

*La progettazione di alcune importanti opere stradali  
nella parte venezuelana della Panamericana,  
l'itinerario che collega le due Americhe e che si snoda lungo la catena andina*

## I GRANDI VARI DELLE NUOVE INFRASTRUTTURE VENEZUELANE

Marco Petrangeli\*  
Camillo Andreocci\*\*  
Luca Gasperoni\*\*\*

Nei progetti infrastrutturali venezuelani degli ultimi anni si è fatto un ricorso intensivo ad opere in acciaio ed a struttura mista acciaio-calcestruzzo. Questo è vero sia per il potenziamento delle infrastrutture stradali che per la realizzazione della nuova rete ferroviaria. Gli Scrittori sono coinvolti nella progettazione di alcune opere stradali di grandi dimensioni sul ramo venezuelano della Panamericana, quell'itinerario stradale che collega le due Americhe sviluppandosi lungo la costa pacifica del continente e che, provenendo dal Canale di Panama, continua verso la Città di Quilón in Cile, camminando quindi lungo le catene montuose che caratterizzano questa parte del continente sudamericano.

**A**ll'altezza di Bogotá in Colombia, dall'asse principale si diparte il tronco venezuelano che prosegue fino a Caracas camminando lungo la cordigliera di Meridas.



Figura 2 - Il viadotto della Colorado in costruzione



Figura 1 - Il viadotto della San Juana lungo la Panamericana

Tutti questi itinerari sono ovviamente molto tortuosi ed accidentati, in quanto costretti a seguire i rilievi montuosi. Il loro ammodernamento richiede quindi l'inserimento di numerose opere d'arte per ottenere una geometria d'asse compatibile con i moderni standard geometrici e di sicurezza.

La realizzazione di queste opere d'arte, spesso in viadotto in quanto di minor costo rispetto alle opere in galleria, richiede però l'apertura di piste e varchi in un territorio tanto selvaggio quanto inadatto per i moderni mezzi di cantiere, con accessibilità ai limiti dell'impossibile e collegamenti molto faticosi per la scarsissima rete stradale presente in queste aree. Queste difficoltà di comunicazione, associate a versanti e valli profonde ed acclivi favoriscono l'adozione di opere di luce medio-grande e metodologie costruttive che non richiedano mezzi di cantiere troppo importanti.

Una soluzione strutturale particolarmente conveniente si è rivelata quella con viadotti a travate continue in struttura mista acciaio-calcestruzzo, che incontrano proprio nel campo delle luci medio-grandi la condizione di applicazione ideale dal punto di vista dell'efficienza strutturale e di conseguenza della massima economicità.

La messa in opera di queste strutture si adatta inoltre particolarmente bene alle condizioni del territorio sopra descritte, per facilità di trasporto dei conci metallici e per il vantaggio fornito dalla possibilità di vararle di punta.

Anche per quanto riguarda le nuove infrastrutture ferroviarie si incontrano problemi analoghi. Gli scriventi si sono occupati dei tre viadotti principali della sub-tratta Valencia-Puerto Cabello, nella zona centrale del Paese, in prossimità della Città di Valencia, oggi uno dei principali centri industriali del Venezuela.

La linea corre per quanto possibile in accostamento ad una autostrada esistente lungo la piana di Valencia. In questo tratto, l'altezza contenuta dei viadotti e la buona accessibilità dei luoghi ha suggerito l'adozione di luci standard di 40 m circa, varate dal basso mediante autogru.

Il tracciato ad un certo punto si dirige però verso Porto Cabello attraversando quel tratto finale di cordigliera che corre parallelamente al mare fino a Caracas. Questa parte della linea ha una incidenza molto elevata di viadotti e gallerie, spesso posti di seguito uno dopo l'altra. L'accessibilità a queste opere è molto difficile, tanto che le stesse vengono realizzate in avanzamento in modo da poter utilizzare la parte già costruita di infrastruttura come accesso ai cantieri sul fronte.

Un altro viadotto sempre ferroviario di cui si sono occupati gli scriventi è infine il Viaducto V1-1 che sorge a pochi chilometri da Caracas ma appartenente ad una tratta differente, terminata ormai da alcuni anni, a servizio della Capitale e del pendolarismo che vi gravita. Questo viadotto sorge in un'area relativamente pianeggiante, ma è stato anch'esso varato di punta in modo da poter lavorare in sicurezza in un'area militare protetta e quindi oltrepassare l'autostrada che da Caracas porta alla Guaira - il principale porto ed aeroporto venezuelano - senza interromperne l'esercizio.

## La descrizione dei viadotti

Tutti i viadotti descritti in questo lavoro, salvo il V1-1 che ha una sezione a via inferiore con lastra ortotropa, hanno un impalcato a struttura mista acciaio-calcestruzzo con travi principali a doppio T in composizione saldata e soletta in calcestruzzo.

I viadotti V1-1, San Juana e la Colorada presentano andamento planimetrico rettilineo, mentre i restanti viadotti mostrano un andamento curvilineo con raggi di curvatura ampi ma non sempre costanti, aspetto questo che ha richiesto alcuni accorgimenti per renderne possibile il varo di punta. Le sottostrutture dei viadotti sono costituite da spalle e pile in c.a. a sezione rettangolare cava, le quali mostrano altezze variabili fino a 65 m.

Le fondazioni di tali sottostrutture sono di tipo profondo, su pozzi di grande diametro ovvero pali di sezione circolare o rettangolare (le cosiddette barrettes). Tutti gli impalcati sono realizzati con acciaio auto patinante tipo SJ355W. I viadotti stradali sono tutti saldati, quelli ferroviari tutti imbullonati. Tutti gli impalcati hanno i diaframmi ed i controventi inferiori orizzontali realizzati con profili normali imbullonati alle travi principali. Gli spessori delle piattabande sono generalmente comprese entro gli 80 mm. Le piattabande più grandi sono pertanto realizzate con sandwich. Nuovamente, fa eccezione il viadotto ferroviario V1-1 che, essendo a via inferiore, ha i trasversi con anima piena e piattabande in piatto singolo fino a 100 mm di spessore.

## La metodologia di varo

Tutti i viadotti sono varati di punta con una metodologia ed una attrezzatura molto simile in quanto l'Impresa esecutrice di queste opere è la medesima, ovvero la Preacero Pellizzari, uno dei principali carpentieri venezuelani, di proprietà dell'omonima famiglia di origine Carnica (Friulana).

Le opere lungo la Panamericana sono commissionate dall'Amministrazione venezuelana, gli impalcati metallici delle opere ferroviarie sono invece realizzate in subappalto dal Consorzio di Imprese italiane composto da Impregilo, Astaldi e Ghella, che in Venezuela sono presenti da molti anni avendo già realizzato o in corso di realizzazione interventi infrastrutturali di grandi dimensioni.

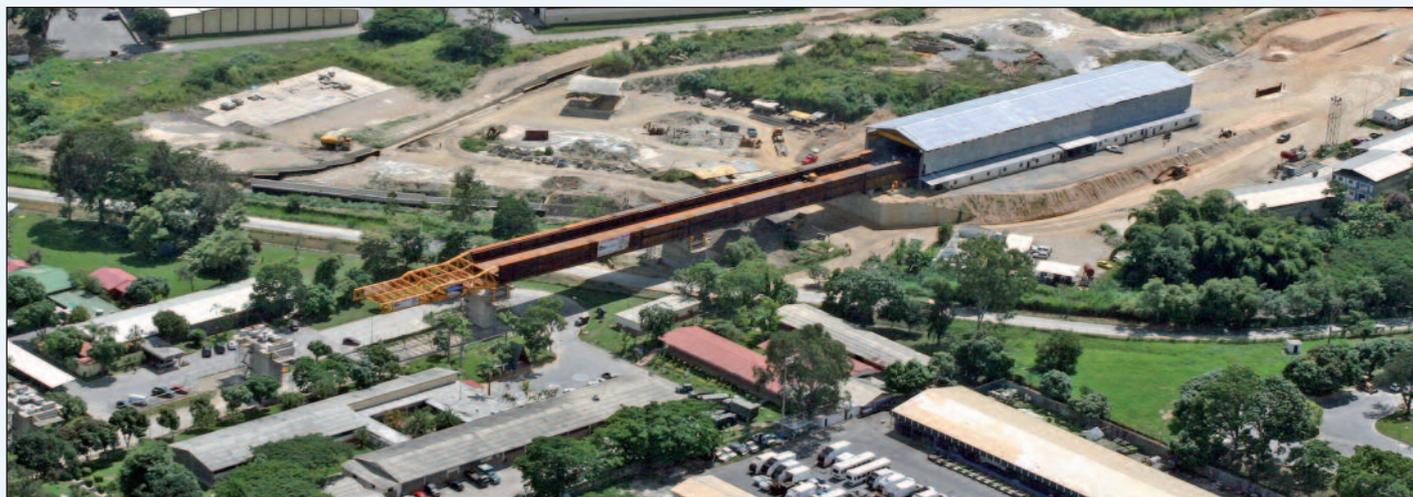


Figura 4 - Il viadotto ferroviario V1-1 ad inizio spinta

Nome	Tipologia	Anno	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Luce massima	Raggio (m)	Numero travi	H travi (m)	Peso (t)
San Juana	Stradale	'06 - '07	300 + 300	12	54	-	4	2,8	1.400
Colorada	Stradale	In corso	352	22	142	-	3	5,5	3.500
V1-1	Ferr.	'03 - '04	460	12	110	-	2	5	5.000
C2-1	Ferr.	'07 - '11	480	11	60	5000 Var.	2	4 - 4.5	1.800
B2-1	Ferr.	In corso	210	11	70	1500	2	5,6	840
B2-2	Ferr.	In corso	240	11	70	4400 var.	2	4-5.6	960

Le caratteristiche geometriche e strutturali dei viadotti

Nonostante la soluzione con varo di punta sia la stessa per tutte e sei le opere, l'implementazione di questa tecnologia nel caso dei viadotti C2-1, B2-1 e B2-2 ha richiesto l'individuazione di geometrie e logistiche alquanto particolari. Ciascuno di questi viadotti sorge infatti tra due gallerie ed attraversa valli con pendii abbastanza acclivi, specialmente il B2-1 che attraversa una incisione molto suggestiva con un accesso difficilissimo.

Considerate queste condizioni al contorno, una prima soluzione individuata in sede di progettazione preliminare prevedeva l'assemblaggio ed il varo di questi viadotti da dentro le gallerie. Questa soluzione presentava però delle controindicazioni piuttosto proibitive. Sarebbe stato infatti necessario assemblare impalcati di oltre 5 m di altezza in gallerie di diametro appena superiore in condizioni di lavoro difficoltose con rischio di congestionare la zona di montaggio e spinta.



Figura 5 - Il varo del viadotto ferroviario C2-1

Il varo dalla galleria avrebbe inoltre comportato di spingere l'opera ad una quota di oltre 5 m sopra quella definitiva (in pratica l'altezza dell'impalcato stesso) dovendo quindi predisporre dei castelli metallici sopra le pile e procedere quindi con calaggi molto impegnativi a fine varo. Questo aspetto in zona ad elevata sismicità comporta ovviamente un onere ed un rischio piuttosto elevato in quanto bisogna assicurare la necessaria resistenza e stabilità sia in fase di spinta che di calaggio rispetto ad azioni sismiche che vengono molto amplificate in testa pila anche per via di frequenze proprie che ricadevano nella zona di massima amplificazione spettrale.

Un attento sopralluogo delle aree interessate ha permesso agli scriventi di individuare una soluzione alternativa, che si è rivelata molto più semplice ed economica. Nonostante i pendii delle tre valli siano molto acclivi, in tutti e tre i casi è stato possibile realizzare un piano di lavoro incassato a quota estradosso spalla dove assemblare e spingere gli impalcati. Quest'area di lavoro doveva inoltre lasciare spazio di manovra a quota galleria per la pista che serviva la galleria stessa e la piattaforma di spinta del viadotto.

La realizzazione di queste "piattaforme di lancio" ha richiesto pertanto una parte in scavo ed una in aggetto su carpenteria metallica (Figura 6). Il tutto è stato quindi integrato con un capannone in modo da poter effettuare le operazioni di assemblaggio e spinta in ambiente protetto. L'unica controindicazione di questa soluzione è che lo spazio per assemblaggio e spinta era contenuto, e quindi si è dovuto procedere per spinte massime di circa 25 m, lunghezza per altro sufficiente a garantire la sicurezza delle configurazioni di spinta e di pausa per un montaggio su luci massime di 70 m.

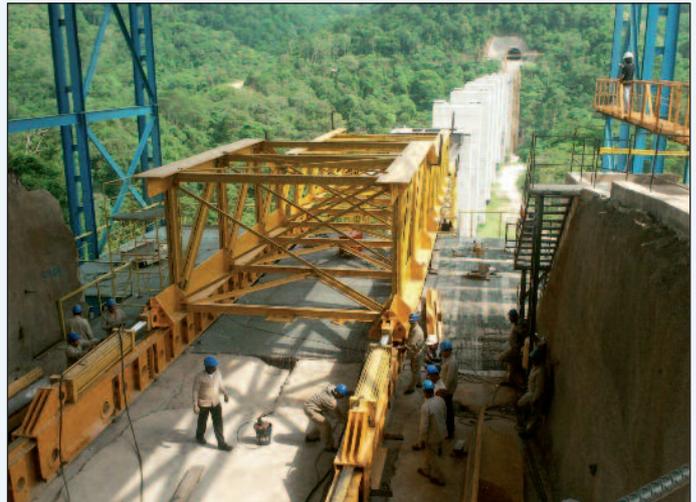


Figura 6 - L'area ricavata sulla spalla per il varo del viadotto C2-1

Per tutti e sei i viadotti è stata realizzata quindi un'area adibita all'assemblaggio dei conchi metallici per bullonatura e/o saldatura ed alla loro successiva spinta mediante martinetti idraulici (400 t cadauno) su delle travi di varo, metalliche o in c.a. a seconda dell'opera. Per il viadotto V1-1 che è stato il primo ma anche il più pesante in quanto arrivava a pesare fino a 15 t/m sono state utilizzate delle travi di varo in calcestruzzo (Figura 7).

Nei vari successivi, si è invece preferito utilizzare delle travi di varo in acciaio che possono essere facilmente spostate e riutilizzate. Queste travi hanno già i fori per l'alloggiamento dei perni di ancoraggio dei martinetti e la predisposizione dell'alloggiamento dei tirafondi con i quali vengono ancorate alle solette gettata in opera che serve da ancoraggio e fondazione per l'area di varo.



Figura 7 - L'assemblaggio per la bullonatura e il varo a spinta del viadotto ferroviario V1-1

Nel caso dei viadotti ferroviari, lo schema statico definitivo di travi in semplice appoggio ha inoltre richiesto la solidarizzazione provvisoria delle diverse campate in fase di varo.

Per queste unioni, che a fine varo vengono a trovarsi in corrispondenza dei testa pila e sono quindi sollecitate da momenti flettenti di diverse migliaia di tonnellate/metro, sono state studiate delle unioni che potessero semplificare le fasi di rilascio. Si sono pertanto impiegate barre ad alta resistenza per le flange superiori e chiavi a taglio sulle anime. Per le flange inferiori si è visto che la soluzione più semplice è

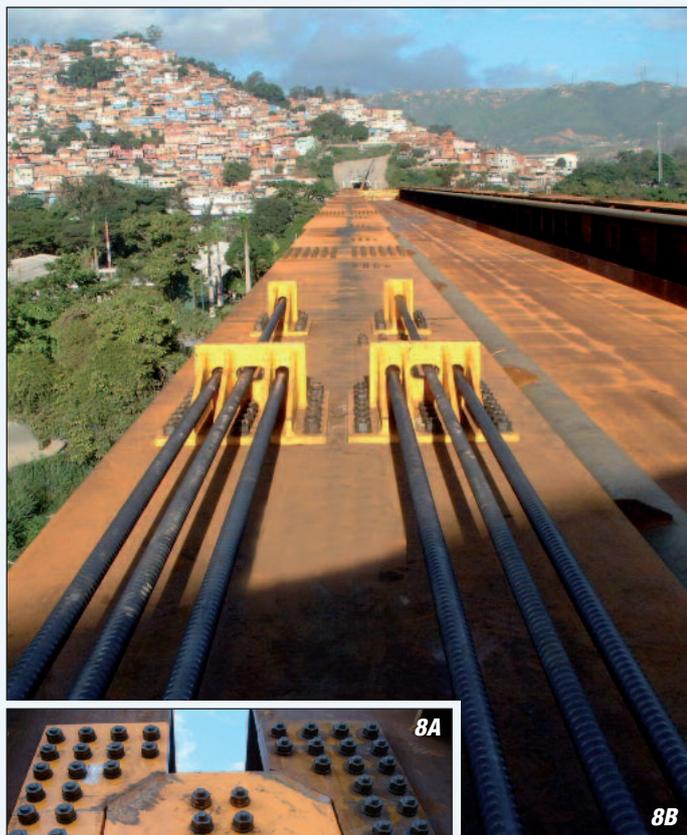


Figure 8A e 8B -  
Il giunto provvisorio:  
la chiave a taglio (8A)  
e le barre di  
precompressione (8B)

l'unione bullonata che può essere rimossa una volta allentate le barre di precompressione sulle flange superiori in modo da rilasciare completamente i momenti flettenti agenti sull'unione.

Per quanto riguarda infine luci e geometria dei vari, valgono le seguenti osservazioni.

Il varo di impalcati a struttura mista normalmente è facilitato dal fatto che la carpenteria metallica si vara senza soletta e quindi in una

configurazione molto leggera. Laddove per il varo si utilizzino predalle metalliche o in calcestruzzo è possibile disporle sulle travi e varare quindi l'impalcato con la soletta già in fase avanzata di lavorazione.

Il varo può quindi essere effettuato senza l'ausilio di appoggi intermedi in quanto i carichi agenti sono molto inferiori a quelli di esercizio. L'unico punto delicato può essere la prima campata che deve andare a sbalzo in avanzamento. Un avambecco lungo e leggero può aiutare ma comunque il suo peso per unità di lunghezza non è mai di molto inferiore a quello delle sole travi metalliche di impalcato.

Di tutti i vari venezuelani, il solo a richiedere un pila provvisoria è stato quello del viadotto V1-1 in quanto questo viadotto veniva varato nella sua configurazione definitiva (viadotto a lastra ortotropa) e pertanto si è dovuta ridurre la luce libera di varo della campata maggiore, quella sull'autostrada, da 110 a 75 m circa.

I tre viadotti della linea Valencia-Puerto Cabello sono in curva; due di essi con raggio variabile. In questi casi il fatto di varare delle travi in semplice appoggio temporaneamente solidarizzate fornisce una buona flessibilità in quanto permette, a varo terminato, di disconnettere le travate e quindi effettuare per ciascuna di esse quegli spostamenti trasversali che si rendessero necessari per compensare la variabilità planimetrica del raggio di curvatura.



Figura 10 - Il varo in curva del viadotto C2-1



Figura 9 - Il varo della San Juana con lamiera grecata già posizionata per il getto della soletta

La solidarizzazione di travate in semplice appoggio può essere realizzata in diverse maniere. In tutti i casi, tra le campate adiacenti si ha però una cuspidè più o meno accentuata a causa delle contro-freccie costruttive delle travi in semplice appoggio. Questo fenomeno può essere mitigato in fase di progettazione con degli accorgimenti specifici della geometria delle piattabande inferiori in prossimità degli appoggi. In mancanza di questi accorgimenti è necessario prevedere che il passaggio di queste cuspidi porta ad una forte concentrazione delle reazioni ed anche ad una possibile usura accelerata dei pattini.

\* Presidente di Integra Srl

\*\* Socio e Direttore di Integra Srl

\*\*\* Progettista di Integra Srl