concessionaria, all'Università la Sapienza di Roma una specifica ricerca scientifica finalizzata a correlare gli stati di ammaloramento delle strutture alla capacità dissipativa e quindi alla duttilità strutturale.

Quanto sopra determina la necessità di affidare i rilievi ed il monitoraggio dello stato manutentivo delle infrastrutture a personale altamente specializzato che osservi le opere in maniera critica, e conosca adeguatamente i criteri di calcolo sia agli SLE che agli SLU.

### **3. Verifiche di sicurezza (SLU) e di funzionalità (SLE). Indicazioni aggiuntive**

Le condizioni che rendono necessarie le verifiche di sicurezza (SLU) sono dettagliatamente indicate al paragrafo 8.3 delle NTC 2018.

Premesso l'obbligo di eseguire dette verifiche utilizzando i carichi e le prescrizioni contenute nelle attuali Norme 2018, si pone il problema di individuare l'estensione delle verifiche, ovvero se trattasi di verifiche locali o globali.

A riguardo la norma individua il confine di tale scelta nella possibilità che i difetti manutentivi e gli ammaloramenti interessino porzioni limitate della costruzione.

Sembra necessario, tuttavia, precisare che ciò dipende anche dalla possibilità che un ammaloramento, seppur localizzato, determini una redistribuzione dei carichi tale da compromettere, potenzialmente, anche parti di strutture apparentemente integre. Nei casi dubbi si consiglia di estendere le verifiche anche alla globalità della struttura.

Per quanto attiene le verifiche sismiche si ricorda che l'OPCM n. 3274/2003 e s.m.i. ha istituito l'obbligo di valutare, entro il 31.12.2012 la vulnerabilità sismica attraverso l'Indice di Rischio Sismico (IRS). Le Società Concessionarie pertanto dispongono già di tale valutazione, che tuttavia non è vincolante per l'esecuzione di eventuali lavori di adeguamento, essendo solamente prioritaria la programmazione degli interventi.

A riguardo si rilevano le seguenti criticità.

Preliminarmente in sede di verifica sismica occorre accertare se la vulnerabilità sismica, calcolata al 31.12.2012, sia stata modificata ad esempio per effetto dell'avanzamento dello stato di degrado (perdita di duttilità, malfunzionamento dei dispositivi antisismici etc....).

Tale principio è stato consolidato anche dal recente parere dell'ANAC "Atto di segnalazione n. 6 del 17 luglio 2019".

Rideterminata la scala delle priorità di intervento sismico, per la quale come sancito dal Consiglio Superiore dei lavori Pubblici oltre alla determinazione del Tint. è necessario acquisire ulteriori informazioni sulla struttura, la programmazione di tali interventi deve necessariamente essere correlata con il "Fattore di rischio" generale del viadotto, discusso al punto 2.

Sono fatti salvi, evidentemente, i casi particolari correlati alla destinazione d'uso ai fini di protezione civile dell'autostrada. Tale eventualità si dovrà tenere in debito conto nella determinazione del rischio e quindi nella definizione della scala delle priorità d'intervento.

Per quanto riguarda invece le verifiche agli SLE si ricorda che il richiamato art. 8.3 delle NTC 2018 introduce l'obbligo di tali verifiche anche per le costruzioni di classe d'uso 4, ipotizzando il raggiungimento di livelli prestazionali diversi da quelli previsti per le opere nuove. Tale ultima precisazione non è irrilevante.

Nel caso di nuove opere, infatti, il Progettista definirà la struttura e le sue parti imponendo tassi di lavoro delle tensioni, limitazioni alle deformazioni e il contenimento dello stato fessurativo, compatibili con il raggiungimento del livello prestazionale minimo prescritto dal Legislatore.

Al contrario, per le strutture esistenti, il livello prestazionale atteso dovrà essere condiviso dal Proprietario e dal Progettista originario (cfr. NTC 2008 art. 8.3). La durabilità e funzionalità in esercizio dell'opera, infatti, non può che essere correlata con le ipotesi progettuali assunte originariamente e approvate dal Committente.

Conseguentemente per garantire una adeguata durabilità e funzionalità di un'opera esistente, dovranno essere note le ipotesi progettuali. A riguardo è indispensabile una accurata analisi del progetto ed in particolare dei calcoli, dei tassi tensionali di lavoro

ipotizzati, delle condizioni di fessurazione ritenute ammissibili ai fini dell'esercizio in relazione all'ambiente esterno, etc.

In particolare è necessario esaminare le cadute di tensione di precompressione, ipotizzate dal progettista a tempo infinito, e definire, con la precompressione residua così calcolata, lo stato deformativo e tensionale associato. In questo modo saranno note le condizioni prestazionali ipotizzate dal Progettista e approvate dal Committente, in termini di deformabilità e stato tensionale, ovviamente sotto l'azione dei carichi cogenti all'epoca della redazione del progetto.

Solo garantendo un tale stato di lavoro, ovvero limitando le capacità prestazionali ai livelli originariamente fissati, sarà possibile garantire la durabilità e la vita utile ipotizzata, attraverso un adeguato ciclo manutentivo.

Eventuali "deroghe" a tale previsione progettuale, ad esempio per effetto di sopravvenute condizioni d'uso, dovranno essere esplicitamente autorizzate dal Proprietario dell'opera in quanto interferente con la durabilità e l'esercizio originario.

Emblematico è in tal senso l'esempio di un generico viadotto che si trova in ambiente aggressivo, per il cui impalcato il progettista non aveva ipotizzato l'instaurarsi di alcun fenomeno fessurativo nelle condizioni di carico frequenti (carichi di esercizio) dell'epoca.

Una nuova condizione d'uso del viadotto, sottoposto ai carichi moderni eventualmente più gravosi fissati dalle NTC2 018, potrebbe determinare la formazione di microfessure. Tale circostanza si è manifestata di frequente nei 180 viadotti ispezionati da UIT Roma

In questo caso, da accertare con le verifiche agli SLE accompagnate da prove di carico, la struttura viene esposta ad una maggiore aggressione dall'ambiente esterno con aumento della velocità di degrado e, quindi, riduzione della durabilità. A riguardo il Proprietario, ovvero questo Ministero Concedente, deve essere adeguatamente edotto sui fatti descritti, in modo da poter valutare l'opportunità di rivedere, ad esempio, il ciclo manutentivo applicato o decidere eventuali restrizioni all'uso. Potrebbe, altresì, essere accettata un maggiore velocità di degrado in considerazione dei futuri programmi di investimento e

manutenzione della rete, o della trascurabile vita residua dell'opera. In ogni caso andrà redatta una specifica analisi costi/benefici delle diverse soluzioni ipotizzate.

#### **4. Verifiche condizioni di transitabilità**

Nel caso in cui le verifiche di sicurezza dovessero evidenziare che, per le azioni controllate dall'uomo (ultimo capoverso paragrafo 8.3 NTC2018), non sussistano le condizioni di sicurezza prescritte dal Legislatore, sarà necessario adottare provvedimenti restrittivi all'uso.

Per tali provvedimenti dovrà essere dimostrato il raggiungimento delle condizioni di sicurezza minime di che trattasi.

A tal proposito, tuttavia, si pone il problema se i carichi da utilizzare nella determinazione delle condizioni restrittive possano essere desunti da quelli circolanti e ricavati dal Codice della Strada, o al contrario da schemi comunque compatibili con i carichi caratteristici previsti dalle NTC 2018.

Nel merito si ritiene, che in assenza di esplicite circolari interpretative da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, le condizioni di transitabilità e le eventuali restrizioni all'uso della struttura devono essere comunque determinate utilizzando i carichi caratteristici di norma e le condizioni e prescrizioni ad essi riferite.

Particolare attenzione, tuttavia, deve essere disposta nella determinazione dei coefficienti parziali e moltiplicativi dei carichi, previsti dalle NTC 2018.

Infatti, per le costruzioni esistenti le Norme Tecniche consentono l'applicazione di coefficienti modificati, per i coefficienti parziali  $\gamma_G$  dei carichi permanenti.

A riguardo si riporta la trascrizione integrale del dettame del paragrafo 8.5.5 delle NTC 2018: *“Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando a  $\gamma_G$  valori esplicitamente motivati”*.

Tale possibilità può risultare particolarmente pertinente, ad esempio, nei casi in cui la durata di un evento singolare sia limitata nel tempo e statisticamente non significativa nella determinazione dei carichi caratteristici, ovvero occasionale.

Ci si riferisce, in particolare, alla gestione delle turbative di traffico che, in relazione anche alle condizioni di ammaloramento riscontrate, possono determinare condizioni di carico anomale.

Si riporta di seguito una specifica memoria sull'argomento.

Autore:

prof. ing. Massimo Acanfora

Professionista operante nel settore delle infrastrutture autostradali, ferroviarie e marittime.

*Cultore della materia presso l'Università degli Studi Federico II di Napoli (D.I.S.T.)*

### **Verifica temporanea delle strutture esistenti**

La presente memoria riporta in forma sintetica un criterio di verifica temporanea delle strutture esistenti, ed in particolare dei ponti intesi nell'accezione più ampia prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018 (NTC18 nel seguito).

In particolare il presente documento vuole concentrare l'attenzione: sulla gestione dell'arco temporale che intercorre tra la segnalazione di un'anomalia rilevante da un punto di vista statico (eventi eccezionali come urti di veicoli eccedenti la sagoma ammissibile, evidenza di degrado rilevante ad un componente strutturale, etc.) e la messa in opera dell'intervento di riparazione; sulla gestione dell'arco temporale che riguarda la durata di lavori programmati che possono interferire con la gestione autostradale; sulla gestione dell'arco temporaneo necessario all'esecuzione di un intervento pianificato su un componente strutturale o su un'intera struttura; sulla gestione di situazioni analoghe, di durata limitata, assimilabili alle precedenti.

In tale transitorio temporale, la cui durata potrà presumibilmente variare da pochi mesi, nel caso di interventi di somma urgenza, a pochi anni, nei casi meno gravi in cui è comunque previsto di monitorare l'evoluzione del degrado, è necessario, infatti, stabilire se vi sia la necessità di imporre misure di mitigazione del danno, da attuare in termini di limitazioni all'uso dell'opera ovvero di restrizioni al traffico, tenuto conto delle implicazioni che queste comportano.

Si ritiene utile effettuare preventivamente una breve descrizione del quadro normativo che attualmente non disciplina pedissequamente tali situazioni che risultano di elevato interesse per la collettività, in quanto direttamente impattanti sulle scelte da effettuare nella gestione della circolazione autostradale, e quindi della sicurezza dei relativi utenti.

Per tale ragione il presente documento vuole proporre un approccio metodologico per le cosiddette "analisi di transitabilità", ovvero per le **analisi strutturali locali di ponti e viadotti aventi validità limitate al tempo necessario alla risoluzione della problematica riscontrata o all'esecuzione dell'intervento programmato e/o di riparazione resosi necessario**. Lo scopo è quello di valutare in modo strutturato se e quando sono necessarie eventuali limitazioni al transito. La metodologia illustra sinteticamente, in sostanza, una modalità di applicazione delle verifiche di sicurezza delle vigenti norme tecniche, legate alla gestione dell'arco di tempo denominato "*tempo di riferimento*",  $t_{ref}$ . Lo studio della sicurezza locale dell'elemento strutturale deve essere esteso a tutti gli elementi con esso interagenti, andando ad individuare l'unità strutturale minima di riferimento.

Si cercherà in breve di illustrare come la metodologia proposta segua esattamente il solco tracciato dal legislatore, in linea anche con i principi introdotti dai codici internazionali a cui le vigenti NTC si ispirano, come noto.

Tutte le norme più evolute, e quindi anche quella italiana, prevedono diversità di trattamento tra costruzioni nuove ed esistenti. A tal uopo si rammenta che in Italia per la prima volta il legislatore ha introdotto dei criteri di verifica differenti per le strutture esistenti rispetto a quelle nuove con l'emissione nel 2003 dell'O.P.C.M. 3274 e s.m.m.i.i. che, tuttavia, si riferiva esclusivamente alla valutazione della resistenza sismica delle strutture esistenti. Essa, comunque, costituiva l'unico riferimento tecnico per valutare la risposta delle strutture esistenti anche sotto l'effetto delle altre azioni; tale scenario si è modificato con l'emissione delle NTC08 che prevedeva in linea di principio i medesimi criteri di verifica introdotti dall'O.P.C.M. per le strutture esistenti, ma questa volta con riferimento a tutte le azioni previste per esse, e quindi non solo per quelle sismiche. Come noto, infine, le vigenti NTC18 costituiscono la naturale evoluzione delle precedenti NTC con specifici aggiornamenti.

Da quasi 2 decenni, quindi, il legislatore ha riconosciuto la necessità di differenziare i criteri di verifica delle strutture esistenti da quelli di progetto delle costruzioni nuove; infatti al § 2.1 *Principi Fondamentali* le NTC18 recitano "**Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere.....**".

Le principali novità introdotte, di interesse per il presente documento, oltre alla possibilità di sfruttare maggiormente i materiali delle strutture esistenti attraverso la definizione accurata del livello di conoscenza con l'impiego dei corrispondenti fattori di confidenza, riguardano l'introduzione della Vita Nominale della struttura ( $V_N$ ) e la dipendenza delle azioni dalla finestra temporale di osservazione,  $t_{ref}$ . Infatti le vigenti NTC al §2.5.2 stabiliscono che "*Nel caso di azioni variabili caratterizzate da distribuzioni dei valori estremi dipendenti dal tempo, si assume come valore caratteristico quello caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno. Per le azioni ambientali (neve, vento, temperatura) il periodo di ritorno è posto uguale a 50 anni, corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 2% su base annua; per le azioni da traffico sui ponti stradali il periodo di ritorno è convenzionalmente assunto pari a 1000 anni*". Esse si riferiscono tanto alle strutture nuove quanto a quelle esistenti seppure quest'ultime abbiano già scontato parte della propria Vita Nominale. Le azioni da traffico presentano oggettivamente un periodo di ritorno estremamente elevato che è certamente giustificato per le costruzioni di nuova realizzazione. **La metodologia proposta, allo stato attuale, assume per le verifiche di transitabilità delle strutture esistenti gli stessi valori delle azioni prescritte per le strutture di nuova realizzazione, come previsto dal legislatore, proponendo invece l'uso di fattori parziali di sicurezza lato azioni giustificati e lievemente ridotti** nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU). Le azioni impiegate sono quindi immutate, mentre i relativi moltiplicatori che fanno passare le azioni dai valori caratteristici (aventi una probabilità di eccedenza dell' $x\%$  nel periodo di riferimento) ai valori di progetto (aventi una probabilità di eccedenza dell' $y\%$  -con  $y < x$ - nello

stesso periodo di riferimento) vengono diminuiti tenendo conto del fatto che il periodo di validità (periodo di riferimento) delle verifiche di transitabilità è estremamente ridotto, per cui la probabilità di eccedenza della generica azione considerata risulta molto contenuta ed in linea, se non minore, a quella associata al tempo di riferimento assunto per le costruzioni nuove.

Allo stato dell'arte il legislatore, già con le NTC08, ha mostrato una particolare attenzione alla definizione delle azioni di calcolo per le strutture esistenti, seppure con riferimento esplicito a quelle permanenti. In particolare per le verifiche di sicurezza allo SLU, le uniche previste per le strutture esistenti in relazione ai contenuti del presente documento, al § 8.5.5 le NTC18 stabiliscono che "Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando a  $\gamma_G$  valori esplicitamente motivati."

La motivazione dell'uso di coefficienti parziali ridotti per le strutture in c.a. e c.a.p. sono da ricercare nel Codice Modello Fib<sup>1</sup> e negli ulteriori documenti fib che, come noto, costituiscono la base dell'Eurocodice 2 (introdotto come norma di riferimento dalle NTC al §12). In particolare allo stato il documento più avanzato è il Bollettino 80 "Partial factor methods for existing concrete structures", 2016.

Si fornisce di seguito qualche cenno sul metodo *Adjusted Partial Factor Method (APFM)* descritto dal fib80, che correla i coefficienti di sicurezza all'indice di affidabilità  $b$  per la ricalibrazione dei fattori parziali di sicurezza  $\gamma_G$  (coef. parziale per azioni permanenti),  $\gamma_Q$  (coef. parziale per azioni variabili), e  $\gamma_R$  (coef. parziale per resistenza dei materiali), funzione della finestra temporale di osservazione ( $t_{ref}$ ); l'utilizzo di tali parametri ridotti, validi secondo il fib80 per tutta la vita residua della struttura esistente, viene cautelativamente assunto alla base del criterio di verifica di Transitabilità che come anticipato riguarderà la gestione di un arco temporale molto più piccolo, ovvero di alcuni mesi o al massimo di pochi anni. Nel calcolo di tali coefficienti, si assume una luce delle campate di circa 35-40m ed una vita residua di circa 25-30 anni, ben superiore all'arco temporale a cui fa riferimento la presente proposta, come precedentemente descritto, operando in tal senso a vantaggio di sicurezza. In tutti i casi le valutazioni successive sono effettuate con riferimento alle strutture strategiche, definite nel fib80 come Classe di Conseguenza Superiore CC3.

Da tale documento si evince che il valore di  $\dot{\gamma}_G$  è dato dal prodotto del valore di  $\gamma_{Ed,G}$  che tiene conto delle incertezze di modello e del valore  $\gamma_g$  che tiene conto della variabilità delle azioni.

Per le nuove costruzioni, il valore di  $\gamma_{Ed,G}$  viene assunto pari a 1,05; per le costruzioni esistenti per le quali si raggiunge un livello di conoscenza molto accurato, è possibile eliminare le incertezze di modello legate alle azioni dei pesi propri per cui è possibile assumere  $\gamma_{Ed,G}=1,00$ .

Il valore di  $\gamma_g$  viene invece valutato in funzione del "reliability index"  $\beta$  e della variabilità delle azioni mediante il coefficiente di variazione COV. In particolare si ha:

$$\gamma_g = 1 - \alpha_E \times \beta \times COV$$

dove il fattore  $\alpha_E$  per "azioni prevalenti" viene assunto pari a -0,7, mentre  $\beta$  per le costruzioni nuove vale 3,8 e per quelle esistenti vale circa 2,8 (in tutti i casi considerando una Classe di Conseguenza Superiore CC3).

Quindi, per i ponti di esistenti:

$$\gamma_G = \gamma_{Ed,G} \times \gamma_g = 1,00 \times (1 + 0,7 \times 2,8 \times 0,05) = 1,098 \approx 1,1$$

---

<sup>1</sup> "Partial Factor Methods for Existing Concrete Structures" (2016) fib Bulletin 80, ISBN 978-2-88394-120-5.

Analogamente per i carichi accidentali si ha:

$$\gamma_Q = \gamma_{Ed,Q} \times \gamma_q$$

e, sostituendo i valori per luci e vita residua ricorrenti precedentemente riportati:

$$\gamma_Q = 1,18 \approx 1,2$$

Si fa notare che per le strutture nuove i coefficienti parziali assumono valore pari a 1,35 tanto per le azioni permanenti quanto per quelle variabili, e risultano esattamente pari a quelli previsti dalle vigenti NTC18. Si rammenta che  $\beta$  è funzione della luce del ponte e del tempo di riferimento e pertanto per casi specifici, significativamente diversi da quelli più rappresentativi indicati nel presente documento, si rimanda al richiamato bollettino *fib80*.

Allo stesso modo, solo per completezza, si evidenzia che il *fib80* consente per le strutture esistenti anche l'uso di un fattore di sicurezza parziale per i materiali ridotto,  $\gamma_R$ , il quale, tuttavia si applica come noto esclusivamente alle verifiche di resistenza dei meccanismi fragili, e per brevità non sarà discusso nel presente documento.

Sulla base di quanto illustrato finora è possibile concludere che:

- le NTC18, al § 8.5.5 consentono di effettuare verifiche di strutture esistenti adottando valori di  $\gamma_G$  ridotti in casi motivati, ritenendo le stesse valide per tutta la durata della vita residua della costruzione (fino a quando non variano naturalmente le condizioni al contorno che richiedono nuove verifiche);
- alcuni codici internazionali (*fib80*<sup>2</sup>) a cui si ispirano gli Eurocodici, espressamente richiamati al § 12 delle vigenti NTC18, consentono di effettuare in maniera sistematica verifiche di strutture esistenti adottando valori di  $\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$  e  $\gamma_R$  ridotti, aventi validità per tutta la durata della vita residua della costruzione.

Prendendo spunto da tali concetti riconosciuti dalla comunità scientifica nazionale ed internazionale, nonché dalle vigenti norme tecniche italiane per alcuni casi in modo molto esplicito, si propone, operando sicuramente a vantaggio di sicurezza, di effettuare le **verifiche di transitabilità** (verifiche che riguardano la gestione di un arco temporale ridotto sotto particolari condizioni di esercizio come ampiamente discusso in precedenza) **adoperando le colonne di carico convenzionali previste dalle vigenti norme tecniche con fattori di amplificazione degli stessi nella combinazione di carico allo SLU lievemente e giustificatamente ridotti rispetto a quelli previsti per le costruzioni nuove** per i motivi ed entro i limiti ampiamente illustrati in precedenza, ma comunque non inferiori ai limiti precedentemente riportati.

In sintesi, limitatamente alle verifiche di transitabilità (aventi validità per la gestione di un arco temporale al massimo di pochi anni) i valori dei coefficienti parziali di sicurezza lato azioni da adottare per le verifiche allo SLU devono essere ricompresi, per i casi usuali precedentemente illustrati, nei seguenti intervalli:

$$1,2 \leq \gamma_Q \leq 1,35 \quad - \quad 1,1 \leq \gamma_G \leq 1,35$$

nel rispetto della sicurezza strutturale disciplinata dalle vigenti norme tecniche; il mancato soddisfacimento delle verifiche temporanee con tale criterio richiede l'attuazione di limitazioni

<sup>2</sup> "La possibilità di impiegare il codice fib è consentita dal legislatore, il quale al §12 stabilisce ..... "possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche".

**all'uso e/o restrizioni** da studiare caso per caso nell'interesse della collettività, in quanto le stesse risultano direttamente impattanti sulla sicurezza della circolazione autostradale.

## **5. Monitoraggio e manutenzione**

La valutazione dello stato di salute di un'opera d'arte, e quindi le azioni di intraprendere, non può essere codificata attraverso una procedura generalizzata. Si ritiene, tuttavia, che il giudizio finale non possa prescindere dall'esame di almeno tutti i contributi di seguito indicati.

### **5.1 Descrizione e tipologia dell'opera**

E' fondamentale disporre del progetto originario del viadotto, del collaudo e della contabilità finale. Sarà altresì importante verificare, a campione, la corrispondenza con l'opera realizzata. Particolare attenzione deve essere posta nella caratterizzazione geometrica e tensionale dei cavi di precompressione, evitando di assumere le ipotesi progettuali in assenza di un riscontro con saggi e prove.

### **5.2 Geologia e Geotecnica**

La presenza di eventuali dissesti idrogeologici deve essere accuratamente indagata. Particolare attenzione dovrà essere posta nella schematizzazione delle fondazioni adottando modelli di interazione terreno-struttura adeguati.

### **5.3 Modifiche progettuali significative**

Qualsiasi modifica all'opera, rispetto al progetto originario, dovrà essere debitamente tenuta in considerazione nelle verifiche di sicurezza e funzionalità. Ovviamente non è possibile riportare alcun suggerimento generalizzato, attesa la varietà delle argomentazioni.

Si segnala, tuttavia, la singolarità della questione nel caso in cui siano state modificate le strutture con interventi di ampliamento della carreggiata autostradale. In tal caso si è riscontrato che, spesso, i collaudi statici che si sono succeduti nel corso degli anni hanno riguardato esclusivamente le nuove opere, senza interessare quelle esistenti

seppur collegate strutturalmente, assumendo così una valenza intrinseca di collaudo parziale. Nessuna prova, nella maggior parte dei casi ispezionati, è stata eseguita per verificare il comportamento globale del sistema strutturale. Tale eventualità merita un approfondimento caso per caso.

Analoga segnalazione deve essere fatta in merito alla introduzione, in carreggiata stradale, di un nuovo sistema di barriere di sicurezza costituito da NJ. Tale sistema potrebbe alterare, oltre al peso permanente portato, le caratteristiche inerziali e la rigidità dell'impalcato. La circostanza dovrà essere adeguatamente rappresentata nei calcoli del verificatore.

I casi che possono presentarsi sono, come detto, innumerevoli ma per ognuno di essi il verificatore deve effettuare una analisi strutturale di dettaglio.

#### **5.4 Analisi dello stato di conservazione**

Al capitolo 2 si è discusso della questione.

A riguardo è opportuno aggiungere che in alcuni casi è stata riscontrata una discrasia tra lo stato di conservazione delle opere, rappresentato dalle schede manutentive trimestrali, redatte dalle Società di controllo e monitoraggio, e quello indicato dal progettista incaricato per le verifiche e progetto di adeguamento.

E' evidente che una tale disomogeneità di informazioni non può essere accettata in quanto denuncia la presenza di errori di valutazione nella gestione del processo manutentivo.

In tale eventualità il processo di verifica dovrà relazionare anche sulle motivazioni della discrasia, individuando le soluzioni al problema.

Si ritiene, inoltre, che il momento delle verifiche strutturali debba essere valorizzato con le indicazioni necessarie a prevenire la formazione degli ammaloramenti piuttosto che curarli.

Ad esempio, il degrado del calcestruzzo è, nella maggior parte dei casi, conseguenza dell'inadeguato sistema di smaltimento delle acque di piattaforma che penetrano nei giunti trasversali o percolano dai bordi del viadotto, o peggio dalla soletta per assenza di impermeabilizzazione, e attaccano le sottostanti strutture.

Un progetto di intervento che si limiti a risolvere il degrado con il rifacimento del copriferro, è palesemente inadeguato qualora non sia integrato anche dalla soluzione progettuale che consenta di eliminarne la causa.

### **5.5 Indagini, Livello di Conoscenza (LC) e Fattore di Confidenza (FC)**

Fondamentale importanza assume, nelle verifiche di sicurezza e di esercizio, la caratterizzazione dei materiali e delle geometrie delle sezioni resistenti. Si ricorda che nel caso dei viadotti è necessaria l'assunzione di un Livello di Conoscenza LC3 e un fattore di confidenza  $FC=1$ .

Conseguentemente dovranno essere eseguite indagini e prove, e acquisire documenti progettuali e relazioni, sufficienti per garantire la prescritta conoscenza delle strutture. Ne tanto meno può essere accettato il principio di assumere un Fattore di Confidenza amplificativo e un Livello di Conoscenza inferiore, ritenendo in tal modo di poter compensare la scarsità di informazioni sull'opera.

Un supporto in tal senso può essere fornito dalle "Linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a." elaborate da ReLUIIS nel mese di marzo 2009.

Come già evidenziato la definizione del tracciato dei cavi di precompressione, la determinazione della precompressione residua e l'eventuale ammaloramento dell'acciaio costituente, può rivestire un aspetto di importanza determinante sia per l'eventuale presenza del controtaglio nella verifica agli SLU, che per la deformabilità e l'eventuale apertura di fessure nelle verifiche agli SLE.

Sono pertanto da escludersi verifiche in cui si assuma semplicisticamente il permanere delle condizioni progettuali originarie, relativamente alle cadute di tensione a tempo infinito, normalmente ipotizzate pari al 20%, e alla configurazione geometrica e quantitativa dei cavi.

A tal proposito il Rapporto di Prova del 28/03/2019 elaborato dall'Università di Roma La Sapienza- Facoltà di Ingegneria- DISG a seguito di una prova di carico effettuata sul viadotto Colle Castino della A24, a cassone semplicemente appoggiato, riferisce che è stata riscontrata una caduta di tensione dei cavi di precompressione dell'ordine del 30-35% a fronte di una previsione del 20%. Il valore della precompressione

residua riscontrato era in questo caso allineato con i risultati delle prove di rilascio tensionale eseguite, preliminarmente, su qualche filo dei trefoli da c.a.p.

Al contrario, la prova di carico a collasso eseguita, dall'Università di Trento, in data 10-11 luglio 2019 sul viadotto Alveo Vecchio dell'autostrada A16 Napoli-Canosa ha dimostrato attendibile il valore del 25% delle cadute di tensione in parola, praticamente in linea con le previsioni progettuali. In questo caso, però, le prove di rilascio eseguite sui fili dei trefoli da c.a.p. si sono dimostrate completamente non coerenti con i riscontri effettivi, in quanto facevano prevedere un caduta di tensione superiore 40%.

Conseguentemente per la valutazione della precompressione residua devono essere eseguite indagini di dettaglio, per ogni singolo viadotto.

Al riguardo si ritiene rappresentativa l'esecuzione di una prova di carico che replichi quella di collaudo. Il confronto tra le deformazioni attuali e quelle originarie costituisce un prezioso elemento di valutazione dello stato di presollecitazione, oggetto dell'indagine.

Analoga attenzione deve essere posta sull'instaurarsi di possibili rotture fragili a seguito delle eventuali variate condizioni di duttilità della struttura, e di cui si è già accennato nei paragrafi precedenti.

In particolare il degrado delle armature longitudinali e trasversali delle pile, può vanificare il confinamento delle armature e le capacità dissipative sotto l'azione sismica, rendendo di fatto le strutture fragili.

L'analisi della sicurezza non può in nessun caso ignorare un così rilevante aspetto.

## **5.6 Analisi dei carichi**

I carichi permanenti propri e i permanenti portati, previsti in progetto, devono essere confrontati con i risultati di prove di laboratorio, e con ispezioni e saggi che riguardano la sovrastruttura stradale, le barriere di sicurezza etc..

La presenza di barriere integrate, inoltre, modifica l'esposizione all'azione del vento e deve essere adeguatamente tenuta in considerazione, così come deve essere valutata la variazione delle frequenze proprie del sistema dinamico per effetto delle sopravvenute variazioni di rigidità, qualora presenti.

Tutti i carichi applicati devono essere coerenti con i valori caratteristici ed i coefficienti parziali per le azioni  $\gamma$  e di combinazione  $\psi$  prescritti dalle NTC 2018.

### **5.7 Verifiche agli SLU e SLE**

Qualora le verifiche agli SLU non dovessero essere soddisfatte si ricorda l'obbligo, prescritto dal capitolo 8.3 delle NTC2018, di prevedere interventi di miglioramento o adeguamento strutturale.

Tale interventi consentiranno di eliminare o ridurre le restrizioni all'uso che saranno individuate a seguito di una Domanda che supera la Capacità del sistema.

Per quanto attiene gli SLE, come già evidenziato nei capitoli precedenti, gli standard prestazionali necessari per la salvaguardia del patrimonio autostradale e la sua durabilità e funzionalità, dovranno essere predefiniti dal Proprietario congiuntamente al Progettista, seguendo le indicazioni già fornite sull'argomento.

### **5.8 Monitoraggio e soglie di allerta**

Il monitoraggio delle opere d'arte, specialmente di quelle ammalorate, assume un'importanza strategica sia per la sicurezza della circolazione che per la conservazione del patrimonio assentito in concessione.

A riguardo, tuttavia, nel corso dei sopralluoghi eseguiti lo Scrivente ha potuto accertare che spesso tale attività consiste nell'acquisizione di un numero sproporzionato di dati, senza che sia effettuata una adeguata analisi critica.

In particolare non è condivisibile la definizione di un piano di monitoraggio senza conoscere le grandezze, i parametri, le deformazioni etc., che sono ritenute significative a rappresentare lo stato di salute dell'opera.

Pertanto è necessario, preliminarmente, individuare le grandezze da monitorare e definire le soglie di allerta che manifestano il raggiungimento di una situazione di rischio o il mancato raggiungimento dei prefissati standard prestazionali

Nel caso di specie si ritiene, e le prove di carico eseguite lo hanno dimostrato, che siano significative per tale fine le soglie identificative degli Stati Limite di Esercizio, frequenti e rare, e di collasso.

In particolare, per le strutture esistenti ammalorate, a seguito di un'accurata analisi della precompressione residua, è possibile definire ad esempio lo stato di sollecitazione e deformazione associato allo Stato limite di esercizio in condizioni di carico frequente.

Analogamente potranno essere calcolati i valori dello stato tensionale e deformativo per lo Stato limite di esercizio raro (presenza della prima fessurazione), e per il collasso convenzionale fissato dalle NTC2018 (ampiezza massima della fessurazione).

Le soglie di allerta si identificano nei valori tenso-deformativi associati a tali stati di riferimento, opportunamente ridotti con coefficienti di sicurezza proporzionati all'evento negativo.

Il monitoraggio delle strutture deve accertare in quale stadio deformativo-tensionale ci si trova, ed essere integrato da una procedura di gestione delle emergenze al superamento di ogni soglia come sopra definita.

Questo per quanto attiene i sistemi di monitoraggio tradizionali.

In aggiunta, UIT Roma sta valutando la possibilità di utilizzare in maniera sistematica l'interferometria (SAR) per il rilievo ed il confronto deformativo dei viadotti in epoche successive, in maniera analoga a quanto già pubblicato dal giornale scientifico MDPI nell'articolo "Pre-collapse Space Geodetic Observations of Critical Infrastructure: The Morandi Bridge, Genoa, Italy" pubblicato il 12/06/2019.

A tal proposito si ritiene necessario che le Società Concessionarie verifichino la disponibilità di dati e rilievi satellitari, che interessano i viadotti ed i ponti di propria competenza, al fine di ricostruire eventuali deformazioni storiche delle opere d'arte e/o loro componenti.

Di particolare interesse è, infine, il c.d. Monitoraggio Attivo, che di seguito si riporta secondo la memoria redatta specificatamente dall'Autore e che rappresenta un metodo globale di valutazione.

Autore:

prof. ing. Giulio Ventura, PhD

Chair of Structural Engineering

Chair of the PhD Program in Civil and Environmental Engineering

presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

Politecnico di Torino

### **Il Monitoraggio Attivo come valore aggiunto nella sorveglianza dei ponti e delle opere d'arte**

La crescente diffusione dei sistemi di monitoraggio strutturale come strumento di vigilanza ed ispezione dello stato dei ponti, ed in generale delle opere d'arte, è spesso limitata a poco più di una raccolta di dati la cui interpretazione risulta di difficile attuazione pratica. Nei sistemi di monitoraggio tradizionale:

- i dati sono acquisiti dalla strumentazione e memorizzati;
- si controlla che le grandezze acquisite siano entro prefissati valori di soglia;
- il report del monitoraggio è limitato ai valori che le grandezze fisiche hanno avuto nel tempo;
- l'interpretazione dei dati viene demandata a consulenze specialistiche. Tuttavia, risulta difficile capire quando tali consulenze debbano essere attivate;
- non si ha alcuna informazione sulla coerenza tra comportamento atteso e misurato della struttura;
- a seguito di eventi eccezionali è necessaria una consulenza specialistica per capire se il comportamento resistente ha subito variazioni significative.

In questo contesto il sistema di monitoraggio può costituire un onere per l'Ente proprietario/Gestore a fronte di ben poco beneficio, non essendo di ausilio alle operazioni di vigilanza ed ispezione richieste dalle Norme per la mancanza della immediata interpretazione ingegneristica dei dati.

Si richiama infatti che la Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici N° 34233 del 25/02/1991 (Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali), richiede (Art. 9, punto 9.3) un sistematico controllo delle condizioni statiche e di buona conservazione dei ponti la cui frequenza deve essere commisurata alle caratteristiche ed alla importanza dell'opera, nonché alle risultanze della vigilanza. Inoltre, la precedente Circolare Ministero dei Lavori Pubblici N° 6736/61A1 del 19/07/67 "Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali" sottolinea che la vigilanza sullo stato di consistenza e sulla statica delle opere d'arte e dei manufatti stradali deve essere permanente.

Per superare queste limitazioni, il Prof. Giulio Ventura del Politecnico di Torino ha recentemente sviluppato sistemi di monitoraggio basati su un approccio innovativo denominato *Monitoraggio Attivo*. Tali sistemi sono stati installati su strutture di differente tipologia in ambito stradale, ferroviario ed anche di controllo di edifici. Il *Monitoraggio Attivo* implementa:

- algoritmi di analisi continua dei dati;

- verifiche in tempo reale del comportamento strutturale rispetto ad un modello di calcolo appositamente sviluppato;
- individuazione dell'attivazione di meccanismi di crisi locali o globali fissati in fase di progettazione della struttura.

Il termine "Attivo" si riferisce quindi alla capacità del sistema di monitoraggio di effettuare una analisi continua dei dati dei sensori in assenza di intervento umano, e di notificare potenziali situazioni di attenzione. Si osservi in particolare che:

- i sistemi di *Monitoraggio Attivo* sono basati sulla misura di grandezze ingegneristiche quali rotazioni, spostamenti, deformazioni, temperature e non su tecniche di identificazione dinamica della struttura. Mentre le prime forniscono indicazioni che possono dare un quadro chiaro delle eventuali problematiche strutturali, la variazione delle caratteristiche dinamiche della struttura è molto difficilmente collegabile ad un'origine certa del danno strutturale. Inoltre, la misura di grandezze fisiche dirette quali quelle sopra accennate consente di individuare problematiche strutturali prima che il danneggiamento della struttura abbia luogo, ovvero prima che siano osservabili variazioni significative alle caratteristiche dinamiche della struttura;
- i sistemi di *Monitoraggio Attivo* non controllano semplicemente le grandezze fisiche confrontandole con soglie prefissate ma verificano in tempo reale, attraverso modelli di calcolo appositamente sviluppati e specifici per l'opera, che le grandezze siano in corretta relazione tra loro. I sistemi sono quindi in grado di segnalare situazioni di attenzione anche quando tutte le grandezze sono entro i limiti stabiliti dalle relazioni di progetto, mentre l'anomalia è segnalata identificando che la correlazione tra le grandezze non è quella attesa.

Al contrario dei tradizionali sistemi di monitoraggio o di quelli di controllo delle caratteristiche dinamiche della struttura, il *Monitoraggio Attivo* genera informazioni di immediata rilevanza ingegneristica (attraverso la continua comparazione tra il comportamento strutturale atteso e quello misurato) che si inquadrano quindi direttamente nella sorveglianza continua dell'opera d'arte richiamata dalle Norme.

La progettazione di un sistema di monitoraggio, sia di tipo tradizionale che *Attivo*, non può prescindere da un attento ricalcolo della struttura con le azioni tipiche di esercizio della stessa e da un'analisi dei meccanismi di collasso potenziali in modo da individuare correttamente sia i punti da monitorare che le prestazioni richieste per i sensori in termini di accuratezza, di risoluzione della misura, di deriva termica e di deriva nel lungo periodo nonché per il sistema di acquisizione in termini di risoluzione, intervallo di campionamento e condizioni operative. In generale si richiede che la relazione di progetto del sistema di monitoraggio sia accompagnata da una valutazione quantitativa dell'idoneità dei sensori e della catena di acquisizione agli obiettivi del monitoraggio.

## 5.9 Programma manutentivo

Nei casi in cui siano necessari interventi di consolidamento straordinario delle strutture ammalorate, le priorità dovranno essere definite secondo i criteri già discussi al punto 2.

Roma, 8 Agosto 2019

Ing. Placido Migliorino