

**NUOVA A58, TANGENZIALE EST ESTERNA DI MILANO  
PROGETTAZIONE E MONTAGGIO DEI VIADOTTI LAMBRO**

**NEW A58 MOTORWAY, “TANGENZIALE EST ESTERNA” OF  
MILAN –DESIGN AND ASSEMBLING OF LAMBRO VIADUCTS**

Prof. Ing. Pierangelo Pistoletti  
Ing. Paolo Maestrelli  
Ing. Marcello Vaccarezza  
SETECO Ingegneria S.r.l.  
Genova, Italia  
ufficiotecnico@setecoge.it

Ing. Marco Sciarra  
Ing. Andrea Danelon  
Cimolai S.p.a.  
Via Ungaresca 38 – 33170  
Pordenone, Italia  
info@cimolai.com

**ABSTRACT**

This paper presents the design and mounting of "Viaducts Lambro" realized near Melegnano, during the construction of the new A58 motorway, "Tangenziale Est Esterna" of Milan. The total length of the bridge reached 3,500 meters and weighs 22,300 tons. The most significant structures are the two twin viaducts that cross the high-speed rail line and the river Lambro. These bridges have section width of 21 m and 460 m length each, made with four spans. The two central spans, 160x160 m length, leaning on large piles in the shape of V. The decks are advanced features, both from the point of view of structural solutions for mounting systems that have been used. The most significant aspect is the launch made share of the two main decks, with cantilevered thrusts of about 100, over the lines RFI / AV. Will therefore be described below, both the description of the infrastructure, that the design choices and mounting systems.

**SOMMARIO**

Nella presente memoria viene descritto il progetto di esecutivo, costruttivo e di montaggio dei "Viadotti Lambro", realizzati nei pressi di Melegnano, nell'ambito dei lavori per la nuova Tangenziale Est esterna di Milano. La lunghezza totale degli impalcati raggiunge i 3500 m, per un peso complessivo di 22300 ton. Le opere più significative sono i due viadotti gemelli che scavalcano la linea ferroviaria ad alta velocità e il fiume Lambro. Si tratta di impalcati di larghezza 21 m ciascuno, su quattro campate, di cui le due centrali, 160+160 metri, poggiano su grandi pile a ca-

valletto. Gli impalcati presentano caratteristiche all'avanguardia, sia dal punto di vista delle soluzioni strutturali che per i sistemi di montaggio che sono stati utilizzati.

L'aspetto più significativo è il varo realizzato in quota dei due impalcati principali, con sbalzi di circa 100, sopra le linee RFI/AV. Verranno dunque di seguito riportati, sia la descrizione dell'infrastruttura, che le scelte progettuali e i sistemi di montaggio.

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 La TEEM, autostrada A58.

Il 16 maggio 2015 è stata inaugurata la nuova autostrada Tangenziale Est Esterna di Milano, denominata A58. Questa nuova bretella è lunga 32 chilometri e collega la A4 ad Agrate con la A1 all'altezza di Melegnano. La A58 intercetta inoltre la bretella BreBeMi e le due nuove superstrade Paulese e Cassanese per il collegamento con l'anello interno delle tangenziali e il centro di Milano.



Fig. 1. La nuova Tangenziale Est Esterna di Milano, A58 - Melegnano

### 1.2 Lo snodo di Melegnano e i viadotti Lambro

All'interno dell'autostrada A58 sono stati realizzati diversi impalcati, ma i più significativi sono senza dubbio quelli a ridosso dello svincolo su A1, nella zona di Melegnano. In questo tratto, denominato lotto C, sotto la direzione dell'impresa esecutrice Lambro S.c.a.r.l., sono stati realizzati ben 3.5 km di viadotti autostradali, comprese le rampe di svincolo, per un totale di circa 22300 t di acciaio autopatinabile (tipo "corten"). A questi si devono aggiungere anche 5 cavalcavia realizzati lungo la tratta, per un peso complessivo di acciaio pari a 990 t. Elemento caratterizzante di queste strutture sono le pile a cavalletto che sostengono gli impalcati principali nella zona di scavalco tra la linea RFI e il fiume Lambro. Si tratta di imponenti strutture a cassone, composte da un appoggio centrale con due "braccia" disposte a V, con sviluppo di 44 m ciascuna. Le pile sono realizzate completamente in acciaio non autopatinabile verniciato e pesano circa 1100 t ciascuna. L'intervento nella zona di Melegnano, comprende anche diversi impalcati, realizzati tra le opere di adeguamento della viabilità provinciale. Nel dettaglio sono già stati costruiti e aperti alla circolazione due viadotti (lunghezza complessiva 360 m per 1600 t), e sono in corso di realizzazione altre due opere molto significative, il viadotto IVN01 (lunghezza 850 m per 4350 ton di acciaio) e il viadotto IVT01, detto della "Binaschina" (lunghezza 580 m per 2650 ton di acciaio). Anche questi due impalcati sono previsti in acciaio tipo "Corten" e dotati di pile a cavalletto in acciaio verniciato.



**Fig. 2.** Vista degli impalcati maggiori e delle pile a cavalletto

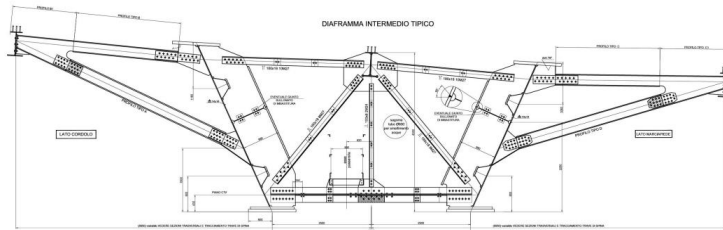
### 1.3 Il tracciato e la sezione stradale

Il tracciato dell'A58 nella zona di Melegnano, è caratterizzato da una prima parte in curva, in cui la sede autostradale sale sugli impalcati metallici per scavalcare nell'ordine, la linea RFI storica, la linea Alta Velocità e il fiume Lambro. Le strutture sono identificate con la denominazione VI004 per la via direzione sud, a sinistra, e VI005 per la via direzione nord, a destra. Nella seconda parte il tracciato si dirama per realizzare gli svincoli sull'autostrada A1 e predisporre i collegamenti con la futura TOEM, Tangenziale Ovest Esterna di Milano. Questa parte finale è realizzata mediante impalcati "minori", che portano le diverse corsie agli innesti con la viabilità esistente. La carreggiata autostradale portata dagli impalcati metallici è decisamente importante, comprendendo 3 corsie più l'emergenza per ciascun senso di marcia. Le due piattaforme sono larghe circa 21 m ciascuna e corrono parallele dalla spalla 2 fino alla pila 10. In curva le due sezioni ruotano su assi indipendenti per evitare un'eccessiva sopraelevazione del ciglio esterno. Arrivati su P10 il viadotto VI005 si allarga, fino a raggiungere i 32 m, per accogliere il futuro accesso dalla TOEM e la rampa di accesso dalla A1. Quest'ultima è realizzata con un impalcato di larghezza ridotta, che si biforca per realizzare l'accesso dall'A1, sia in direzione Milano che Bologna. Sempre da pila P10, il viadotto VI004 prosegue a larghezza costante fino ad incrociare l'A1. Prima di superare l'autostrada, si dirama nella rampa di svincolo in direzione Milano e, raggiunta la spalla 1 scende fino a raccordarsi nella direzione Bologna.

## 2 LA SOLUZIONE PROGETTUALE

Gli impalcati nel nodo di svincolo di Melegnano sono stati progettati in sezione mista acciaio-calcestruzzo torsiorigida a cassone aperto con remi esterni. La sezione torsiorigida si è resa necessaria per il tracciato curvilineo, i remi per le piattaforme di larghezza elevata, il fondo aperto, con controventatura inferiore invece di una lamiera continua, per garantire la massima durabilità delle strutture e facilità di ispezione e manutenzione. Gli impalcati sono stati suddivisi in diverse tratte, in funzione delle luci di campata e della larghezza della piattaforma stradale. Ogni tratta ha schema statico longitudinale di trave continua e si collega alle adiacenti mediante selle Gerber in pros-

simità delle pile. In base all'ingombro della sezione strutturale gli impalcati possono essere suddivisi in due "famiglie": gli impalcati bassi, con altezza media di trave pari a 2.7 m, su luci massime di 72 m, e gli impalcati alti, con altezza media di trave pari a 4 m, su luci fino a 120 m. Le sezioni, nei tratti principali, sono tutte a 2 travi principali ad anima inclinata, poste ad interasse inferiore pari a 5m e realizzate a doppio T composto saldato. In particolare, nelle sezioni da 4 metri, vista la notevole altezza della sezione delle travi principali sono previsti giunti longitudinali d'anima. Completano la travata metallica tre travi di spina, tutte di altezza pari a 60 cm ed in schema statico di travi continue sui diaframmi nel tratto di scavalco ferroviario e di semplice appoggio al di fuori di esso. Una di esse è disposta tra le due travi principali, a distanza 4.30 m da esse, le rimanenti due travi di spina servono a limitare la luce dello sbalzo di soletta e sono pertanto posizionate sul lato esterno delle travi principali, sostenute da remi trasversali composti da profili sagomati e collegati alle travi principali.



**Fig. 3.** Sezione tipologica impalcato

I remi, e dunque i diaframmi interni dell'impalcato, hanno interasse costante in tutte le campate, pari a circa 6.7 m. Tale regolarità viene interrotta solo in corrispondenza delle pile e delle selle, dove l'interasse si riduce. Nelle zone di allargamento si inserisce una terza trave ed alcune travi di spina interne aggiuntive. La soletta in c.a. è stata gettata su predalles metalliche, realizzate con lamiera spessore 6mm e tralici prefabbricati, posate trasversalmente tra le travi principali e le travi di spina, con due sbalzi esterni. Si tratta di una soletta di spessore 20 cm che, nella sezione tipica, è armata in entrambe le direzioni principali solo a livello superiore, poiché a lembo inferiore la lamiera delle coppelle è considerata collaborante. Il sistema di vincolo è differente per gli impalcato che scavalcano le linee RFI e devono dunque sottostare a prescrizioni particolari. Mentre per la maggior parte delle strutture gli appoggi sono di tipo standard con l'aggiunta di cilindri esterni "shock transmitters" in grado di dissipare le sollecitazioni impulsive dovute all'azione sismica di progetto, nella zona di competenza RFI sono stati invece utilizzati appoggi unidirezionali e multi-direzionali a calotta sferica della serie "Sferopol" dielettrici. Le finiture e gli arredi comprendono barriere New Jersey con guard rail H4 integrato sul lato interno degli impalcato e un marciapiede con guardrail H4 e barriera di protezione sull'esterno. Gli impianti tecnici passano tutti all'interno di una "vasca" tecnologica all'interno dei marciapiedi, mentre rimane all'interno della sezione di impalcato la condotta principale dell'impianto di smaltimento acque. L'ispezionabilità interna alla sezione strutturale è garantita da una passerella continua sugli impalcato di scavalco della linea RFI e del fiume Lambro. Tutte le altre tratte sono accessibili dal basso con gru a cesta sfruttando uno stradello per la manutenzione realizzato ad hoc.

## 2.1 Gli impalcato maggiori, nella zona di scavalco linea RFI.

Gli impalcato sulle luci maggiori sono, sia dal punto di vista tecnico che realizzativo, sicuramente i più significativi. Si evidenziano nel seguito alcune caratteristiche peculiari di queste strutture. Innanzitutto la sezione trasversale. In questi impalcato i remi esterni sono stati mantenuti estetici-

camente identici a quelli lungo il resto degli impalcati ma, data l'altezza maggiore delle travi principali, risultano appoggiati circa a 2/3 dell'altezza dell'anima. In questo caso, il carico dei remi sulle anime, è stato ripreso e trasferito attraverso gli irrigidenti interni della struttura dimensionati per essere adeguatamente flessio-rigidi. Altro aspetto significativo è legato alle selle Gerber, un dettaglio molto complesso che garantisce l'appoggio agli impalcati adiacenti. All'estremità degli impalcati sono stati infatti realizzati dei "nasi" di appoggio con diaframmi speciali a doppia anima, sui quali sono installati gli apparecchi di appoggio degli impalcati adiacenti. Questo dettaglio è stato poi replicato in scala ridotta anche sulle altre tratte.



**Fig. 4.** Vista di una sella Gerber, zona P16

Particolare è anche la campata di scavalco delle linee ferroviarie "Alta Velocità" e storica. L'attraversamento ha richiesto di realizzare le campate di scavalco, seguendo criteri di progettazione e costruzione specifici, in accordo alle relative istruzioni dell'Ente Gestore RFI. Ricordiamo tra gli altri le limitazioni sulla deformabilità delle travi principali per i carichi accidentali che si limitano a  $L/700$ , anziché l'usuale  $L/500$ , lo schema statico delle travi di spina realizzato come trave continua sugli appoggi offerti dai diaframmi intermedi, invece che travi in semplice appoggio, come previsto invece nelle altre tratte, lo schema di calcolo infine delle solette in c.a., per le quali le lamiera delle coppelle non sono state considerate collaboranti e dunque è stata inserita un'armatura inferiore sia in direzione longitudinale che trasversale. Caratteristica peculiare di questi impalcati sono infine senza dubbio le pile a cavalletto, studiate per sostenere la struttura in una zona in cui lo spazio a terra non sarebbe stato sufficiente a disporre le classiche pile in c.a.

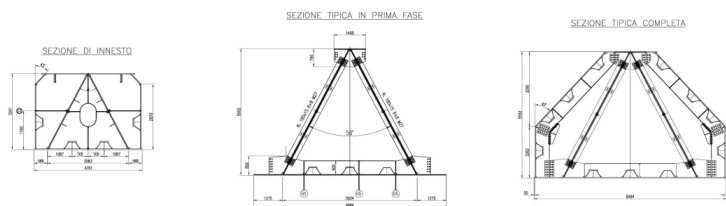
## 2.2 Le pile a Cavalletto

Il tracciato dei viadotti VI004 e VI005 è intersecato, con direzioni diverse, dal fiume Lambro e dalle linee RFI. Tale incrocio determina uno spazio troppo ridotto per consentire la disposizione di più di una fondazione per il sostegno della struttura. In questo modo però si sarebbero ottenute due campate di oltre 160 ciascuna, una per l'attraversamento del fiume Lambro ed una per l'attraversamento della linea ferroviaria. La soluzione tecnica studiata, che poi ha dato il carattere distintivo a tutta la tratta, è stata quella di realizzare invece una pila a cavalletto per ciascuna carreggiata, poggiata sull'unica fondazione realizzabile ma, con la conformazione a V molto aperta, capace di fornire al viadotto due appoggi a interasse 80 m, modificando quindi le due luci di 160 m in tre luci rispettivamente di 120, 80, 120 m.



**Fig. 5.** I cavalletti nelle ultime fasi costruttive

Si tratta di strutture incastrate su un unico plinto di dimensioni eccezionali, 33 m per 24 m, fondato con 68 pali di diametro 1.5 m, lunghi 25 m ciascuno. Ciascun concio di base ha una superficie di contatto pari a 140 m<sup>2</sup> ed è ancorato con 168 tirafondi M36 cl. 10.9 e quattro tacchi di taglio. Dal concio di base si diramano due braccia lunghe circa 40 m ciascuna con sezione di partenza esagonale irregolare che si rastrema salendo fino ad incontrare il fondo dell'impalcato con una sezione rettangolare.



**Fig. 6.** Sezioni strutturali cavalletto

La sezione di progetto dei cavalletti è abbastanza complessa. E' stata studiata una soluzione molto particolare per soddisfare sia le esigenze statiche che quelle di montaggio. Il cavalletto ha infatti due strutture portanti collaboranti, concentriche, che sono state realizzate in due fasi differenti. La prima è una trave reticolare centrale che comprende il fondo e la lamiera superiore del cavalletto, collegate da due pareti interne, così da realizzare una sezione triangolare. Questa struttura costituisce innanzitutto l'ossatura su cui costruire il cavalletto. La trave reticolare è infatti in grado di portare il suo peso e quello dell'intero impalcato, prima del getto della soletta. La seconda parte, che completa le braccia del cavalletto, è quella del rivestimento strutturale esterno. Si tratta delle lamiere di completamento della sezione, che, una volta installate, collaborano in parallelo con la travatura reticolare per sostenere i carichi di progetto agenti da quella fase in poi ( getto della soletta, permanenti portati, carichi da traffico ecc.). Grazie a questa soluzione, ciascun braccio del cavalletto è stato premontato a terra, sollevato e collegato al concio di base nella sola configurazione reticolare. Successivamente sono state posate, fermate con giunti bullonati provvisori e saldate le lamiere esterne. Quest'ultima fase di predisposizione e saldatura delle lamiere esterne si è potuta prevedere in sovrapposizione con le fasi di appoggio dell'impalcato al cavalletto, grazie alla presenza della struttura reticolare. Nella zona di innesto con l'impalcato, l'incastro è realizzato mediante saldatura a piena penetrazione del cavalletto al fondo, che in questa zona è chiuso. All'interno del ponte sono stati predisposti adeguati diaframmi aggiuntivi per garantire la conti-

nuità strutturale. La struttura è poi completata da un camminamento interno che consente, partendo dalla base delle due braccia, di raggiungere il cassone dell'impalcato e successivamente percorrerlo per tutta la sua lunghezza.

### 3 LE FASI DI MONTAGGIO

Il montaggio degli impalcati della TEEM, nella zona di Melegnano è stato realizzato in tempi molto ridotti, procedendo su diversi fronti contemporaneamente. Una buona parte delle strutture, dove era consentito dall'orografia e dalle luci tra le opere civili, è stata montata mediante sollevamento da terra con autogru di grande portata. I cassoni sono stati dunque pre-assemblati a terra e sollevati, utilizzando appoggi intermedi provvisori in prossimità delle selle Gerber.



**Fig. 7.** Sollevamento in notturna degli impalcati di scavalco A1

Sempre con lo stesso principio, ma con una procedura più complessa, sono state montate le due campate di scavalco sull'autostrada A1. In questo caso i cassoni, premontati a terra, sono stati spostati sulla carreggiata autostradale, durante una notte di chiusura al traffico, mediante carrelloni motorizzati e, una volta disposti a ridosso delle zone di appoggio, sono stati sollevati in quota. La parte più spettacolare del montaggio è stata senz'altro quella che, date le condizioni al contorno, è stata prevista e realizzata per gli impalcati di scavalco della linea RFI. Tali struttura sono state infatti varate di punta alla quota delle pile in c.a.. Per eseguire questa delicatissima operazione è stato predisposto un campo di varo sopraelevato a circa 20 m dal piano campagna, sfruttando tutte le pile esistenti e alcune pile provvisorie aggiuntive. Nella zona a destra della linea ferroviaria le travate metalliche sono state preassiate a terra in macroconci, circa 30/35 m, l'avambecco è stato costruito per intero e poi, macroconci ed avambecco sono stati sollevati a quota di varo posizionandoli sulle rulliere di scivolamento. L'insieme avambecco e impalcato, lungo 210 m e pesante 2400 ton, è stato spinto mediante argani di grande portata, oltre le linee ferroviarie, superando uno sbalzo massimo pari a 90 m. Questa operazione è stata eseguita sempre in notturna, sfruttando le ore di assenza di traffico sulle linee RFI. Ovviamente la stessa procedura è stata eseguita due volte, prima per la via nord e poi per la via sud.

Al termine del varo gli impalcati sono arrivati a ridosso dei cavalletti, ancora in fase di montaggio. Le porzioni restanti di impalcato sono state sollevate per macroconci e posate su pile provvi-

sorie disposte attorno alle braccia delle forcelle. A questo punto è iniziata la delicata fase di calaggio dell'impalcato sui cavalletti. Le strutture sono state affiancate sfruttando gli appoggi offerti dalle pile provvisorie e, una volta in posizione sono state realizzate le saldature. Successivamente, è stato eseguito il sollevamento dei conci della campata di scavalco sopra il fiume Lambro, operando con gru di grande portata dalle sponde opposte.



**Fig. 8.** Vista del “treno di varo” con il sistema di spinta in quota

#### **4 TERMINE DEI LAVORI E COLLAUDO**

Tutte le opere sono state completate e collaudate tra il 10 febbraio e il 17 aprile 2015. Il 16 maggio 2015 la TEEM è stata aperta al traffico.

#### **5. I VIADOTTI LAMBRO: DATI SIGNIFICATIVI**

Sviluppo complessivo:	3500 m
Larghezza d'impalcati:	12 - 22 m
Peso Carpenteria Metallica:	≅ 22300 ton (impalcati) + 2200 ton (pile a cavalletto)

Ente Appaltante:	TE – Tangenziale Esterna S.p.A.
Committente:	Lambro S.c.a.r.l.
Costruzione e montaggio carpenteria metallica:	Cimolai S.p.A.
Progetto generale:	SINA S.p.A.
Progettazione esecutiva:	SETECO Ingegneria S.r.l.
Progettazione costruttiva e di montaggio:	SETECO Ingegneria S.r.l.

#### **6 PAROLE CHIAVE**

Tangenziale esterna, sezione mista, montaggio, varo, acciaio, gru, grande luce, cavalletto, forcella.