

Valutazione della sicurezza statica di infrastrutture stradali

Michele Motta - Modellazione strutturale

Eugenio Marro - Progettista (Studio Corona – Torino)

Gianmarco Massucco - CDM DOLMEN Srl

Di seguito si descrive la valutazione della sicurezza statica di due ponti esistenti, presumibilmente costruiti tra il 1963 e il 1967, situati nel nord Italia.

In generale, la valutazione della sicurezza statica si è esplicitata nei seguenti quattro passaggi:

1. Analisi storico-critica, ricerca di dati e di informazioni documentali di archivio utili all'espletamento dell'incarico.
2. Definizione del piano delle indagini strutturali e dei sopralluoghi conoscitivi sullo stato di fatto dell'infrastruttura stradale.
3. Elaborazioni numeriche, analisi strutturale statica e dinamica, redazione della valutazione della sicurezza e verifiche strutturali secondo D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni".
4. Verifica della capacità portante degli elementi strutturali e determinazione dei massimi carichi stradali ammessi al transito.

L'articolo approfondisce con particolare attenzione i punti 3) e 4) legati agli aspetti di modellazione e calcolo strutturale, sviluppati con il software Dolmen. Si riportano tuttavia alcune informazioni di base relative anche ai primi due punti.

Analisi storiche e indagini strutturali

La ricerca ha permesso di ritrovare solo due disegni d'insieme dei ponti, che si sono rivelati aderenti a quanto costruito, per quel che riguarda le misure di carpenteria. Invece non è stato possibile trovare dei disegni di armatura, dei certificati di prova sui materiali impiegati e dei certificati relativi alle prove di carico o al collaudo. Un computo metrico ritrovato è stato usato per capire il tipo di materiali previsto, ma non è stato considerato del tutto attendibile senza l'ausilio di prove sui materiali.



Figura 1 - Particolare pile



Figura 2 - Particolare lato inferiore impalcato

Vista l'assenza totale dei disegni di armatura si è eseguita una "Indagine diagnostica-conoscitiva" mediante prove distruttive e non distruttive sulle strutture in cemento armato. In particolare è stato fatto un prelievo di carote di calcestruzzo su pile, pulvini, spalle e impalcato, con successiva determinazione della massa

volumica e della resistenza a compressione. Per quanto riguarda la valutazione delle armature si è poi proceduto con l'asportazione, la misura del copriferro, il rilievo visivo e fotografico, l'estrazione di spezzoni con successiva misura della resistenza a trazione, della tensione di snervamento e dell'allungamento a rottura. Sono stati, inoltre, eseguiti dei saggi con demolizione per verifica del numero, del diametro, del copriferro e della disposizione delle armature su pile, pulvini, spalle e impalcato.

Per verificare le dimensioni di impalcato e fondazioni sono stati eseguiti dei rilievi geometrici e restituzione fotografica dell'impalcato tipo e, mediante scavo con piccolo escavatore, di un plinto di fondazione.

Particolarmente importante risultava poi la conoscenza dello stato di degrado delle armature (sezione residua dopo aver effettuato una pulizia di massima delle armature corrose) che è avvenuta tramite analisi visiva delle zone degradate (con restituzione fotografica) e misurazione con calibro di precisione del diametro effettivo.

Infine sono state svolte delle analisi sclerometriche, con esecuzione di almeno 9 battute per ciascun punto di misura e valutazione della resistenza meccanica equivalente, e misure della velocità di propagazione degli ultrasuoni con elaborazione dei dati SONREB, su pile, pulvini, spalle e impalcato.

A monte delle verifiche strutturali, l'esito delle prove e delle analisi ha evidenziato:

- una buona qualità del calcestruzzo impiegato,
- una resistenza dei ferri di armatura in linea con i materiali utilizzati negli anni '60,
- una corrosione con riduzione della sezione delle armature metalliche, soprattutto all'intradosso dei pulvini e lungo le facce delle pile, per carbonatazione del calcestruzzo.

Analisi della geometria e dei materiali

Per la determinazione delle azioni è stato necessario studiare il modello complessivo dei ponti, in modo da cogliere gli aspetti salienti del comportamento, sia in fase statica che in fase sismica.

I due ponti sono interamente realizzati in calcestruzzo armato ordinario gettato in opera e sono costituiti rispettivamente da 7 e da 3 campate di luce pari a 27.00 m circa, per una lunghezza complessiva tra le spalle pari a 189 m e a 81 m. Lo schema di ogni campata è costituito da un impalcato a travi semplicemente appoggiate. La carreggiata ha una larghezza costante pari a 7.50 m; ai suoi lati sono posti due marciapiedi di larghezza pari a 1.00 m; la larghezza totale del manufatto risulta quindi pari a 9.50 m.

Nella figura seguente si riporta lo schema d'insieme dei due ponti e alcuni particolari, risultanti sia dai documenti originali di progetto, sia dal rilievo geometrico effettuato.

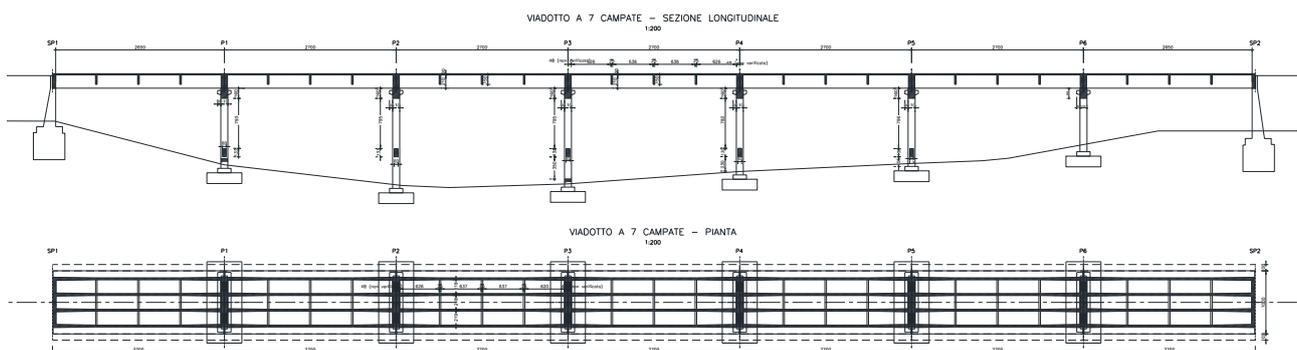


Figura 3 - Viadotto a 7 campate sezione e pianta

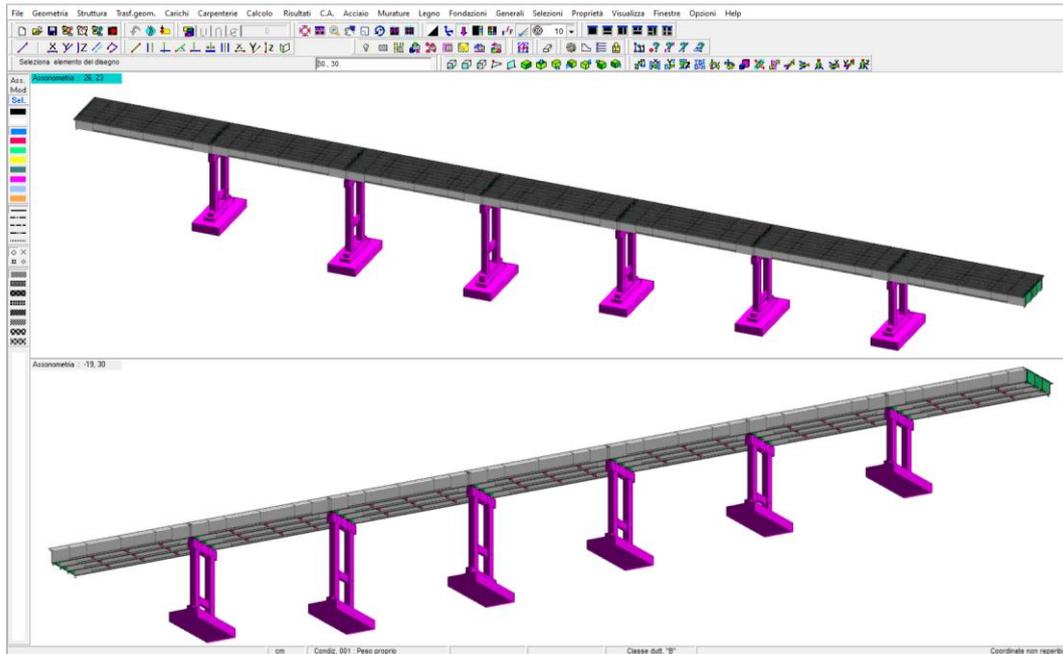


Figura 5 - Vista assonometrica nel CAD 3D Strutturale DOLMEN (dall'alto e dal basso)

Le azioni previste dalle NTC2018 e considerate nella valutazione di sicurezza sono:

- le azioni permanenti (pesi propri e sovraccarichi permanenti),
- le azioni variabili da traffico,
- le altre azioni variabili,
- le azioni sismiche.



Figura 6 - Schema di carico 1 (dimensioni in metri)

I carichi mobili per ponti di 1° categoria utilizzati per le verifiche includono gli effetti dinamici per pavimentazioni di media rugosità e sono riportati nella figura precedente.

I carichi concentrati Q_k sono costituiti da quattro impronte di carico di base 40x40cm. Oltre a quanto previsto per i carichi sulla carreggiata si è previsto sui marciapiedi il carico da folla, pari 2.5 kN/m².

La disposizione e la numerazione delle corsie è stata determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto. La disposizione in direzione longitudinale delle colonne di carico varierà in funzione

delle linee d'influenza del parametro di sollecitazione in esame relativo della sezione da verificare, seguendo lo schema di carico 1.

La forza di frenamento (q_3) o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale ed è pari a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = [0,6 (2 Q_{1k}) + 0,10 q_{1k} \cdot w_1 \cdot L] \leq 900 \text{ kN}$$

in cui w_1 è la larghezza della corsia (si considera pari a 3.00 m) e L la lunghezza della zona caricata (nel caso in esame è pari alla lunghezza totale del manufatto).

La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata.

L'azione del vento è considerata come un carico orizzontale statico diretto ortogonalmente all'asse longitudinale dell'impalcato, la cui intensità è calcolata come riportato nel capitolo relativo alle azioni ambientali e naturali delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018. La superficie di esposizione è pari all'altezza dell'impalcato, compresa la pavimentazione, a cui si somma una parete rettangolare continua avente altezza pari a 3.00 m.

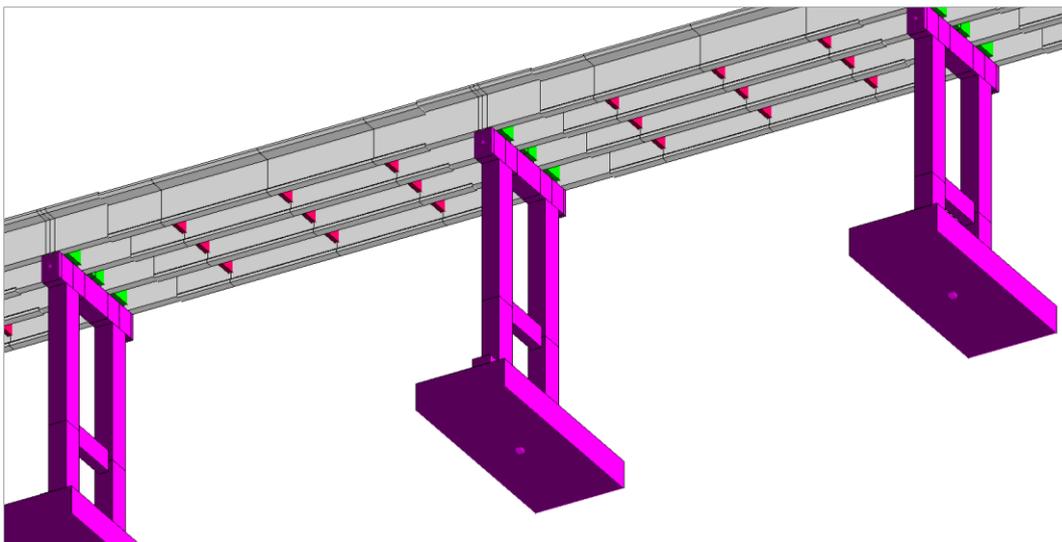


Figura 7 - Vista dal basso - dettaglio

Verifiche globali e locali

Sulla base dei risultati dell'analisi strutturale si sono quindi svolte le verifiche previste dalle attuali Norme, che sono state svolte per l'involuppo delle combinazioni di carico a SLU e che hanno riguardato:

- Appoggi delle travi di impalcato
- Giunti tra le campate
- Travi Impalcato - zone di mezzera
- Travi Impalcato - zone di appoggio
- Trasversi intermedi Impalcato
- Pulvini
- Montanti pila
- Plinti

Per tutte le verifiche si è fatto uso degli applicativi di verifica delle sezioni in c.a. del pacchetto DOLMEN. Si è sempre tenuto conto del degrado delle armature, considerando l'effettivo diametro riscontrato durante le fasi di rilievo.

Durante la campagna di prove e sondaggi sul ponte non si sono svolti sondaggi per la determinazione delle armature della soletta. Per questa ragione, oltre ai modelli globali dei ponti, è stato definito un modello particolareggiato di una singola campata (lunghezza 27 m e larghezza 10 m), con lo scopo fondamentale di indagare gli effetti locali sulla soletta e di effettuare un "progetto simulato" sulla base dei carichi di Norma al momento della costruzione (Norma del 1962). Sono poi state confrontate le sollecitazioni del "progetto simulato" con quelle derivanti dai carichi della Norma 2018.

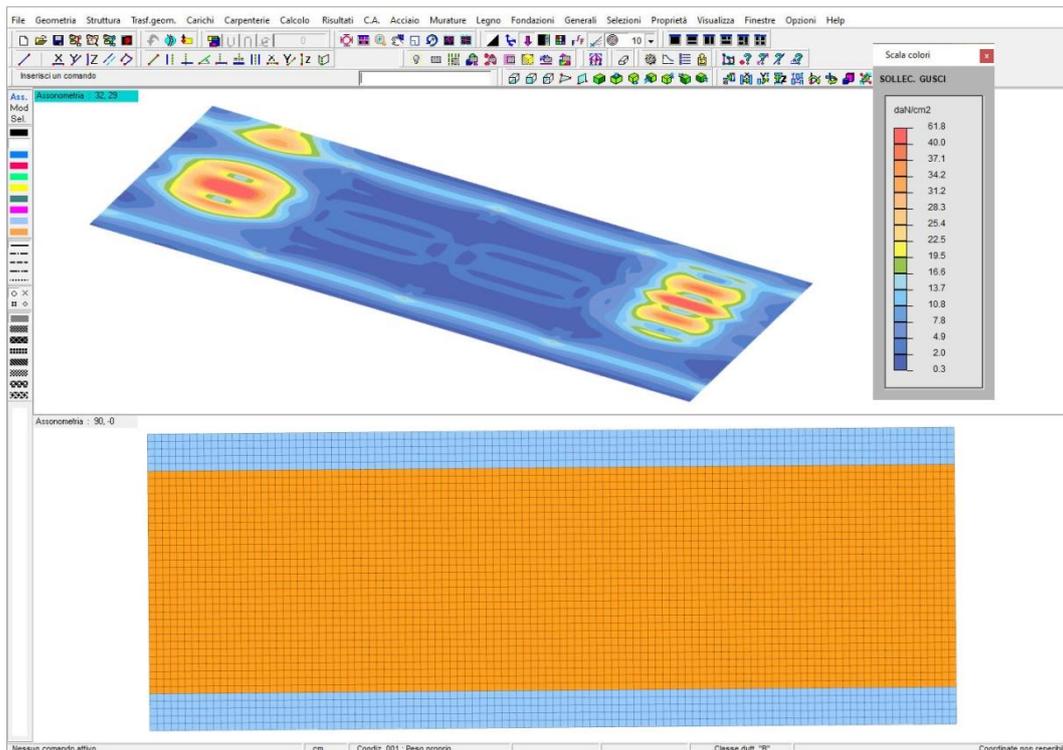


Figura 8 - Modello campata e visualizzazione sollecitazioni

Gli elementi utilizzati, in questo caso, sono bidimensionali (piastre). Per il calcolo specifico delle piastre in c.a si è utilizzato il modulo DW8 - Piastre e setti di DOLMEN, il cui scopo è il calcolo delle armature negli elementi bidimensionali.

Conclusioni

In mancanza di dati di progetto sui particolari costruttivi delle strutture è stata svolta un'indagine diagnostica-conoscitiva con rilievo geometrico delle strutture, sono stati eseguiti dei sondaggi sulle parti visivamente più ammalorate e sono state determinate le armature presenti; infine sono state condotte prove per la determinazione della resistenza dei materiali.

Sulla base della Normativa vigente e delle analisi svolte, mediante il software DOLMEN, sono state modellate le strutture e eseguite tutte le verifiche necessarie alla valutazione di sicurezza richiesta, considerando il degrado dei materiali al momento delle verifiche stesse; tali verifiche hanno dato sostanzialmente esito positivo.

Tuttavia, considerando il degrado dei materiali in progressivo aumento, si è suggerito comunque di programmare un intervento di restauro strutturale conservativo, con ripristino delle armature corrose e ricostituzione di un adeguato copriferro; si è consigliata ancora la sistemazione delle opere di drenaggio dalla piattaforma stradale, la sostituzione di giunti e appoggi e il trattamento protettivo delle superfici in calcestruzzo.