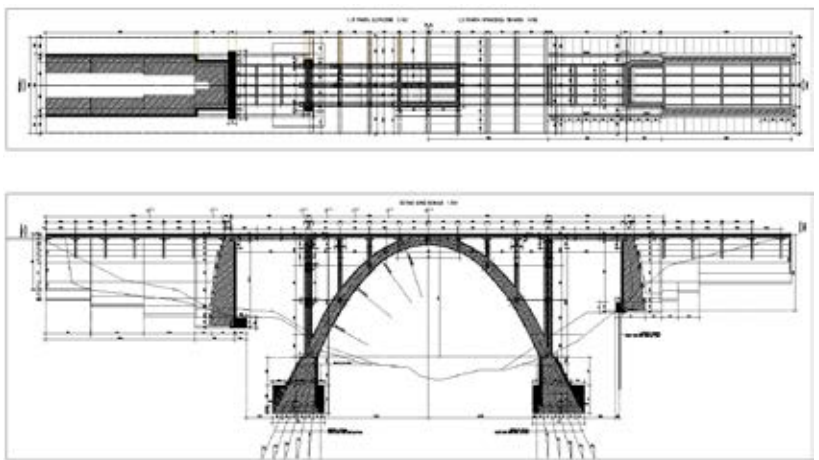


TECNOLOGIE E INTERVENTI MIRATI PER LA RIQUALIFICAZIONE DI PONTI

Prof. Ing. Raffaele Poluzzi - 10/02/2021

Collaboratori alla progettazione: Dott. Ing. Fiammetta Frabbi, strutturista, Dott. Ing. Andrea Montalti, strutturista;
Collaudatore del "Ponte Lungo": Dott. Ing. Paolo Palai, strutturista; RUP Ing. Chiara Bentini della Provincia di Ravenna.



SOMMARIO

Il recupero dei ponti esistenti, caratterizzati da necessità di manutenzione, da carenze strutturali in ordine alle attuali normative, è oggi uno dei rilevanti problemi nell'ambito delle infrastrutture pubbliche.

La manutenzione si pone sistematicamente come indispensabile se si pensa che la costruzione di moltissimi ponti soprattutto di cemento armato (spesso anche con travi in precompresso) data diverse decine di anni ponendosi in periodi in cui la tecnologia del calcestruzzo e più ancora l'accuratezza nei controlli di qualità non erano allo standard attuale e, in un certo senso, si attribuiva al cemento armato una vita ben più lunga di quanto l'esperienza ha poi manifestato.

Molteplici possono essere le tecniche di intervento per le esigenze imposte dalle revisioni normative sui "Carichi" e dagli oneri connessi alla "Sismica", stante la grande varietà dei casi che si presentano condizionando orientamenti e scelte per il gestore ed il progettista.

Il presente contributo si riferisce a due interventi in Emilia Romagna (in particolare Provincia di Ravenna) su ponti di diversa configurazione, costruiti alla fine degli anni '50 e richiedenti entrambi lavori di manutenzione e riqualificazione funzionale ed antisismica; si tratta di:

- Ponte detto "dell'Albergone", a servizio della SP253 San Vitale (ex SS 253) sul fiume Lamone;
- Ponte "Lungo", a servizio della SP 302 su un torrente affluente del fiume Lamone (sinistra idraulica) all'inizio della città di Brisighella.

Gli aggiornamenti normativi, che hanno risentito di una evoluzione nei mezzi di trasporto commerciali in fatto di pesi e di portate, oltre che di lievitazioni nella frequenza dei transiti, hanno imposto "Carichi accidentali" più impegnativi rispetto a quelli delle precedenti norme (ferme dagli anni '90, prima delle NTC 2008 e 2018). Similmente l'introduzione della zonizzazione sismica con tutto quanto consegue relativamente agli oneri sui manufatti e, nel caso specifico sui ponti, comporta la necessità di prevedere sollecitazioni assai maggiori rispetto a quelli dell'epoca della costruzione. Se degli oneri sismici risentono in entità in genere modeste gli impalcati (per ponti a travate), ben più ne risentono pile, spalle e fondazioni tal da richiedere significativi interventi di rinforzo, quando, al limite, non si possa intervenire sul sistema di vincolamento con l'introduzione di dispositivi di isolamento o dissipazione.

Il progettista, grazie all'acquisizione di documentazione di archivio (nella misura in cui può essere disponibile), all'effettuazione di rilievi geometrici e materici, alla presa d'atto, possibilmente anche con sopralluoghi, delle eventuali criticità dell'opera, deve concepire la portata degli interventi necessari accompagnata da scelte mirate sulle tecnologie da mettere in campo senza dimenticare gli aspetti generali dell'opera, come fu ideata all'atto della costruzione.

PONTE "DELL'ALBERGONE" SUL FIUME LAMONE

Il ponte "dell'Albergone" sul fiume Lamone, ponte di cemento amato, si configura a tre campate organizzate, all'atto della costruzione, a schema Gerber, di lunghezza complessiva m 61.00 e larghezza originale m 9.00. La messa in sicurezza richiedeva un modesto allargamento finalizzato alla posa e al vincolo di barriere di sicurezza, ma soprattutto interventi di rinforzo per adeguamento ai carichi di normativa ed un miglioramento-adeguamento alla normativa sismica.

La documentazione reperita consentì di conoscere le armature delle travi e il sistema di fondazione su pali di modesto diametro e limitata lunghezza (come peraltro prevedibile).

Lo stato del ponte manifestava frequenti affioramenti delle armature con ossidazione delle stesse, oltre ai sistematici degradi delle selle Gerber e incertezze sulla tipologia degli appoggi:

Fu deciso di potenziare la soletta con riporti di cemento armato solidarizzati alla struttura originale e di eliminare i giunti intermedi rendendo continue e rinforzate le travi longitudinali.

Per l'adeguamento sismico, richiesto dal concomitante cambio di schema strutturale sopra indicato, si provvide alla sostituzione degli appoggi di spalla rendendoli multidirezionali e al trasferimento degli oneri alle spalle grazie all'introduzione di accoppiatori oleodinamici. Le spalle furono potenziate con micropali laterali e tiranti a tergo delle spalle stesse.

Gli interventi sopra indicati richiesero il ricorso a tecnologie varie in ragione delle esigenze specifiche come di seguito schematizzate:

- connessioni fra strutture esistenti e riportate, quindi essenzialmente "piolature";
- rinforzi e potenziamento delle travi ottenuti con impiego di "fibre di carbonio" solidarizzate all'esistente tramite resine epossidiche;
- impiego di barre da precompressione tipo Dywidag per la giunzione delle travi nella conversione da Gerber a travi continue;
- realizzazione di micropali e tiranti per il potenziamento delle spalle.

L'intervento sulle cerniere Gerber è stato finalizzato a risolvere ed eliminare i problemi di degrado delle zone dei giunti e rendere continue le travate con applicazione di armature integrative, di acciaio in estradosso e di carbonio in intradosso ottenendo benefici sugli aspetti flessionali, oltre a benefici localizzati per gli sforzi di taglio.

Le spalle, potenziate con tiranti di tipo geotecnico, sono state predisposte per essere sede di una coppia di Shock Trasmitter (per spalla) aventi lo scopo di assorbire la sollecitazione sismica longitudinale dell'impalcato, contrastati ad esso mediante un apposito telaio ubicato tra la prima coppia di travi in esterno.

Si riportano alcuni disegni d'insieme nei quali sono leggibili sia gli schemi originali sia, se pure in termini sintetici, quelli di progetto (Figura 2-1). Si riportano altresì grafici di dettaglio e fotografie per illustrare particolari degli interventi effettuati; nello specifico:

- dettagli della continuizzazione dei giunti Gerber ove oltre alle barre Dywidag si notano anche i rinforzi in fibre di carbonio sia longitudinali in intradosso (è appena da richiamare che la "continuizzazione" comporta anche presso il giunto la presenza di flessioni e di segno alterno a seconda della presenza dei carichi mobili) sia verticali per migliorare le resistenze al taglio (Figura 2-2, da notare che la fibra verticale collega anche la soletta, come risulta anche dal dettaglio in Figura 2-3);
- rinforzi intradossali e a taglio per tutta la lunghezza delle travi ancora con fibra di carbonio (Figura 2-3);
- particolari grafico e fotografico dei Shock Trasmitter (Figura 2-4);
- rinforzi e tirantatura di spalla.

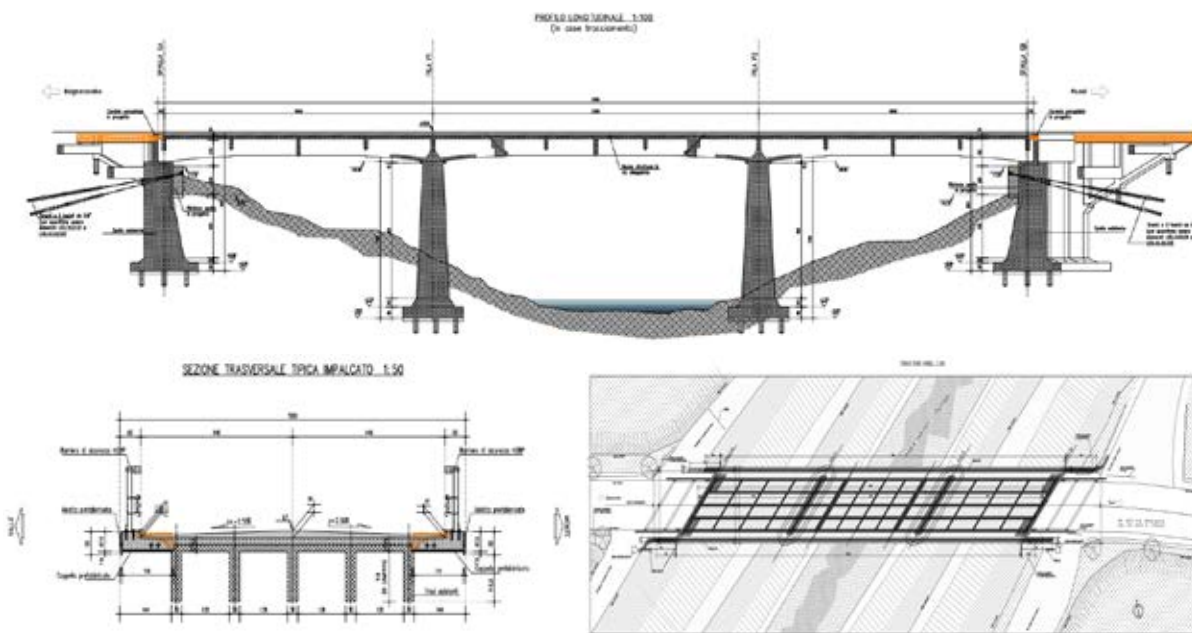


Figura 2-1 Inquadramento generale del progetto

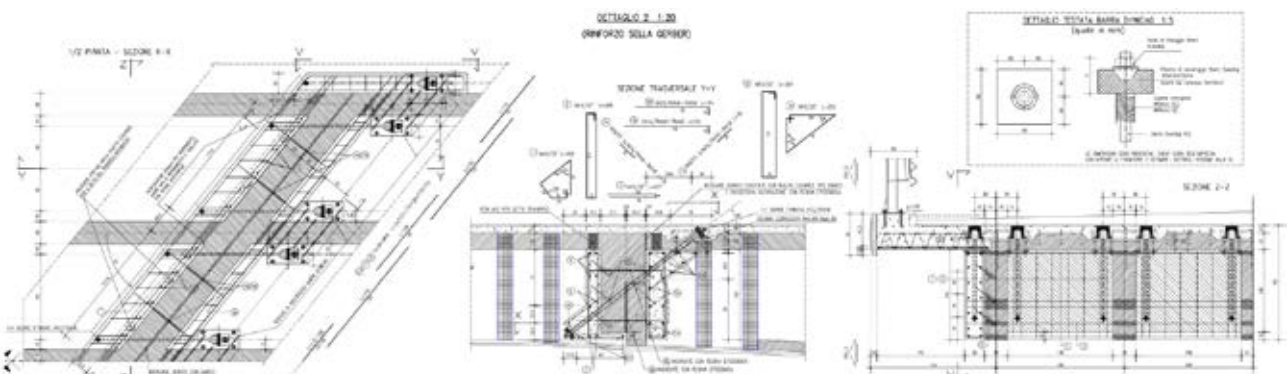


Figura 2-2 Dettagli rinforzo cerniere Gerber

Si annota che il dimensionamento delle barre dywidag è stato effettuato tale da equilibrare l'intera azione che la trave portata trasmette alla mensola portante, tuttavia, dopo una conveniente "sutura" degli spazi di giunto la tesatura è stata limitata all'equilibrio verticale dell'azione permanente per non indurre se pure modesti distacchi o sconnessioni; alla restante capacità resistente delle barre è rimesso l'effetto dei carichi accidentali in transito.

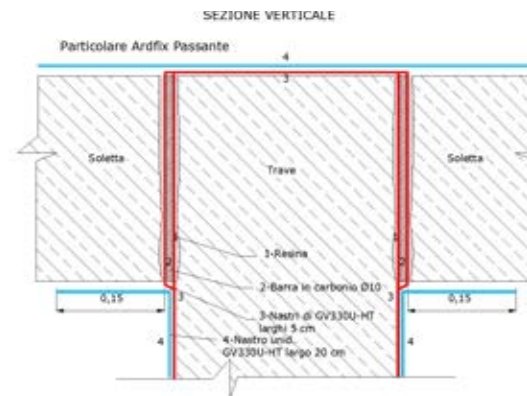
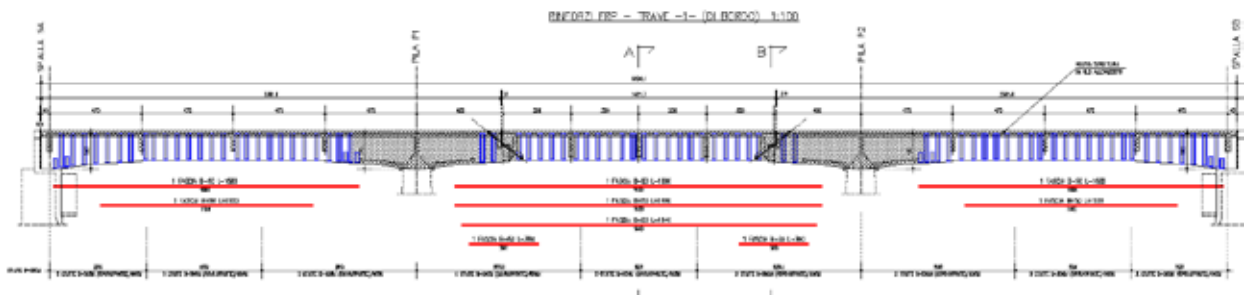


Figura 2-3 Rinforzi a flessione e a taglio in fibra di carbonio

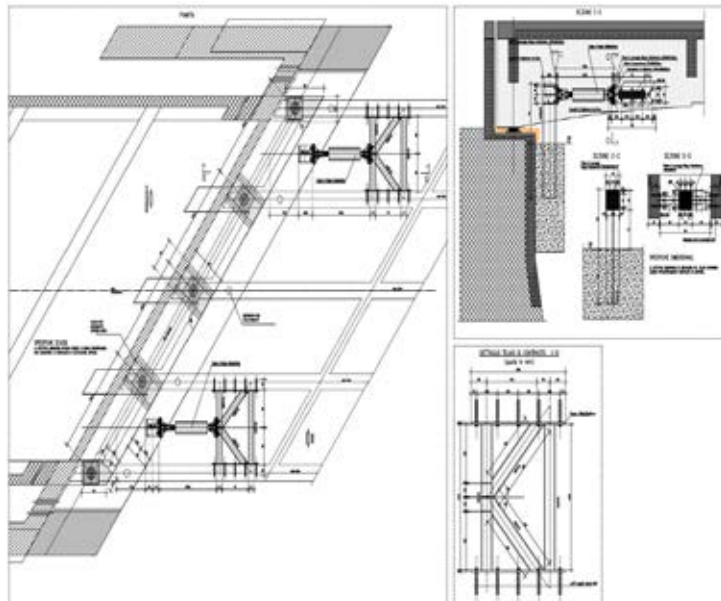


Figura 2-4 Particolare grafico e fotografico degli Shock Trasmitter

Per l'analisi strutturale è stato implementato un modello di calcolo 3D (anche per la forte obliquità dell'impalcato) agli elementi finiti (FEM) col noto software Sap2000. Lo schema statico del ponte è quello di trave a sezione variabile su tre campate con luci pari a 19.00m, 23.00m e 19.00m.

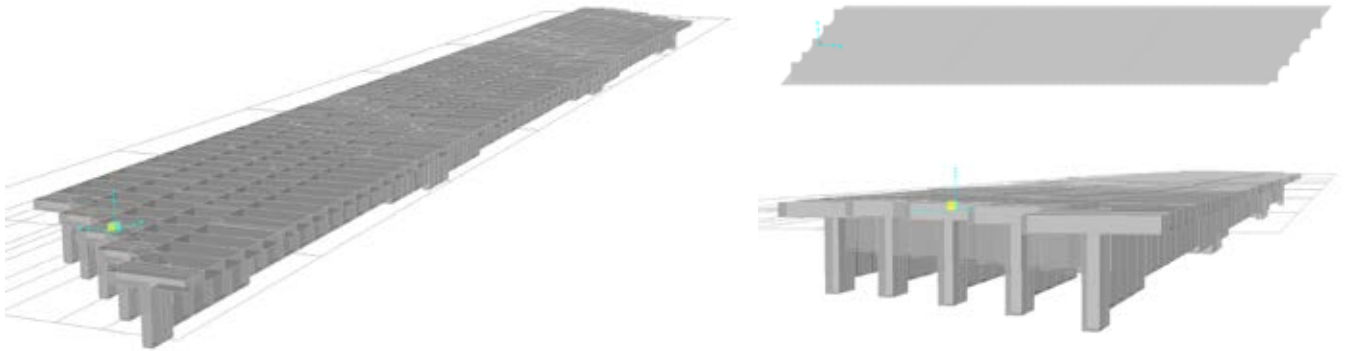


Figura 2.5 Modellazione FEM impalcato (Sap2000)

L'analisi è di tipo "stage construction" che considera le fasi di costruzione. La presenza delle cerniere tipo Gerber viene considerata nello schema di calcolo unicamente per il peso proprio; i rimanenti carichi agiscono successivamente alla continuizzazione della trave realizzata con il getto della soletta di estradosso e l'applicazione di fasce di FRP in intradosso.

Le sollecitazioni dovute ai carichi mobili vengono calcolate avvalendosi della teoria delle linee di influenza; vengono così calcolate in ogni sezione le sollecitazioni massime tra quelle generate dai carichi mobili in tutte le possibili posizioni lungo l'asse del ponte.

Per completezza si riporta in Figura 2-6 anche la modellazione FEM delle spalle:

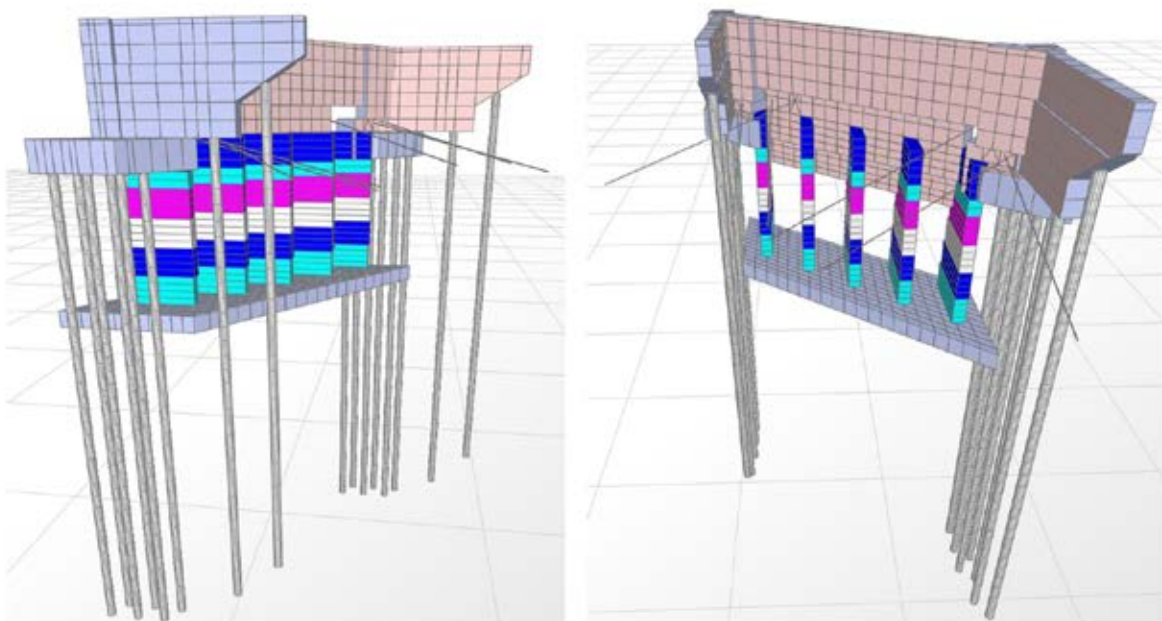


Figura 2-6 Modellazione FEM spalle (Sap2000)

PONTE “LUNGO” DI BRISIGHELLA.

Si tratta di un ponte a servizio della ex SS 302 all'inizio della Città di Brisighella (provincia di Ravenna), il ponte, interamente di cemento armato, attraversa un avvallamento trasversale alla valle del fiume Lamone con un manufatto “ad arco” preceduto e seguito da campate di afferenza, e da spalle che consistono in volumi “chiusi” sovrastati da un impalcato a travi e traversi.

Il progetto ed i lavori di riqualificazione del “Ponte Lungo” (così era storicamente chiamato) erano rivolti ad un importante allargamento della piattaforma stradale, all'adeguamento di portata per i carichi dell'allora 1° Categoria e ad un marcato miglioramento Sismico. Nello specifico la larghezza fu portata dagli originali m 8,70 a m 11,68 per l'ottenimento di una sezione stradale “Strada extraurbana tipo C2” secondo D.M. 5/11/2001, corredata da piste ciclabili laterali. La foto di Figura 3-1 ne mostra una immagine d'insieme:



Figura 3-1 Immagine d'insieme del ponte a lavori ultimati

Dal punto di vista tecnico e tecnologico il progetto e la successiva realizzazione hanno comportato interventi cospicui su tutte le componenti strutturali, dalle fondazioni ai marciapiedi; se ne citano gli aspetti più significativi: la modifica della sezione trasversale e la contestuale richiesta di miglioramento sismico hanno comportato l'allargamento e la continuizzazione di tutto l'impalcato da spalla a spalla, facendo ricorso ad impiego di predalles a diverso orientamento ed anche all'inserimento di alcune travi metalliche (Figura 3-3); il supporto agli allargamenti dell'impalcato ha comportato la costruzione di impegnative mensole trasversali in corrispondenza dei telai sugli archi (Figura 3-4);

il significativo miglioramento sismico comportò un importante incremento di forze orizzontali attribuite nelle componenti longitudinale al sistema degli archi, ovviamente da potenziare (Figura 3-5), e trasversale a due importanti telai siti in corrispondenza delle imposte degli archi (Figura 3-6);

la riqualificazione strutturale con potenziamento delle strutture degli impalcati, sia quelli in luce sia quelli sui volumi delle spalle, è stata ottenuta con applicazione di fibre di carbonio in opportune configurazioni indicate nella planimetria (Figura 3-7) e dettate dalle diverse esigenze per i tre diversi impalcati: sui volumi di spalla (sez. CC della tavola), impalcato nei raccordi spalla-arco (sez BB), impalcato nei tratti sugli archi (sez. AA).

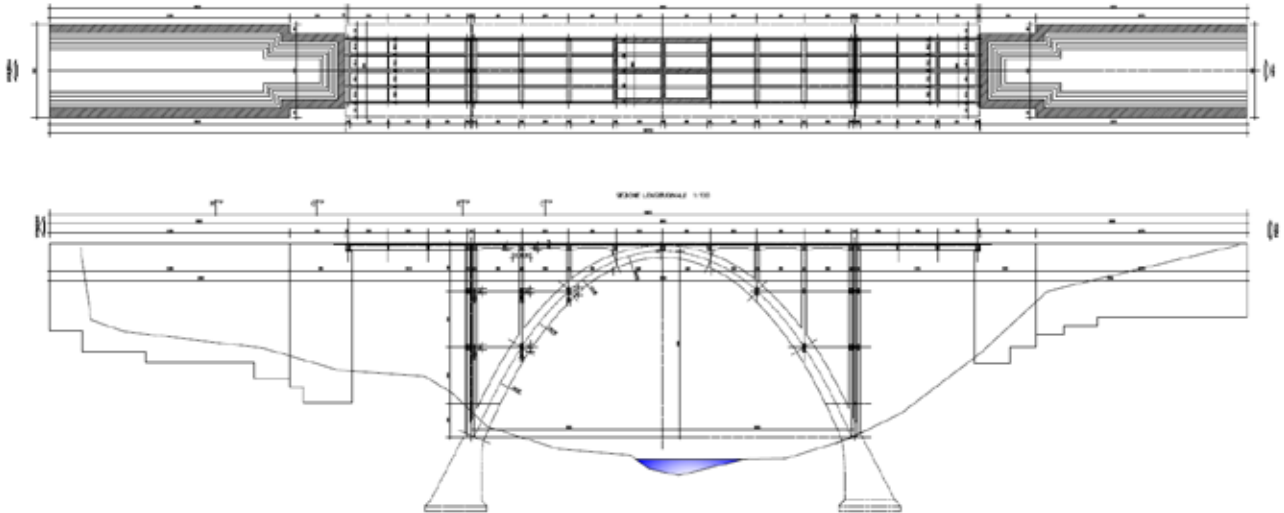


Figura 3 2 Stato di fatto

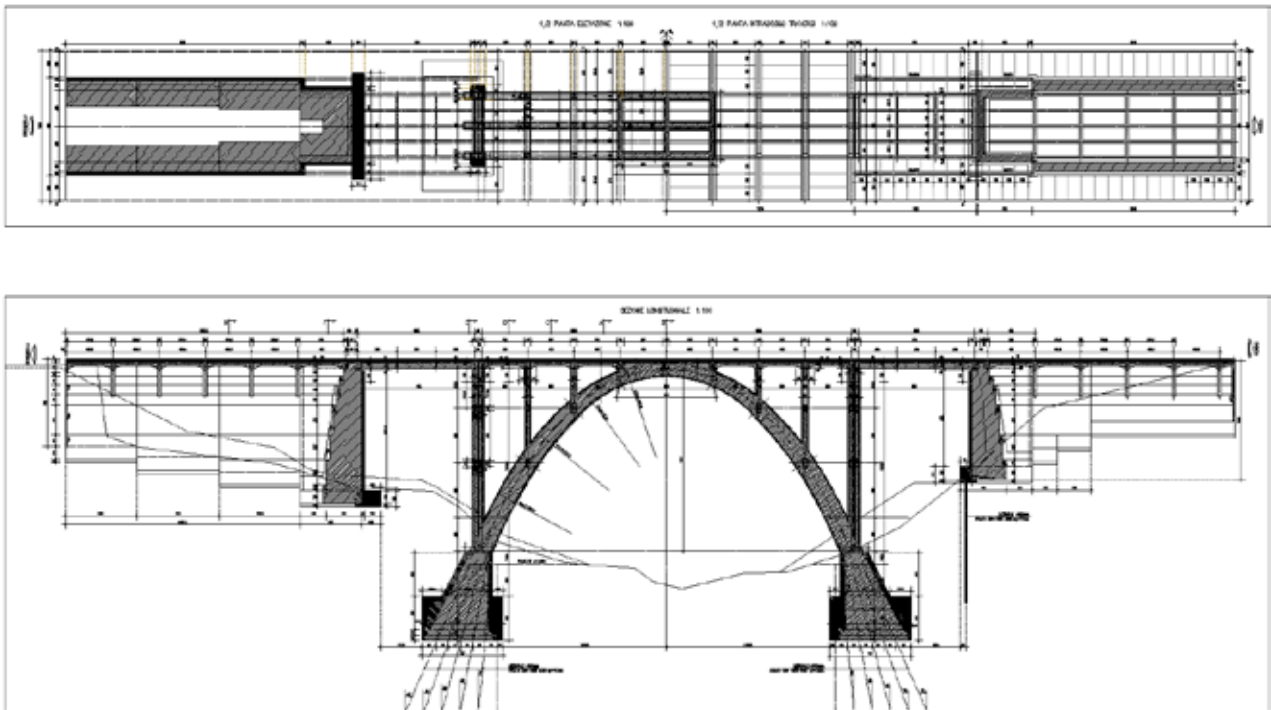


Figura 3 3 Stato di progetto

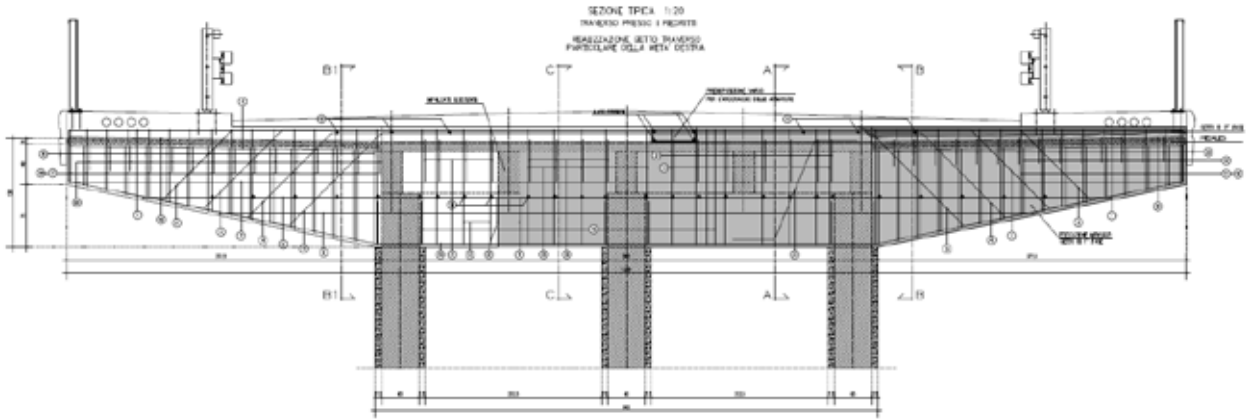


Figura 3 4 Traversi di allargamento impalcato

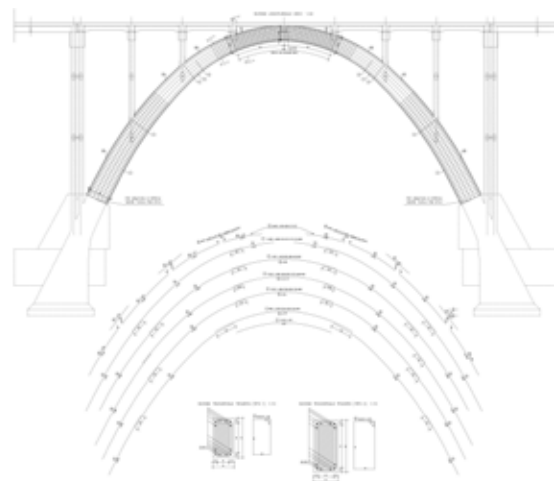


Figura 3 5 Armatura di potenziamento archi in c.a.

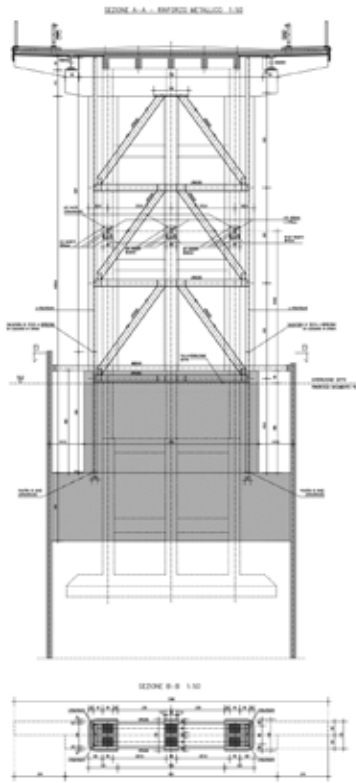
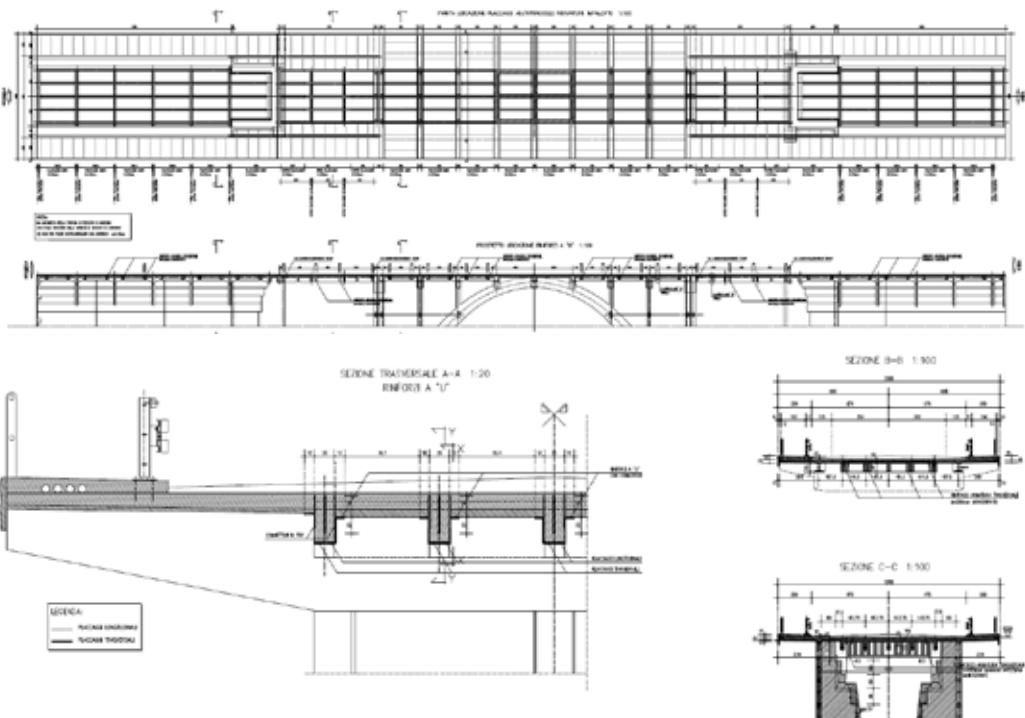


Figura 3 6 Controventatura dei telai in c.a.



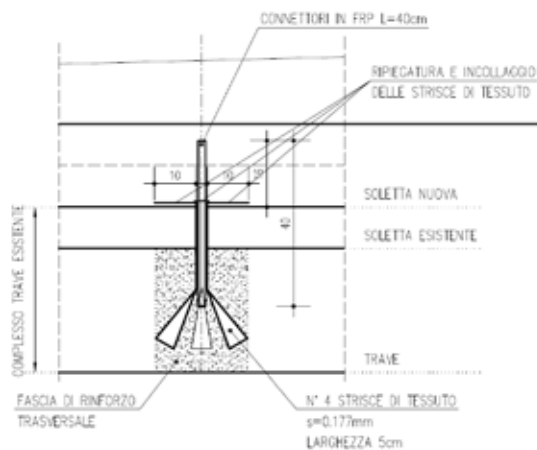


Figura 3 7 Rinforzi a flessione e a taglio in FRP

Lo stato di manutenzione risultava assai precario essendo stato probabilmente privo di interventi manutentivi dalla costruzione avvenuta nell'immediato dopoguerra, come è ben visibile da qualche foto effettuata prima dei lavori: i lavori effettuati, riguardando la quasi totalità delle strutture del ponte hanno assolto anche le esigenze di manutenzione.

Le note risorse insite nelle strutture ad arco consentirono di procedere nel programma di consolidamento e miglioramento resistivo degli stessi archi tramite rivestimento strutturale con limitato spessore di idoneo calcestruzzo contenente armature integrative (Figura 3-5) e convenientemente collegato agli archi originali; fu quindi necessario prevedere un allargamento delle fondazioni anche con la realizzazione di un conveniente numero di micropali.

Per l'impalcato gravante sugli archi si individuò la strategia di renderlo "continuo da spalla a spalla" sia per ridurre il numero dei giunti (limitati ai due presso e spalle), sia per potere acquisire la resistenza necessaria nei confronti delle azioni sismiche longitudinali dalle strutture più idonee a fornirla (il complesso degli archi cui l'impalcato si collega validamente in chiave).

La resistenza alle azioni sismiche trasversali è stata ottenuta con la realizzazione di due controventi trasversali costituiti dalle originali pile che spiccano dall'imposta degli archi convenientemente affiancate e rese solidali ad elementi metallici collaboranti ai quali si connettono le aste diagonali e orizzontali componendo un complesso reticolare.

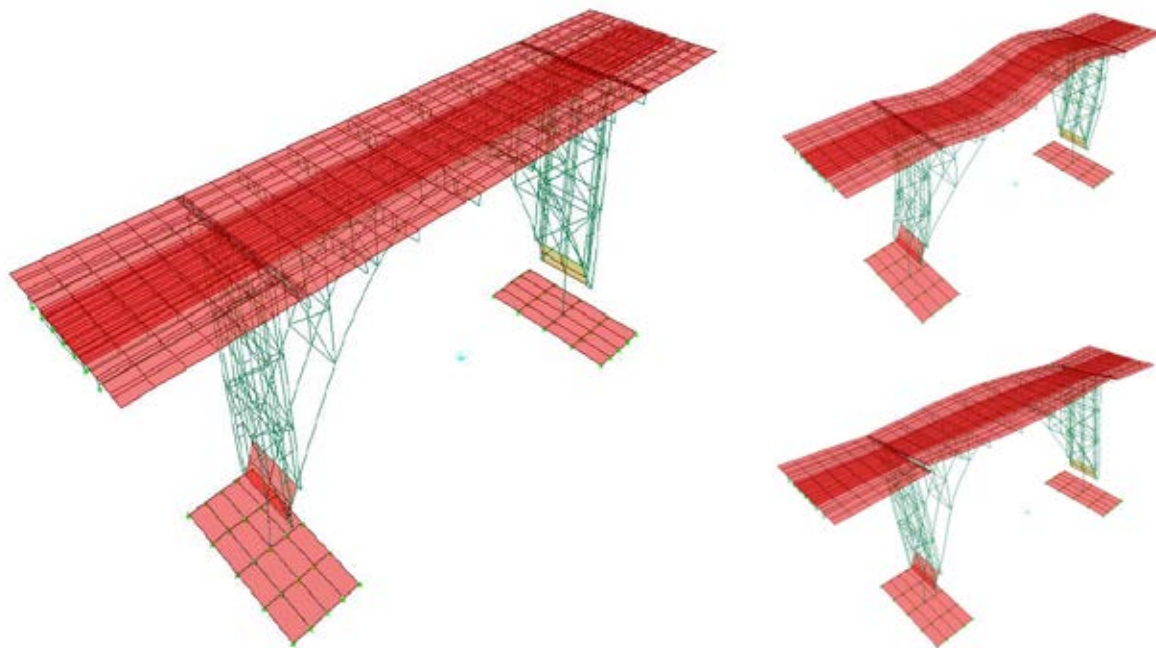


Figura 3-8 Modellazione FEM (Sap2000) e modi di vibrare fondamentali

Più in dettaglio il sistema di vincolamento dell'impalcato è una diretta conseguenza delle scelte effettuate in ordine al comportamento del ponte allargato nei confronti dei fenomeni sismici.

Con riferimento al sisma in direzione longitudinale rispetto al ponte la resistenza è fornita da comportamento essenzialmente flessionale dei tre archi cui le forze sismiche delle diverse porzioni di impalcato afferiscono grazie alla solidarietà tra impalcato ed archi presso la zona di chiave.

Per la direzione trasversale gli elementi più rigidi e capaci di fornire significative forze di reazione sono le due pile che spiccano dalla fondazione delle arcate.

Tali pile, che comprendono anche le originali stilate di pilastri, sono state concepite come un accoppiamento di due grosse colonne di cemento armato in cui il collegamento è formato da una struttura metallica con diagonali simmetriche rispetto al centro della pila e disposte a V rovesciata, non perfettamente concorrenti nel punto centrale dei collegamenti metallici orizzontali per consentire al piccolo concio intermedio plasticizzazioni a taglio in casi di superamento degli sforzi da normativa e in grado quindi di contribuire significativamente a fornire duttilità alla pila. La rigidità dell'impalcato nel suo piano determina una collaborazione tra pile ed arcate, peraltro ben indagata ed individuata dal modello spaziale agli elementi finiti (Figura 3-8).

La conseguenza della scelta di tale vincolamento ha comportato la previsione di apparecchi di appoggio scorrevoli multidirezionali sulle spalle, sia per le travi metalliche in allargamento, sia per le originali travi in c.a. le quali, per consentire l'inserimento del nuovo appoggio, sono state temporaneamente appoggiate su supporti metallici provvisori. Quanto sopra si verifica alle estremità delle attuali campate che collegano gli impalcato sull'arco e sulle spalle.

CONCLUSIONI

Sono stati presentati i progetti ed alcune lavorazioni relativi a due ponti datati risalenti ad oltre cinquant'anni fa e di caratteristiche strutturali diverse, ma tipiche per manufatti di tali epoche.

I progetti e i conseguenti interventi erano finalizzati alla riqualificazione in ordine agli attuali impegni di traffico e alla risposta nei confronti di eventi sismici.

Gli interventi si sono sviluppati con tecnologie diverse e mirate al problema specifico ma correlate al risultato complessivo a riprova di quanto oggi la ricerca tecnologica e la organizzazione produttiva offrono; nello specifico gli FRP, il cui impiego è spesso determinante nella riqualificazione ai carichi delle Normative aggiornate, e vantaggioso nei miglioramenti-adequamenti sismici, vanno previsti e applicati secondo un coordinamento unitario anche con eventuali altre tecnologie come nei casi esposti.

Autori

Prof. Ing. Raffaele Poluzzi nato a Bologna il 21/4/1940

laureato in Ingegneria Civile Trasporti presso l'Università di Bologna il 25/02/1966; abilitazione alla libera professione con esame di Stato presso l'Università di Bologna nell'anno accademico 1966; iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Bologna al n.1991, dal 09/05/1966; ha svolto il ruolo di Professore Associato e Docente di Tecnica delle Costruzioni nell'Università di Bologna; attualmente svolge l'incarico per l'insegnamento del corso di Opere Infrastrutturali presso Università di Bologna come Professore a contratto. Ha svolto e svolge, parallelamente ai compiti di didattica e di ricerca universitaria, attività professionale di consulenza, progettazione e direzione lavori di strutture nel campo dell'edilizia e delle costruzioni stradali e ferroviarie.

Fra le diverse esperienze vanno citati gli studi su strutture iperstatiche precomprese con realizzazione prevista in tempi successivi e con particolare riferimento a ponti stradali; lo studio di strutture bidimensionali atte a costituire impalcati iperstatici; lo studio, con l'ausilio di elaboratore, di complessi strutturali spaziali con riguardo anche agli oneri dettati dalle disposizioni per le zone sismiche; lo studio sperimentale del comportamento di strutture da ponte soggette ad azioni dinamiche prodotte da forze impulsive o da forzanti armoniche.

Tra i lavori eseguiti si ricorda:

- Progetto esecutivo del viadotto sul fiume Tanagro nel lotto SAR 0 dell'ammodernamento dell'autostrada Salerno-Reggio Calabria (Importo Lavori Cat S04: 3'778'000,00,00 Euro al 50%. Cat IXb: 12'692'000,00 Euro al 50%.);
- Progetto Esecutivo della Tangenziale Est Esterna di Milano - Lotto B. Viadotto di scavalco linea RFI, Ponte sul Torrente Molgora e Ponte sul Canale Muzza I (Importo Lavori cat S04: 23'639'000,00 Euro);
- Progettazione della galleria artificiale denominata GA10, necessaria per consentire il passaggio della linea ferroviaria al di sotto della Tangenziale Sud di Brescia, nel tratto dell'Interconnessione di Brescia Ovest tra le progressive di progetto p.k. 10+650 e p.k. 10+700 (Importo Lavori cat IXc: 5'618'000,00 Euro.);
- Direzione Lavori del Progetto per la costruzione di una passerella pedonale-ciclabile di collegamento tra il comparto R.5.4d Dozza e la via Tuscolano per lo scavalco dell'Autostrada BO-PD. Passerella di scavalco della A13, luce 90m. (Importo Lavori cat.S04 1'500'000,00 Euro);
- Progetto del nuovo Ponte sul Panaro in località Bomporto (Importo Lavori cat.S06: 2'254'337,00 Euro).

Collaboratori alla progettazione:

Dott. Ing. Paolo Palai, strutturista (Albo Ing. Forlì-Cesena, al nr. 1407/A dal 04.09.1991)

Dott. Ing. Fiammetta Frabbi, strutturista (Albo Ing. Bologna, al nr. 5409/A dal 17.09.1997)

Dott. Ing. Andrea Montalti, strutturista; (Albo Ing. Forlì-Cesena, al nr. 2196 dal 24.03.2006)

RUP Ing. Chiara Bentini della Provincia di Ravenna

RINGRAZIAMENTI

Fibre Net ringrazia lo studio Poluzzi per aver condiviso le proprie esperienze tecniche e progettuali rendendo disponibile il presente articolo.

Ricerca e diffusione della cultura specialistica di settore sono i valori che trasmettiamo con Fibre Net Academy; puntiamo sull'importanza e la diffusione della cultura specialistica attraverso contributi di approfondimento tecnico sviluppati in collaborazione con professionisti del settore.

FIBRE NET GLI SPECIALISTI DEL RINFORZO STRUTTURALE

Idee, passione, esperienza e ingegno italiano in continua evoluzione

La storia di Fibre Net inizia nel 2001 con una visione: sviluppare un prodotto del tutto nuovo non presente sul mercato, una rete in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer).

Nasce RI-STRUTTURA, la risposta evoluta alla classica rete elettrosaldata che, diversamente dal sistema tradizionale, consente di rispettare la compatibilità muraria soprattutto negli edifici storici garantendo un miglioramento strutturale omogeneo e diffuso oltre alla durabilità e reversibilità dell'intervento.

Oggi Fibre Net SpA produce presso i propri stabilimenti prodotti e sistemi compositi fibrorinforzati che trovano largo utilizzo in edilizia e nel settore infrastrutturale, nel consolidamento, nel miglioramento e adeguamento sismico e nella messa in sicurezza di strutture esistenti.



IL TEAM TECNICO FIBRE NET CONSIGLIA

<https://www.ingenio-web.it/28691-infrastrutture-in-muratura-il-progetto-di-miglioramento-sismico-di-un-ponte>

<https://www.ingenio-web.it/25799-infrastrutture-come-rinforzare-elementi-in-ca-e-cap-mediante-materiali-compositi-frp>

<https://www.ingenio-web.it/25017-risanamento-strutturale-di-un-cavalcaferrovia-mediante-frp>