



La riapertura al traffico della Strada Provinciale 98 in provincia di Bolzano: un esempio di quando l'ottima collaborazione tra Imprese esecutrici, Progettisti, Direzione dei Lavori e Committenza si unisce all'esperienza e al know-how

INNALZAMENTO, RISANAMENTO E RINFORZO DEL PONTE SUL RIO SINIGO

Alois Neulicherl*
Anton Obholzer**
Giovanni Carlini***

Il ponte sul rio Sinigo, costruito tra il 1980 e il 1982, si trova sulla S.P. 98 al km 31+650 nel comune di Avelengo (BZ) a una quota di circa 1.250 m s.l.m..

Le caratteristiche del ponte

Si tratta di un ponte ad arco a tre cerniere alto 106 m con una luce di 125 m, una freccia prevista in progetto di 11,25 m, con contrappesi di 14 m di lunghezza ciascuno, oltre le cerniere di imposta, per una lunghezza complessiva di 153 m.

La trave a cassone con larghezza di 5,0 m ha due sbalzi simmetrici all'estradosso a reggere la carreggiata di 8,20 m di larghezza complessiva. L'altezza della trave varia in modo uniforme da 12,80 m all'imposta a 2,20 m in chiave (Figura 2). In fase di realizzazione, dopo la costruzione dei contrappesi ancorati provvisoriamente alla roccia e del primo concio, la travata è stata eseguita simmetricamente con il metodo dei conci in avanzamento fino alla chiusura in chiave. Trattasi, in particolare, di una trave in c.a. precompresso con la peculiarità che, mentre i contrappesi e il primo concio sono stati realizzati in calcestruzzo normale (da progetto: $R'_{bk} \geq 350 \text{ kg/cm}^2$), la parte centrale in campata - su una lunghezza di circa 114,60 m - è stata realizzata in calcestruzzo alleggerito (da progetto: $R'_{bk} \geq 380 \text{ kg/cm}^2$).

Secondo le indicazioni dei Progettisti di allora, si tratta del primo ponte di tali dimensioni in calcestruzzo alleggerito.

Figura 1



Cenni storici

Come risulta dai verbali di collaudo del 1982, al momento del collaudo statico l'opera aveva già assunto la posizione finale prevista nel progetto, il che significa che non aveva più margini per contrastare le successive deformazioni nel tempo dovute al ritiro e alle deformazioni viscosi.

Già nei primi anni successivi alla costruzione, era stato constatato un inconsueto e forte abbassamento permanente del ponte in chiave nell'ordine di grandezza di circa 0,50 m; tale forte flesso in chiave era facilmente riconoscibile già a occhio nudo (Figura 3).



Figura 2 - Il progetto del 1979



Figura 3 - Il ponte nell'anno 2006

Il motivo dell'abbassamento eccessivo in chiave si suppone risieda nella sottovalutazione delle deformazioni viscoso e di ritiro del calcestruzzo alleggerito e nel conseguente errore di costruzione relativo alla predisposizione di una "monta" insufficiente in fase esecutiva.

Gli effetti dell'abbassamento

L'abbassamento eccessivo in chiave ha per lungo tempo comportato vari effetti negativi riscontrabili sul ponte, e cioè:

- ◆ l'abbassamento in chiave che riduceva la freccia dell'arco ha comportato un aumento delle sollecitazioni e, di conseguenza, una riduzione della capacità portante;
- ◆ i fenomeni d'urto durante l'attraversamento del flesso portavano a un aumento notevole delle sollecitazioni dinamiche;
- ◆ i sobbalzi durante il transito del flesso riducevano il comfort per gli utenti e, così, anche l'idoneità di transito;
- ◆ l'abbassamento in chiave comportava un'impressione ottica di notevole insicurezza per gli utenti;
- ◆ la modifica sostanziale della livelletta aveva compromesso il corretto smaltimento delle acque piovane.

A causa di questi difetti, furono elaborati vari studi e, infine, venne anche effettuato un tentativo di innalzamento del ponte in chiave senza effettivo successo.

L'appalto concorso

Nel Settembre 2005 la Provincia di Bolzano ha bandito un appalto concorso a base di un progetto preliminare per la nuova costruzione di un ponte e la demolizione di quello esistente.

Il Bando di gara consentì, oltre alla possibilità di realizzazione di un nuovo ponte, anche la presentazione di soluzioni di variante per la ristrutturazione e la riclassificazione del vecchio con garanzie di almeno cinquant'anni.

Ad aggiudicarsi l'appalto concorso fu l'Associazione Temporanea di Imprese costituita da Bilfinger & Berger Instandsetzung Srl, Chembau Srl e Raffl Stahlbau con i Progettisti Strutturali Dott. Ing. Alois Neulichedl e Dott. Ing. Anton Obholzer e il Coordinatore della Sicurezza in fase di progetto Dott. Ing. Giovanni Carlini che avrebbe assunto anche il ruolo di Responsabile della Sicurezza in fase di esecuzione per conto dell'Associazione Temporanea di Imprese.

Il progetto vincitore prevedeva il risanamento, l'allargamento e il rinforzo del ponte esistente con interruzioni alla viabilità ridotte a due chiusure notturne dalle ore 22.00 alle 6.00 e al mantenimento del traffico almeno a senso unico alternato.

Il progetto

Il concetto della ristrutturazione

Obiettivo della ristrutturazione era realizzare un'opera funzionale e al tempo stesso raffinata ed esteticamente gradevole, dato che la località montana di Avelengo non necessitava di un simbolo emblematico che caratterizzasse la zona.

Quindi il concetto che si è preso a base della ristrutturazione è stato il mantenimento dell'attuale struttura in calcestruzzo, pur intervenendo drasticamente. Il compito da svolgere, quindi, è riassumibile nell'assolvimento dei seguenti punti:

- ◆ i nuovi carichi permanenti derivanti dall'allargamento di carreggiata e i carichi di esercizio più alti richiesti dal Bando in base alle Normative vigenti dovevano essere assorbiti da nuovi elementi strutturali facilmente riconoscibili, semplici da realizzare e non troppo impattanti per il territorio;
- ◆ gli elementi strutturali esistenti di calcestruzzo armato e di calcestruzzo armato precompresso non dovevano essere sollecitati con sforzi maggiori di quelli attuali, né in fase di realizzazione né in fase successiva;
- ◆ prima della ristrutturazione vera e propria la posizione altimetrica di progetto doveva essere ripristinata per motivi estetici e funzionali.

Per assolvere tali esigenze costruttive, si è optato per l'inserimento di una tensostruttura sottostante costituita da cavi pretensionati con doppia protezione alla corrosione e puntoni in acciaio a V (Figura 4).

La forma geometrica della tensostruttura si è ottenuta in funzione delle esigenze sopraindicate. I punti di ancoraggio dei cavi sono stati concentrati nella zona degli appoggi all'interno del cassone, quindi non sono risultati necessari altri inserimenti costruttivi e/o ancoraggi nei fianchi rocciosi.

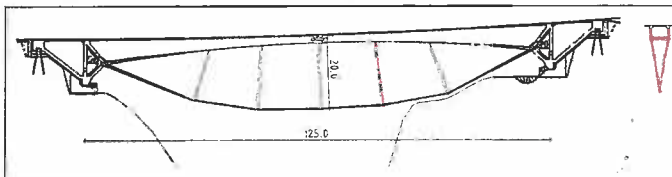


Figura 4 - Il progetto di ristrutturazione del 2006

Concettualmente, quindi, gli aspetti fondamentali risultano essere:

- ◆ l'innalzamento della trave dell'arco in chiave e il conseguente ripristino della livelletta del ponte attraverso il tensionamento dei cavi di sospensione negli ancoraggi e il contemporaneo allargamento del giunto centrale mediante martinetti idraulici (Figura 5);
- ◆ un aumento della capacità portante grazie all'inserimento della tensostruttura che porta a un raddoppio dell'effetto leva;
- ◆ il mantenimento della funzione originale e dell'ordine di grandezza delle sollecitazioni degli elementi strutturali esistenti.

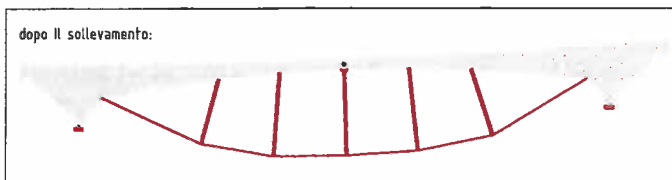


Figure 5A e 5B - Il concetto del sollevamento

I vantaggi che tale intervento ha portato rispetto a una nuova edificazione sono:

- ◆ una limitazione dei costi in base al potenziamento della struttura esistente;
- ◆ l'assenza di demolizioni complesse e costose del ponte esistente;
- ◆ nessun provvedimento oneroso per garantire la percorribilità dell'asse stradale in base al mantenimento del traffico a senso unico alternato;
- ◆ la limitazione al minimo dei disagi per gli utenti;
- ◆ la riduzione dei tempi di esecuzione;
- ◆ la limitazione al minimo dell'impatto ambientale in base al mantenimento della struttura esistente.

Le ipotesi di calcolo

Le ipotesi di carico

Come ipotesi di carico vengono assunte quelle del D.M. 04.05.1990 per un ponte di prima categoria.

I materiali

I materiali sono specificati in Tabella.

Calcestruzzo		
Fondazione	C 25/30	(esistente)
Strutture in calcestruzzo normale	C 25/30	(esistente)
	C 30/37 e C 35/45	(nuovo)
Strutture in calcestruzzo alleggerito	C 30/37	(esistente)
Acciaio in pretensione		
Trefoli in acciaio armonico	St 1570/1770	(esistente)
Barre in acciaio armonico	St 850/1050	(esistente)
Trefoli per la sospensione	St 1570/1770	(nuovo)
Barre per l'ancoraggio interno	St 1080/1280	(nuovo)
Barre per i tiranti in roccia provvisori	St 670/800	(nuovo)
Acciaio d'armatura ordinario		
Barra	FeB 44k - contr. in stab.	(esistente e nuova)
Profilati laminati in acciaio		
Profilati e lamiera	S 235 J2 + S 355 J2	(nuovo)

I risultati di calcolo per la struttura risanata

Successivamente all'inserimento e alla messa in pretensione della tensostruttura, le sollecitazioni sugli elementi strutturali esistenti non superano quelle di origine. Questo risulta dall'aumento notevole della freccia dell'arco attraverso l'inserimento della struttura di sospensione. La freccia dell'esistente prima dell'intervento era pari a circa 9,70 m e viene raddoppiata con l'inserimento della sospensione a circa 20,00 m.

Ipotizzando una probabile pretensione media nei cavi esistenti, i valori massimi a compressione del calcestruzzo esistente nelle verifiche allo stato limite di esercizio sono uguali a prima dell'intervento e cioè i valori nella soletta inferiore del cassone prima del intervento risultano essere:

$$\sigma_{c,min} = -16,20 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,max} = +1,60 \text{ N/mm}^2$$

Variando la possibile pretensione nei cavi pretesi esistenti dall'80% al 105% di quello di progetto, i valori estremi della tensione variano nella struttura esistente da $\sigma_{c,min} = -16,70 \text{ N/mm}^2$ a $\sigma_{c,max} = +1,80 \text{ N/mm}^2$.

Sempre ipotizzando una possibile variazione nella pretensione dei cavi esistenti dall'80% al 110% della pretensione di progetto, dopo l'intervento i valori estremi della tensione nel calcestruzzo variano da $\sigma_{c,min} = -16,90 \text{ N/mm}^2$ a $\sigma_{c,max} = +1,70 \text{ N/mm}^2$.

Gli interventi di ristrutturazione

Per il risanamento, il rinforzo e l'allargamento del ponte sono stati decisi i seguenti interventi per i quali si descrivono brevemente le singole fasi di lavoro in ordine cronologico.

Prima fase: la preparazione della struttura esistente per il sollevamento in chiave

1. Esecuzione della trave di ancoraggio per i cavi di sospensione all'interno del cassone e fissaggio al sotto di appoggio retrostante (Figura 6). Risanamento e rinforzo della soletta inferiore del cassone in particolare nei punti di appoggio dei puntoni;
2. esecuzione e montaggio dei sostegni a V per la sospensione (Figura 7). I puntoni con le selle per i cavi di pretensionamento sono fissati in posizione con fune spiroidale;
3. preparazione delle zone di appoggio per il sollevamento in chiave:
 - a. demolizione delle parti sotto i contrappesi dietro la cerniera di imposta al fine di consentire la libera rotazione della cerniera, visto che in fase di sollevamento è previsto l'abbassamento dei contrappesi di circa 15 cm (Figura 8);
 - b. esecuzione di appoggi orizzontali provvisori nella parte terminale dei contrappesi per la stabilizzazione in fase di sollevamento;
 - c. demolizione del muro paraghiaia e ricostruzione a distanza di 50 cm dell'impalcato per garantire lo spazio necessario in fase di sollevamento, per risanare la struttura e assicurarne in futuro l'ispezionabilità;
4. infilaggio dei cavi per la sospensione e predisposizione dei martinetti idraulici per la pretensione;
5. preparazione del giunto centrale per il sollevamento. Montaggio di un perno di sicurezza costituito da un tubo in acciaio di grande spessore passante nel passo d'uomo esistente per impedire spostamenti trasversali in fase di sollevamento. Montaggio di sette martinetti idraulici da 400 t ciascuno per l'allargamento del giunto centrale (Figura 9).

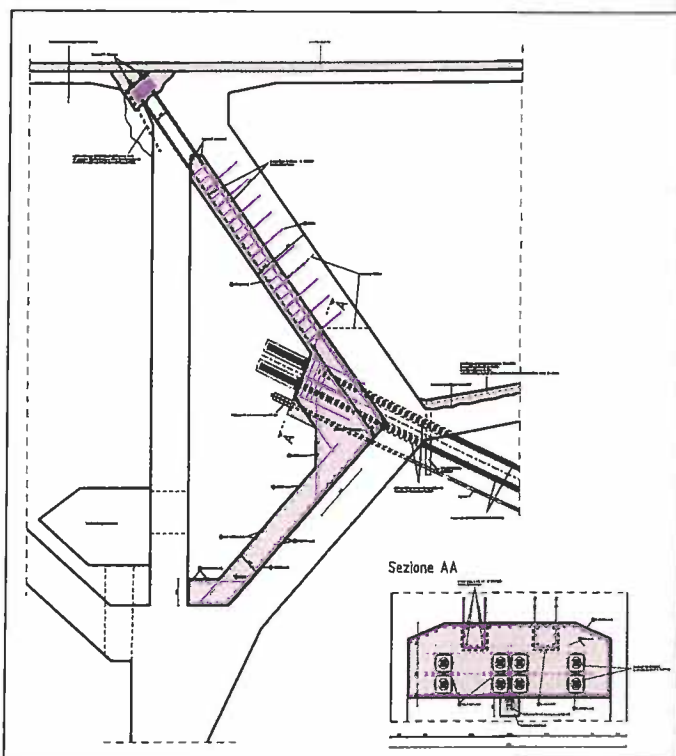


Figura 6 - La trave di ancoraggio per i cavi di sospensione



Figura 7 - Il montaggio dei puntoni in acciaio a V per la sospensione

Terza fase: la sostituzione degli appoggi

8. Sostituzione degli apparecchi di appoggio esistenti con appoggi fissi a calotta sferica (Figura 10). La particolarità dei nuovi appoggi è data dal fatto che l'appoggio per i carichi verticali e quello retrostante per i carichi orizzontali vengono posizionati in modo tale che il punto centrale delle due sfere corrisponda, al fine di ottenere una cerniera ideale.

La sostituzione delle coppie di appoggi è stata pianificata sollevando la struttura di pochi millimetri mediante martinetti idraulici posizionati tra gli appoggi definitivi, a seguire il taglio degli appoggi esistenti, il risanamento delle superfici d'appoggio, l'inserimento dei nuovi apparecchi di appoggio l'inghisaggio degli stessi con malte speciali. Sono stati installati appoggi fissi a calotta sferica con una portata caratteristica massima di 21.500 kN in asse dell'appoggio e 2.000 kN perpendicolare all'asse dell'appoggio. Il raggio della sfera misura solamente 1.035 mm.



Figura 8 - La demolizione delle parti sotto i contrappesi dietro la cerniera di imposta



Figura 9 - Il posizionamento dei martinetti idraulici in chiave



Figura 10 - La sostituzione degli apparecchi di appoggio

Seconda fase: il sollevamento in chiave dell'arco

6. Sollevamento: è stato pianificato mediante la ripetuta messa in pretensione dei cavi di sostegno in parallelo all'allargamento graduale in chiave mediante sette martinetti idraulici. Con una spinta totale sui sette martinetti di circa 20.000 kN, alla fine dell'operazione si è raggiunto un allargamento del giunto centrale di 18 cm. La pretensione dei cavi di sospensione ammontava a $8 \times 1.010 \text{ kN} = 8.080 \text{ kN}$. Il sollevamento in corrispondenza del giunto centrale misurava successivamente all'innalzamento 78 cm. Tale valore avrebbe consentito al ponte di raggiungere dopo l'abbassamento dovuto ai carichi permanenti in quel momento ancora da applicare (soletta allargata, strutture per marciapiede, pavimentazione, ecc.), la quota di progetto finale;

7. montaggio di nuovi apparecchi di appoggio in chiave. Sono stati installati due appoggi fissi a calotta sferica con una portata caratteristica ciascuna di 18.000 kN in asse dell'appoggio e di 2.000 kN perpendicolari all'asse dell'appoggio.

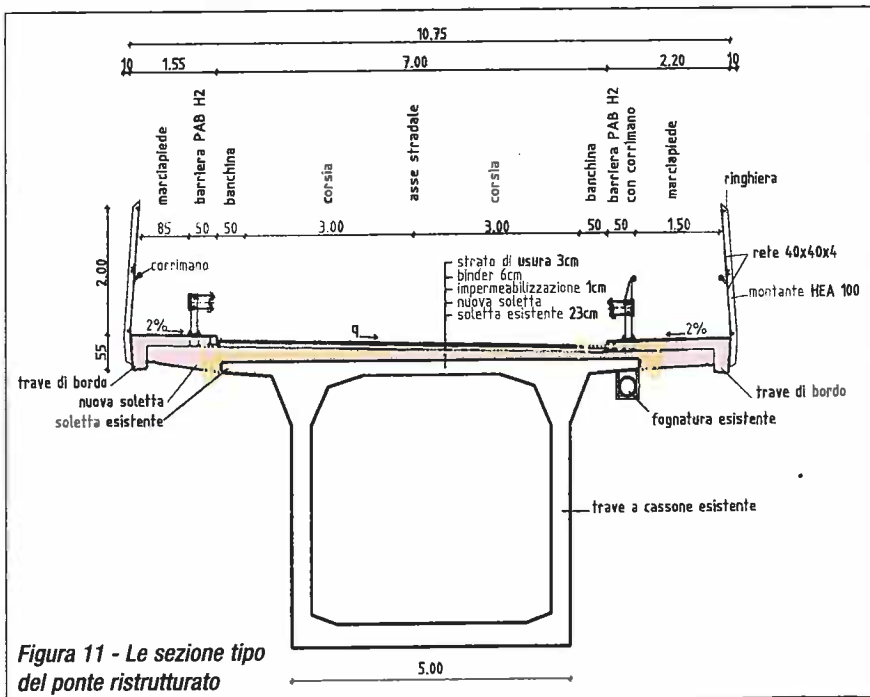


Figura 11 - Le sezione tipo del ponte ristrutturato



Quarta fase: l'allargamento della carreggiata (Figura 11) e i lavori di risanamento e il completamento

9. idrodemolizione del cordolo sul lato a valle;
10. controllo e risanamento dei cavi di precompressione esistenti;
11. idrodemolizione all'estradosso della soletta e predisposizione per l'allargamento della soletta;
12. esecuzione su una corsia della nuova soletta per la nuova carreggiata allargata (Figura 12). Esecuzione in più fasi, sempre simmetricamente rispetto alla chiave dell'arco;
13. trattamento di impermeabilizzazione della soletta, esecuzione della soletta del marciapiede, stesura della pavimentazione bituminosa e lavori di completamento (barriere di sicurezza, ringhiera, ecc.);
14. allargamento sul lato opposto (fasi 9÷13);
15. montaggio dei giunti di dilatazione stagni in corrispondenza delle spalle e del giunto centrale;
16. risanamento delle superfici in calcestruzzo delle strutture esistenti, sia all'esterno, che all'interno del cassone mediante:
 - ◆ idrodemolizione;
 - ◆ risanamento di ferri di armatura corrosi;
 - ◆ riprofilatura di zone danneggiate;
 - ◆ all'esterno: aumento del copriferro, applicando uno strato di malta a spruzzo fino a uno spessore di circa 2 cm;
 - ◆ all'interno: rasatura;
 - ◆ applicazione di pittura protettiva anticarbonizzazione;
17. ritaratura finale della pretensione nei cavi di sospensione;



Figura 12 - L'allargamento della soletta

L'esecuzione dei lavori

Relativamente all'esecuzione dei lavori per un'opera di tale portata sono da evidenziare soprattutto due aspetti fondamentali:

- ◆ il primo è il mantenimento del traffico per tutta la durata dei lavori almeno a senso unico alternato con l'unica eccezione per le due notti in cui è avvenuto l'innalzamento del ponte, per le quali è stata concordata con la committenza una chiusura totale dalle ore 22.00 alle ore 6.00;
- ◆ il secondo è quello relativo alla sicurezza, che ha comportato lo studio di soluzioni specifiche, perché molti sono stati gli aspetti da affrontare sia in fase di progetto sia in fase esecutiva, tra i quali ne elenchiamo alcuni a titolo indicativo e non esaustivo:
 - ◆ la predisposizione costante di New Jersey per la tutela dei mezzi in transito;
 - ◆ l'esecuzione di demolizioni in roccia con ragno;



Figura 13 - Il cassero e il piano di lavoro per l'allargamento

- ◆ la predisposizione di un portale di altezza minima 4,00 m che consentisse il posizionamento dei puntoni all'intradosso mantenendo il traffico sul ponte (Figura 7);
- ◆ lo sviluppo insieme alla ditta DOKA di un cassero apposito che potesse fungere anche da piano di lavoro oltre che da cassero per l'allargamento della soletta (Figura 13);
- ◆ la predisposizione di un ponteggio particolare che in fase di allargamento del giunto centrale potesse adattarsi alle nuove condizioni;
- ◆ gli spostamenti provvisori delle infrastrutture presenti sul ponte (Figura 14).

Si evidenzia anche che la forma dell'appalto concorso ha dato la possibilità di elaborare in fase di progettazione esecutiva le specifiche procedure di lavoro concordate tra Imprese esecutrici e Coordinatore della Sicurezza in fase di progetto, figura professionale che in fase esecutiva avrebbe assunto il ruolo di Responsabile della Sicurezza per l'ATI, quindi doppiamente interessato alla corretta pianificazione delle lavorazioni in sicurezza.



Figura 14 - Gli spostamenti provvisori delle infrastrutture presenti sul ponte

Il collaudo statico

Dopo la fine dei lavori (Figura 15), il 17 Maggio scorso sono state eseguite le prove di carico per il collaudo statico.

Secondo le prescrizioni vigenti (D.M. 04.05.1990), è stato applicato il completo carico di esercizio nelle posizioni più gravose per la struttura globale.

In tutto si sono posizionati sette autocarri da 33 t e otto da 42 t, così si è applicato un carico totale di 567 t (Figura 16). Il carico è stato applicato in più fasi, rilevando in 14 punti in tempo reale la deformazione verticale. Così si è stati in grado di costruire per ogni fase di carico la linea della deformata in asse della strada e la rotazione torsionale in chiave dell'arco. Per la misurazione si è utilizzata una livella a tubo elettronica.



Figura 15 - Il ponte ristrutturato



Figura 16 - La prova di carico

La deformazione massima rilevata in chiave a pieno carico misurava 70 mm, mentre la freccia teorica a pieno carico risultava essere 125 mm.

La struttura reale quindi ha un comportamento più rigido di quanto stimato nel modello di calcolo. Il motivo di questa differenza è da ricercarsi in gran parte nel fatto che nel modello di calcolo le solette con la trave di bordo per i due marciapiedi sono state considerate solo come carico e non come elemento strutturale, che dà un proprio contributo a vantaggio della rigidità della struttura.

Lo stesso vale per lo strato di malta utilizzato per il risanamento delle superfici di calcestruzzo (2-3 cm su tutto il perimetro), considerato solo come carico permanente senza considerarne il contributo per la rigidità.

La struttura del ponte ha reagito in modo quasi perfettamente elastico e le deformazioni residue dopo lo scarico risultavano inferiori al 5% della deformazione massima subita.

A causa dell'importanza logistica e delle dimensioni notevoli di questo ponte, il Committente ha deciso di fare eseguire anche una caratterizzazione dinamica per avere un dato di partenza per il futuro monitoraggio periodico.

Conclusioni

A Natale 2007 il ponte è stato aperto al traffico in entrambi i sensi di marcia e, successivamente all'apertura, non appena le temperature hanno consentito la riapertura dei lavori, sono state eseguite le lavorazioni di finitura poi concluse a Marzo 2008, con un anticipo sul tempo contrattuale di oltre tre mesi.

Bisogna sottolineare quindi che l'apertura al traffico in entrambi i sensi di marcia è avvenuta con quasi sei mesi di anticipo sul tempo contrattuale, risultato reso possibile dall'ottima collaborazione tra Imprese esecutrici, Progettisti, Direzione dei Lavori e Committenza e dall'esperienza che ogni partecipante ha portato dal proprio settore di competenza.

In ultimo, si evidenzia che la stretta collaborazione tra Progettisti e Imprese esecutrici in fase di appalto concorso hanno consentito di pianificare fino nel dettaglio tutte le lavorazioni da eseguire, ar-

rivando a chiudere i lavori senza perizie e quindi nell'importo di contratto contabilizzato a forfait.

Allo stesso modo si rileva che per l'intera durata dei lavori non sono avvenuti incidenti sul lavoro, pur essendo le lavorazioni molto particolari e avendo quindi richiesto un notevole impegno organizzativo e di risorse da parte delle Ditte coinvolte. ■

* *Ingegnere e Libero Professionista dello Studio di Ingegneria Neulichedl & Partner*

** *Ingegnere e Libero Professionista di Baumann & Obholzer ZT GmbH*

*** *Ingegnere e Libero Professionista dello Studio di Ingegneria Carlini*

Dati tecnici

Committente: Provincia Autonoma di Bolzano
 Ufficio Tecnico: Ripartizione 10, Ufficio Tecnico Strade Ovest
 Coordinatore unico: Dott. Arch. Josef March
 Direttore di Ripartizione: Dott. Ing. Valentino Pagani
 Direttore d'Ufficio: Dott. Ing. Günther Kiem
 Responsabile di Progetto: Dott. Ing. Johannes Strimmer - Ufficio tecnico strade Ovest
 Progettisti: Dott. Ing. Alois Neulichedl dello Studio di Ingegneria Neulichedl & Partner di Merano e Dott. Ing. Anton Obholzer della Baumann & Obholzer ZT GmbH di Innsbruck
 Direttore dei Lavori: Dott. Ing. Siegfried Pohl di Laces
 Coordinatore della Sicurezza in fase di progetto e Responsabile della Sicurezza in fase esecutiva: Dott. Ing. Giovanni Carlini dello Studio di Ingegneria Giovanni Carlini di Bolzano
 Appaltatore ATI: Biffinger & Berger Instandsetzung GmbH, sede distaccata di Bressanone (BZ), Chembau GmbH di Mils, Raffi Stahlbau GmbH di Steinach
 Direttore Tecnico dell'ATI: Dipl. Ing. Peter Holzner
 Callaudatore: Dott. Ing. Andrea Fedrizzi