

Il bicassone prefabbricato lungo la nuova linea ferroviaria alta capacità Torino-Milano

The precast dual-box beam along the new high-capacity Turin-Milan railway line

1. Introduzione

Il “Sistema Alta Capacità” (AC) comporta uno sviluppo ed un riassetto della rete ferroviaria per far fronte alle accresciute esigenze di traffico e mobilità connesse ai grandi bacini metropolitani (Napoli, Roma, Firenze, Bologna, Milano, Torino, ecc.). Le esigenze di cui sopra sono legate al trasporto di pendolari, di merci e passeggeri, all'utilizzo delle aree ferroviarie urbane, al riequilibrio del rapporto fra trasporto pubblico e privato e, non ultima, la necessità di ridurre i tempi di percorrenza (Fig. 1).

La nuova tratta A.C. Torino-Milano, che si sviluppa per 124.5 km, sarà realizzata con la costruzione di due sub-tratte attigue: la Torino-Novara (86.5 km) e la Novara-Milano (38 km).

La linea è stata concepita e progettata – per quanto possibile – in stretta aderenza all'autostrada A4, inserendosi nel cosiddetto “Corridoio di collegamento tecnologico Torino-Milano”.

La conformazione pianeggiante del territorio ha permesso al tracciato di svilupparsi per l'80% (circa 100 km) in rilevato, con limitatissimi tratti in trincea; per il 15% (20 km circa) in viadotto e solo per il 5% (5 km circa) in galleria artificiale.

I lavori sono affidati al General Contractor FIAT S.p.A. che si avvale per la loro realizzazione del Consorzio CAV.To.Mi., mentre la progettazione è affidata a Maire Engineering (già Fiat Engineering).

Per quanto riguarda la tratta Torino-Novara, essa è entrata in funzione il 10 Febbraio 2006, mentre l'avanzamento complessivo dei lavori sulla tratta Novara-Milano, al 30 Settembre 2005, era pari al 26,00 % circa, al netto dell'adeguamento monetario.

Lungo tutta la tratta s'incontrano diverse tipologie di impalcati prefabbricati. In gran parte si tratta d'impalcati realizzati con cassoni in semplice appoggio per ponti e viadotti, ma non manca l'impiego di prefabbricati per la costruzione di gallerie artificiali. L'utilizzo dei prefabbricati nella realizzazione di gallerie artificiali d'interconnessione e scavalco è aumentato sulla tratta lombarda e, pertanto, merita una trattazione separata.

Per quanto riguarda gli impalcati prefabbricati a cassone dei viadotti di linea, s'incontrano sostanzialmente 3 diverse tipologie distinte:

- il *monocassone* con luci di 20 e 25 metri,
- il *bicassone* con luci di 31.5 e 34.5 metri
- il *quadricassone* con luci di 20, 25 e 27 metri.

La lunghezza complessiva degli impalcati così realizzati è di 13 km sulla tratta piemontese (Torino-Novara) e sarà di 5 km sulla tratta lombarda (Novara-Milano).

Tutte le tipologie di impalcato, seppur con delle differenze interes-

1. Introduction

The “High Capacity” (H.C.) system involves a development and a reorganization of the railway system to cope with the increased traffic and mobility needs of the great metropolitan basins (Naples, Rome, Florence, Bologna, Milan, Turin, etc.). The needs mentioned are tied to hauling passengers – commuters and others – and freight, to the use of the urban railway areas, to rebalancing the relationship between public and private transport and between truck- and railway-hauled freight, and not least, to cutting down travel times (Fig. 1).

The new H.C. Turin-Milan line, which runs 124.5 km, will result from the construction of two connecting sub-lines: the Turin-Novara (86.5 km) and the Novara-Milano (38 km).

The line was conceived and designed to run in close approximation – insofar as possible – to the A4 motorway route, it being fit into the so-called Turin-Milan technology corridor.



● Fig. 1 - Il tracciato della tratta A.C. Torino-Milano.
● Fig. 1 - The route of the Turin-Milan H.C. line.

The flatness of the territory meant 80% of the route (a hundred kilometres) could run on embankment fill, with a few short stretches in cut; 15% (twenty kilometres) on viaduct, and only 5% (five kilometres) in (cut-and-cover) tunnel.

The job was awarded to a general contractor: FIAT SpA, which will employ the CAV.To.Mi syndicate to build it, while the design was awarded to Maire Engineering (the quondam Fiat Engineering).

The Turin-Novara stretch went into operation on February 10th 2006, while the overall progress of the work on the Novara-Milano stretch, as of September 30th 2005, amounted to 26% of the job not counting price increases owing to inflation.

Along the whole line various types of precast decks were used. For bridges and viaducts the decks were mostly simply-supported boxes. But the use of precasting to build the cut-and-cover tunnels was not lacking. The use of precasting in building the cut-and-cover tunnels, whether for interconnection or to permit fly over, increased in the Lombardy stretch and, therefore, deserves separate treatment.

Substantially three separate types of precast box-section decks were used on the line viaducts:

- the single box, with 20 and 25 metre spans
- the dual box, with 31.5 and 34.5 metre spans

Prof. Ing. Marco Petrangeli
Università "G. D'Annunzio", Pescara, Italia
Ing. Camillo Andreocci
Integra S.r.l., Roma, Italia
Ing. Armando Leoncini
MaireEngineering S.p.a., Roma, Italia

Ing. Marco Orlandini
Condotte S.p.a., Roma, Italia
Ing. Giosafatte Geremia
SPIC.S.r.l., Bessica di Loria (Treviso), Italia

santi, sono già state utilizzate in altre tratte AC. Il monocassone è stato impiegato sulla tratta Roma-Firenze alla fine degli anni '80, mentre il quadricassone ed il bicassone sono molto diffusi sulla più recente tratta Roma-Napoli.

Lo scopo di questa trattazione è quello di illustrare alcuni degli aspetti teorici e realizzativi dell'impalcato a bicassone. Questa tipologia d'impalcato è stata utilizzata per 5 viadotti e più esattamente:

- Malone, al km 11+615, lunghezza complessiva 345 m;
- Orco e Rio Palazzolo, al km 12+671, lunghezza complessiva 732 m;
- Chivasso, al km 14+035, lunghezza complessiva 966 m;
- Dora Baltea, al km 23+822, lunghezza complessiva 1258.5 m;
- Ticino, al km 97+191, lunghezza complessiva 1173 m.

I primi 3 viadotti che ricadono nella tratta Piemontese, sono stati prodotti in uno stabilimento nei pressi di Chivasso e da lì trasportati in opera lungo la linea in costruzione. In quest'impianto sono state prodotte 120 travi per un totale di 60 campate.

Il quarto viadotto, anch'esso ricadente nella tratta Piemontese, serve da accesso al *Bow String* sulla Dora ed è stato prodotto a Saluggia, in un impianto a ridosso della spalla Milano del viadotto, che ha richiesto la fabbricazione di 74 travi (37 campate).

Per quanto riguarda il viadotto Ticino, è composto da 34 campate da 34.50 m, per un totale di 68 travi. I manufatti sono stati prefabbricati in uno stabilimento costruito appositamente nei pressi di Romentino. Anche in questo caso i cassoni sono posti in opera trasportandoli dall'impianto in opera lungo il rilevato di linea.

2. Caratteristiche geometriche e meccaniche

Il bicassone utilizzato sulla tratta Torino-Milano è, ad oggi, il prefabbricato di luce maggiore mai utilizzato sulle linee AC. Questo manufatto è l'evoluzione di quello da 31m utilizzato sulla tratta Roma-Napoli, e con gli opportuni affinamenti progettuali ed esecutivi, sarà possibile un suo impiego su luci maggiori. Si è infatti valutata la possibilità di un suo utilizzo su luce da 37.5 m per le opere lungo il proseguimento del Corridoio 5 (Torino-Milano-Venezia).

Del resto l'aumento delle luci d'impiego riguarda anche gli impalcati a quadricassone che sono passati dalle tradizionali luci da 25 m fino ai 27 m sulla tratta Lombarda e fino a 30 m sulla Firenze-Bologna, questa ultima misura per gli accessi del *Bow-String* sulla Sieve.

Le principali caratteristiche geometriche e meccaniche degli impalcati a bicassone sono le seguenti:

- interasse binari di 5 m;
- assi pile posti a 34.50 m;
- interasse appoggi (luce di calcolo) di 32.10 m.

- *the quadruple box, with 20, 25 and 27 metre spans.*

(A quadruple box, for example, has four beams placed side-by-side per span).

A total of thirteen kilometres of deck was built thusly on the Piedmont stretch (Turin-Novara) and five kilometres of it will be built on the Lombardy stretch (Novara-Milan).

All deck types, even if with noteworthy differences, have already been used in other H.C. lines. The single-box was used on the Rome-Florence line at the end of the eighties, while the quadruple-box and the dual-box were quite widespread on the more recent Rome-Naples line.

The purpose of this paper is to set forth a few theoretical and practical aspects of the dual-box deck. This type of deck was used for five viaducts, viz:

- *the Malone, at milepost 11+615 km, total length: 345 m;*
- *the Orco and Rio Palazzolo, at milepost 12+671 km, total length: 732 m;*
- *the Chivasso, at milepost 14+035 km, total length: 966 m;*
- *the Dora Baltea, at milepost 23+822 km, total length: 1258.5 m;*
- *the Ticino, at milepost 97+191 km, total length: 1173 m.*

The first three viaducts, which fall in the Piedmont stretch, were precast in a plant nearby Chivasso, and hauled from there to be installed along the building line. In this plant 120 beams were manufactured, for a total of sixty spans.

The fourth viaduct, it too falling in the Piedmont stretch, serves as access to the Bow String on the Dora river and was manufactured at Saluggia, in a plant behind the viaduct's Milan-side abutment; this demanded the precasting of 74 beams (37 spans)

The Ticino viaduct, comprises thirty-four 34.50 m spans, for a total of 68 beams. The beams were precast in a plant built for the purpose nearby Romentino. In this case too the box girders were installed by hauling them from the plant along the line embankment.

2. Geometric and Mechanical Characteristics

The dual-box used on the Turin-Milan line is, as of today, the longest-span precasting ever used on H.C. lines. This deck is the evolution of the 31-metre deck used on the Rome-Naples line, and with the right design and construction adjustments it can be used on longer spans. The possibility has in fact been evaluated of its use on a 37.5 m span for structures along the prolongation of Corridor 5 (Turin-Milan-Venice).

In any event the quadruple-box decks too have increased in span. They

Ogni singola campata è costituita da 2 cassoni prefabbricati in c.a.p. a fili aderenti, collegati da 5 traversi (2 di estremità e 3 intermedi) ed ha una larghezza complessiva di 13.60 m. La sezione tipica è riportata in Fig. 2, in cui sono visibili anche le giunzioni tra i due elementi prefabbricati; in Fig. 3 è invece visibile la sezione del manufatto con evidenziata l'armatura di precompressione.

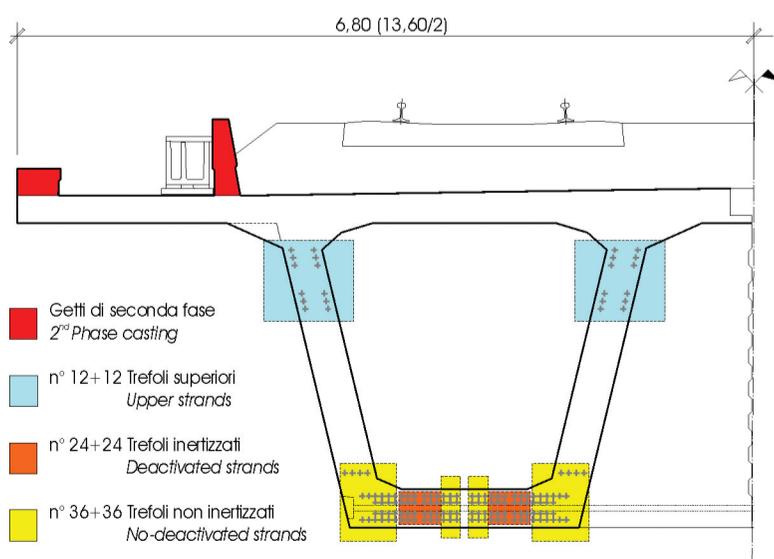
Il getto di sutura fra gli elementi prefabbricati una volta posti in opera, è realizzato con due strisce, una da 45 cm di larghezza tra le solette ed una da 5 cm tra i traversi (prefabbricati insieme al cassone), questi ultimi successivamente postesi come appresso specificato.

L'altezza dei cassoni in mezzera è di 3.12 m e raggiunge i 3.57 m in corrispondenza degli appoggi; infatti in conseguenza della variazione di sezione che si sviluppa tra 1.8 m e 0.8 m dall'asse appoggi, lo spessore della controsoletta passa dai 35 cm della sezione corrente agli 80 cm in prossimità delle testate.

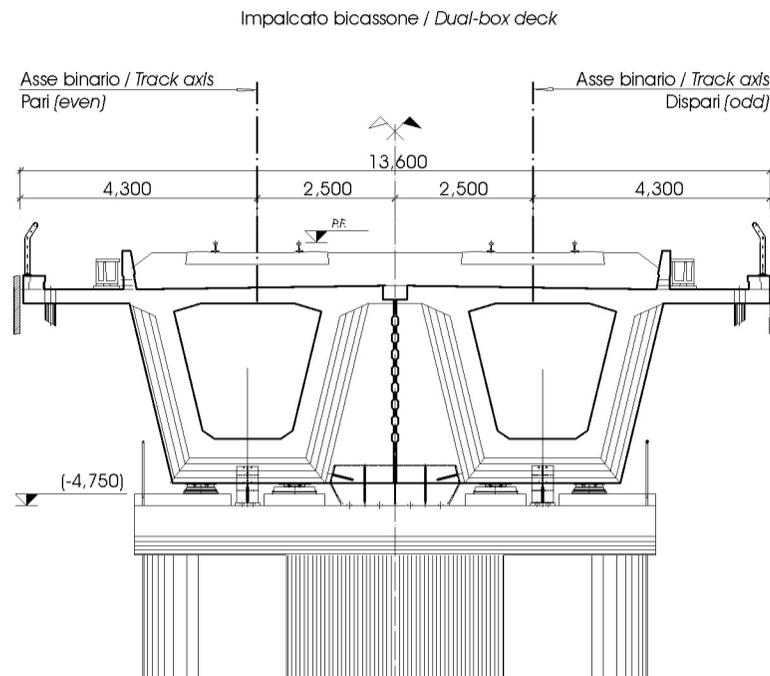
In corrispondenza della variazione di cui sopra, le anime passano dai 35 cm della sezione corrente agli 80 cm sugli appoggi e, parallelamente, la soletta superiore varia da 28 cm a 43 cm, misurati in asse cassone.

I traversi di testata hanno uno spessore minimo di 80 cm che scende a 35 cm per quelli di campata, la solidarizzazione trasversale avviene per mezzo di 2 cavi superiori da 6T15 e 2 inferiori da 4T15 in testata e 2 cavi superiori da 7T15 e 1 inferiore da 4T15 in campata.

La precompressione longitudinale è realizzata per mezzo di 144 trefoli da 0.6" pretesi.



● Fig. 3 - Sezione di un cassone con armatura di precompressione.
● Fig. 3 - Section through a box girder with prestressing reinforcements.



● Fig. 2 - Sezione di un tipico impalcato a bicassone.
● Fig. 2 - Section through a typical dual-box deck.

have gone from the traditional 25 m spans up to 27 m on the Lombardy stretch and up to 30 m on the Florence-Bologna, this latter length for the accesses to the Bow-String on the Sieve.

The principal geometric and mechanical characteristics of the dual-box decks are as follows:

- 5 m track spacing;
- pier centrelines at 34.50 m spacing;
- distances between support (design span) of 32.10 m.

Each individual span consists of two precast adherent-strand prestressed concrete boxes, connected by five crosspieces (two at the ends and three intermediate), the total width being 13.60 m. Fig. 2 shows the typical section; in it are visible the joints between the two precast box girders. Fig. 3 shows instead the section through the deck with the prestressing brought out.

Once the precast beams are set in place they are given a stitching pour with two strips, one 45 cm wide between the slabs and one 5 cm wide between the crosspieces (precast together with the box). These latter are post-tensioned afterward as is set forth below.

The box depth at midspan is 3.12 m and reaches 3.57 m at the bearings. In fact, owing to the change in section that develops between 1.8 m and 0.8 m from the bearing axis, the depth of the lower slab goes from 35 cm (the typical section) to 80 cm nearby the beam ends.

Along with the change mentioned above, the webs go from 35 cm (typical section) to 80 cm over the bearings and, in parallel, the upper slab goes from 28 cm to 43 cm, measured along box centreline.

The beam-end crosspieces have a minimum depth of 80 cm; this drops

3. L'inertizzazione in testata

La continua richiesta d'incremento delle prestazioni dei manufatti prefabbricati ha causato, in questi ultimi anni, problemi di sovratensione nelle testate; il fenomeno si è manifestato con evidenti fessurazioni sia in ambito stradale che ferroviario.

Questo problema delle sovratensioni in testata è endemico della tecnologia a trefoli pretesi per due motivi fondamentali:

- il meccanismo d'ancoraggio del trefolo è fortemente dilatante nei confronti del calcestruzzo e tende quindi a formare fessurazione radiale (*bursting*);
- i trefoli non possono essere facilmente deviati e quindi tendono ad arrivare in gruppi compatti ed eccentrici rispetto al baricentro della sezione. Questo dà luogo a tensioni di trazione per diffusione (*spreading*) e tensioni associate all'ingobbamento delle sezioni di testata (*spalling*) (Fig. 4).

Anche nel caso del bicassone ci si è posti il problema delle testate. Per i manufatti della tratta Roma-Napoli la soluzione è stata ottenuta rialzando (e deviando) i trefoli. Esattamente, il bicassone utilizzato sulla Roma-Napoli ha un totale di 124 trefoli di cui 40 rialzati a 9.95 metri dall'asse appoggi.

Per il bicassone della TO-MI sarebbe stato necessario, per via dell'incremento di luce e della maggiore larghezza di piattaforma, aumentare il numero di trefoli, e contestualmente rinunciare alla deviazione, per una concomitanza di motivi teorici e pratici (esecutivi) che ne sconsigliavano l'impiego.

In prima fase ogni cassone presentava quindi 168 trefoli, dei quali 120 nella parte inferiore e 48 nelle anime, subito sotto la soletta, questi ultimi necessari a ricentrare le forze di precompressione. Una tale configurazione avrebbe comportato, a parità di sezione trasversale, un aumento dei cavi ancorati in controsoletta, dagli 84 utilizzati sulla tratta Roma-Napoli a ben 120.

Sono quindi stati eseguiti diversi studi al fine di valutare lo stato tensionale in testata nella nuova configurazione per verificare se l'incremento delle sollecitazioni avesse potuto costituire un rischio per l'integrità del conglomerato. Rispetto ai manufatti della tratta

to 35 cm for those in span. Crosswise solidizing is effected by two upper 6T15 cables and two lower 4T15s at the beam ends and two upper 7T15 cables and one lower 4T15 in span.

Longitudinal prestressing is effected by 144 pretensioned 0.6" strands.

3. Strand sheating

The continual demand over the past few years for increased precasting performance has brought about overstressing in the beam-ends. The overt signs are obvious cracking in both highway and railway structures.

Beam-end-overstressing is endemic to pretensioned-strand technology for two fundamental reasons.

- the strand anchorage mechanism strongly dilates the concrete and thus tends to form radial cracking (*bursting*);
- the strands cannot be easily deflected and therefore tend to arrive in compact groups eccentric to the section centre of gravity. This gives rise to tensile stresses by spreading and stresses associated with the buckling of the beam-end section (*spalling*) (Fig. 4).

For the dual-box too the beam-end problem came up. For the Rome-Naples stretch decks the solution was to raise (and deflect) some strands. More exactly, each box girder used on the Rome-Naples has a total of 124 strands of which 40 are deflected 10 m from the beam ends. For the Turin-Milan dual-box, it would have been necessary, by increasing the span and owing to the greater platform width, to increase the number of strands, while at the same time waiving the deflection, owing to a coming-together of theoretical and practical (construction) reasons that advised against deflection.

In the first phase each half-deck thus displayed 168 strands, of which 120 in the lower part and 48 in the webs, right below the slab, these latter necessary to recentre the prestressing forces. Such a configuration would involve, for equal cross sections, increasing the strands anchored in the bottom slab, from the 84 used on the Rome-Naples line to a good 120.

Various studies were thus carried out to evaluate the stress state in the beam end in the new configuration in order to evaluate whether the increased stresses could threaten the concrete's integrity. Compared with the Rome-Naples line beams in fact, the change in the number and arrangement of the strands was so great (50% increase in the bottom slab) that the absence of problems in the one case could not form a guarantee for the success of the beams of new design on the Turin-Milan. It must be considered that the tolerance limits on beam end cracking required by the railway [1] in fact demand that the stresses in the concrete stay below the tensile resistance, since otherwise, even if large amounts of reinforcing were available, the crack widths could not be



● Fig. 4 - Tipica fessurazione in testata di cassonino ferroviario.
● Fig. 4 - Typical cracking in the railway box-beam end.

Roma-Napoli infatti, il cambiamento nel numero e nella disposizione dei trefoli era talmente elevato (50% di incremento in controsoletta) che l'assenza di problemi sulla prima non poteva costituire una garanzia per la riuscita di quelli di nuova progettazione sulla Torino-Milano.

È necessario considerare che i limiti di tolleranza sulla fessurazione in testata imposti dalle Ferrovie [1], di fatto, richiedono che nel conglomerato le tensioni restino sotto i valori di resistenza a trazione perché altrimenti, anche disponendovi grandi quantitativi di armatura, non si riesce a limitare l'ampiezza delle fessure. In questa zona infatti, i gradienti delle tensioni sono tali che l'armatura non ha a disposizione sufficiente lunghezza di ancoraggio e la presenza stessa di troppi ferri facilita l'apertura delle fessure.

Questa situazione ha molte similitudini con il comportamento a taglio [2] di elementi in c.a. e c.a.p. dove, fintanto che lo sforzo tagliante rimane sotto i valori limite consentiti dal conglomerato, la fessurazione è praticamente assente. Qualora invece sia necessario mobilitare la resistenza dell'armatura trasversale, si sviluppa un quadro fessurativo importante.

Il fatto che, all'aumento di resistenza a compressione del conglomerato non corrisponda un proporzionale aumento di tenacità ovvero di energia di frattura del conglomerato stesso, comporta che i margini d'incremento prestazionale di cui si potrebbe oggi disporre per quanto concerne il comportamento flessionale di queste travi, si scontrano con la scarsa tenacità agli ancoraggi e conseguente fessurazione. Su questo argomento gli Autori rinviando ad una apposita nota tecnica di prossima pubblicazione.

In definitiva, constatato che la nuova configurazione avrebbe comportato uno stato tensionale pericolosamente elevato, si è optato per l'inertizzazione di 48 trefoli bassi e la contestuale eliminazione di 24 trefoli alti.

L'inertizzazione è stata effettuata in una sola stazione posta a 5.07m dall'asse appoggi, secondo una tecnologia messa a punto in ambito ferroviario che prevede l'inserimento di una cassetta in controsolet-



● Fig. 5 - Cassette di inertizzazione e trefoli inguainati.
 ● Fig. 5 - Cutting-boxes and sheathed strands.

limited. In this zone, in fact, the stress gradients are such that the reinforcing do not have available adequate anchorage length and the presence of too much steel in fact facilitates the opening of cracks.

This situation is very similar to the behaviour under shear [2] of reinforced – or prestressed-concrete objects, where, so long as the shearing force remains below the limit values permitted by the concrete, cracking is practically absent. Should however the strength of the cross-wise reinforcing have to be mobilized, a substantial cracking picture would develop.

From the fracture-mechanics standpoint the problem is still simpler and clearer: the increase in concrete crushing strength does not imply a proportional increase in tenacity (fracture-energy). Thus, the performance-increase margins in the bending behaviour of these beams clash with an intrinsic fragility of concrete and various attempts at exploiting it have caused cracking of the anchorage zones. On this subject the writers refer the reader to a special technical memorandum to be published presently.

It being seen that the new configuration would involve a dangerously high stress state, design opted for sheathing 48 low strands and the elimination at the same time of 24 high strands.

The sheathing was carried out up to a single station located at 6 m circa from the beam ends, according to a technology developed in railway circles that calls for the insertion of a steel box in the bottom slab where the sheathing of the strand terminates (sheathing is made with of the shelf PVC pipe). In Fig. 5 the boxes with the sheathed strands are quite visible, during the mounting of the reinforcing bars.

Once the beam has been cast, the sheathed strands are cut at the boxes, which remain empty during casting of the beam, and pulled out from the beam ends. The boxes and the empty PVC tubes are then grouted with mortar from the beam end. The sheathed strands are therefore “active” only from these boxes onwards. The inert strands are removed reducing the risk of corrosion since they would not be encased and passivated by the surrounding concrete.

A finite-elements elastic analysis of the two situations (with and without sheathing) brings out clearly the drop in the beam-end principal tensile stresses (indicated with the colour blue in Figs. 6 and 7), in agreement with the theoretical models usually used to deal with the problem [3,4,5] (Table 1-2).

The values with strand sheathing are compatible with the concrete strength, and effectively in the manufacture of these items no cracking problems came out in the beam ends.

4. Precasting

As anticipated above, all the beams were precast in plants set up for the

ta. I cavi da inertizzare vengono, per il tratto iniziale che va dalla testata alla cassetta, inseriti in un tubo in PVC. In Fig. 5 sono ben visibili le cassette con i trefoli inguainati, durante la fase di montaggio della gabbia di armatura

Avvenuto il getto, i trefoli vengono intercettati e recisi all'altezza della cassetta; dopo la rimozione dello spezzone esterno alla cassetta i fori vuoti vengono riempiti per iniezione.

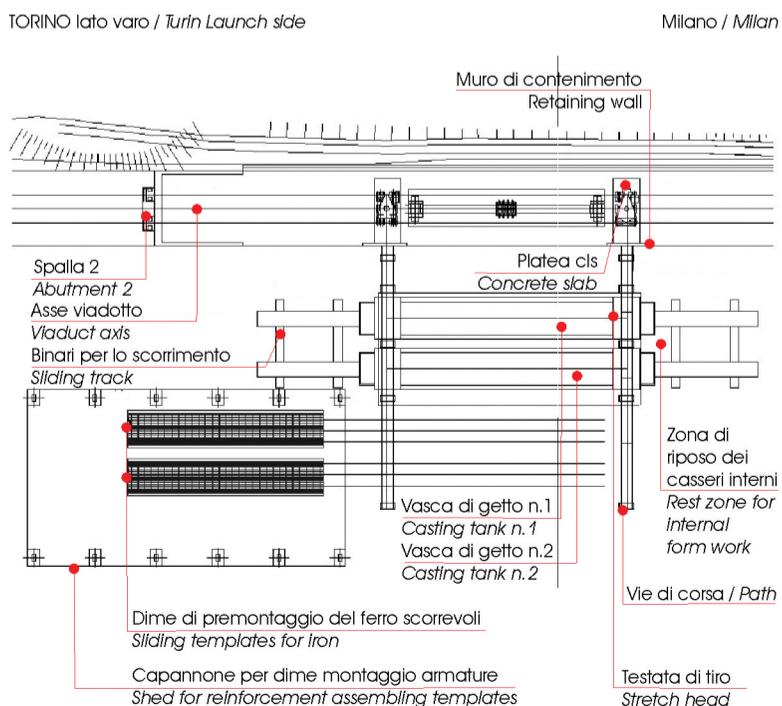
Dall'analisi agli elementi finiti elastici delle due situazioni con e senza inertizzazione si vede chiaramente la diminuzione delle tensioni principali di trazione in testata (indicate con il colore blu nelle Figg. 6 e 7), in accordo con i modelli teorici comunemente utilizzati per la trattazione del problema [3,4,5] (Tab.1-2).

I valori con inertizzazione sono compatibili con la resistenza del conglomerato ed effettivamente, nella produzione di questi manufatti, non si sono verificati problemi di fessurazione in testata.

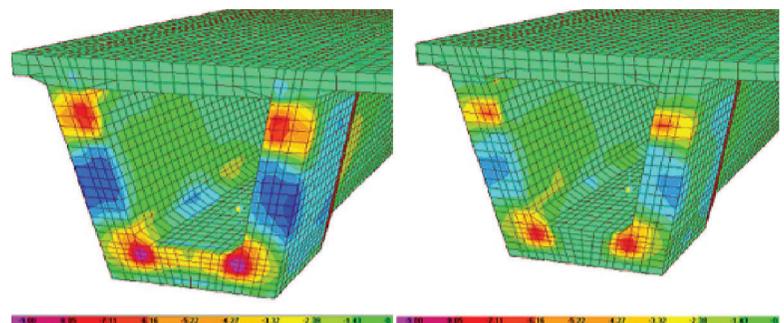
4. La prefabbricazione

Come anticipato sopra, tutti i manufatti sono stati prefabbricati in impianti appositamente approntati nelle immediate vicinanze della linea; questi sono fondamentalmente suddivisi in tre aree:

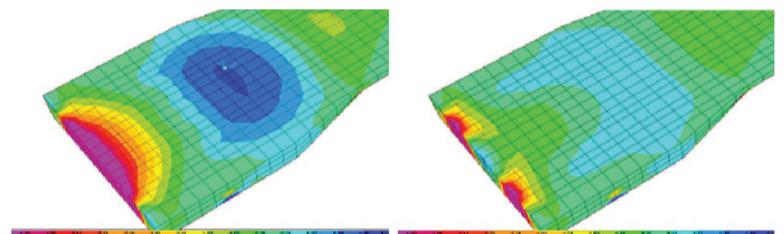
- Area per l'assemblaggio dell'armatura lenta e di precompressione solitamente posta in un capannone a sviluppo longitudinale.
- Area per la tesatura dei trefoli e per il getto del calcestruzzo.
- Area per lo stoccaggio dei manufatti.



● Fig. 8 - Pianta dell'impianto di prefabbricazione di Chivasso.
● Fig. 8 - Plan of the Chivasso prefabrication plant.



● Fig. 6 - Tensioni principali in testata senza inertizzazione.
● Fig. 6 - Principal stresses in the beam end without inertizing.



● Fig. 7 - Tensioni principali in controsoletta.
● Fig. 7 - Principal stresses in the bottom slab.

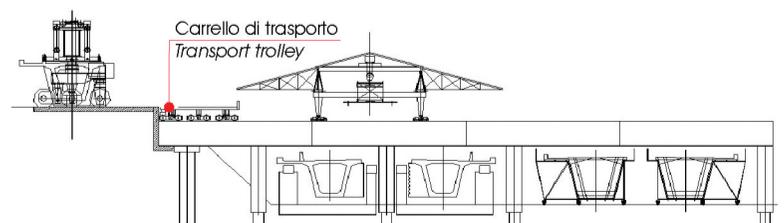
TABELLA/TABLE 1-2

Valori tensionali con modello ad E.F. e con formule di letteratura / Stress values with F.E. model and using formulas from the literature

σ Bursting	Non inertizzata/Not-Sheathed	Inertizzata/Sheathed
Modello 3D/Model 3D	1.4÷1.5 MPa	0.6 MPa
Leonhardt	1.45 MPa	0.85 MPa
σ Spalling	Non inertizzata/Not-Sheathed	Inertizzata/Sheathed
Modello 3D/Model 3D	3÷3.5 MPa	1.5÷2 MPa
Model Code 90	2.94 MPa	1.68 MPa

purpose in the immediate vicinity of the line. The plants fundamentally comprise three areas:

- Area for assembling the reinforcing cages and the prestressing strands, usually housed within a long shed;
- Area for tensioning the strands and for casting the concrete.
- Area for stockpiling the beams.



● Fig. 9 - Sezione trasversale dell'impianto.
● Fig. 9 - Cross section through plant.

Nelle Figg. 8 e 9 è visibile in planimetria e sezione uno schema dell'impianto di Chivasso; sono distinguibili le dime di assemblaggio armatura, le vasche di getto e la zona di riposo dei casseri. Lo stesso impianto in fase di montaggio è visibile in Fig. 10.

Il ciclo della prefabbricazione del bicassone attua il metodo della "catena di montaggio". Infatti, grazie alla possibilità di spostare la gabbia d'armatura, questa può essere assemblata su una dima di precisione situata nelle vicinanze dei casseri metallici, in parallelo alle operazioni di getto.

Dopo l'assemblaggio ed il posizionamento della gabbia nel cassero (Fig. 11), qui viene ultimato il montaggio della gabbia, soprattutto per quanto riguarda i ferri di soletta (Fig. 12), paraballast e altri dettagli; quindi viene effettuata la tesatura delle armature di precompressione. In Fig. 13 si vede in primo piano il telaio d'ancoraggio dei trefoli e sullo sfondo le operazioni di rifinitura della gabbia che avvengono all'interno del cassero. Infine si procede al getto del manufatto ed al successivo ciclo di maturazione.

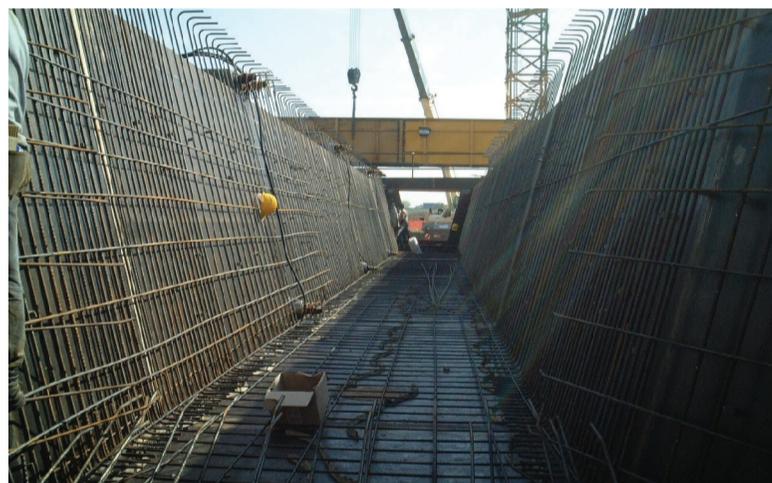
Figs. 8 and 9 show a scheme of the Chivasso plant in plan and in section. Distinguishable are the reinforcing assembly templates, the pour basins and the box-beam rest area. The same plant being set up can be seen in Fig. 10.

The precasting cycle for the dual-box uses the assembly-line method. In fact, since the reinforcing unit can be shifted, it can be assembled on a precision template located nearby the metal forms, in parallel with the pour operations.

After assembling the reinforcing cages and positioning it in the form (Fig. 11), the reinforcement assembly is finished with the upper slab reinforcement and other details (Fig. 12). Then the prestressing cables are tensioned. In the foreground of Fig. 13 is seen the anchorage frame for the strands and in the background the reinforcing-cages finish works that take place within the form. Finally the beam is poured and the curing cycle gone on to.



● Fig. 10 - L'impianto di prefabbricazione di Chivasso in fase di allestimento.
 ● Fig. 10 - The Chivasso precasting plant being set up.



● Fig. 11 - Posizionamento della gabbia nel cassero.
 ● Fig. 11 - Positioning the reinforcing unit in the form.



● Fig. 12 - Testata di tiro prima delle operazioni di tesatura.
 ● Fig. 12 - The beam tensioning end before tensioning.



● Fig. 13 - Disposizione dell'armatura della soletta.
 ● Fig. 13 - The arrangement of the reinforcing in the slab.

5. Trasporto e varo

Il trasporto ed il varo dei manufatti sono senz'altro due fasi di gran delicatezza nel processo di costruzione del viadotto. La movimentazione avviene attraverso un carrellone gommato, come quello visibile nella Fig. 14, capace di spostare il manufatto direttamente dalla vasca di getto sino al varo.

Le principali caratteristiche del carrellone gommato sono:

- portata massima $P_{max} = 460$ t
- peso carrellone completo $Q_{cg} = 210$ t
- carreggiata carrellone $ccg = 2,25$ m
- passo carrellone $pcg = 41,00$ m
- carreggiata gruppi ruota $cgr = 0,800$ mm
- passo gruppi ruota $pgr = 2.200$ mm
- velocità di traslazione $vt = 0\pm 25$ m/min
- massimo angolo di sterzata $a_{max} = 14^\circ$
- raggio di sterzata minimo esterno $r_{min} = 9,20$ m
- pneumatici 18.00 R 25

Naturalmente, a seconda della disponibilità di un deposito per lo stoccaggio dei manufatti, il varo è avvenuto o in successione con la produzione o in un secondo momento ovvero con uno stoccaggio variabile in funzione di altre esigenze di cantiere. La prima soluzione è stata adottata nel caso della Dora Baltea, la seconda per il Ticino, per gli altri tre viadotti della tratta Piemontese si è di fatto verificata l'ultima situazione in quanto i viadotti erano in serie a valle di un unico stabilimento (Chivasso).

Per la scasseratura ed il successivo varo è necessario raggiungere una resistenza minima pari a $R_{ckj} > 36$ MPa. Questo valore è un compromesso cruciale tra una serie di esigenze a volte contrastanti. Il varo avviene mediante l'impiego di un carro specificamente studiato per questo manufatto. Questa struttura mobile è costituita da



● Foto 14 - Movimentazione di un manufatto.
● Photo 14 - Handling a beam.

5. Hauling and launch

Hauling and launching the beams are certainly two phases of great sensitivity in the viaduct construction process. Handling is done through a rubber-tired dolly, like the one seen in Fig. 14, capable of shifting the beam directly from the pour basin up to launch.

The rubber-tired dolly's principal characteristics are as follows:

- maximum load capacity, $P_{max} = 460$ t
- weight of dolly complete, $Q_{cg} = 210$ t
- dolly tracking width, $ccg = 2,25$ m
- dolly wheelbase, $pcg = 41,00$ m
- wheel-units tracking width, $cgr = 0,800$ mm
- wheel-units wheelbase, $pgr = 2.200$ mm
- translation speed, $vt = 0\pm 25$ m/min
- maximum steering angle, $a_{max} = 14^\circ$
- minimum outside steering radius, $r_{min} = 9,20$ m
- tires 18.00 R 25

Of course, depending on the availability of a yard in which to stockpile the beams, launching takes place either right after production or some time afterward, or from a stockpile depending on other construction yard needs. The first solution was adopted for the Dora Baltea, the second for the Ticino, and for the other three viaducts in the Piedmont stretch the last-named, since the viaducts were in series downline of a single plant (the Chivasso).

For form-striking and the subsequent launch a minimum R_{ckj} strength of 36 MPa is needed. This value is a crucial compromise among a set of at-times-conflicting needs.

Launch takes place using a dolly specifically designed for the beam at hand. This mobile structure consists of a lower launching girder which advances on the bearings plane, on it the rubber-tired dolly spoken of above moves (Fig. 15) making use of a sliding platform.

The sequence of operations is as follows:

- loading on the dolly of the box girder taken from stockpile or directly from precasting;
- hauling the box girder to the launch girder;
- forward moving the box girder over the launching girder (the front axes of the dolly rest on the sliding platform) until the final position is reached;
- longitudinal forward sliding of the launching girder after having put the platforms' rollers in neutral;
- lowering of the beam on the underlying supports;
- re-positioning the launching girder and the dolly for the next operations.

The dolly is quite visible in Fig. 15, the full dimension of the launch-



● Fig. 15 - Varo di un cassone.
 ● Fig. 15 - Launch of a half-deck.

una trave inferiore, *il sottoponte di varo*, che avanza al piano appoggi e sulla quale si sposta il carrello gommato di cui sopra (Fig. 15).

La sequenza delle operazioni è la seguente:

- carico sul carrello del bicassone prelevato dall'area di stoccaggio o dall'area di prefabbricazione;
- trasporto del cassone sino al sottoponte di varo;
- trasferimento del carrello sulle piattaforme fino al raggiungimento della posizione finale;
- scorrimento del sottoponte di varo in senso longitudinale previa messa in folle delle rulliere delle piattaforme;
- varo della trave sugli appoggi sottostanti;
- riposizionamento del sottoponte e del carrello per le operazioni successive.

In Fig. 15 è ben visibile il carrello che, avanzando, porta un cassone in posizione definitiva per poi abbassarlo fino al posiziona-

ing girder before it is shifted forward to allow for the beam lowering, is depicted in Fig. 16. Lowering of the box girder can be finally seen in Fig. 17.

5.1 The box beam's geometric tolerances and torsional stiffness

Another interesting aspect of these beams is tied to their torsional stiffness and to the inevitable out of plane of the bearing pads. It must be noted that each beam has four bearings for a total of eight bearings per span, breaking down as follows: five moveable multi-directional bearing, two fixed yielding bearings and one moveable one-directional bearing.

When the beam is put in place, the centre of gravity of its weight lies outside the bearings' c.g. by 0.265 m. This owes to the projection of the slab that, although of low weight, has a significant cantilever. The outside bearings are then more greatly stressed than the inside ones. Depending then on the coplanarity tolerances between the support plane and the plane of the anchorage plates, the beam will lie substantially on only three of the four bearings. Clearly, this situation needs to be corrected since the bearing adjacent to the unloaded one has to support by itself a load equal to the weight of half the beam. To remedy this the procedure calls for the calibration of the reactions by shimming. This shimming operation brought about a stiffness of $K_v = 200 \text{ KN/mm}$ (20 tons of increased vertical reaction force for each millimetre of depth).

Back calculating the equivalent torsional stiffness for a Saint Venant beam model, and taking account of the fact that the bearings lie 1.7 m apart, a value of $K_{TOR} = 5.8 \cdot 10^5 \text{ kNm rad}^{-1}$ is got, instead of $K_{TOR} = I_t * G / L = 2.9 \cdot 10^6 \text{ kNm rad}^{-1}$, which is the value that can be easily calculated starting from the torsional inertia for a hollow section of the Bredt type (I_t) and assuming all the other components to be infi-



● Fig. 16 - Posizionamento del cassone sugli appoggi.
 ● Fig. 16 - Overview of the launching girder and dolly during launching.



● Fig. 17 - Fase di varo. Massimo ingombro del sottoponte.
 ● Fig. 17 - Lowering the box beam onto the bearings.

mento sugli apparecchi d'appoggio (Fig. 16). In Fig. 17 è invece possibile vedere l'insieme di carrellone e sottoponte di varo nella sua massima estensione che arriva a 72 m di lunghezza.

5.1 Tolleranze geometriche e rigidità torsionale del cassone

Un altro aspetto interessante di questi manufatti è quello legato alla loro rigidità torsionale ed alle inevitabili imperfezioni di complanarità del piano appoggi. È necessario ricordare che ciascuna trave ha 4 appoggi per un totale di 8 appoggi per campata, così suddivisi: 5 appoggi mobili multidirezionali, 2 appoggi fissi cedevoli ed un appoggio mobile unidirezionale.

Quando il manufatto viene posto in opera, il baricentro dei pesi risulta esterno a quello degli appoggi di 0.265 m; ciò è dovuto allo sbalzo della soletta che, sebbene di peso contenuto, ha un braccio significativo. Gli appoggi esterni risultano quindi maggiormente sollecitati di quelli interni. A seconda poi delle tolleranze di complanarità tra il piano appoggi e quello delle contropiastre di ancoraggio, il manufatto poggerà sostanzialmente su solo 3 dei 4 appoggi. Chiaramente questa situazione ha bisogno di essere corretta in quanto l'appoggio adiacente a quello scarico viene a portare da solo un carico pari al peso di metà trave. Per porvi rimedio la procedura prevede la taratura delle reazioni mediante spessoramento. Questa operazione di spessoramento ha fatto misurare una rigidità pari a circa $K_v = 200 \text{ kN/mm}$ (20 tonnellate di incremento di reazione verticale per ogni millimetro di spessore).

Calcolando a ritroso la rigidità torsionale equivalente per un modello a trave di Saint Venant, tenendo conto che gli appoggi distano 1.7 m, si ottiene un valore pari a $K_{TOR} = 5.8 \cdot 10^5 \text{ kNm rad}^{-1}$ invece di $K_{TOR} = I_t * G / L = 2.9 \cdot 10^6 \text{ kNm rad}^{-1}$, che è il valore che si può facilmente calcolare a partire dall'inerzia torsionale per sezione cava alla Bredt (I_t) ed ipotizzando tutte le altre componenti infinitamente rigide (testate, appoggi, sottostrutture, etc...).

Una rigidità minore ($K_{TOR} = 1.2 \cdot 10^6 \text{ kNm rad}^{-1}$), più prossima a quella misurata, si ottiene con il modello agli Elementi Finiti 3D visto in precedenza. Essendo peraltro questo valore ancora pari al doppio di quello misurato, appare evidente esservi una significativa cedevolezza del sistema degli appoggi e delle sottostrutture, soprattutto in rapporto alla rigidità di questi manufatti.

La tendenza ad un'ineguale distribuzione delle reazioni tra gli appoggi si ripresenta quando l'impalcato è caricato da un solo treno (situazione molto frequente). In questo caso infatti, l'impalcato tende a trasferire parte del carico sul cassone adiacente. L'equilibrio globale viene quindi ristabilito mediante uno spiccato effetto di tira e spingi su ciascuna coppia di appoggi (simile ai

nitely stiff (beam ends, bearings, substructures, etc.)

A lower stiffness ($K_{TOR} = 1.2 \cdot 10^6 \text{ kNm rad}^{-1}$), closer to the measured one, can be got with the 3D finite elements model mentioned above. This value being as yet twice that measured, it appears obvious that there is a significant yielding of the bearings system and of the understructures, especially in relation to the stiffness of these items.

The tendency toward an unequal distribution of the reactions between the bearings appears when the deck is loaded by one train only (a very frequent situation). In this case in fact, the deck tends to transfer a part of the load onto the adjacent box beam. The overall equilibrium is then re-established by a marked pulling and thrusting on each pair of bearings (like the edge moments of an orthotropic slab), which tends to further load the outside side bearing of the loaded box as shown in Fig. 18.

This effect, and in general all those that could lead to an unequal load distribution on the bearings, are in effect mitigated both by the system's intrinsic tendency to yield as shown in the preceding calculations, and by the slow phenomena in the concrete of the beam and its substructures. This despite the fact that the static indeterminacy of the supports system and the torsional stiffness of the box beams anyway demand some attention during design phase and during the installation of these structures.

6. The materials characteristics

The tables below show the amounts and the characteristics of the materials used to build the box beams (Fig. 19).

7. Conclusions

The dual-box-girder deck has shown itself to be among the most efficient solutions for the construction of precast prestressed-concrete viaducts of medium to low span. Its effectiveness can be quantified in terms both of unit materials quantities and of construction and installation facility and speed.

When a strong speedup in the construction of these works was required, owing to construction-yard-phasing and line-access problems, as much as one hundred metres of deck per week has been built, i.e. one girder per day set in place.

Strands sheathing is surely an effective and practical system for keeping down the peak tensile and shear stresses at the anchorages. This aspect forms today, in fact, the limit to a further increase in the performance of these construction items.

The increases in concrete crushing strength and in strand traction strength are not in fact balanced by an equal increase in the concrete's

momenti di bordo di una lastra ortotropa), che tende a caricare ulteriormente l'appoggio esterno dal lato del cassone caricato come mostrato in Fig. 18.

Questo effetto, ed in generale tutti quelli che potrebbero portare ad una ineguale distribuzione di carico sugli appoggi, sono in effetti mitigati sia dalla cedevolezza intrinseca del sistema come dimostrato nei calcoli precedenti, sia per i fenomeni lenti nel calcestruzzo delle travi e delle sottostrutture. Ciò nonostante l'iperstaticità del sistema appoggi e la rigidità torsionale dei cassoni richiedono comunque una certa attenzione in fase di progettazione e messa in opera di queste strutture.

6. Caratteristiche dei materiali

Nelle tabelle seguenti sono riportate quantità e caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione dei manufatti (Fig. 19).

7. Conclusioni

L'impalcato a bicassone si è dimostrato essere tra le soluzioni più efficienti per la realizzazione di viadotti prefabbricati in c.a.p. di luce medio-bassa. La sua efficienza è quantificabile sia in termini d'incidenza dei materiali che di facilità e velocità di realizzazione e messa in opera.

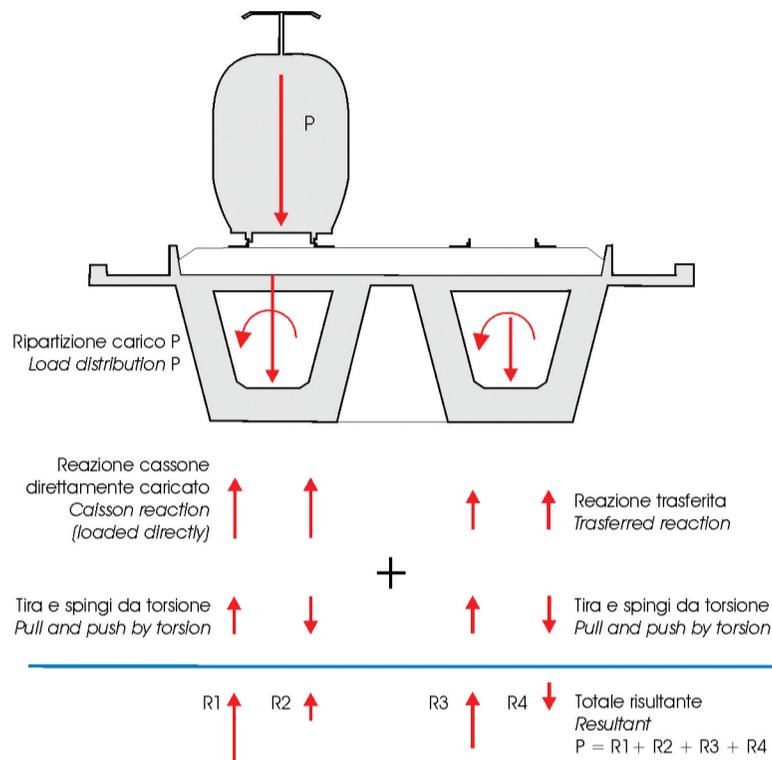
Durante alcuni periodi nei quali è stata richiesta, per problemi di faisizzazione di cantiere ed accesso alla linea, una forte accelerazione nella realizzazione di queste opere, si è arrivati a realizzare circa 100 metri di impalcato a settimana ovvero una trave al giorno in opera.

L'inertizzazione dei trefoli è certamente un sistema efficace e praticabile per il contenimento delle tensioni massime di trazione e taglio agli ancoraggi. Questo aspetto costituisce oggi, di fatto, il limite ad un ulteriore incremento nelle prestazioni di questi manufatti.

L'aumento di resistenza a compressione del calcestruzzo e di resistenza a trazione dei trefoli non è infatti bilanciato da un eguale aumento di tenacità a trazione del conglomerato.

La possibilità di deviare i trefoli con un metodo efficace ed economico che non comprometta la durezza del manufatto dovrebbe essere investigata in quanto si otterrebbe un beneficio molto marcato della resistenza a taglio della trave ed una altrettanto vantaggiosa riduzione delle tensioni di trazione in testata dovute a spreading e spalling.

Gli autori stanno studiando la possibilità di estendere il range di applicazione di queste travi a luci fino a 40 metri.



● Fig. 18 - Reazioni per impalcato con carico dissimmetrico.
 ● Fig. 18 - Deck reactions under dissymmetric loading.



● Fig. 19 - Il viadotto finito a Chivasso.
 ● Fig. 19 - The finished viaduct.

tenacity under traction.

An effective and economic method of deflecting the strands that does not jeopardize beam life must be sought, since a very marked benefit for beam shearing strength would be obtained, along with a quite advantageous reduction in the tensile stresses at the beam ends due to spreading and spalling.

The authors are working now on the possibility of extending the range of application of these beams to lengths up to forty metres.

TABELLA/TABLE 3

Caratteristiche del cls dei cassoni / Box-beam concrete characteristics**Calcestruzzo per strutture in c.a.p. / Concrete for prestressed concrete structures**

Resistenza calcestruzzo/Concrete strength	R_{ck} 50 MPa
Diametro max dell'aggregato/Max. aggregates diameter	D=25mm
Rapporto A/C/W/C ratio	$\leq 0,4$
Classe di consistenza/Consistency class	S5
Resistenza caratteristica al taglio dei trefoli/ Characteristic shear strength of the strands	$R_{ckj} \geq 35$ MPa

TABELLA/TABLE 4

Quantitativi e caratteristiche armatura lenta /Slack steel quantities and characteristics**Armatura lenta/Slack steels**

		Armatura lenta/Slack steels
L = 34.50m	Peso armatura lenta per un bicassone Weight of dual box slack-reinforcings	21559.90 kg
	Volume di cls del singolo bicassone Volume of concrete for a single dual box	181.6 m ³
	Incidenza armatura lenta Weight per unit volume of slack steel	118.7 kg/m ³
	Peso bicassone Dual box weight	460 t
L = 31.50m	Peso armatura lenta per un bicassone Weight of dual box slack-reinforcings	20904.80 kg
	Volume di cls del singolo bicassone Volume of concrete for a single dual box	167.2 m ³
	Incidenza armatura lenta Weight per unit volume of slack steel	125 kg/m ³
	Peso bicassone Dual box weight	420 t

Acciaio per armatura lenta/Slack steel reinforcing

Fe B 44 k controllato (saldabile ai sensi del DM 9 gennaio 1996)
 Plant-inspected Fe B 44 k (weldable as per Ministerial Decree of January 9th 1996)

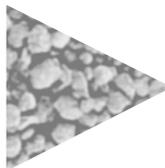
TABELLA/TABLE 5

Caratteristiche pretensione / Prestressing characteristics**Trefoli/Strands**

L=31.50m (120 cavi 0,6") (120 strands 0.6")	24 superiori/24 upper
	48 inferiori inertizzati/48 lower, sheathed
	48 inferiori/48 lower
L=34.50m (144 cavi 0,6") (144 strands 0.6")	24 superiori/24 upper
	48 inferiori inertizzati/48 lower, sheathed
	72 inferiori/72 lower

Acciaio armonico stabilizzato/Stabilized high-strength steel

Tensione caratteristica di rottura Characteristic breaking strength	$f_{ptk} \geq 1900$ MPa
Tensione caratteristica all'1% di deformazione Characteristic stress for 1% strain	$f_{p(1)k} \geq 1650$ MPa



TABELLA/TABLE 6

Quantitativi armatura di precompressione/Prestressing reinforcings quantities

Armatura di precompressione (Valori Sub-tratta Torino-Novara) Prestressing steel (values for Turin-Novara stretch)						
Impalcato/Deck	Armatura/Reinforced	N°	Tipo cavo/Cable type	Lunghezza/Length(m)	Lung. tot./Total length(m)	Peso/Weight
31,50	Pre tesa/Pre-tensioned	120	Trefolo/Strand	30.7	3684	4053 kg/emicassone/half-box
		3x4	4T15	7.46	89.52	
	Post tesa/Post-tensioned	4x4	4T15	8.17	130.72	
		4x6	6T15	9.55	229.2	
		6x7	7T15	8.8	369.6	
		Tot.	-	-	819.0	
34,50	Pre tesa/Pre-tensioned	144	Trefolo/Strand	33.7	4853	5338 kg/emicassone/half-box
		3x4	4T15	7.46	89.52	
	Post tesa/Post-tensioned	4x4	4T15	8.17	130.72	
		4x6	6T15	9.55	229.2	
		6x7	7T15	8.8	369.6	
		Tot.	-	-	819.04	

Bibliografia/References

- Istruzione F.S. N.I/SC/PS-OM/2298 del 13-1-1997 – “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo”.
- De Sortis, A., Nuti, C. and Petrangeli, M. (1998). “Seismic response by pseudodynamic tests of R/C bridges designed to Eurocode 8 and Italian seismic code” *Proc. 11th Eur. Conf. on Earthquake Eng. rg.*, Paris, France.
- Leonhardt F., “C.A. & C.A.P. Calcolo di Progetto & Tecniche Costruttive”
- M.E. n° 92-4 T.O., “Règles Techniques de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Précontraint Suivant la Methode des Etats Limites” – BPEL 91. (1991)
- Comité Euro-International du Béton, “CEB-FIP Model Code 1990”. Thomas Telford (1991)

Riassunto

Il "Sistema Alta Capacità" (AC) comporta uno sviluppo ed un riassetto della rete ferroviaria per far fronte alle accresciute esigenze di traffico e mobilità connesse ai grandi bacini metropolitani (Napoli, Roma, Firenze, Bologna, Milano, Torino, ecc.). La nuova tratta A.C. Torino-Milano, che si sviluppa per 124,5 km, sarà realizzata con la costruzione di due sub-tratte attigue: la Torino-Novara (86,5 km) e la Novara-Milano (38 km). La conformazione pianeggiante del territorio ha permesso al tracciato di svilupparsi per l'80% (circa 100 km) in rilevato, con limitatissimi tratti in trincea; per il 15% (20 km circa) in viadotto e solo per il 5% (5 km circa) in galleria artificiale. Lungo tutta la tratta s'incontrano diverse tipologie di impalcati prefabbricati. In gran parte si tratta d'impalcati realizzati con cassoni in semplice appoggio per ponti e viadotti, ma non manca l'impiego di prefabbricati per la costruzione di gallerie artificiali. Per quanto riguarda gli impalcati prefabbricati a cassone dei viadotti di linea, s'incontrano sostanzialmente 3 diverse tipologie distinte: il monocassone con luci di 20 e 25 metri, il bicassone con luci di 31,5 e 34,5 metri, il quadricassone con luci di 20, 25 e 27 metri. La lunghezza complessiva degli impalcati così realizzati è di 13 km sulla tratta piemontese (Torino-Novara) e sarà di 5 km sulla tratta lombarda (Novara-Milano). Lo scopo della presentazione è di illustrare alcuni degli aspetti teorici e realizzativi dell'impalcato a bicassone. Il bicassone utilizzato sulla tratta Torino-Milano è, ad oggi, il prefabbricato di luce maggiore mai utilizzato sulle linee AC. Questo manufatto è l'evoluzione di quello da 31 m utilizzato sulla tratta Roma-Napoli, e con gli opportuni affinamenti progettuali ed esecutivi, sarà possibile un suo impiego su luci maggiori.

Summary

The HC (high capacity) system involves a development and reorganization of the railway network in order to meet the growing traffic and mobility needs tied to the great metropolitan basins (Naples, Rome, Florence, Bologna, Milan, Turin, etc.). The new Turin-Milan HC, which runs for 124.5 kilometres, will be built with the construction of two butting sub-stretches: the Turin-Novara (86.5 km) and the Novara-Milan (38 km). The territory's predominant levelness enabled 80% of the route to be built on embankment (a hundred kilometres) with very limited stretches in cut; 15% of it was built on viaduct (20 km) and only 5% in cut-and-cover tunnel (5 km). Along all of the line various types of precast decks are used. To a large extent the bridges and viaducts have simply-supported box girders as decks, but precastings are also used in the construction of the cut-and-cover tunnels. Regarding the precast box-girder decks for the line viaducts, three different types are found: the single box, with 20 or 25 meter spans, the dual box with spans of 31.5 or 34.5 metres, and the double-dual box, with spans of 20, 25 or 27 metres. Thirteen kilometres of deck was built thus on the Piedmontese stretch (Turin-Novara) and five kilometres will be built on the Lombard stretch (Novara-Milan). The purpose of the article is to set forth some theoretical and construction aspects of the dual-box deck.

The dual-box used on the Turin-Milan line is, to date, the longest-span precasting ever used on a HC line. This item is the development of the 31-metre one used on the Rome-Naples line, and with suitable design and construction refining, it can be used on longer spans.

Résumé

Le "Système Grande Capacité" (AC) comporte le développement et la réorganisation du réseau ferroviaire, qui sont nécessaires pour faire face aux plus grandes exigences de trafic et de mobilité, liées aux grands bassins métropolitains (Naples, Rome, Florence, Bologna, Milan, Turin etc.). La nouvelle section Grande Capacité Turin-Milano, qui se développe pour un tracé de 124,5 km, sera réalisée à travers la construction de deux sous-sections voisines: la section Turin-Novara (96,5 km) et la section Novara-Milano (38 km). La forme plate du terrain a permis au tracé de se développer pour 80% (environ 100 km) en remblai, avec des tronçons très limités en tranchée; pour 15% (20 km environ) sur un viaduc et exclusivement pour 5% (5 km environ) sous tunnel artificiel. Plusieurs typologies de planchers préfabriqués peuvent être rencontrés le long de tout le tronçon. Pour une grande partie il s'agit de planchers réalisés avec des caissons, qui fournissent un simple appui pour des ponts et des viaducs, mais des éléments préfabriqués pour la construction des tunnels artificiels ont été également utilisés. Pour ce qui est des planchers préfabriqués en caisson des viaducs de ligne, il existe essentiellement trois typologies différentes et bien distinguées: le monocaisson avec des travées de 20 et 25 mètres, le bicaisson avec des travées de 31,5 et 34,5 mètres, le quadricaisson avec des travées de 20, 25 et 27 mètres. La longueur totale des planchers réalisés est de 13 km sur la section piémontaise (Turin-Novara) et elle sera de 5 km sur la section lombarde (Novara-Milano). Le but de cette présentation est notamment celui d'illustrer quelques aspects théoriques et de réalisation du plancher en bicaisson. Le bicaisson, utilisé sur la section Turin-Milano reste aujourd'hui l'élément préfabriqué avec la plus grande travée jamais utilisé sur les ligne Grande Capacité. Cet ouvrage constitue l'évolution de l'ouvrage de 31 mètres, qui avait été utilisé sur la section Rome-Naples et avec les perfectionnements opportuns de projet et d'exécution il sera possible de l'employer pour des travées supérieures.

Zusammenfassung

Das "Hochgeschwindigkeitssystem" bringt die Entwicklung und eine Neuordnung des Eisenbahnnetzes mit sich, um den gestiegenen Anforderungen in Verkehr und Mobilität in Bezug auf die großen Metropolen zu erfüllen (Neapel, Rom, Florenz, Bologna, Mailand, Turin, etc.). Der neue Abschnitt A.C. Turin-Mailand, der 124,5 km lang ist, wird mit dem Bau von zwei daneben liegenden Unterabschnitten ausgeführt: nämlich Turin-Novara (86,5 km) und Novara-Mailand (38 km). Die ebene Struktur des Territoriums hat es der Trasse erlaubt, sich zu 80% (circa 100 km) in der Erhebung mit stark begrenzten Bereich im Einschnitt zu entwickeln; zu 15% (20 km circa) in Form einer Talbrücke und lediglich zu 5% (5 km circa) in einem

künstlichen Tunnel. Entlang des Abschnitts stößt man auf verschiedene Typologien von Decks in Fertigteilen. Zum großen Teil handelt es sich um Decks, die mit Kastenträgern für Brücken und Talbrücken ausgeführt worden sind, es fehlt aber auch nicht der Einsatz von Fertigteilen für den Bau von Tunneln. Was die Decks von Kastenträgern in Fertigteilen für die Talbrücken der Linie angeht, trifft man grundsätzlich auf drei unterschiedliche Typologien: der einfache Kastenträger mit einer Höhe von 20 und 25 m, den Doppelkastenträger mit einer Höhe von 31,5 und 34,5 m, den Viererkastenträger mit einer Höhe von 20, 25 und 27 m. Die Gesamtlänge der so ausgeführten Decks beläuft sich auf der Strecke in Piemont (Turin-Novara) auf 13 km und wird 5 km auf der lombardischen Strecke betragen (Novara-Mailand). Ziel der Präsentation ist es, einige der theoretischen Aspekte aber auch der Ausführung des Decks mit Doppelkastenträger zu erläutern. Der auf der Strecke Turin-Mailand verwendete Doppelkastenträger ist bis heute das Fertigteil mit der größten lichten Höhe, das jemals auf den Linien AC verwendet worden ist. Dieses Fabrikat ist die Weiterentwicklung jenes von 31 m, das auf dem Abschnitt Rom-Neapel verwendet worden ist. Mit den entsprechenden Verfeinerungen in Planung und Ausführung wird sein Einsatz auch in größeren lichten Höhen möglich sein.

Resumen

El "Sistema de Alta Capacidad" (AC) supone un desarrollo y una reorganización de la red de ferrocarriles para satisfacer las mayores exigencias de tráfico y movilidad conectadas con las grandes ciudades (Nápoles, Roma, Florencia, Boloña, Milán, Turín, etc.). El nuevo tramo AC Turín-Milán, que se desarrolla por 124,5 km, se realizará con la construcción de dos sub-tramos cercanos: el Turín-Novara (86,5 km) y el Novara-Milán (38 km). La conformación plana del territorio ha permitido que el trazado se desarrollara por el 80% (unos 100 km) en superficie, con tramos muy limitados en trinchera; por el 15% (unos 20 km) en viaducto y sólo por el 5% (unos 5 km) en túnel artificial. A lo largo de todo el tramo se encuentran distintos tipos de tableros prefabricados. En gran parte se trata de tableros realizados con cajas simplemente apoyadas para puentes y viaductos, pero también se han empleado elementos prefabricados para la construcción de túneles artificiales. Por lo que se refiere a los tableros prefabricados de caja de los viaductos de la línea, se encuentran esencialmente 3 tipologías distintas: el monocaja con luces de 20 y 25 metros, el bicaja con luces de 31,5 y 34,5 metros, y el quadricaja con luces de 20, 25 y 27 metros. La longitud total de los tableros realizados de esta manera es de 13 km en el tramo piamentés (Turín-Novara) y será de 5 km en el tramo lombardo (Novara-Milán). El fin de la presentación es ilustrar algunos de los aspectos teóricos y prácticos de la realización del tablero bicaja. El bicaja utilizado en el tramo Turín-Milán es actualmente el prefabricado de mayor luz nunca utilizado en las líneas AC. Este tablero es la evolución del de 31 m utilizado en el tramo Roma-Nápoles, y perfeccionando de manera adecuada su proyecto y ejecución, se podrá emplear en luces mayores.