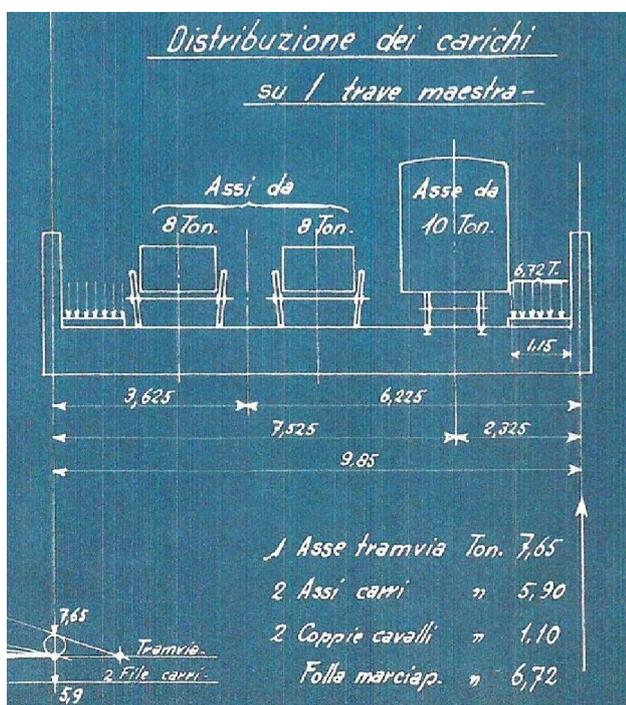


## Intervento di riparazione del cavalca ferrovia "Badoni" di Lecco

L'intervento analizzato di seguito riguarda il dimensionamento e la verifica della struttura di un ponte in acciaio reticolare, sito in Corso Matteotti a Lecco, al km 0+089 della linea ferroviaria Lecco - Colico, a collegamento di due vie principali della città. La costruzione del cavalca ferrovia "Badoni" risale al 1927 ad opera delle Officine Badoni, che proprio in Lecco avevano la sede.



La storia delle Officine Badoni comincia a partire dalla seconda metà del '700, quando, nel territorio di Lecco, ci fu il primo insediamento industriale relativo a un opificio con fucina e lavorazione dei metalli. Dal 1878 inizia la produzione di costruzioni in ferro quali ponti, pensiline e tettoie, dai primi anni del '900 l'azienda si consolida nei prodotti e esegue moltissime opere, tra queste il ponte oggetto di questa analisi.



Nel 2014 il ponte Badoni presentava uno stato di degrado e una delle problematiche maggiori era quella relativa alla flessione nella struttura dovuta al passaggio dei mezzi pesanti. Il progetto di riparazione prevedeva la demolizione della soletta di impalcato e il rifacimento di una nuova struttura atta a sopportare i carichi previsti dall'attuale Normativa relativamente ai ponti.

I carichi considerati nel progetto originario del ponte si riferiscono alla Normativa del 1916 e sono indicati nella figura a fianco.

Lo stato di fatto presentava le seguenti caratteristiche: l'impalcato era composto da uno strato di asfalto avente spessore pari a circa 15

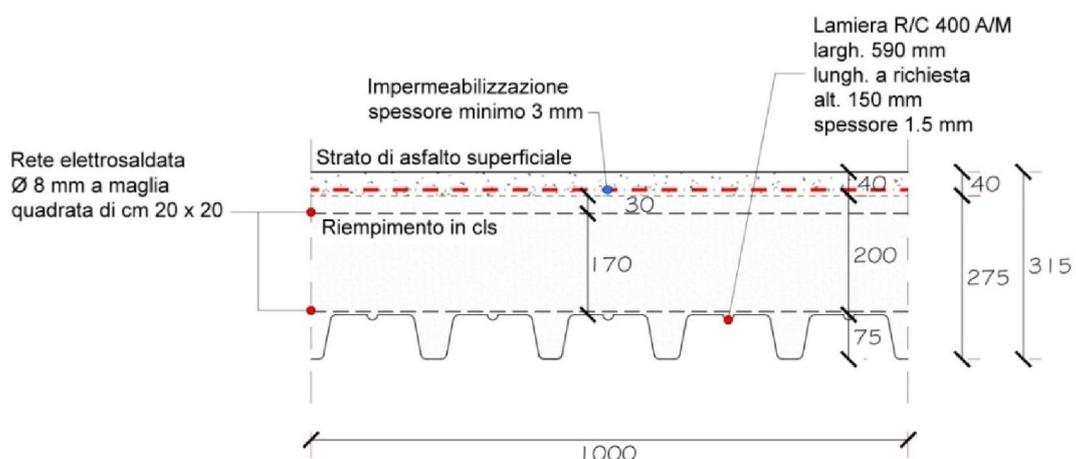


cm, da una massicciata per la sede stradale di peso pari a  $420 \text{ daN/m}^2$  e da ferri zores  $12 \times 24 \text{ cm}$ , di peso pari a  $80 \text{ daN/m}^2$ ; la struttura esaminata è a pianta rettangolare  $23.40 \times 9.85 \text{ m}$ .



La ristrutturazione era necessaria in modo da porre in sicurezza la struttura e adeguarla agli attuali carichi che lo percorrono, ossia occorre rispettare i disposti dell'Art. C8.4.3 della *Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 (Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni")*, in cui rientrano tutti gli interventi di riparazione e i rafforzamenti, a condizione che non venga cambiato significativamente il comportamento globale della struttura.

Al fine di valutare lo stato tensionale e deformativo della struttura è stato creato un modello 3D con il software DOLMEN Acciaio, sviluppato e distribuito da CDM DOLMEN di Torino, usando la geometria proveniente dalle tavole di progetto; per le caratteristiche dei materiali, in mancanza di prove sperimentali, ci si è riferiti alla bibliografia.



L'intervento esula dalla struttura portante in acciaio e ci si è concentrati sul vecchio impalcato per cui è stata prevista la sostituzione con una lamiera grecata OR 75/570, avente spessore pari a 1.5



mm e peso pari a  $17.21 \text{ daN/m}^2$ , e con dei ferri aggiuntivi longitudinali di diametro 12 mm. Il getto di completamento è stato eseguito con calcestruzzo di aggregati leggeri tipo Leca (cls 1600 =  $1700 \text{ daN/m}^3$ ) armato con rete elettrosaldata di diametro 8 mm e passo 20/20, coperto da uno strato di impermeabilizzazione e da un successivo strato di asfaltatura di spessore di 4 cm circa (come rappresentato nell'immagine precedente).

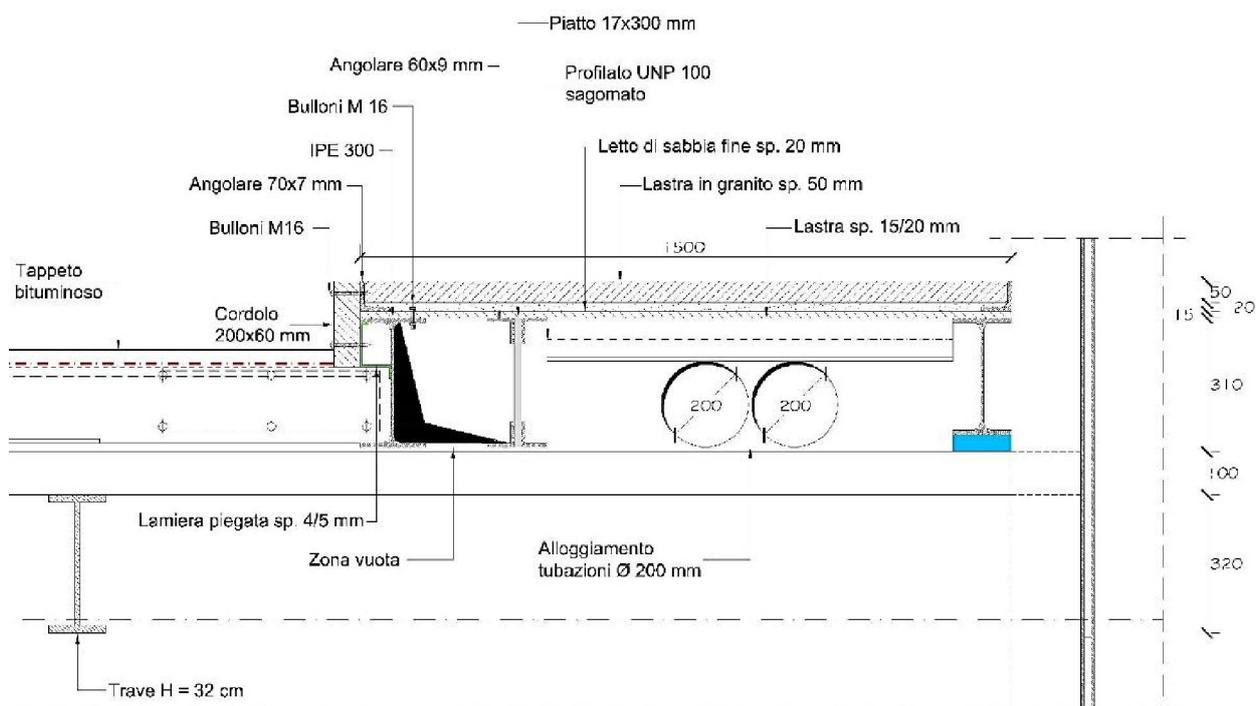
I marciapiedi hanno una larghezza di 150 cm e sono costituiti da lastre in acciaio di spessore 15 mm irrigidite da UPN 100 nel loro piano, le quali appoggeranno su due nuove travi IPE 300 e 270 e su una trave esistente composta da un piatto  $17 \times 300 \text{ mm}$  e da quattro angolari  $60 \times 9 \text{ mm}$ . La zona vuota, sottostante i marciapiedi, verrà adibita a utilizzi secondari, ad esempio per contenere i cavi. L'obiettivo era quello di avere un impalcato più leggero rispetto a quello precedente e che presentasse una grande resistenza, senza modificare la statica della struttura.

Si osserva come esempio numerico la diminuzione del peso della struttura:

$$P_{\text{impalcato vecchio}} = 420 + 80 = 500 \text{ daN/m}^2$$

$$P_{\text{impalcato in progetto}} = (0.20 + 0.0195) \times 1700 + 17.21 = 390.36 \text{ daN/m}^2$$

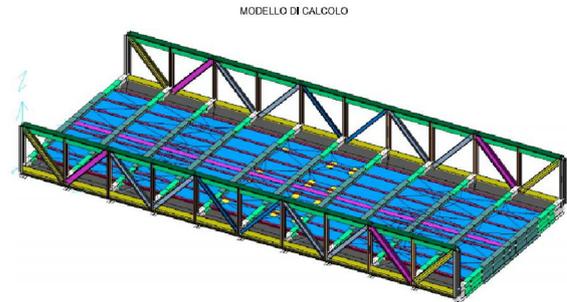
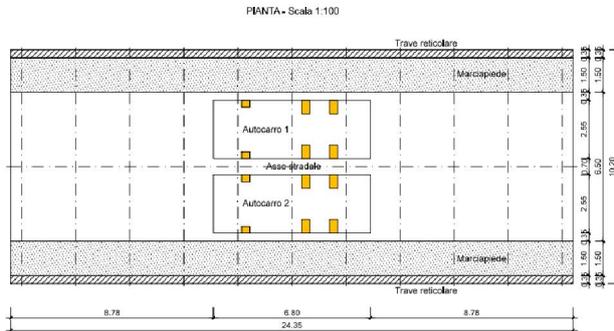
Nell'immagine seguente si può vedere la sezione di progetto del marciapiede.



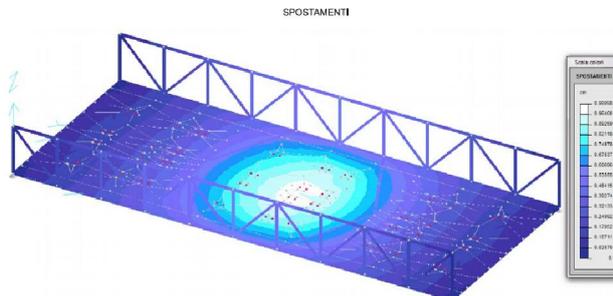
Il progettista, l'ing. Pierluigi Muschiato della O&M Ingegneria di Acqui Terme (AL), ha eseguito due valutazioni che sono state verificate sia con il metodo analitico che con il metodo sperimentale e, successivamente, ha effettuato un confronto tra i due procedimenti.



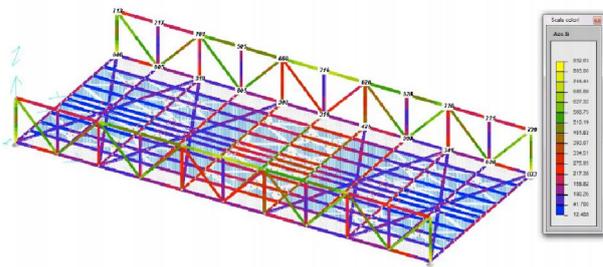
In primo luogo è stato creato un modello di calcolo FEM tramite il Programma DOLMEN, in questo caso sono state eseguite tre modellazioni relative a tre prove di carico simulate. Come esempio illustrativo vengono riportati i risultati ottenuti per l'ipotesi di carico relativa a due autocarri disposti uno per corsia e quella relativa a sei autocarri disposti tre per corsia.



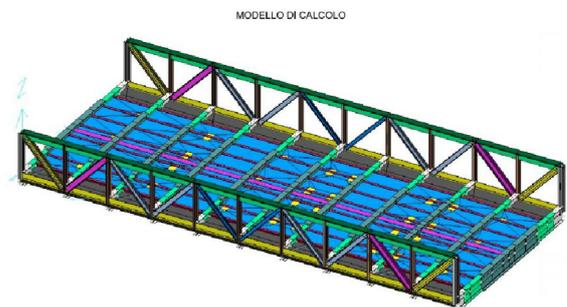
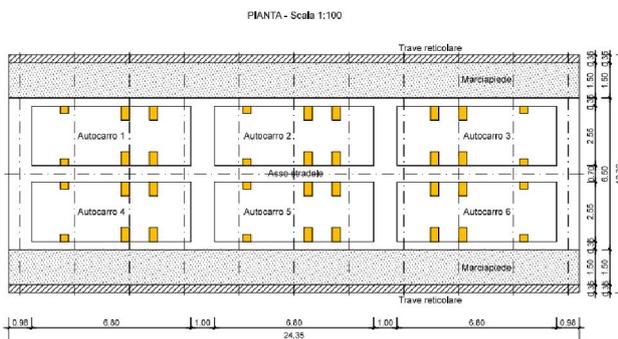
I quadrati gialli mostrano le impronte dei pneumatici dei 2 autocarri da 33 t l'uno



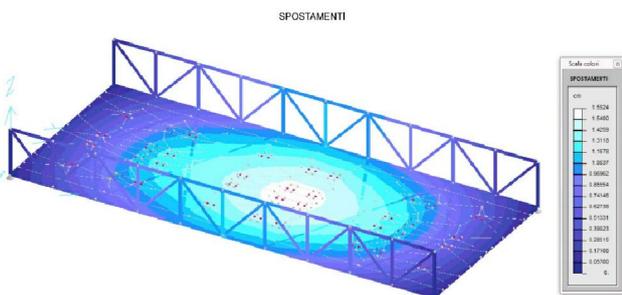
L'immagine mostra gli abbassamenti misurati in cm



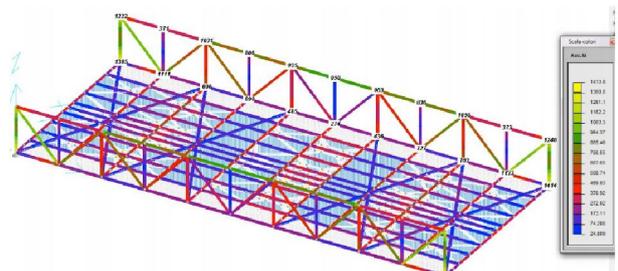
L'immagine mostra le tensioni ideali misurate in daN/cm²



I quadrati gialli mostrano le impronte dei pneumatici dei 6 autocarri da 33 t l'uno



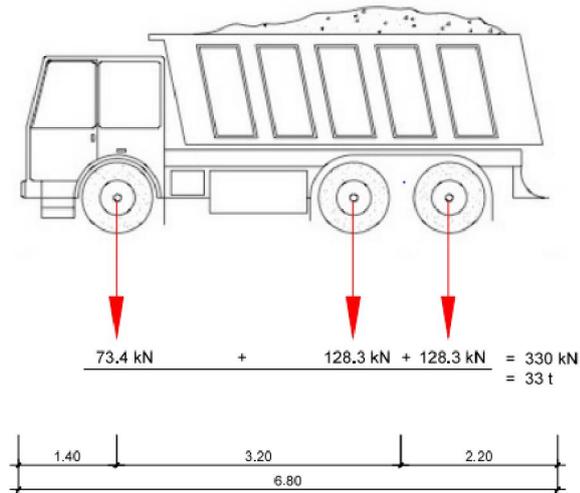
L'immagine mostra gli abbassamenti misurati in cm



L'immagine mostra le tensioni ideali misurate in daN/cm²



AUTOCARRO - 3 ASSI



Tramite queste combinazioni da questi modelli è stato possibile ricavare gli spostamenti geometrici delle membrature e le tensioni delle varie aste e travi. L'autocarro campione che è stato utilizzato per eseguire le prove di carico è quello indicato in figura

Dal modello di calcolo tridimensionale agli elementi finiti, caricato con quanto previsto dalle NTC 2008 per i ponti di prima categoria, emerge che la struttura, nel suo complesso, ha una risposta positiva dal punto di vista tensionale e deformativo;

dallo studio preliminare, però, alcuni elementi, in particolar modo le aste delle travi reticolari, assumono valori tensionali superiori a quanto ipotizzato dal progettista originario. Grazie agli interventi progettati, ossia l'irrigidimento, l'aumento della capacità portante della struttura e la diminuzione del peso del ponte, si è ottenuto un corretto funzionamento del modello tridimensionale e un rispetto delle attuali Normative.



Al termine della ristrutturazione sono state eseguite delle prove di carico con riferimento all'articolo 10 "Nuovo codice della strada" decreto Legislativo 30/04/92 n°285: *Veicoli eccezionali e trasporti in*

*condizioni di eccezionalità.* Le prove di carico sono state eseguite in sito, in modo tale da poter confrontare i risultati ottenuti. La ditta incaricata per eseguire le prove di carico è stata la 4 emme. Al fine di ottenere risultati validi dalle prove di carico si è scelto di procedere posizionando i comparatori sotto l'impalcato del ponte, al fine di misurarne gli abbassamenti, e gli estensimetri in corrispondenza delle membrature. La prova è stata eseguita di notte durante un'interruzione della trazione elettrica al fine di consentire il posizionamento delle strumentazioni in modo corretto e sicuro.

Alla luce di queste prove si è osservato che la struttura ha risposto alle sollecitazioni derivanti dai carichi secondo quanto prevedeva il modello di calcolo e, quindi, è stato confermato il meccanismo statico ipotizzato nei calcoli del costruttore.

Il ponte, dunque, è risultato in grado di sopportare i carichi previsti dall'attuale Codice della strada, previa specifica autorizzazione per il passaggio di carichi di tipo eccezionale.