



CONVEGNO FABRE
PONTI, VIADOTTI, E GALLERIE ESISTENTI:
RICERCA, INNOVAZIONE E APPLICAZIONI
LUCCA, 2-4 FEBBRAIO 2022



Applicazione delle nuove Linee Guida sulla sicurezza di ponti e viadotti esistenti: considerazioni, approfondimenti e nuove prospettive dopo le ispezioni in-situ in Puglia

Application of the new Italian guidelines on the safety of existing bridges: observations, insights and new perspectives after the in-situ inspections in Puglia

Sergio Ruggieri^a, Andrea Nettis^a, Domenico Raffaele^a, Andrea Gioia^a, Luigi Pratola^a, Angelo Doglioni^a, Vincenzo Simeone^a, Giuseppina Uva^a

^a Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECH), Politecnico di Bari, Via Orabona 4, 70125 Bari, Italia

Keywords: Ponti esistenti, Linee Guida Ponti, Rischio dei Ponti Esistenti, Classe d'attenzione

ABSTRACT

La memoria presenta i risultati ottenuti a valle dei primi sei mesi di ispezioni in-situ effettuati dal gruppo del Politecnico di Bari nell'ambito del progetto in collaborazione con il consorzio FABRE, che prevede di supportare gli ispettori e gli ingegneri di ANAS nell'applicazione delle Linee Guida sulla sicurezza strutturale dei ponti esistenti. Viene in particolare riportata l'esperienza maturata con riferimento ad alcuni casi pilota della regione Puglia, nel Sud Italia e le elaborazioni svolte al fine di contribuire alla stima della classe di attenzione di tali opere. Nel presentare i risultati ottenuti, sono evidenziate le peculiarità o difficoltà emerse sul campo durante le fasi di ispezione ed applicazione delle Linee Guida, con l'obiettivo di analizzarle criticamente, in vista dei futuri sviluppi del lavoro.

The paper presents the results obtained after the first six months of in-situ inspections carried out by the team of the Polytechnic University of Bari within the ongoing research project with FABRE consortium, which consists in the support of experts and engineers working at ANAS to apply the new Italian guidelines on the structural safety of existing bridges. In particular, it is reported the matured experience and the performed elaborations aimed to estimate a preliminary risk class ("Classe di Attenzione"), with reference to some pilot cases in Puglia region, in the South Italy. While presenting results, several observations and insights are highlighted, especially in the phases of in-situ inspection and in the application of the new guidelines, looking at the criticalities in the in-situ inspection and the applications of the guidelines and in order to open new perspectives and possible development for the next steps of the work.

1 INTRODUZIONE

Nel 2020, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha approvato le "Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti" (MIMS, 2020), cui ha fatto seguito l'emanazione del DM Infrastrutture e Trasporti n. 578 del 17/12/2020 di recepimento nel quadro normativo cogente delle suddette

Linee Guida (LG). Con l'emanazione del DM, gli enti gestori delle infrastrutture di trasporto italiane hanno il compito di adeguare le procedure esistenti di ispezione e manutenzione dei ponti e viadotti esistenti agli standard nazionali fissati dalle stesse LG. La metodologia proposta dal Ministero (oggi Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità sostenibile) introduce un approccio multi-livello che regola l'analisi di sicurezza dei ponti esistenti su diversi livelli di analisi. In particolare, vengono definiti 6 livelli di analisi,

come schematizzato in Figura 1. In generale, i primi 3 livelli, Livello 0, Livello 1 e Livello 2, consistono in una attività che consente l'inquadramento generale delle opere, e che va applicato a tutti i ponti in modo da definire una "Classe di Attenzione". Gli ultimi 3 livelli, Livello 3, Livello 4 e Livello 5, prevedono una valutazione più accurata, anche mediante tecniche di monitoraggio strutturale e ispezioni speciali, da applicare alle opere definite più deficitarie nella prima fase. Focalizzando l'attenzione sui primi 3 livelli (gli ultimi 3 sono al di fuori dell'oggetto di questo articolo), il Livello 0 definisce una sorta di censimento delle opere d'arte caratterizzanti la rete di interesse. Esso prevede la raccolta di informazioni sintetiche riguardo l'inquadramento dell'opera nel contesto ambientale o nella rete di trasporto e relative alle sue caratteristiche strutturali, geometriche e costruttive. Tali dati possono essere desunti dalla raccolta di documentazione progettuale ed esecutiva (ove disponibile) o da studi di pericolosità a disposizione degli enti di gestione territoriale. Questa prima operazione, in effetti, si è dimostrata meno banale del previsto.

Sulla base di questo primo screening, è possibile programmare le ispezioni previste dal Livello 1, che prevede il rilievo dello stato di conservazione dei ponti analizzati mediante osservazione delle possibili fonti di vulnerabilità, che variano dalla defettologia strutturale, ad eventuali errori progettuali o esecutivi, a fenomeni di degrado irreversibili. A ciò vanno a sommarsi condizioni al contorno che caratterizzano le opere, tra cui la presenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi che interferiscono con la struttura. Già a questo livello è possibile che emerga la necessità di eseguire ispezioni più accurate come quelle previste nel Livello 4 (ad esempio, nel caso in cui vengano riscontrate particolari criticità nella sicurezza). Se ciò non accade, si procede esclusivamente alla compilazione delle schede di difettosità e rischio frane/idraulico di Livello 1. A Tale operazione segue direttamente il Livello 2, che consiste nella definizione del parametro rappresentativo del rischio strutturale (statico e fondazionale), sismico, di alluvioni e frane, denominato "Classe d'Attenzione" (CdA) [1]. In particolare, le LG prevedono 5 livelli di CdA: Alta (A), Medio-Alta (M-A), Media (M), Medio-Bassa (M-B) e Bassa (B). Sulla base del risultato ottenuto e della classe assunta in relazione ai

diversi tipi di rischio, è possibile definire le strategie di sorveglianza da perseguire e le azioni da intraprendere. Ad esempio, per CdA in classe Alta con riferimento al rischio strutturale/fondazionale, è necessario eseguire verifiche accurate di Livello 4, tra cui verifiche di transitabilità, operatività e adeguamento. Nel caso di CdA Media, Medio-Alta e Alta, è necessario effettuare indagini e controlli più accurati, tra cui azioni di monitoraggio e test diagnostici di tipo strutturale/ambientale, prevedendo, a valle di livelli di analisi superiori (Livello 4), anche opportune limitazioni del traffico.

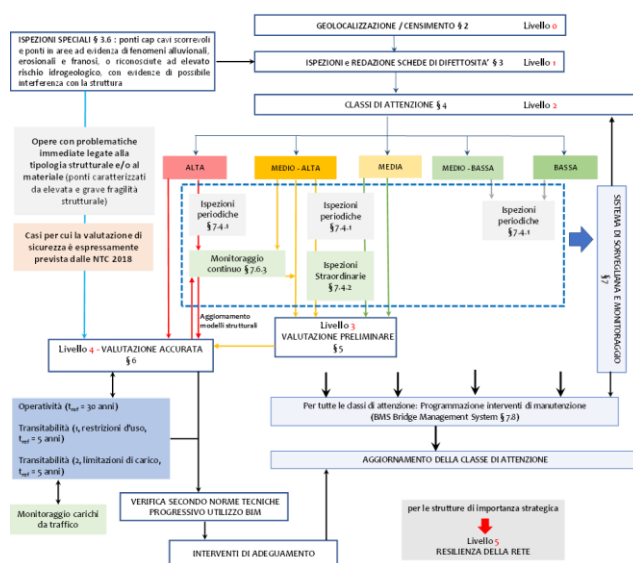


Figura 1. Schema generale dell'approccio multilivello per la classificazione e la valutazione dei ponti esistenti (MIMS, 2020)

A seguito dell'introduzione di tale metodologia, l'Ente Gestore ANAS e il consorzio universitario FABRE hanno stipulato una convenzione per il supporto scientifico nell'applicazione delle LG a circa 1000 opere d'arte distribuite sul territorio nazionale. Questa memoria descrive il lavoro e l'esperienza maturata da parte del team del Politecnico di Bari, formato da esperti di differenti discipline, che nei primi 6 mesi di attività ha operato in stretta collaborazione con i tecnici ed ispettori dell'azienda ANAS-Compartimento Puglia per l'applicazione delle LG a diversi casi di studio pugliesi. Queste prime attività sono state condotte su un campione ristretto rispetto al totale di 42 opere, formato da 13 opere dislocate nella regione Puglia. La squadra ha collaborato con i tecnici ANAS in tutte le operazioni ed elaborazioni previste al fine di stimare la CdA in accordo alle prescrizioni delle LG. Vengono qui presentati i

risultati del lavoro svolto e pur non introducendo elementi di novità di carattere tecnico-scientifico, mira ad illustrare l'esperienza del team di lavoro del Politecnico di Bari e a dare evidenza delle criticità emerse nelle diverse fasi operative.

2 DEFINIZIONE DEL CAMPIONE, FASE DI RACCOLTA DOCUMENTAZIONE E APPLICAZIONE LIVELLO 0

Il campione delle opere di cui il Politecnico di Bari svilupperà le proprie attività in sinergia con ANAS consta di 42 casi pilota (ponti e viadotti) dislocati sul territorio regionale pugliese, come mostrato in Figura 2, che riporta la localizzazione delle opere e la distribuzione per province.

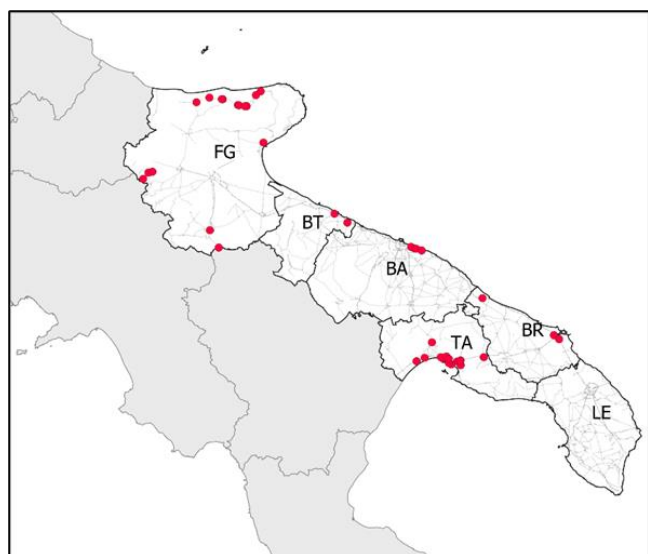


Figura 2. Distribuzione spaziale delle opere da investigare nella regione Puglia, da parte del team del Politecnico di Bari

Al fine di effettuare il censimento delle opere, è stata innanzitutto prevista la raccolta sistematica della documentazione progettuale disponibile negli archivi ANAS pugliesi. In questa fase, sono stati ricercati tutti i documenti relativi ai ponti oggetto di studio, tra cui progetti preliminari e definitivi, relazioni e studi geologici, geotecnici e idraulici, ed esecutivi, ove esistenti. La ricerca ha prodotto alcuni risultati utili, tra cui la acquisizione di documenti unici e riportanti particolari progettuali e/o esecutivi relativi a tutti gli elementi strutturali di alcune opere, alcuni dei quali risalenti anche a più di 50 anni fa, come mostrato in Figura 3.

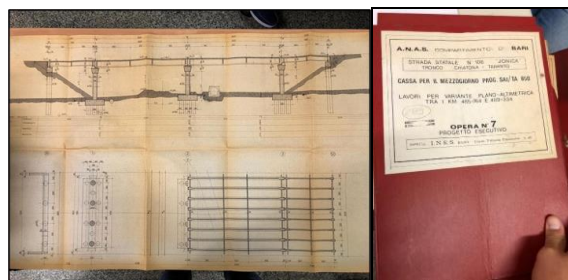


Figura 3. Documentazione progettuale reperita durante la ricerca nell'archivio di ANAS Puglia, sede Bari.

Le prime delle criticità riscontrate ha riguardato la difficoltà di reperire i documenti progettuali di tutte le opere oggetto di studio, anche perché alcune di loro sono state realizzate oltre 50 anni or sono. Questo è dovuto a diversi fattori, tra cui scarsità di documenti digitalizzati, mancanza di documenti depositati in forma cartacea, passaggi di consegne incompleti di documentazione tra i vari enti addetti alla gestione delle infrastrutture stradali, errori di catalogazione digitale dei documenti cartacei esistenti; difficoltà di accedere a parti di archivio. A valle della ricerca archivistica, che ha visto la squadra del Politecnico di Bari impegnata per circa 1 mese, solo per il 35% delle opere totali è stata reperita documentazione utile e completa, mentre per il restante 65% delle opere la documentazione risulta incompleta o pressoché assente. Particolarmente critica si è dimostrata l'assenza di documentazione per quel che riguarda gli aspetti idrologico-idraulici e geologico geotecnici. Sono infatti quasi sempre assenti gli studi di carattere idrologico ed idraulico e le indagini geognostiche, l'inquadramento geologico e la caratterizzazione geotecnica, oltre che valutazioni sulle condizioni di stabilità dei versanti. Al fine di recuperare tale documentazione, sono state avviate interlocuzioni con diversi enti, tra cui l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale per l'acquisizione degli studi idraulici-idrologici disponibili sulle aree di interesse. In Figura 4, si mostra la distribuzione spaziale delle opere con indicazione relativa alla documentazione di carattere strutturale (e in parte idraulica, geologica, geotecnica) disponibile (punti rossi – documentazione incompleta, punti verdi – documentazione completa). Si è appurato che la documentazione relativa ad alcune opere della zona Garganica (Nord) e della zona vicino Taranto e Brindisi (Sud) potrebbero essere presenti in archivi di altri enti, tra cui la ex Cassa del Mezzogiorno, enti di sviluppo locale ed in

altre sedi dell'azienda ANAS come quelle di Lecce e Foggia in cui al momento non è stato possibile accedere.

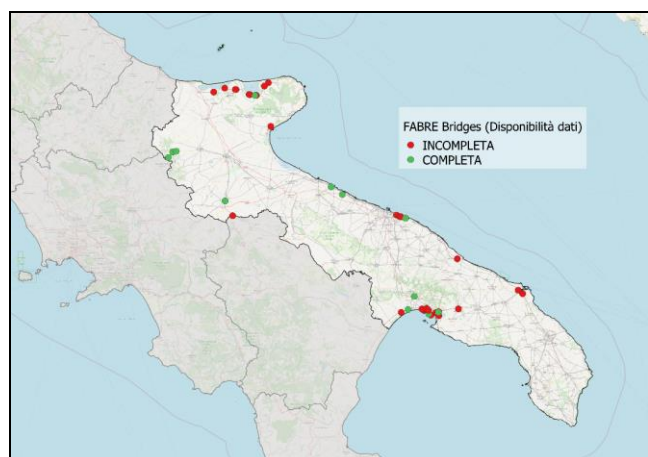


Figura 4. Distribuzione spaziale delle opere da investigare nella regione Puglia, con riferimento alla documentazione reperita.

Sulla base di tali informazioni, sono state sviluppate le attività di Livello 0, con la definizione delle informazioni di censimento, ove possibile, e la conoscenza preliminare delle opere, specialmente per le opere ove la documentazione era disponibile. Nei casi in cui i documenti progettuali non sono stati reperiti, il censimento è stato condotto tramite l'uso di sorgenti di dati geospaziali e open-source (OpenStreetMap e Google Earth-Street View), studi di pericolosità ambientale disponibili dalle Autorità di Bacino e sopralluoghi preliminari in situ.

3 FASE DI ISPEZIONE DELLE OPERE D'ARTE E APPLICAZIONE LIVELLO 1

Si è quindi proceduto con le attività di Livello 1, ispezioni visive e compilazione delle schede descrittive, di difettosità e di rischio frane e idraulico (Allegato B alle LG). Le operazioni sono state eseguite in concomitanza delle ispezioni periodiche svolte dai tecnici ANAS, al fine di perseguire gli obiettivi di condivisione e formazione degli ispettori in vista dell'imminente adeguamento delle procedure di sorveglianza delle opere esistenti. La scansione temporale delle ispezioni visive è mostrata in Figura 5, che indica le 13 opere con i marker verdi e riporta i codici di opera assegnati nell'ambito del sistema di gestione dei ponti ANAS. Dal punto di vista esecutivo, le ispezioni relative agli elementi strutturali sono state effettuate, nella quasi totalità dei casi, per mezzo del by-bridge, piattaforma che

permette in tempi ragionevoli una efficiente e puntuale ricognizione di tutti gli elementi costituenti le opere d'arte e delle fenomenologie attive. Per quanto riguarda le ispezioni delle opere dal punto di vista idraulico, geologico e geotecnico, i rilievi sono stati effettuati attraverso specifici sopralluoghi da parte degli esperti del gruppo, valutando le condizioni delle basi delle pile e spalle dei viadotti, i versanti prossimi agli stessi ed in generale l'ambiente circostante. Tale fase, compatibilmente con le condizioni operative e meteorologiche, ha previsto anche un rilievo delle opere per mezzo di fotogrammetria e rilievi APR e/o laser scanner. Oltre alla compilazione delle schede, sono stati effettuati rilievi metrici (con laser distanziometrici) e fotografici, mirati rispettivamente a dare atto dell'estensione e la gravità dei difetti sugli elementi strutturali e a verificare la congruenza del costruito con la documentazione progettuale.

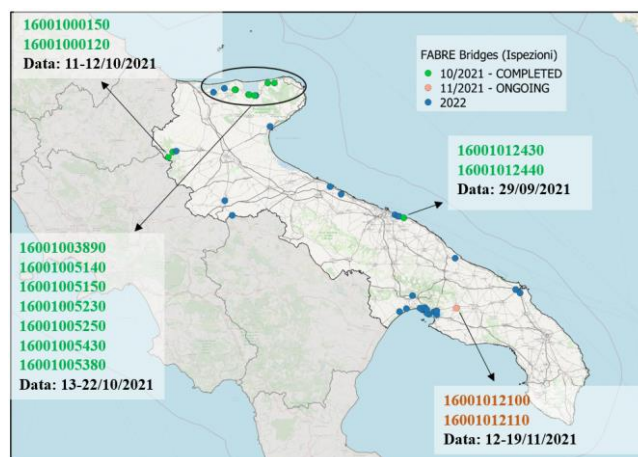


Figura 5. Distribuzione spaziale delle opere da investigare nella regione Puglia, con evidenziazione delle opere ispezionate (fino a novembre 2021).

In questa fase sono state riscontrate pochissime criticità, anche grazie alle fattive sinergie sviluppata con i tecnici e i cantonieri sorveglianti ANAS. Si ritiene opportuno sottolineare che si è valutato pressoché indispensabile poter disporre del by-bridge per effettuare ispezioni strutturali di buon livello, congruentemente con quanto richiesto dalle LG, che nello specifico prevedono la definizione di uno specifico livello di difettosità per ogni elemento strutturale. L'assenza di tale dotazione comporta grandi difficoltà per l'ispezione, data dall'impossibilità di osservare tutti i difetti presenti, soprattutto nel caso di ponti o viadotti alti (oltre i 3 metri) e in presenza di ostacoli che non permettono la libera mobilità e accessibilità in prossimità delle superfici degli elementi di

attacco al suolo (pile e spalle). Ulteriore limitazione in fase di ispezione è la modalità di compilazione delle schede di difettosità, che nel caso di ponti costituiti da numerosi elementi strutturali richiedono al tecnico di gestire contestualmente moltissime schede cartacee, con significative difficoltà pratiche. Ciò suggerisce la necessità di strumenti informatici per l'automatizzazione della fase di compilazione in sito. Per quanto attiene le ispezioni relative agli aspetti idraulici e geologico-geotecnici, si sono riscontrate diverse criticità legate alle difficoltà di accessibilità alla base delle strutture e alla presenza di vegetazione, che rende peraltro difficile effettuare dei rilievi anche con dispositivi APR. Per questo motivo, è fondamentale l'acquisizione di rilievi LiDAR esistenti a media scala e di dati interferometrici derivati dall'elaborazione di immagini SAR ottenute da rilievi satellitari.

4 DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE, CDA, E APPLICAZIONE DEL LIVELLO 2

A valle delle ispezioni descritte nella Sezione 3, si è proceduto con la definizione delle CdA del campione delle 13 opere analizzate e all'applicazione del livello 2 della procedura multilivello delle Linee Guida. Il quadro delineato dall'analisi dei risultati è riportato in Tabella 1, in cui sono riportati l'elenco delle opere, il codice opera, la strada di appartenenza (SS.), la classe di attenzione per i rischi strutturali-fondazionali ($CdA_{STR-FON}$), sismico (CdA_{SIS}), idraulico (CdA_{IDR}) e frane (CdA_{FRA}) e la classe d'attenzione complessiva (CdA_{TOT}). Non è possibile per ragioni di brevità descrivere in questo articolo accuratamente ogni opera investigata e pertanto nei paragrafi successivi sono riportati esclusivamente alcuni casi di particolare interesse. I risultati mostrano manufatti caratterizzati, in tutti i casi, da CdA_{TOT} Alta o Medio-Alta, e con necessità, per alcune opere, di ispezioni speciali e analisi di livello superiore (Livello 4). In alcuni casi, si evidenzia la necessità di interventi di manutenzione/retrofit urgenti per scongiurare l'insorgenza di situazioni critiche.

4.1 Definizione della CdA strutturale-fondazionale sul campione analizzato

Con riferimento all'applicazione del Livello 2 delle LG e al calcolo della $CdA_{STR-FON}$, vengono ora presentati i risultati per uno dei ponti: un viadotto sulla SS7 (codice 16001012110), di cui si

riportano alcune foto (Figura 6), raffiguranti il quadro d'insieme e alcuni difetti rappresentativi: ristagni d'acqua all'estradosso dei pulvini in prossimità degli appoggi, umidità sulle superfici dei pulvini e tracce di scolo nelle travi.

Tabella 1. CdA per le opere investigate - Livello 2

Opera	$CdA_{STR-FON}$	CdA_{SIS}	CdA_{IDR}	CdA_{FRA}	CdA_{TOT}
viadotto Montauro 2	M	A	A	M-A	A
viadotto Santa Lucia	M	A	M-A	M-A	M-A
viadotto San Francesco	M-A	A	A	A	A
viadotto Lampione	M	M-A	M-A	M	M-A
viadotto Chiancone	M	M-A	M-A	M	M-A
viadotto Trombetta 2	M	M-A	M-A	M-A	M-A
viadotto del lauro	M	M-A	M-A	M-A	M-A
viadotto Fosso dei Mulini	M	M	A	M	M
viadotto Asciatizza	M	M	A	M	M
PONTE SS7	A	M-A	M-A	M	A
PONTE SS7	A	M-A	M-A	M	A
PONTE SS16	A	A	A	B	A
PONTE SS16	A	A	A	M	A

Il viadotto è ubicato fra il km 667+052 e il km 667+622 della SS7 Via Appia in prossimità della zona di Grottaglie (Taranto), si sviluppa su un tratto di strada in curva e comprende 16 campate di luce pari a circa 35.00 m, per una lunghezza complessiva di circa 570 m. La larghezza totale dell'impalcato è di circa 11 m e comprende due corsie di traffico. Dal punto di vista strutturale, il viadotto è caratterizzato da uno schema isostatico a travate semplicemente appoggiate composto da travi in calcestruzzo armato precompresso a cavi pretesi. Le solette sono in calcestruzzo armato e presentano uno schema ibrido a catena cinematica. Le pile sono in calcestruzzo armato e presentano l'evidenza di un intervento di consolidamento e rinforzo tramite intonaco armato. L'opera, presumibilmente costruita negli anni '60 (dati progettuali mancanti), è stata soggetta ad un importante intervento di

sostituzione e allargamento di impalcato e conseguente rinforzo dei componenti strutturali nell'anno 1996.



Figura 6. Foto relative al ponte SS7

Dall'analisi della difettosità degli elementi strutturali, si nota come i difetti rilevati sono di gravità medio-bassa/media, con un livello generale risultante medio-basso. Di contro, la pericolosità riscontrata è alta, in conseguenza dell'alta massa ammissibile in termini di veicoli commerciali e di un traffico giornaliero medio di transito di veicoli commerciali stimato pari a 707 veicoli/giorno. Anche la classe di esposizione risulta essere medio-alta, a causa dell'elevata esposizione dell'ostacolo sovrappassato (ferrovia, tratto Taranto Brindisi) e l'assenza di alternative stradali che connettono i capoluoghi di provincia di Brindisi e Taranto con un comparabile livello di servizio. La classe di vulnerabilità risulta essere medio-alta, sebbene il livello di difettosità globale (calcolato in relazioni alle indicazioni delle LG) sia medio-basso, a causa dalla bassa ridondanza dello schema statico e all'alta sensibilità al degrado dei materiali costruttivi. La $CdA_{STR-FON}$, che in questo caso risulta essere alta, è stata assegnata in funzione della combinazione degli esiti di tali valutazioni di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, seguendo lo schema della Linee Guida. La figura 7 riporta il flusso della valutazione effettuato per classe di vulnerabilità (Figura 7-a), classe di esposizione (Figura 7-b) e classe di pericolosità (Figura 7-c)). Analizzando criticamente il risultato ottenuto, si vede come la valutazione parta da una difettosità medio-bassa per arrivare ad una CdA alta, risultato inatteso inizialmente, soprattutto dopo aver ispezionato il ponte. Si nota come alcuni parametri indipendenti dalle specifiche condizioni strutturali rilevate per l'opera possano influenzare

pesantemente il risultato, in linea con lo spirito delle LG.

Per la maggior parte delle opere pugliesi, si nota che il parametro dello schema statico è cruciale nel determinare l'incremento della $CdA_{STR-FON}$, dato che ci si trova molto spesso di fronte a configurazioni isostatiche. Anche il parametro dell'età di costruzione è cruciale. Altri parametri per cui si è riscontrata una significativa influenza nella valutazione della $CdA_{STR-FON}$ delle opere pugliesi sono la lunghezza delle campate (spesso superiori a 20 m) e l'assenza di alternative stradali, che conducono tutti i ponti analizzati in classi più elevate.

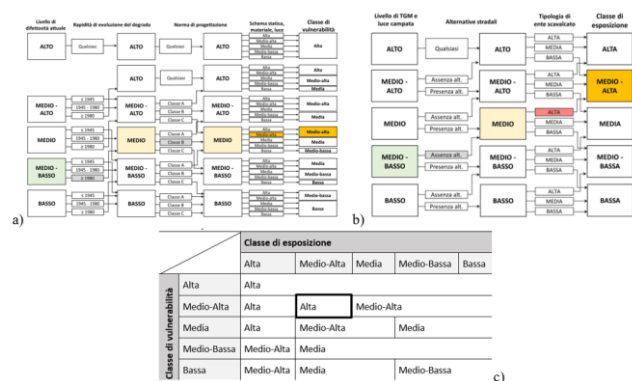


Figura 7-a. Valutazione della classe di vulnerabilità per il ponte SS7. 7-b. Valutazione della classe di esposizione per il ponte SS7. 7-c. Valutazione della classe di pericolosità per il ponte SS7.

4.2 Definizione della CdA sismica sul campione analizzato

Con riferimento alla valutazione della CdA_{SIS} , vengono mostrate le elaborazioni effettuate per un secondo caso studio: il ponte Asciatizza in agro di Vico del Gargano (Foggia), di cui si riportano alcune foto (Figura 8) raffiguranti il quadro d'insieme e alcuni difetti caratteristici (segni di degrado sulla soletta e sulle spalle, lieve ossidazione sui profilati in acciaio). L'opera è mista acciaio-calcestruzzo e comprende tre campate, di cui le due esterne misurano 50 m circa e quella centrale 100 m. Ad oggi non si è potuto risalire ai disegni esecutivi che, presumibilmente, sono contenuti nell'archivio ANAS di Foggia, al quale ad oggi non è stato possibile accedere. La larghezza dell'impalcato è di 13 m e contiene due corsie, in assenza di spartitraffico. L'impalcato è a travata continua, con travate reticolari in acciaio ad altezza variabile e solette prefabbricate in calcestruzzo armato. Le pile monofusto, a sezione rettangolare cava, raggiungono un'altezza massima di circa 40

m (misurata in loco) e non mostrano evidenti segni di degrado. Le spalle sono di tipo completo. Gli appoggi presentano lievi principi di ossidazione e consentono spostamenti longitudinali, svincolando le pile e la spalla 1 dall'assorbimento delle azioni sismiche. L'opera è stata quasi certamente progettata considerando le azioni sismiche, poiché la costruzione risale al 1991, e il sito era sismicamente classificato come zona 2 già dal 1980. Infatti, si nota che la spalla 2 è deputata all'assorbimento delle azioni longitudinali essendo connessa all'impalcato con shock-transmitters. Sulla base di tali elementi, il parametro della vulnerabilità è medio-basso. Di contro, la pericolosità sismica è medio-alta a causa di un'accelerazione al suolo, a_g , pari a circa 0.182g. La classe di esposizione risulta essere alta, maggiore rispetto a quella associata al rischio strutturale e fondazionale, a causa delle caratteristiche di strategicità dell'opera, dell'assenza di alternative stradali, e della media importanza della tipologia di ente scavalcato. Seguendo lo schema della LG, la CdA_{SIS} è assegnata in funzione della combinazione degli esiti delle precedenti valutazioni di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, e risulta essere media.



Figura 8. Foto relative al viadotto Asciatizza

Anche in questo caso, in cui il ponte risulta essere in ottime condizioni, sismicamente progettato e con una configurazione strutturale ridondante, si nota come, in accordo alle LG, la CdA_{SIS} è media, nonostante il risultato inizialmente atteso fosse sicuramente meno cautelativo. Tralasciando il parametro della pericolosità sismica (indipendente dall'opera), si nota come i parametri che ricoprono un ruolo sostanziale sono quelli relativi all'esposizione, così come notato anche negli altri casi di studio

analizzati. In particolare, la CdA_{SIS} raggiunge le classi più alte a causa di fattori come la strategicità, l'assenza di alternative stradali e la lunghezza elevata delle campate.

4.3 Definizione della CdA idraulica sul campione analizzato

Per quanto riguarda la valutazione della CdA_{IDR} , di seguito vengono riportate alcune osservazioni/criticità emerse dalla applicazione delle procedure indicate nelle LG. Nella valutazione del fenomeno di sormonto e, con particolare riferimento alla valutazione della classe di suscettibilità, nelle LG non si fa esplicito riferimento al caso in cui l'alveo non risulta oggetto di mappatura ai sensi della direttiva alluvioni; per coerenza con la definizione di alveo richiamata al paragrafo 4.5 delle Linee Guida, che fa riferimento al paragrafo 5.1.2.3. della Circolare 21.01.2019 n.7 del CSLLPP, per il calcolo del franco idraulico si potrebbe utilizzare il livello idrico corrispondente all'evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 200 anni.



Figura 9. Viadotti Santa Lucia, Lampione, Chiancone, Del Lauro, Asciatizza e Ponte SS7.

Per le opere di attraversamento di corsi d'acqua che interessano bacini di superficie inferiore a 100 km², nel calcolo della CdA per il fenomeno di sormonto, la classe di vulnerabilità risulterebbe essere di tipo medio-alta, solo per effetto delle dimensioni del bacino (come ad

esempio accade per i Viadotti: Santa Lucia, Lampione, Chiancone, Del Lauro e Ponte SS7 riportati in Figura 9) anche in situazioni tali da non ritenere giustificata una vulnerabilità elevata dell'opera al fenomeno di sormonto.

Per la valutazione della classe di pericolosità per il fenomeno di erosione localizzata, le LG suggeriscono di calcolare un indice adimensionale, denominato IEL, ottenuto come rapporto tra la profondità di scavo (d_s) e la profondità di posa del piano di fondazione (d_f) rispetto all'alveo. Nel caso in cui manchino indicazioni specifiche derivanti da evidenze di campo o documentazione di progetto dell'opera, per la stima della profondità di posa del piano di fondazione (d_f) rispetto all'alveo, le LG suggeriscono di calcolare una profondità di riferimento pari 2 m, mentre per la stima della profondità di scavo (d_s) le stesse LG suggeriscono di utilizzare (in base alle risultanze di letteratura) il doppio della larghezza della pila (nel caso in cui la direzione del filone principale della corrente sia parallelo rispetto all'asse longitudinale della pila) ovvero il doppio del diametro per pile circolari. Ciò implica una classe di pericolosità per erosione localizzata medio-alta o alta (e presumibilmente una CdA_{IDR} elevata) anche per pile caratterizzate da larghezza (o diametro) pari o superiore a un metro. Con riferimento ai casi analizzati, si è riscontrata in effetti una classe di pericolosità elevata per erosione localizzata anche in situazioni in cui, da evidenze di campo, non si erano riscontrati accentuati fenomeni di erosione localizzata (come ad esempio per i viadotti Santa Lucia, Lampione, Chiancone, Del Lauro, Asciattizza riportati in Figura 10), oppure in corrispondenza di situazioni in cui alla base della pila è presente una strada o un elemento di protezione in grado di limitare i fenomeni di erosione (ad esempio il Ponte SS7 o sovrappasso della statale SS16).

Infine, nell'ambito del calcolo della pericolosità per erosione generalizzata, con riferimento ai parametri utili alla valutazione (ad esempio la larghezza dell'alveo inciso occupata dall'ingombro di pile e spalle, la larghezza delle golene occupate dalle pile e dalle spalle, l'aggetto della spalla, la larghezza della pila), nelle LG vi sono dei dubbi se queste quantità debbano essere riferite agli elementi presenti nell'intera sezione trasversale al corso d'acqua oppure solo agli elementi ricadenti all'interno della sezione bagnata relativa alla quota di pelo libero di riferimento (utilizzata per il calcolo del franco idraulico). Nel caso di ponti le cui strutture risultino marginalmente interessate da eventi alluvionali eccezionali (come, ad

esempio, il caso dei viadotti Santa Lucia, Trombetta), tale aspetto sarebbe determinante ai fini del calcolo della CdA per erosione generalizzata.



Figura 10. Foto relative ai viadotti Santa Lucia, Lampione, Chiancone, Del Lauro, Asciattizza e ponte SS7 che mostrano l'assenza di fenomeni erosivi localizzati.

4.4 Definizione della CdA frane sul campione analizzato

Come esempi relativi alla definizione della CdA_{FRA} , sono descritti due casi, fra tutti quelli sino ad ora analizzati, ritenuti di particolare interesse. I viadotti Montauro 2 (16001000120) e Santa Lucia (16001000150), entrambi posti sulla SS. 17 var, rispettivamente nei territori dei comuni di Volturara Appula e Volturino, in un'area del fronte della catena appenninica (Subappennino Dauno). Figura 11 mostra l'ubicazione dei due viadotti su Carta Geologica d'Italia, scala 1:50000. Il viadotto Montauro 2, dal nome del vallone scavalcato, è ubicato in un'area caratterizzata da affioramenti di litotipi del Flysch Rosso (Cretacico – Miocene). Si tratta di litotipi argillitici con intercalazioni calcareo clastiche a struttura eterogenea. Affiorano inoltre, ad est del viadotto dei depositi di frana antichi. L'area è perimetrata dal PAI ex AdB Biferno e minori, Fortore, Saccione, Trigno, come area a pericolosità elevata (PG2) e estremamente elevata (PG3), e risulta essere in un'area perimetrata tra pericolosità elevata (P3) e molto elevata (P4), secondo la mappatura della pericolosità da frana redatta da ISPRA nel 2017. Durante le attività di ispezione, sono stati effettuati sopralluoghi nelle aree limitrofe al viadotto, oltre che rilievi fotogrammetrici aerei attraverso l'utilizzo di un

dispositivo APR. Figura 12 rappresenta l'ortofoto rilevata in data 18 ottobre 2021 del viadotto Montauro 2.

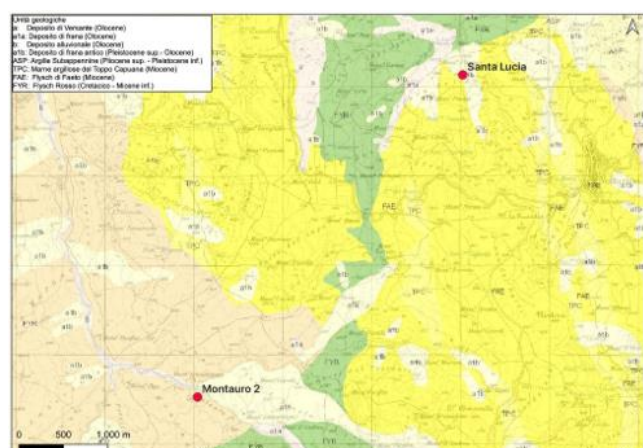


Figura 11. Collocazione dei viadotti Montauro 2 e Santa Lucia su base Carta Geologica d'Italia 1:50000.



Figura 12. Ortofoto del viadotto Montauro 2, evidenziato dalla cornice rossa.

Dall'ortofoto in Figura 12 è evidente la presenza di 6 pozzi drenanti, le cui caratteristiche non risultano ad oggi note, realizzati ad ovest del viadotto, come probabili opere di stabilizzazione del versante a sud degli stessi. Dai rilievi effettuati, è emersa una diffusa presenza di fenomeni di dissesto, prevalentemente superficiali attivi e di fenomeni sospesi, probabilmente attivatisi nel precedente ciclo stagionale. Figura 13 rappresenta alcune immagini di questi fenomeni. I movimenti in parola, dalla ricognizione effettuata, possono essere classificati come colamenti superficiali. I litotipi coinvolti sono quelli del Flysch Rosso, ed in particolare gli strati più superficiali. Nessuno di questi movimenti sembrerebbe, stando a quanto si è potuto osservare, aver coinvolto le pile e le spalle del viadotto.

Si sottolinea che una valutazione più completa sull'esistenza di possibili movimenti a cinematica lenta o lentissima, che possano interagire con il viadotto, andandone a compromettere la funzionalità, potrà essere effettuata attraverso l'analisi di dati interferometrici ottenuti dall'elaborazione di immagini SAR satellitari. Il viadotto Santa Lucia è ubicato su di un versante che degrada con pendenza relativamente bassa verso il sottostante canale del Bosco di Santa Lucia. Da un punto di vista geologico, il viadotto è ubicato su affioramenti classificati come Detrito di frana antico. Il Detrito di frana Antico risulta essere incanalato fra gli affioramenti, ad est ed ovest del viadotto, delle unità del Flysch di Faeto (Miocene), caratterizzate dalla presenza di calcareniti, calcari marnosi, marne e marne argillose. Figura 14 mostra il viadotto su ortofoto costruita sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici effettuati in data 18 ottobre 2021.



Figura 13. Fenomeni franosi presenti, rispettivamente, a nord a) ed a sud b) del viadotto Montauro 2.



Figura 14. Ortofoto del viadotto Santa Lucia, evidenziato dalla cornice rossa.

L'area risulta essere perimetrata dal PAI Puglia come a pericolosità geomorfologica elevata (PG2). Inoltre, è anche perimetrata dalla mappatura delle aree a rischio frana dell'ISPRA (2017) come area a pericolosità elevata (P3). Il catalogo IFFI segnala 4 fenomeni franosi ubicati a nord e nord-ovest del viadotto, a distanze comprese fra i 700 m e 1300 m, censiti come

frane a colamento lento. Le indagini geognostiche effettuate da ANAS nel 2010 in corrispondenza del viadotto evidenziano un antico movimento franoso con superficie di scorrimento posta fra 8 m e 18 m nelle marne costituite da arenarie e limo grigio argilloso. Dai rilievi effettuati, si è potuto osservare che l'area circostante il viadotto è caratterizzata dalla presenza di alcuni movimenti franosi, già censiti, perlopiù di media estensione e di tipo superficiale, che interessano le coltri più superficiali dei litotipi del Flysch di Faeto; anche se nessuno di questi movimenti sembrerebbe aver coinvolto le pile e le spalle del viadotto, infatti non è stato possibile identificare nelle immediate vicinanze del viadotto fenomeni in atto o di recente attivazione, anche se la folta vegetazione ha reso questo tipo di valutazione incerta. In Figura 15 sono visibili alcune tracce di movimenti a nord ed a nord-est del viadotto. In particolare, quest'ultimo sembrerebbe aver causato alcune deformazioni alla pavimentazione stradale, che, tuttavia, non coinvolgono la spalla del viadotto, essendo poste oltre quest'ultima.



Figura 15. Evidenze di possibili movimenti franosi presenti, rispettivamente, a nord ed a nord-est del viadotto Santa Lucia.

Così come specificato per il viadotto Montauro 2, anche per il viadotto Santa Lucia, una valutazione più completa sull'esistenza di possibili movimenti a cinematica lenta o lentissima, che possano interagire con il viadotto, andandone a compromettere la funzionalità, potrà essere effettuata attraverso l'analisi di dati interferometrici ottenuti dall'elaborazione di immagini SAR satellitari.

I due esempi riportati, così come nella maggioranza dei casi pugliesi, mostrano come l'assenza di informazioni dettagliate fa salire la classe di suscettibilità/pericolosità. Inoltre, nonostante nei viadotti Santa Lucia e Montauro si notino minimi stress, è evidente come la presenza di folta vegetazione e all'assenza di dati specifici di monitoraggio portano ad una stima non accurata delle CdA_{FRA} . Infine, anche in relazione alla classe di vulnerabilità e di esposizione, la valutazione risulta essere simile a quella ottenuta

nella sezione 4.2, con importanza elevata di alcuni parametri nella valutazione finale (strategicità, schema strutturale, assenza di alternative stradali e lunghezza elevata delle campate).

5 DISCUSSIONE DEI RISULTATI, CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

A valle dei sei mesi di esperienza sulla sperimentazione dell'attività di supporto ai tecnici ANAS nell'applicazione delle nuove LG sui ponti esistenti, è possibile trarre alcune riflessioni preliminari in relazione alle criticità emerse circa l'attività sviluppata da parte della squadra del Politecnico di Bari nel contesto pugliese. Preliminarmente, si ribadisce come sia fondamentale la disponibilità della documentazione progettuale per poter sviluppare il Livello 0 e il Livello 1. Si riscontra, tuttavia, che non sempre è facile reperire tutta la documentazione necessaria, il che dovrà rappresentare, indipendentemente dalla collaborazione con il Consorzio Fabre, un importante impegno di prospettiva del gestore nella revisione ed organizzazione dell'archivio, anche nell'ottica di poter fare valutazioni del CdA affidabili e che non risentano di spostamenti verso l'alto legati a limitazioni di conoscenza.

Si è inoltre potuto prendere atto che per le ispezioni del Livello 1, nella stragrande maggioranza dei casi, è necessario disporre di strumenti idonei all'ispezione, tra cui cestelli elevatori e by-bridge. Senza tale dotazione, risulta molto complesso effettuare un'ispezione di buon livello. Si sono riscontrate alcune problematiche legate alla difficile gestione manuale delle schede cartacee di ispezione, il cui numero può diventare elevato in funzione degli elementi costituenti il ponte, dilatando in maniera sensibile i tempi di applicazione. Pertanto, al fine di applicare le procedure previste dalle LG, è necessario disporre di strumenti digitali informatici che permettano di automatizzare le operazioni.

Per quanto riguarda l'applicazione del Livello 2, i risultati ottenuti mettono bene in luce lo spirito delle LG, che mirano a fornire un quadro d'insieme del rischio riguardante i ponti esistenti considerando in maniera integrata una serie di parametri (anche non strettamente correlati all'opera) per la valutazione della CdA. Tutte le opere finora analizzate sono state classificate in CdA medio-alta e alta (a parte una). Con

riferimento alla stima della $CdA_{STR-FON}$, si nota come i valori stimati siano stati spesso alti a causa di fattori come lunghezza delle campate (spesso superiori a 20 m) e l'assenza di alternative stradali, che hanno portato tutti i ponti analizzati in classi più elevate. Anche la stima della CdA_{SIS} è pesantemente influenzata da fattori come la strategicità, l'assenza di alternative stradali e la lunghezza elevata delle campate. Con riferimento alla CdA_{IDR} , si osserva come l'utilizzo degli approcci speditivi suggeriti dalle LG determina un margine di incertezza nelle valutazioni dei fenomeni di sormonto e di erosione generalizzata e localizzata. Analogamente, nella definizione della CdA_{FRA} è evidente come l'assenza di dati specifici di conoscenza geognostica e di monitoraggio porta ad un aumento della classe di suscettibilità e pericolosità, che si aggiunge ai parametri già importanti definiti nella CdA_{SIS} . In conclusione, secondo gli autori, i risultati ottenuti portano ad evidenziare come in questa fase di prima applicazione non si sia ancora potuto delineare in maniera chiara una scala di priorità anche ai fini della destinazione dei fondi relativi alle valutazioni di Livello 4 e superiori. Va tuttavia evidenziato che la selezione dei 13 ponti e viadotti indagati è stata fatta scegliendo le strutture valutate dal gestore come prioritarie: probabilmente, estendendo l'applicazione all'intero parco e acquisendo maggiori conoscenze, si otterrà un migliore distribuzione delle opere nelle diverse CdA, limitando la polarizzazione verso le CdA maggiori.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il consorzio FABRE per la convezione denominata "Supporto tecnico-scientifico per lo sviluppo della metodologia per il censimento, ispezioni iniziali e individuazione delle Classi di Attenzione di un campione di ponti e viadotti gestiti da Anas Spa; prioritarizzazione delle operazioni di valutazione di livello 4; verifica della qualità e di omogeneità dei risultati".

REFERENCES

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIMS). Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti 2020