

ALCUNI EFFETTI DELLA CIRCOLAZIONE DEI VEICOLI PESANTI

LA RICERCA DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA NELL'AMBITO DEL PROGETTO MOSORE (INFRASTRUTTURE E SERVIZI PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE E RESILIENTE) SULLA GESTIONE DEGLI IMPALCATI DEI PONTI SOGGETTI AL TRANSITO DEI VEICOLI ECCEZIONALI BASATA SU SISTEMI ITS

La regolamentazione della circolazione dei veicoli eccezionali è un argomento di primaria importanza per gli Enti gestori delle strade.

Infatti, il crescente flusso di veicoli pesanti e il progressivo incremento delle masse trasportate possono incidere negativamente sulla sicurezza del traffico e delle infrastrutture.

In particolare, per quanto concerne le infrastrutture, il transito dei mezzi eccezionali può indurre un'accelerazione del fenomeno di degrado della pavimentazione stradale (il danneggiamento della sovrastruttura stradale è proporzionale al carico applicato mediante una potenza di quarto grado) e pregiudicare la stabilità dei ponti (presenza di una massa eccessiva sull'impalcato).

Si tratta di un problema di estrema attualità per l'Italia, considerando i recenti collassi di ponti costruiti nella seconda metà



del Novecento, spesso progettati per resistere a carichi veicolari inferiori rispetto a quelli che attualmente circolano sulla rete stradale.

Per queste ragioni, i veicoli eccezionali devono rispettare complesse Norme di circolazione e sono soggetti al rilascio di un'autorizzazione alla circolazione da parte degli Enti proprietari o gestori delle strade.

Le autorizzazioni alla circolazione possono essere rilasciate:

- per un singolo viaggio (autorizzazioni singole);
- per un certo numero di viaggi (autorizzazioni multiple);
- per un numero illimitato di viaggi da svolgersi all'interno di un certo intervallo temporale (autorizzazioni periodiche).

All'atto del rilascio, l'Ente può imporre degli itinerari prestabiliti e un'eventuale scorta tecnica. Le autorizzazioni possono essere rilasciate solo quando compatibili con la preservazione della sovrastruttura stradale, con la stabilità delle strutture e con la sicurezza del traffico.

Al fine di garantire la sicurezza dei ponti, gli Enti gestori spesso prescrivono che il transito dei veicoli eccezionali al di sopra di essi avvenga a velocità molto basse, soprattutto quando la struttura manifesta evidenti segni di degrado.

L'obiettivo di questi stringenti limiti di velocità è ridurre gli effetti dinamici dovuti all'interazione veicolo-struttura, nell'ipotesi che essi incrementino con la velocità.

Tuttavia, nei ponti a due sensi di marcia, particolarmente critico è l'incontro di due veicoli eccezionali viaggianti in direzioni opposte, nel caso in cui la somma delle loro masse ecceda la capacità portante della struttura. Dal momento che una riduzione di velocità comporta un incremento nella probabilità di incontro, gli effetti favorevoli dovuti alla riduzione dell'amplificazione dinamica potrebbero essere invalidati. Teoricamente,



2. Il progetto MoSoRe. Infrastrutture e Servizi per la Mobilità Sostenibile e Resiliente

questo evento potrebbe essere escluso semplicemente vietando la simultanea presenza di veicoli eccezionali sull'impalcato. Tuttavia, il rispetto di questa prescrizione è di difficile implementazione pratica, soprattutto in assenza di sistemi di pesatura dei veicoli agli ingressi del ponte e in assenza di scorta tecnica (generalmente prevista per i soli veicoli eccezionali per sagoma). In questo contesto si inserisce la ricerca, che verrà avviata nei prossimi mesi, dell'Università degli Studi di Brescia nell'ambito del progetto MoSoRe (Infrastrutture e servizi per la Mobilità Sostenibile e Resiliente - MoSoRe@Unibs - CUP E81B19000840007), finanziato dalla Regione Lombardia e che prevede la collaborazione di molteplici Enti Partner, fra i quali ENEA, Italcementi SpA, Fasternet Srl, Ingenera Srl e GeneGIS-Gi Srl.

Tale progetto di ricerca ha come obiettivo, in una prima fase, il perfezionamento di un modello teorico - già sviluppato dalla stessa Università [1] - volto all'analisi della "Probabilità di fallimento" di un ponte sottoposto a un assegnato flusso di veicoli eccezionali.

Nella seconda fase si elaborerà una strategia di gestione del traffico pesante, basata sull'uso di sistemi ITS (Intelligent Transport Systems) e di early warning, che consenta di intercettare il veicolo, che potrebbe causare criticità all'infrastruttura, prima che raggiunga il manufatto.

LA METODOLOGIA

La ricerca prevede il miglioramento di un modello teorico per il calcolo della "Probabilità di fallimento" del sistema veicolo-ponte. In questo contesto, il termine "Fallimento del sistema" non significa necessariamente collasso della struttura, ma indica, in senso più ampio, il raggiungimento e/o superamento di qualsiasi condizione (definita "Stato Limite") che potrebbe condurre a un malfunzionamento dell'intero sistema o di una sua porzione e che, quindi, è in grado di indurre conseguenze indesiderate. La probabilità di fallimento è calcolata attraverso il prodotto fra la "Probabilità annua di incontro" e la "Probabilità di eccedere la massa limite" [2].

La prima è intesa come la probabilità che durante il generico anno di riferimento, almeno una volta, due veicoli eccezionali, viaggiando nelle due opposte direzioni (ascendente e discendente), siano simultaneamente presenti sull'impalcato. La seconda è

intesa come la probabilità che la somma delle singole masse di due veicoli eccezionali casualmente estratti dal campione, inclusi gli effetti dinamici, ecceda la massa limite. Gli effetti dinamici dovuti all'interazione veicolo-struttura, saranno adeguatamente considerati attraverso modelli che legheranno il fattore di amplificazione dinamica alle caratteristiche di rigidità del manufatto ed alla velocità di transito [3].

Al fine di determinare la distribuzione probabilistica delle masse dei veicoli transitanti sull'impalcato, l'attività di ricerca prevede l'installazione di sistemi di pesatura dinamica (WIM) e di telecamere intelligenti (Smart Eye fornite da ENEA) al di sopra di ponti campione. I dati raccolti potranno essere utilizzati per quantificare il traffico e le caratteristiche dei veicoli. L'analisi statistica di questi dati consentirà di determinare i valori caratteristici dei carichi effettivamente agenti sui manufatti e di identificare l'eventuale transito di veicoli in sovraccarico (che potrebbero essere causa di danneggiamenti delle strutture e del manto stradale). Tali sistemi, abbinati ad altri dispositivi quali accelerometri e inclinometri, consentiranno anche di monitorare la risposta dinamica del manufatto al variare della velocità di transito. Infine, si prevede lo sviluppo e l'implementazione di un sistema di primo allarme (Early Warning), in grado di mostrare messaggi di allarme direttamente all'utenza mediante semafori e/o pannelli a messaggio variabile posizionati prima del ponte, agendo tempestivamente al fine di interdire il transito ed evitare quindi situazioni pericolose.

Questo obiettivo non può prescindere dalla necessità di un'accurata sincronizzazione di tutti i dispositivi appartenenti al sistema di monitoraggio integrato e di un'elaborazione dei dati rilevati. Tali processi, indispensabili al fine di correlare le caratteristiche dei veicoli in transito (rilevate dal sistema di pesatura dinamica WIM e dagli Smart Eyes) con la risposta strutturale (rilevata dai sensori installati sui ponti), saranno possibili grazie a un server di rete, al quale ogni sensore si conatterà in remoto, e grazie all'applicazione di opportuni algoritmi per la gestione dei dati.

La prima implementazione del progetto descritto in questo articolo verrà effettuata nei prossimi mesi al di sopra di



3. Il ponte pilota situato sulla strada BSSPEXSS45BIS nel comune di Bassano Bresciano (BS), individuato in accordo con la Provincia di Brescia (Ente gestore) per una prima implementazione del progetto

un ponte pilota situato sulla strada BSSPEXSS45BIS nel comune di Bassano Bresciano (BS), individuato in accordo con la Provincia di Brescia, che ne è l'Ente Gestore.

I RISULTATI ATTESI E LE POTENZIALITÀ APPLICATIVE

Una prima applicazione del modello di probabilità, effettuata assumendo distribuzioni empiriche delle masse veicolari e modelli teorici per il fattore di amplificazione dinamica, ha dimostrato l'esistenza di una velocità ottimale di transito, capace di minimizzare la probabilità di fallimento del sistema.

Alla luce di questa evidenza, l'imposizione di limiti di velocità molto ridotti per i veicoli eccezionali transitanti sugli impalcati apparirebbe inappropriata.

Al contrario, sembrerebbe più adeguato definire un "Range di Velocità", ottenuto imponendo che la Probabilità Annuata di Fallimento non ecceda un certo "Valore Soglia". Questa soglia dovrebbe essere scelta in accordo con il massimo rischio di fallimento ritenuto accettabile per il sistema.

La futura implementazione di distribuzioni sperimentali delle masse veicolari (determinate attraverso i sistemi WIM che verranno installati sul campo) e di relazioni sperimentali per il calcolo del fattore di amplificazione dinamica (determinate elaborando i dati registrati dalle telecamere intelligenti, dagli accelerometri e dagli inclinometri) consentirà di quantificare in maniera affidabile il valore di tale velocità.

L'imposizione di limiti di velocità per il transito dei veicoli eccezionali sui ponti potrà quindi essere più razionalmente condotta dagli Enti gestori tenendo in considerazione i risultati di questa ricerca.

Inoltre, l'identificazione dei veicoli mediante gli Smart Eye consentirà l'attivazione del sistema di early warning e quindi di evitare l'insorgenza di situazioni potenzialmente pericolose per il manufatto. Conseguenza applicativa sarà una più sicura e razionale gestione del patrimonio infrastrutturale nei confronti del transito dei veicoli eccezionali.



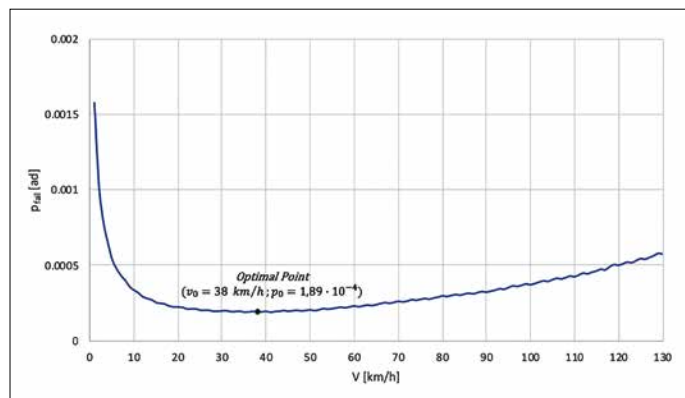
4. La sensoristica per la misura, l'elaborazione e la trasmissione dei dati installata sull'impalcato del ponte pilota di Bassano Bresciano (BS)

e alla sicurezza dei ponti, richiedono il perfezionamento di modelli per l'analisi della "probabilità di fallimento" dei ponti soggetti al transito dei veicoli eccezionali.

Questa ricerca si propone di migliorare sperimentalmente un modello di analisi teorico, anche grazie all'installazione di sistemi di pesatura dinamica, di accelerometri e di inclinometri per il monitoraggio dei transiti e della risposta dinamica. La quantificazione di una velocità ottimale di transito basata su misure reali e l'implementazione di sistemi di early warning per la segnalazione, in tempo reale, di situazioni potenzialmente pericolose consentirà agli Enti gestori una più sicura gestione dei transiti sui ponti. ■

⁽¹⁾ Dottorando di Ricerca del DICATAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e Matematica presso l'Università degli Studi Brescia

⁽²⁾ Professore Ordinario di Trasporti del DICATAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e Matematica presso l'Università degli Studi Brescia



5. La Probabilità Annuata di Fallimento (P_{fail}) in funzione della velocità di transito (V), con individuazione dell'"Optimal Point"

CONCLUSIONI

Il crescente flusso di veicoli pesanti e il progressivo incremento delle masse trasportate hanno un'incidenza negativa sulla sicurezza del traffico e delle infrastrutture.

Si tratta di un problema di estrema attualità per l'Italia (e non solo), a causa della presenza di ponti progettati per reggere carichi veicolari inferiori rispetto a quelli attualmente circolanti sulle strade.

Le emergenti problematiche legate al transito dei mezzi eccezionali [4], quali l'accelerazione del degrado della pavimentazione stradale e la minaccia alla stabilità

Bibliografia

- [1]. R. Ventura, B. Barabino, D. Vetturi, G. Maternini - "Bridge safety analysis based on the function of exceptional vehicle transit speed", *The Open Transportation Journal*, vol. 14, pp. 222-236, http://dx.doi.org/10.2174/1874447802014010222_202.
- [2]. H.K. Stephenson - "Highway bridge live loads based on laws of chance", *J. Struct. Div.*, vol. 83, pp. 1-23. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0000134>, 1957.
- [3]. H. Moghimi, H.R. Ronagh - "Impact factors for a composite steel bridge using non-linear dynamic simulation", *Int. J. Impact Eng.*, vol. 35, n. 11, pp. 1228-1243, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2007.07.003>.
- [4]. P. Lou, H. Nassif, D. Su, P. Truban - "Effect of overweight trucks on bridge deck deterioration based on weigh-in-motion data", *Transportation Research Record*, vol. 2592, pp. 86-97, <https://doi.org/10.3141/2592-10>, 2016.