

RELAZIONE DELLE ATTIVITÀ

Titolo assegno di ricerca: **“Modellazione CFD per l’analisi del rischio idraulico dei ponti”**

Titolo assegno di ricerca (ENG): **“CFD modeling for hydraulic risk assessment of existing bridges”**

Tutor: Prof. Ing. Armando Brath

Ambito del Progetto di Ricerca

Le inondazioni rappresentano il rischio naturale più ricorrente e diffuso, coinvolgendo più di 80 milioni di persone e causando perdite economiche per circa 41.6 miliardi di dollari ogni anno in tutto il mondo [1]. La variabilità degli eventi di pioggia, sia in frequenza che in intensità, registrata negli ultimi anni a causa dei cambiamenti climatici, ha condotto ad un aumento del numero di alluvioni rispetto ai due decenni precedenti, provocando un incremento di danni in ogni parte del globo [2]. La crescita demografica ed economica, insieme al forte processo di urbanizzazione nelle aree maggiormente esposte al rischio, sono stati e continueranno ad essere i principali responsabili di tali impatti in caso di eventi meteorologici estremi [3][4].

Lo sviluppo economico ed infrastrutturale di molti paesi ha reso le aree urbanizzate fortemente dipendenti dalla funzionalità dei sistemi infrastrutturali, tra cui le reti di trasporto, di comunicazione, elettriche ed idriche. In generale, si tratta di sistemi progettati in passato per resistere a sollecitazioni diverse da quelle attualmente presenti e con uno stato di invecchiamento odierno tale per cui una qualsiasi perturbazione, come quella dovuta ad un'inondazione, potrebbe causare il loro arresto improvviso o comunque un parziale funzionamento.

I sistemi di trasporto, stradali e ferroviari, sono particolarmente vulnerabili al rischio alluvionale. La presenza di acqua sulla carreggiata stradale o sulla massicciata ferroviaria potrebbe causare un'interruzione parziale o totale del traffico, conducendo a significative perdite socio-economiche, oltre che ad ostacolare l'accessibilità delle aree colpite e l'organizzazione dei soccorsi in caso di emergenza. Tali effetti potrebbero essere notevolmente amplificati dalla presenza di ponti, definiti come i tratti più critici di una rete di trasporto [5].

Durante un evento di piena, l'impalcato di un ponte potrebbe essere parzialmente o completamente sommerso, dovendo resistere a carichi idrodinamici che possono condurre al cedimento dell'opera per rischio idraulico. Oltre a ciò, l'integrità strutturale può essere compromessa anche a causa dell'effetto di carico causato dall'accumulo di detriti lignei in corrispondenza dei piloni e dal fenomeno di erosione localizzata alla base degli stessi, che può avanzare fino a raggiungere le fondazioni e ridurre la capacità portante [6]. Per preservare la funzionalità delle reti di trasporto, occorre incrementare la resilienza dell'intero sistema [7], [8], così come stabilito dalla Direttiva Alluvioni (2007/60/CE).

Pertanto, investigare il comportamento dei ponti durante le inondazioni, ovvero in presenza di carichi idrodinamici aggravati dall'accumulo di detriti e/o di fenomeni di erosione localizzata al piede delle pile (tra le principali cause di cedimento dei ponti), risulta fondamentale per l'analisi del rischio idraulico.

Descrizione delle attività di ricerca

Nonostante gli sforzi compiuti negli ultimi decenni, gli avanzamenti delle tecniche di monitoraggio e la disponibilità di strumenti computazionali più veloci, mancano ancora linee guida esaustive che possano fornire ai professionisti indicazioni facilmente applicabili (e affidabili) per agevolare la progettazione di tali strutture complesse con riferimento ai problemi specifici relativi al fiume/canale attraversato. Gli elementi di incertezza (aumento degli eventi di alluvione estremi e carichi d'impatto dei detriti legnosi) sono ancora significativi e, in parte, difficili da prevedere/valutare. Tale situazione si aggrava ulteriormente quando si tratta di ponti fluviali esistenti, per i quali spesso le informazioni sulla struttura sono assenti o limitate. In generale, si tratta di ponti progettati e costruiti decenni fa, non più adatti a soddisfare la crescente domanda sociale ed il connesso rischio potenziale. Inoltre, la varietà delle possibili condizioni in situ e delle geometrie delle strutture presenti sul territorio costituiscono un problema addizionale.

L'interazione tra flusso d'acqua, pile e impalcato del ponte, in presenza o assenza di accumulo di detriti (specialmente in condizioni di flusso pressurizzato sotto la soletta sommersa) e trasporto di sedimenti lungo il corso del fiume, è ancora in gran parte inesplorata, rendendo necessarie analisi più dettagliate. Mancano ancora criteri chiari per la corretta valutazione del carico idraulico e di altre forze indotte dall'impatto dei detriti sui ponti, anche se, specialmente durante gli eventi di piena, la probabilità di ostruzione dovuta ai detriti fluttuanti aumenta drasticamente, rappresentando quindi una ulteriore minaccia per la stabilità della struttura. Analisi sperimentali, teoriche e numeriche ad hoc di approfondimento conoscitivo su tali fenomeni sono pertanto opportuni.

Tramite il presente progetto di ricerca, si intende eseguire test numerici per simulare scenari tipici, caratterizzati da una significativa interazione tra flusso, piloni e impalcato del ponte e accumuli di detriti, nel caso di diverse condizioni idrauliche. Tradizionalmente, gli analisti e i progettisti di ponti si sono basati su modelli fisici per valutare il campo di flusso e la risposta strutturale. Attualmente, invece, gli strumenti di CFD (Computational Fluid Dynamic) forniscono una alternativa rapida ed economica per studiare questi sistemi. L'uso delle simulazioni CFD consente di valutare direttamente gli effetti di scala e di calcolare le forze di portanza e di sollevamento agenti sui ponti allagati, nonché ottimizzare la forma dei piloni, con lo scopo di ridurre al minimo l'entità dell'erosione. Nonostante la rilevanza del problema, così come l'importanza cruciale di una corretta valutazione degli scenari di progettazione definiti dalla comunità scientifica, si ha ancora una scarsa conoscenza al riguardo. Non esistono ancora linee guida organiche ed esaustive che tengano conto del carico idraulico sui ponti, delle forze indotte dall'impatto dei detriti legnosi sulla struttura, dell'effetto dell'accumulo di questi ultimi sul meccanismo di erosione, per diverse condizioni di flusso pressurizzato e di franco idraulico. Di conseguenza, l'obiettivo principale di questo progetto è contribuire a colmare tale lacuna, in maniera tale da definire un criterio più robusto e validato che permetta ai professionisti di migliorare la progettazione di nuovi ponti e agli stakeholder di mitigare il rischio di cedimento delle strutture esistenti.

Piano delle attività

Partendo da queste considerazioni, l'attività di ricerca che si intende sviluppare sarà organizzata secondo le seguenti direzioni principali:

1. Simulazioni CFD per investigare le forze idrodinamiche agenti sull'impalcato dei ponti sommersi. L'obiettivo è costruire modelli CFD (utilizzando il software Flow 3D Hydro) per valutare i carichi idraulici attesi in caso di gravi inondazioni con conseguente sommersione parziale o totale della soletta del ponte. L'indagine numerica si concentrerà su infrastrutture esistenti con diverse configurazioni geometriche (ad esempio, forma e dimensioni dei piloni, dimensioni e altezza della soletta) tra le più comunemente adottate, nonché su diverse condizioni idrauliche (rappresentative del progetto e scenari critici). Le simulazioni numeriche considereranno anche l'ipotesi di ostruzione parziale/totale del ponte a causa dell'accumulo di detriti. Il risultato finale costituirà la definizione grafica e analitica delle espressioni per la stima delle forze di portanza, sollevamento e momento generate in relazione alle diverse condizioni di flusso.
2. Confronto/validazione con la modellazione sperimentale. Questa attività ha lo scopo di confrontare, verificare e validare i risultati della modellazione numerica facendo ricorso ai risultati di attività sperimentali, presenti in letteratura e/o condotta da altri gruppi di ricerca. I risultati delle simulazioni fisiche e numeriche verranno confrontati, quando possibile, e integrati al fine di fornire elementi rilevanti per la valutazione della stabilità dei ponti sotto carichi critici.
3. Valutazione della stabilità idraulica dei ponti esistenti. Sulla base dei risultati delle simulazioni numeriche (nonché delle evidenze sperimentali), l'obiettivo è identificare la risposta potenziale dei coefficienti di forza per diverse condizioni di flusso, rapporti di inondazione e tipologie di ponte. I risultati numerici e le indagini condotte costituiranno elementi di riferimento per ingegneri e progettisti chiamati a verificare la stabilità dei ponti esistenti sotto carichi idraulici critici.

References

- [1] «EMDAT_2022-Disasters in numbers.pdf».
- [2] G. Blöschl *et al.*, «Changing climate both increases and decreases European river floods», *Nature*, vol. 573, fasc. 7772, pp. 108–111, set. 2019, doi: 10.1038/s41586-019-1495-6.
- [3] M. Tanoue, Y. Hirabayashi, e H. Ikeuchi, «Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years», *Sci. Rep.*, vol. 6, fasc. 1, p. 36021, ott. 2016, doi: 10.1038/srep36021.
- [4] C. S. S. Ferreira, R. P. D. Walsh, e A. J. D. Ferreira, «Degradation in urban areas», *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, vol. 5, pp. 19–25, ott. 2018, doi: 10.1016/j.coesh.2018.04.001.
- [5] S. A. Argyroudis e S. A. Mitoulis, «Vulnerability of bridges to individual and multiple hazards- floods and earthquakes», *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 210, p. 107564, giu. 2021, doi: 10.1016/j.ress.2021.107564.
- [6] M. Kosič, A. Anžlin, e V. Bau', «Flood Vulnerability Study of a Roadway Bridge Subjected to Hydrodynamic Actions, Local Scour and Wood Debris Accumulation», *Water*, vol. 15, fasc. 1, p. 129, dic. 2022, doi: 10.3390/w15010129.

- [7] N. Zhang e A. Alipour, «Two-Stage Model for Optimized Mitigation and Recovery of Bridge Network with Final Goal of Resilience», *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2674, fasc. 10, pp. 114–123, ott. 2020, doi: 10.1177/0361198120935450.
- [8] N. Zhang e A. Alipour, «A multi-step assessment framework for optimization of flood mitigation strategies in transportation networks», *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 63, p. 102439, set. 2021, doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102439.

Bologna, 24 maggio 2024

IL TUTOR (PROF. ING. ARMANDO BRATH)

