

DATABASE DI SUPPORTO ALLA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA DI PONTI E VIADOTTI IN RELAZIONE AL RISCHIO FRANA

Fabiola Gibin (fabiola.gibin@studenti.unipd.it)

Dipartimento ICEA – Università degli Studi di Padova

Lorenzo Brezzi (lorenzo.brezzi@unipd.it)

Dipartimento ICEA – Università degli Studi di Padova

Fabio Gabrieli (fabio.gabrieli@unipd.it)

Dipartimento ICEA – Università degli Studi di Padova

ABSTRACT. Il grande patrimonio italiano di ponti e viadotti necessita di un efficace sistema di sorveglianza e monitoraggio affinché sia garantito un livello adeguato di sicurezza di tutte le sue opere. Gli aspetti che entrano in gioco nella valutazione del rischio non devono considerare solo le caratteristiche strutturali dell'infrastruttura, ma anche quelle sismiche, idrauliche e geotecniche. Risulta, pertanto, di primaria importanza concentrarsi sugli eventuali segnali di sofferenza dell'opera, così come sulle possibili evidenze di criticità nel territorio circostante. Relativamente alla valutazione del rischio frana, poi, la grande variabilità delle tipologie di dissesto rende complessa la determinazione di quali aspetti sia rilevante considerare in fase di ispezione. Risulta pertanto fondamentale la competenza e l'esperienza del valutatore. In tale ambito, la compilazione di un database che raccolga quanto presente in letteratura permette oltre a valutazioni statistiche preliminari, la definizione di una casistica in grado di aiutare il valutatore nella fase di ispezione e stima della condizione in cui si trova l'opera.

1. INTRODUZIONE

La valutazione delle condizioni di sicurezza di ponti e viadotti esistenti in Italia è un tema molto importante, anche in seguito ai purtroppo numerosi eventi tragici accaduti. Proprio in tale ambito, nel 2020, in seguito al *Decreto Genova* poi divenuto legge, resosi necessario dopo il tragico episodio del ponte Morandi, le istituzioni italiane approvano le *“Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti”* al fine di valutare il rischio associato a ponti e viadotti facenti parte del patrimonio infrastrutturale italiano e priorizzare gli interventi. Nello stesso anno nasce il Consorzio FABRE, che si prefigge come scopo la promozione e il coordinamento di Università ed Enti di Ricerca Consorziati alle attività scientifiche nei settori dell'Ingegneria Civile e dell'Architettura, con particolare riferimento alla valutazione di ponti, viadotti e altre strutture strategiche. Il Consorzio, pertanto, vuole affiancare gli enti gestori nell'applicazione delle nuove linee guida, allo scopo di sfruttare esperienze e competenze proprie del personale universitario in una prima applicazione su ampia scala della normativa, analizzando un vasto numero di opere distribuite sull'intero territorio italiano.

Le *Linee Guida* propongono un approccio finalizzato alla definizione di una Classe di Attenzione (CdA) globale per ciascuna opera. Tale approccio è definito multi-livello in senso trasversale e longitudinale. La trasversalità risiede nel fatto che la valutazione della CdA deriva da quattro CdA più specifiche, che tengono conto di altrettanti possibili rischi, cioè quello strutturale e fondazionale, sismico, idraulico e rischio frana. Ciascuno di tali aspetti viene definito in funzione della suscettibilità (o pericolosità) del fenomeno, della vulnerabilità dell'opera e del livello di esposizione degli elementi a rischio. L'approccio risulta inoltre multilivello in senso longitudinale in quanto composto da procedure consecutive, dal Livello 0 al Livello 4, in cui ad ogni step diminuisce il livello di incertezza relativo alla conoscenza dell'opera e del territorio nel quale è inserita. Tuttavia, avanzando di Livello, la maggior conoscenza richiede una maggior disponibilità di tempo e di risorse; i Livelli 0, 1 e 2 sono relativamente più rapidi da ottenere e vengono applicati a tutte le opere, ma garantiscono una conoscenza abbastanza superficiale dell'opera. I Livelli 3 e 4 massimizzano la conoscenza, ma, includendo operazioni onerose, vengono applicati solo a quelle opere che mostrino effettiva necessità di approfondimento, valutata ai livelli precedenti. Sebbene quindi la valutazione al Livello 2 sia il risultato di operazioni speditive, essa è l'unica valutazione eseguita su tutte le opere e risulta quindi fondamentale che l'attribuzione della CdA sia eseguita nel modo più affidabile possibile. La classifica di priorità che ne deriva deve essere infatti sufficientemente affidabile da riuscire a riconoscere ed intervenire sulle opere che necessitano maggiore attenzione.

Concentrandosi nella valutazione del rischio da frana, si sottolinea come le operazioni preliminari di censimento (Livello 0) risultino di primaria importanza. L'analisi accurata della documentazione disponibile relativamente all'opera ed al territorio in cui essa è inserita permette infatti l'esecuzione dell'ispezione di Livello 1 in maniera quanto più possibile efficace. Un primo elemento da considerare nella fase di censimento riguarda la lacunosità di informazioni, in particolare in relazione alla caratterizzazione del terreno o alla tipologia fondazionale di pile e spalle. Le stesse risorse cartografiche reperibili in rete, quali cartografie di fragilità o di caratterizzazione geologico-geomorfologica, risultano molto variabili in termini di disponibilità e dettaglio. Ultimato il censimento, la normativa richiede che si eseguano ispezioni visive sul posto in maniera speditiva, allo scopo di confermare o meno quanto osservato al Livello 0. L'obiettivo di questa fase consiste nell'appurare l'eventuale presenza di dissesto franoso interagente con la struttura, definirne le caratteristiche principali oltre a stimare l'entità di tale interazione. La valutazione della pericolosità della frana dipende da tre parametri principali: lo *stato di attività della frana*, la *massima velocità attesa* e la *magnitudo attesa su base volumetrica*. Parametri secondari che concorrono a modificare tale valutazione sono poi l'eventuale presenza di *misure di mitigazione* e l'*affidabilità* con cui la valutazione stessa è stata eseguita. Concorre infine alla determinazione della CdA frane anche l'*estensione dell'interferenza*, che permette di determinare, unitamente alle caratteristiche della struttura, la vulnerabilità dell'opera. Completa, infine, la determinazione del rischio anche la stima dell'esposizione, funzione di *traffico medio giornaliero*, di importanza dell'*ente scavalcato* e di *presenza o meno di alternative stradali*. Sebbene quindi le ispezioni abbiano natura visiva speditiva, i risultati attesi sono tutt'altro che di semplice ottenimento, anche in virtù delle difficoltà spesso riscontrabili in fase di sopralluogo. Spesso, infatti, l'accessibilità delle aree sottostanti il viadotto è tutt'altro che agevole, e la presenza di fitta vegetazione può rendere quasi impossibile il riconoscimento sul terreno di segnali che testimonino la presenza della frana. Va peraltro ricordato che la casistica di frane è molto varia ed eterogenea: dalle frane lente a quelle estremamente rapide, dalle frane attive a quelle potenziali, dalle frane piccole a quelle di grandi dimensioni. Gli effetti e le evidenze da ricercarsi in ispezione sull'opera e sul terreno risultano di natura svariata. Servono pertanto un'adeguata competenza ed una sufficiente esperienza per una buona riuscita delle attività di valutazione della CdA. Allo scopo di aumentare il livello di esperienza ed affrontare, quindi, le ispezioni con maggiore consapevolezza, in collaborazione con alcune Università consorziate del gruppo FABRE, si è deciso di ricercare nella letteratura internazionale altre esperienze di ponti interagenti con fenomeni franosi, così da raccogliere una casistica sui segnali precursori di sofferenza dell'opera o del territorio da ricercarsi in fase di ispezione per confermare o escludere il rischio frana e l'interazione ponte-dissesto.

La ricerca bibliografica è risultata molto impegnativa e ha prodotto un modesto campione di opere con informazioni relativamente poco dettagliate. Ad oggi si sono potuti selezionare solamente una quarantina di articoli; sono stati esclusi tutti i casi che si concentravano unicamente sul ponte o sulla frana, senza fornire informazioni sull'interazione. Le informazioni sono state quindi estratte dai vari articoli in maniera quanto più standardizzata possibile, operazione resa complessa in quanto i lavori sono risultati spesso molto diversi tra loro in forma e contenuti. La creazione di un database comune ha richiesto importanti e non immediate operazioni di sintesi. Si è deciso, quindi, di raccogliere campi sufficientemente descrittivi del fenomeno, ritrovabili nella maggior parte degli articoli. Si sono selezionate, pertanto, le caratteristiche più rilevanti della frana, dell'opera e dell'interazione tra esse.

2. SVILUPPO DEL DATABASE

Per la creazione del database si è utilizzato il software Microsoft Access, il quale permette di ottimizzare le operazioni di compilazione e di visualizzazione grafica dei dati. I dati raccolti sono quindi stati suddivisi in macrocategorie al fine di rendere confrontabili le grandezze campionate; in particolare:

- Categoria 1: dati riguardanti tutte le informazioni attinenti alla localizzazione del ponte (ad esempio, la sua posizione in termini di latitudine e longitudine, l'inclinazione del terreno circostante, ...);
- Categoria 2: dati sulla tipologia di frana, sul contesto geologico del territorio, sui parametri meccanici caratteristici del terreno e su posizione e inclinazione della superficie di distacco;
- Categoria 3: dati che comprendono tutte le eventuali tecniche di monitoraggio installate allo scopo di registrare le condizioni pre- e post- frana e di rilevare possibili cambiamenti;
- Categoria 4: dati concernenti tutte le caratteristiche della frana, le sue dimensioni in termini di superficie e volume, le velocità di spostamento e la tipologia di movimento;
- Categoria 5: dati riguardanti le caratteristiche geometriche e strutturali del ponte (lunghezza, altezza, numero delle pile, tipologia di strada che vi passa sopra, tipologia strutturale del ponte, anno di costruzione e storia dell'opera);

- Categoria 6: dati che interessano l'interazione frana-ponte, i danni riportati e gli eventuali interventi di stabilizzazione del terreno o di manutenzione del ponte effettuati a seguito dell'evento.

Una volta ultimate le operazioni di popolazione del database, si è ritenuto opportuno analizzare i dati raccolti al fine di identificare possibili relazioni o dipendenza tra le informazioni raccolte. Per far ciò, si è deciso di raggruppare i vari elementi in classi, su cui basare le successive valutazioni. Nel database Microsoft Access è stata creata un'apposita maschera contenente diverse schede suddivise in base alle categorie precedentemente individuate; in tali schede, oltre ai campi compilati inizialmente, sono stati aggiunti alcuni "menu a tendina" costituiti dalle varie classi individuate per raggruppare i dati. A titolo di esempio, per razionalizzare i dati relativi alla magnitudo della frana si sono utilizzate le classi definite dalle Linee Guida ossia *Extremely/very large* ($>10^6$ m³), *Large* ($2,5 \cdot 10^5 - 10^6$) m³, *Medium* ($10^4 - 2,5 \cdot 10^5$) m³, *Small* ($5 \cdot 10^2 - 10^4$) m³, *Very small* ($< 5 \cdot 10^2$) m³. In alcuni casi le informazioni erano esplicitamente presenti negli articoli (ad esempio, Jostad, H. P. et al., 2021), altre volte si sono dovuti ricavare indirettamente i valori utilizzando informazioni come ad esempio lunghezza, larghezza e profondità della frana (Pastor, J. L. et al., 2019). La razionalizzazione del parametro velocità è stata anch'essa svolta in linea con le Linee Guida, ossia *Extremely rapid* (> 5 m/s), *Very rapid* (> 3 m/min), *Rapid* (> 1.8 m/h), *Moderate* (> 13 m/month), *Slow* (> 1.6 m/year), *Very slow* (> 15 mm/year), *Extremely slow* (< 15 mm/year). Infine, in tutte le classi si è prevista la presenza di un'opzione "unknown" qualora quel parametro non fosse presente o ricavabile dall'articolo stesso.

3. ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI

Ad oggi si è conclusa la prima fase di inserimento dei dati nel database e sono state effettuate alcune preliminari valutazioni di carattere statistico dei dati raccolti. In figura 1 si riporta, ad esempio, la distribuzione delle velocità (a) e dei volumi coinvolti (b) relativamente ai 40 casi esaminati.

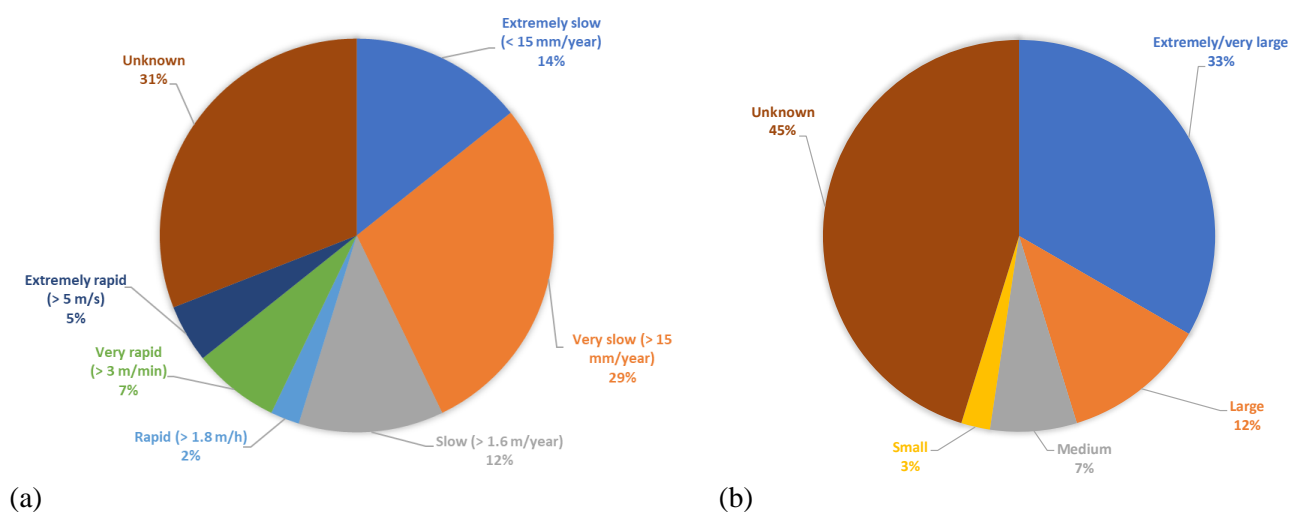


Figura 1. (a) Distribuzione delle velocità e (b) distribuzione delle magnitudo su base volumetrica delle frane analizzate

Una prima osservazione riguarda proprio la classe degli "unknown": nel 30% dei casi le velocità non erano esplicitate, mentre in quasi metà degli articoli non erano presenti misure relative alla dimensione del volume coinvolto nel dissesto. Questo fattore ovviamente riduce la significatività statistica del campione analizzato e sottolinea la difficoltà di gestione ed interpretazione del database. Focalizzandosi invece sulle informazioni note, il fatto che più del 50% delle frane siano di natura lenta o molto lenta (meno di qualche metro/anno) è un segnale interessante che indica che la definizione di un adeguato sistema di sorveglianza e monitoraggio delle opere possa essere un efficace metodo di gestione del rischio. La definizione di un'adeguata periodicità di ispezioni permette infatti, nel caso di frane lente, di individuare tempestivamente quei segnali di sofferenza del ponte o sul territorio e garantisce un lasso di tempo utile ad attuare misure di prevenzione e riduzione del rischio.

Tuttavia, se è vero che la velocità della frana permette di definire la cadenza con cui svolgere le ispezioni, va anche ricordato che gli aspetti da rilevare in fase di sopralluogo sono fortemente dipendenti dalla tipologia di fenomeno che caratterizza quella determinata area così come dalla tipologia di materiale coinvolto. Terreni coesivi

suggeriranno la presenza di possibili frane lente, mentre materiali più granulari saranno soggetti probabilmente a fenomeni più rapidi e impulsivi. Anche l'analisi di eventi accaduti in aree limitrofe alle zone oggetto di studio aiuta a contestualizzare quanto osservato in fase di ispezione e indirizza gli aspetti da raccogliere e interpretare.

Analizzando invece la stima della dimensione della frana, si evidenzia come generalmente siano frane di volumi elevati a provocare danni ed effetti rilevanti sulle opere. Va però ricordato che il campione statistico risulta esiguo e che l'analisi viene svolta solo su casi pubblicati e quindi di adeguata rilevanza. Inoltre, sarebbe interessante approfondire l'analisi, cercando di correlare la dimensione della frana agli effetti generati considerando anche la tipologia strutturale del ponte e la sua dimensione.

Sebbene le valutazioni riportate siano preliminari, lo sviluppo del database permette di raccogliere comunque esperienze utili. Ad esempio, è stato possibile notare come casi localizzati in zone simili (Canada centrale) erano tutti coinvolti da frane superficiali, composite e complesse, caratterizzate da velocità lente (pochi centimetri all'anno) e dallo scivolamento su una superficie composta da scisto argilloso a varie profondità (anche centinaia di metri), a sottolineare l'importanza della contestualizzazione dell'opera a scale anche più ampie. Inoltre, in molti casi la causa scatenante del dissesto consisteva nelle abbondanti piogge, dettaglio che può risultare anch'esso utile da valutare in fase di analisi preliminare delle caratteristiche del sito. Infine, dall'analisi dei diversi lavori si è potuta ricavare una casistica dei segnali di sofferenza che le strutture o il territorio mostravano precedentemente al collasso. La letteratura riporta evidenze di traslazioni di impalcati rispetto alle pile, deformazioni agli appoggi, crepe e fessure su pile e spalle, così come presenza di fratture, crolli localizzati, cedimenti o rigonfiamenti del terreno. Queste alcune delle evidenze che, se rilevate in ispezione, non possono non essere tenute in debita considerazione per la valutazione del rischio frana.

4. CONCLUSIONI

Le Linee Guida per la gestione e classificazione del rischio di ponti e viadotti esistenti non sono sempre di facile ed immediata applicazione. Risulta pertanto fondamentale maturare adeguata esperienza. Per tal motivo si è scelto di raccogliere in un database tutti i principali casi documentati, anche internazionali, che riguardano l'interazione tra ponte e dissesto, categorizzarne le caratteristiche più rilevanti così da eseguire alcune valutazioni statistiche preliminari. Il database potrà essere continuamente aggiornato aggiungendo informazioni ed ulteriori casi studio, andando così a costruire un campione statisticamente più significativo da cui ottenere correlazioni multifattoriali.

Al momento attuale il database è popolato da una quarantina di casi, che non sempre risultano completi di tutte le informazioni. Pertanto, è stato possibile effettuare solamente analisi statistiche preliminari e raccogliere qualche suggerimento utile alle attività di valutazione del rischio previste dalla normativa. L'esperienza maturata nella creazione del database sottolinea, ad esempio, l'importanza di un controllo mirato agli appoggi, alla presenza di eventuali fessure sulle spalle o alla presenza di segnali quali fratture di trazione, crolli o rigonfiamenti sul terreno. La tipologia di fenomeno atteso, la contestualizzazione a scala più grande del solo ponte, la conoscenza del territorio e delle condizioni ambientali risultano di fondamentale importanza per aiutare l'ispettore nella valutazione del rischio legato alla presenza di dissesti. Una conclusione generale di quanto presentato permette di notare che nel caso di frane lente sia fondamentale osservare con attenzione il ponte e la possibile sofferenza dello stesso, in quanto opera e terreno dovrebbero mostrare segnali precursori prima del collasso parziale o totale della struttura; nel caso, invece, di frane rapide che possono potenzialmente interessare l'opera, sarà necessario approfondire l'analisi dei segnali sul territorio circostante, come erosioni, masse di materiale movimentato, segnali di avvenuto impatto con le pile e soprattutto l'eventuale presenza di masse distaccabili che potrebbero impattare con il ponte.

5. BIBLIOGRAFIA

D.M. n. 204 01/07/2022, "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti". (GU Serie Generale n. 196 del 23-08-2022).

Jostad H. P., Sivasithamparam N., Lacasse S., Degago S.A., Le T.M.H., Giese S., ... Aabøe R. (2021, April). 3D stability analyses of Skjeggstad landslide. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 710, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

Pastor J. L., Tomás R., Lettieri L., Riquelme A., Cano M., Infante D., ... Di Martire D. (2019). Multi-Source data integration to investigate a deep-seated landslide affecting a bridge. *Remote Sensing*, 11(16), 1878.