

# La passerella pedonale e per bici a Meylan (Francia)

## (The Meylan pedestrian bridge (France))

La città di Meylan è separata dal centro urbano di Grenoble dal fiume Isère e tutti i collegamenti devono passare o per il ponte di Sablons o per il ponte della Nazionale 90 riservato alla circolazione automobilistica, con percorsi di almeno 4,5 km, contro una distanza in linea d'aria di circa 1,4 km.

Essendo questo percorso piuttosto lungo per i ciclisti, ma soprattutto per i pedoni, la città di Meylan e la Direzione Dipartimentale delle Infrastrutture dell'Isère hanno programmato di costruire un collegamento diretto, riservato a pedoni e ciclisti, tra la città di Meylan ed il centro urbano di Grenoble, attraverso il campo universitario che costeggia l'Isère.

La difficoltà maggiore del collegamento è rappresentata dall'attraversamento dell'Isère, che ha una larghezza di circa 70 m.

Il progetto dell'Amministrazione prevedeva un ponte a due luci con pila centrale in alveo, ma, al momento dell'offerta, l'impresa appaltatrice ha presentato una soluzione in variante costituita da una passerella strallata a tre luci, con appoggi sulle rive, e travata centrale di 79 m in calcestruzzo leggero, messa in opera per rotazione, evitando ogni lavoro in alveo e la costruzione per conci a sbalzo.

La soluzione strallata è stata adottata per non dover costruire una trave a cassone molto alta, mantenendo così una livelletta più bassa per il collegamento e conseguendo un risultato estetico più favorevole.

Tenuto conto del carattere eccezionale della variante proposta, la Direzione Dipartimentale delle Infrastrutture dell'Isère, ha chiesto alla S.E.T.R.A. di assicurare l'assistenza tecnica al Direttore dei Lavori per la messa a punto della soluzione e per il controllo durante la costruzione.

Il progetto di variante è stato quindi riesaminato dalla S.E.T.R.A. e dall'impresa per migliorarlo e limitare i rischi della costruzione.

Sono stati modificati e migliorati molti elementi come gli stralli, le fondazioni, dettagli vari del cassone e delle spalle.

E' stata effettuata una dettagliata analisi dinamica ed è stato curato e discusso molto l'aspetto estetico dell'opera.

## 1.0 - Caratteristiche del progetto

### 1.1 - Descrizioni dell'opera

L'opera è una trave continua a tre luci, simmetrica rispetto alla mezzera della luce centrale, incastrata nei piloni e nelle spalle, con stralli a ventaglio per la travata centrale e stralli paralleli e concentrati per le travate laterali.

La sua lunghezza totale è di 125,70 m.

La luce della travata centrale è di 79,00 m di cui 68,80 m sono stati realizzati in calcestruzzo leggero.

La luce delle campate laterali tra gli assi degli appoggi è di 20,20 m.

Pile e spalle sono incastrate rigidamente sulla riva sinistra, mentre sulla riva destra, le pile sono incastrate elasticamente e le spalle sono semplicemente appoggiate.

L'impalcato è una trave-cassone di forma triangolare di 6,70 m di larghezza totale, con un'altezza costante di 1,50 m, pari ad una snellezza di 1/53.

In vicinanza dei piloni, la sezione aumenta di spessore, e diventa piena per tutta la larghezza del pilone.

Su una lunghezza di 1,50 m in prossimità delle spalle la sezione non comporta più la cavità interna. In più la trave-cassone ha dei trasversi nella campata centrale a livello di ciascun ancoraggio degli stralli.

La sezione trasversale è costituita da una piastra superiore e da due anime inclinate a 51 gradi sulla verticale e convergenti fino a formare un nodo inferiore.

La soletta superiore ha uno spessore variabile da 17,8 cm a 24,7 cm.

Il suo estradosso comporta, in senso trasversale, lo stesso profilo spiovente inclinato al 3% come la carreggiata.

La sua resistenza nei confronti della flessione locale è assicurata per mezzo dell'armatura ordinaria del cemento armato.

Le anime hanno uno spessore di 20 cm e sono raccordate alla soletta superiore con degli smussi.

Esse si riuniscono per formare il nodo inferiore di 50 cm di spessore, costituendo un intradosso di 60 cm di larghezza.

Questi elementi delimitano, nella zona centrale, una cavità di forma trapezoidale di 0,80 m d'altezza, le cui basi hanno dimensioni di 2,20 m e 0,86 m.

#### **a) Campata principale**

La parte centrale della campata principale è realizzata in calcestruzzo leggero.

Solamente i primi quattro metri a partire dalle pile sono realizzati in calcestruzzo ordinario.

In effetti, la vicinanza dell'incastro dell'impalcato al pilone è una zona in cui gli sforzi sono massimi e dove l'incidenza del peso è molto piccola, quindi dove un materiale di prestazione superiore, anche se è più pesante, è preferibile.

#### **b) Campate laterali**

Le campate laterali sono incastrate, da una parte nella pila, e dall'altra nelle spalle contrappeso.

La loro lunghezza reale è di 15,65 m tra le sezioni di incastro.

Sono prolungate nella piastra superiore delle spalle portando la loro lunghezza totale dall'asse del pilone a 24,35 m.

L'insieme delle campate laterali è realizzato in calcestruzzo ordinario.

### **1.2 - Condizioni di appoggio**

Allo scopo di limitare l'ampiezza delle vibrazioni della struttura, è stato deciso di incastrare l'opera sulle sue fondazioni lato riva sinistra.

Come il collegamento sulle pile è assicurato per mezzo dell'incastro tra il plinto e la base della pila, così il collegamento sulla spalla è assicurato con un getto di chiusura tra i pali ed il cassone di contrappeso, il tutto naturalmente dopo il completamento delle operazioni di rotazione dei due semi-impalcati.

Sulla riva destra, la pila riposa nel suo plinto con l'interposizione di due file di due apparecchi di appoggio in neoprene armato di  $(550 \times 550) \times 9 (12 + 3)$  millimetri, assicuranti un incastro elastico della pila.

La spalla contrappeso si appoggia semplicemente sulla sua fondazione con l'interposizione di una linea unica di due apparecchi di appoggio in neoprene armato da  $(500 \times 500) \times 8 (12 + 3)$  millimetri.

### **1.3 - Pile**

Ciascuna pila è fondata su quattro pali da 1,00 m di diametro, trivellati con tubo-forma provvisorio, che possono lavorare fino a 50 bar sulla riva destra e 40 bar sulla riva sinistra, in funzione delle caratteristiche del terreno.

Questi pali hanno, sulla riva destra, una lunghezza di 18,80 m e sono attestati in ghiaie sabbiose grigie.

Sulla riva sinistra, hanno una lunghezza di 20,80 m e sono attestati in sabbie grigie leggermente limose.

Sono collegati in sommità da un plinto di ripartizione a pianta quadrata di 4,60 m di lato e 1,22 m di spessore, del quale occupano gli angoli.

### **1.4 - I Piloni**

I piloni sono a forma di Y rovesciata. Prendono appoggio sulle pile, da una parte e dall'altra delle vie di circolazione dell'impalcato, lasciando così un'apertura di 6,30 m.

I due montanti inclinati hanno una sezione rettangolare di 0,65 m di spessore, mentre la larghezza varia linearmente da 2,00 m nella parte bassa a 1,68 m al raccordo con la testa del pilone.

Questi due montanti si riuniscono per formare una testa unica di 2,00 m di spessore costante, mentre la larghezza varia linearmente da 1,68 a 1,60 m in sommità al pilone.

La sommità del pilone è sormontata da quattro elementi architettonici a forma di cuneo.

La resistenza dei piloni è assicurata da armature ordinarie di cemento armato.

La forza di allontanamento, dovuta all'apertura dei montanti inclinati, è ripresa in sommità della pila da 6 barre Dywidag a  $\Theta$  32.

### **1.5 - Spalle**

Le spalle sono delle scatole parallelepipedo in calcestruzzo armato di dimensioni in pianta di 6,70 x 6,70 m ed hanno il ruolo di contrappesi.

Ogni spalla è suddivisa da tre setti longitudinali che delimitano due compartimenti, riempiti di tout-venant, costituente zavorra.

Tutto il carico rappresentato dalla pila (peso proprio e zavorra di riempimento) è sospeso per mezzo delle armature ordinarie del cemento armato alla parte superiore del setto centrale.

La spalla in riva destra poggia su due pali di 0,80 m di diametro, posizionati in vicinanza dei setti laterali, ed è contornata con un gioco di 10 cm da una protezione in cemento armato collegata ai pali che, allo stesso tempo assicura il sostegno dei rilevati di accesso, permette l'attacco della scala destinata ai pedoni e lascia spazio per un cunicolo di controllo con pozzetto di ispezione degli appoggi in neoprene che sono posti tra i due pali e la pila di contrappeso.

La spalla in riva sinistra è incastrata su tre pali da 0,80 m di diametro disposti a triangolo, il primo sotto il setto centrale nel davanti del cassone, gli altri due in vicinanza dei setti laterali dietro l'asse trasversale del cassone.

Per recuperare il dislivello tra la faccia inferiore del cassone di spalla in riva sinistra ed il trasverso, è stato messo in opera un elemento di piastra prefabbricata in fondo alla cassaforma del cassone nel mezzo del setto centrale.

E' sotto questo elemento, reso solidale con un getto all'insieme della spalla, che è stato installato il dispositivo di appoggio che ha permesso la rotazione di ciascuna semi-costruzione (rotazione continua).

Per la spalla in riva destra la posizione della trave trasversale in sommità ai pali ha per messo di evitare la piastra.

La piastra inferiore di ciascuna spalla è nervata trasversalmente, su tutta la lunghezza, da una trave collegante i punti di appoggio del cassone sui suoi pali laterali.

La piastra superiore delle spalle assicura in proseguimento all'impalcato, la circolazione delle biciclette dei pedoni.

### **1.6 - Stralli**

La strallatura è costituita da cavi di precompressione, costituiti da 12 o 19 trefoli, con ancoraggi del tipo Freyssinet a cunei, tipo V.

La strallatura della costruzione può essere suddivisa in due famiglie:

- gli stralli della campata principale;
- gli stralli delle campate laterali.

#### **a) Campata principale: stralli anteriori**

Questi stralli, in numero di 6 per pilone, sono in prima approssimazione rettilinei.

Si ancorano nella parte posteriore della testata del pilone e sul nodo inferiore dell'impalcato, costituendo una rete assiale in rapporto alla costruzione.

Per ciascuna metà, la rete di 6 cavi è costituita da cinque cavi 12 T 15 ed un cavo 19 T 15 (lo strallo più lungo).

La pendenza media degli stralli varia da 0,53 a 1,67.

In realtà, il tracciato degli stralli non è rettilineo.

In effetti, sotto il peso proprio, lo strallo si deforma secondo una catenaria tra i punti di entrata nel calcestruzzo.

Ciò porta ad orientare le guaine rigide degli stralli, secondo le tangenti alla catenaria nei punti di entrata.

#### **b) Campate laterali: stralli posteriori**

Gli stralli posteriori, 4 per ogni pilone, sono ancorati nella parte alta sul davanti del pilone, due su ciascun lato del piano degli stralli anteriori, e restano paralleli descrivendo una catenaria tra i loro punti di uscita dalla sommità dell'antenna ed il loro punto di entrata nella spalla contrappeso.

Nel setto centrale del cassone-spalla, si separano in altezza descrivendo degli archi di cerchio e sono riportati nel piano di simmetria dell'opera fino ad ottenere una fila unica di ancoraggi sovrapposti sul muro posteriore della spalla.

Questi cavi sono inclinati secondo una tangente media di 1,05.

Le guaine rigide che convogliano gli stralli all'interno del calcestruzzo sono state spalmate con un rivestimento bituminoso in modo da eliminare l'aderenza acciaio-calcestruzzo.

Questo procedimento è stato adottato per permettere l'eventuale sostituzione di uno strallo.

Nello stesso spirito gli stralli anteriori hanno un tracciato rettilineo nel calcestruzzo e quelli posteriori hanno un tracciato rettilineo in sommità al pilone e circolare nel setto centrale della spalla.

Nella sezione corrente gli stralli sono rivestiti da una guaina di polietilene ad alta densità.

In vicinanza dell'entrata degli stralli nel calcestruzzo, questa guaina è sostituita da un tubo di acciaio rigido, chiamato tubo di transizione, il cui spessore aumenta gradualmente fino al punto di contatto con il calcestruzzo.

L'insieme della guaina protettiva così realizzata viene alla fine iniettata.

Non è stato possibile utilizzare una malta classica a base di cemento.

L'altezza di malta da mettere in pressione nella guaina avrebbe in effetti provocato la rapida apparizione di un trasudo, che avrebbe condotto ad una segregazione dei componenti ed alla formazione di ostruzioni in caso di iniezione, rendendo così ipotetica la protezione degli stralli.

Si è quindi impiegata una malta al methocel, composto tixotropico della cellulosa, che forma un gel che elimina il rischio di separazione tra l'acqua e gli altri elementi del composto.

Si assicura così, malgrado l'altezza delle colonne di malta, una perfetta regolarità dei parametri di iniezione e quindi una protezione efficace degli stralli.

### **1.7 - Dispositivi di smorzamento**

Per assicurare lo smorzamento delle vibrazioni alle quali sono sotto posti gli stralli sotto l'azione del vento, è stato necessario inserire nella struttura dei dispositivi specifici.

Ciascuno strallo è stato dotato di un dispositivo di smorzamento delle vibrazioni, posizionato a livello dell'ancoraggio inferiore dello strallo nell'impalcato.

### **1.8 - Precompresso**

A parte gli stralli, che costituiscono una precompressione esterna all'impalcato, si possono distinguere nella struttura tre tipi di cavi:

1) - I cavi correnti I e II: sono quattro cavi 12 T 15 Freyssinet, messi in opera prima della rotazione su ciascuna metà della struttura, che si ancorano al muro posteriore delle spalle ed alla sezione di chiave della struttura.

- I due cavi I si trovano nella soletta superiore e sono ancorati in mezzeria negli smussi di collegamento anima-soletta.
- I due cavi II si trovano nel nodo inferiore e lì sono ancorati in mezzeria.

2) - I cavi di solidarizzazione A e B: sono quattro cavi 12 T 15 Freyssinet che assicurano la solidarizzazione delle due metà della struttura.

- I due cavi A sono nella soletta superiore e sono ancorati nella parte superiore dei primi due trasversi da una parte e dall'altra della sezione di collegamento.
- I due cavi B sono nel nodo inferiore e sono ancorati nella parte inferiore dei due trasversi seguenti da una parte e dall'altra della sezione di chiusura.

3) - I cavi supplementari a e b: sono rispettivamente due cavi 12 T 13 e due cavi 6 T 13 Freyssinet.

- I due cavi 12 T 13 si trovano nella soletta superiore;
- I due cavi 6 T 13 nel nodo inferiore.

Sono correnti da una estremità all'altra della struttura ed assicurano una precompressione centrata.

## 2.0 - Costruzione della struttura

### 2.1 - Principio e fasi di esecuzione.

La struttura è suddivisa in due semistrutture simmetriche, eccetto che nei dettagli delle spalle, che sono state realizzate ciascuna su una riva dell'Isère parallelamente alla sponda.

Ciascuna metà dell'opera, una volta terminata e dopo la messa in tensione della precompressione corrente e degli stralli, può essere messa in opera nella sua posizione definitiva, tramite rotazione.

Definita questa scelta, le fasi successive della costruzione della struttura sono le seguenti:

- Trivellazione dei pali con tubo forma, messa in opera delle armature e getto.
- Realizzazione su una piastra provvisoria dei cassoni-spalla.
- Getto dei plinti colleganti i quattro pali delle pile.
- Getto delle pile su un basamento prefabbricato fino alla quota di estradosso dell'impalcato.
- Realizzazione su centina dell'impalcato, gettato per conci. La campata laterale si scompone in tre conci di 5,20 m.

La campata centrale si divide in otto conci aventi per lunghezza, andando dalla pila alla mezzeria, due volte 4,0 m, cinque volte 4,80 m ed una volta 6,50 m.

- Getto dei piedritti e della testa del pilone.
- Messa in tensione della metà impalcato a mezzo dei cavi correnti.
- Realizzazione delle travi provvisorie in cemento armato costituenti i binari di scorrimento per la rotazione della semistruttura.
- Dopo la posa di un carico equivalente alla sovrastruttura, messa in tiro degli stralli, trefolo per trefolo, fatto che provoca il disarmo dell'impalcato.
- Getto dei pali sulla spalla in riva destra, della piastra del rivestimento in cemento armato che circonda il cassone di contrappeso.

Le semi-strutture sono così terminate.

Sono ancora parallele alle sponde.

Restano da realizzare le fasi seguenti:

- Messa in opera nella loro posizione definitiva delle due semi-strutture per rotazione attorno alle pile.
- Incastro della spalla in riva sinistra sui suoi pali e del pilone in riva sinistra sulla sua fondazione. Passaggio sull'appoggio definitivo del pilone in riva destra e della spalla in riva destra. Completamento del rivestimento in cemento armato della scatola contrappeso.
- Chiusura in chiave e messa in tensione della precompressione di solidarizzazione.
- Messa in tiro dei cavi supplementari correnti da un estremo all'altro della struttura.
- Sostituzione progressiva dello strato di sabbia di simulazione da parte della sovrastruttura di completamento definitiva.
- Costruzione dei rilevati di accesso.
- Prove della struttura.
- Messa in servizio.

### 2.2 - Messa in tensione degli stralli.

La messa in tiro degli stralli è certamente stata l'operazione più delicata della costruzione della passerella.

I valori delle tensioni, negli stralli della struttura a vuoto sono stati determinati in modo da equilibrare più o meno esattamente i carichi permanenti. In questa maniera, l'impalcato a vuoto è sottoposto ad una compressione praticamente centrata, cosa che limita gli effetti della ridistribuzione degli sforzi nella struttura per fluage.

Il procedimento di messa in tiro doveva inoltre soddisfare diversi scopi.

Prima di tutto occorre che la messa in tiro degli stralli fosse fatta con una certa progressività, in modo da non fare apparire degli sforzi notevoli nel pilone e nell'impalcato.

In effetti, siccome l'impalcato non si solleva che alla fine della messa in tiro, non possono in realtà comparire sforzi notevoli che nei piloni.

— Poi occorre scegliere un procedimento che limitasse il più possibile gli effetti degli eventuali scarti tra le tensioni teoriche e le tensioni reali degli stralli e degli eventuali scarti tra i carichi teorici ed i carichi reali.

Diverse tecniche potevano essere prese in considerazione, ma l'impresa si orientò decisamente verso la messa in tensione trefolo per trefolo.

#### a) Metodo teorico.

Il metodo teorico consiste nel tesare simultaneamente tutti gli stralli, proporzionalmente al loro tiro finale. Per lo strallo d'ordine  $i$ , il tiro nell'istante generico della messa in tiro,  $t$ , indicato con  $T_i(t)$ , sarà allora dato da:

$$T_i(t) = \lambda(t) T_i$$

dove  $T_i$  è il tiro finale nella struttura a vuoto, e  $\lambda(t)$  una funzione del tempo, la stessa per tutti gli stralli, variabile da 0 a 1 quando il tempo  $t$  descrive l'intervallo della messa in tiro. In queste condizioni, gli sforzi nel pilone varieranno proporzionalmente agli sforzi nella struttura a vuoto con  $\lambda(t)$  come fattore di proporzionalità.

Non si avrà quindi nessun effetto anormale nella struttura.

Ma una sovratensione degli stralli, dovuta alle diverse incertezze che esamineremo più avanti, avrebbe avuto delle conseguenze catastrofiche sulla struttura: in effetti, come se si facesse variare  $\lambda(t)$  da 0 a 1,05 (per una sovratensione del 5%), restando i valori  $T_i$  quelli teorici di tiro degli stralli, la struttura si disarmerà nel momento in cui  $\lambda$  avrà il valore 1,00 e, per ottenere gli sforzi reali nella struttura alla fine della messa in tiro, agli sforzi teorici nella struttura a vuoto, si dovranno aggiungere gli sforzi dovuti alla sovratensione del 5% dei cavi; questi sforzi si calcolano nella struttura disarmata e non strallata, giacché i cavi non sono collegati al calcestruzzo durante la loro messa in tiro.

E' facile calcolare queste sollecitazioni all'incastro dell'impalcato nel pilone.

Poiché la lunghezza della mensola dell'impalcato è di 39,50 m ed il carico permanente-peso proprio e sovrastruttura è pari a 6,12 t/ml, il momento dovuto ai carichi permanenti è dato da:

$$M = - 6,12 \times (39,50^2 / 02) = - 4774 \text{ tm}$$

Se il tiro degli stralli equilibra esattamente il carico permanente in questa sezione, il momento dovuto al tiro teorico dei cavi è di 4774 tm.

Una sovratensione del 5% degli stralli conduce ad un momento risultante dato da:

$$M = - 4774 + (1,05 \times 4774) = 239 \text{ tm}$$

cosa che produce degli sforzi inaccettabili:

$$\sigma = 242 \text{ t/m}^2 \text{ nelle fibre superiori,}$$

$$\sigma = - 546 \text{ t/m}^2 \text{ nelle fibre inferiori.}$$

Questo metodo non risponde assolutamente al secondo criterio che è stato fissato e sarebbe particolarmente pericoloso per la struttura.

#### b) Metodo della messa in tensione per gradi.

Il secondo metodo consiste nel tesare gli stralli per gradi successivi, passando da uno strallo all'altro grado per grado, in modo da equilibrare le sollecitazioni nel pilone.

L'incidenza del caso nel tiro degli stralli, è molto più limitata che nel primo caso: la sovratensione di uno strallo, dopo l'ultimo grado di messa in tiro, si produce in uno schema iperstatico costituito dalla struttura completamente strallata ad eccezione dello strallo in corso di messa in tiro.

L'effetto è quindi considerabilmente ridotto.

Questo metodo tuttavia presenta dei gravi inconvenienti pratici, dovuti ai pesi dei martinetti di messa in tiro degli stralli completi: sono difficili da manovrare, ed il numero elevato di operazioni successive sarebbe troppo costrittivo.

Siccome, d'altra parte, la messa in tiro non si poteva fare che dall'intradosso dell'impalcato, l'operazione di messa in posizione dei martinetti sarebbe stata particolarmente disagiata.

Infine, ci sarebbe stato bisogno di parecchi tipi di martinetti, se non altro perché lo strallo più grande è un cavo 19 T 15 e gli altri sono cavi 12 T 15.

### **c) Messa in tensione trefolo per trefolo.**

Ciascun trefolo è tesato direttamente al tiro previsto, dato da un calcolo dettagliato di messa in tiro dei differenti trefoli, sul quale torneremo.

Da ciò, la struttura diventa progressivamente sempre più iperstatica, cosa che limita l'effetto casuale nel tiro degli stralli, come già è stato notato.

L'ordine di messa in tiro dei diversi trefoli dei vari stralli è determinato in modo da limitare gli sforzi introdotti nel pilone.

### **2.3 - Operazioni pratiche di messa in tiro**

La messa in tiro degli stralli è quindi stata fatta trefolo per trefolo per mezzo di un martinetto da un trefolo.

E' stata eseguita da una sola estremità, essendo gli ancoraggi in sommità all'antenna passivi.

Questi ancoraggi passivi sono stati realizzati per mezzo di manicotti FU fissati attorno ai trefoli e bloccati contro le piastre già messe in opera nella testata d'ancoraggio classica del sistema Frevssinet.

La messa in tiro ha avuto luogo dal basso, grazie a delle aperture lasciate nella cassaforma della soletta inferiore del nodo inferiore nella travata centrale, e, dalla estremità del cassone contrappeso, per gli stralli della campata laterale.

La grande leggerezza del martinetto da un trefolo, ha permesso delle manovre rapide, indispensabili tenuto conto del numero elevato di messe in tiro da effettuare (127 per ogni semistruttura).

L'ordine definitivo di messa in tiro dei trefoli dei differenti stralli è stato scelto in modo che il disarmo si producesse il più tardi possibile e, per quanto possibile, uniformemente.

E, naturalmente, in modo da limitare gli sforzi nell'antenna, come è già stato indicato.

L'insieme delle operazioni di messa in tensione, è stato diviso in 12 fasi, comportando ciascuna di queste fasi la messa in tiro da 10 a 11 trefoli.

Allo scopo di migliorare la messa in tiro dei trefoli, la pompa scelta aveva una portata ridotta e veniva utilizzato un manometro di precisione.

Gli allungamenti dei trefoli sono stati controllati per lettura diretta degli allungamenti sul martinetto mono-trefolo.

La messa in tiro è stata inoltre controllata per mezzo di misure geometriche.

Per questo, sono stati disposti 8 poste di livellazione sulla soletta superiore e 3 traguardi di verticalità sul pilone. Dopo ogni messa in tiro, la posizione del pilone è stata confrontata con la sua posizione teorica data dal calcolo dettagliato della messa in tiro.

Infatti, a mano a mano che venivano messi in tiro i trefoli, il sistema diventava sempre più iperstatico e l'antenna rimaneva praticamente verticale: l'ordine di messa in tiro successivo correggeva mano a mano i suoi piccoli spostamenti.

Al termine di ciascuna fase di messa in tiro, i risultati del controllo geometrico della struttura venivano comunicati all'ingegnere che seguiva l'operazione, per correggere gli eventuali errori operativi o per scoprire dei fenomeni imprevisti.

Alla fine è stato necessario riprendere il tiro di alcuni trefoli.

Nella campata centrale si è dovuto riprendere il tiro dei 3 o 4 trefoli tesati per primi per ciascuno strallo, perché, al termine della prima messa in tiro, essi sopportavano solamente l'insieme dei pesi propri dello strallo, che, poco teso, formava una catenaria assai marcata, ed erano rimasti allentati in seguito, quando la messa in tiro degli altri trefoli, aveva irrigidito lo strallo.

Per gli stralli della campata laterale, è stato necessario riprendere il tiro di tutti i trefoli perché il tracciato curvo degli stralli nel cassone di spalla produceva degli intrecci tra i trefoli che hanno considerevolmente disturbato la loro messa in tiro.

Nel complesso, le operazioni di messa in tensione si sono svolte molto bene, grazie a tutte le precauzioni prese, sono durate due giorni per ciascuna delle due semi-strutture, e sono state lievemente disturbate solo dall'insolazione e dalle variazioni di temperatura del pilone.

La messa in tiro è stata completata con la ricalcatura dei cunei degli ancoraggi attivi, per garantire l'ancoraggio di ciascun trefolo e la sua efficienza in servizio ed a rottura.

#### **2.4 - Rotazione.**

Una volta che una semi-struttura è messa in tensione (cavi correnti e stralli) essa è pronta per essere messa in posizione per rotazione. L'operazione di rotazione inizia con il passaggio sugli appoggi di rotazione.

- Sulla pila è necessario passare su due appoggi scorrevoli.

Inizialmente il basamento prefabbricato della pila sotto il pilone è stato posto sul plinto con l'inserimento di quattro piccoli martinetti a vite, che sono serviti ad eseguire la regolazione.

Dopo aver fatto questa operazione, sono stati messi in opera quattro spessori in calcestruzzo tra il plinto ed il basamento prefabbricato, con una rastremazione, per assicurare il contatto dello spessore con la parte superiore.

I quattro martinetti a vite sono stati allora spostati in maniera da assicurare l'indeformabilità del basamento prefabbricato al momento del getto della base della pila.

Dopo la maturazione del calcestruzzo, i martinetti a vite non sono più stati utilizzati.

Quattro martinetti piatti Ø 406 sono stati allora posizionati per per mettere di trasferire il peso del l'opera agli apparecchi di appoggio scorrevoli di rotazione e poi da questi agli apparecchi d'appoggio definitivi.

I due apparecchi scorrevoli di rotazione sono formati ciascuno da tre blocchi in neoflon di dimensioni 400 x 400 solidarizzati da una piastra metallica.

Essi appoggiano su due elementi di corona circolare in acciaio inossidabile, e su due spessori di neoprene capaci di assorbire con i loro cedimenti differenziali le eventuali irregolarità di planarità del plinto.

La spalla va ad appoggiarsi per mezzo di un dispositivo a rulli senza fermo da 100 t, piazzato nel suo centro, su una rotaia poggiante su di una trave circolare estendendosi dalla posizione di costruzione della spalla a quella definitiva della scatola di contrappeso.

La trave di rotazione ha evidentemente il suo centro nell'asse del pilone.

Per assicurare la stabilità longitudinale, la spalla contrappeso è riempita parzialmente di tout-venant fino al livello che assicuri una reazione verticale sulla spalla di 50 t.

La stabilità trasversale della semi-struttura in rotazione è assicurata dalla distanza degli appoggi in neoflon sul plinto della pila, il che è logico dato che la maggior parte del peso della semistruttura passa per la pila al disotto dell'antenna.

Il fatto che la semistruttura appoggi su tre punti permette a ciascuno degli appoggi di assorbire dei leggeri dislivelli senza introdurre sforzi parassiti nella struttura.

La rotazione si effettua intorno all'asse del pilone.

La stabilità di questo asse è assicurata da un maschio quadrato largamente smussato, facente parte del basamento della pila, che penetra in una cavità circolare praticata al centro del plinto.

Una lamiera di acciaio cilindrica protegge la faccia verticale di questa cavità.

Degli spessori in legno duro, fissati al maschio con barre Dywidag, vanno ad appoggiare sulla lamiera cilindrica per assicurare il centraggio del maschio.

Gli smussi del maschio costituiscono delle piccole superfici di appoggio che permettono eventualmente di inserire un martinetto per assicurare un centraggio di precisione dell'asse del pilone in qualsiasi momento dell'operazione ed, in particolare, quando la rotazione è terminata.

### 3.0 - Gli studi della struttura

Gli studi della struttura sono stati particolarmente importanti, dato che hanno rappresentato tra il 20% ed il 25% del suo costo totale, sommando il costo finale degli studi di esecuzione dell'impresa ed il costo reale del controllo della S.E.T.R.A.

Ma questa cifra, molto elevata, non deve essere considerata come riferimento, dato che numerosi calcoli sono stati rifatti più volte, a seconda delle modifiche che è stato necessario apportare alla struttura a causa dell'inesperienza durante la costruzione.

E molte analisi sono state fatte per studiare il comportamento di una struttura di questo tipo e le conseguenze strutturali dei metodi di costruzione, analisi che non sarà più necessario intraprendere nell'avvenire.

#### 3.1 - Ipotesi di calcolo

La S.E.T.R.A. ha fissato delle ipotesi di calcolo della struttura, dedotte da quelle che erano state stabilite per il progetto del ponte di Honfleur.

Sono state considerate le seguenti azioni:

- il peso proprio;
- l'effetto del tiro sugli stralli;
- l'effetto della precompressione classica;
- le sovrastrutture;
- i carichi accidentali, valutati secondo le norme francesi,
- un aumento uniforme della temperatura di:
  - 40° o + 30° in assenza di carichi accidentali,
  - 25° o + 20° nel caso di sovrapposizione di carichi accidentali,
- un gradiente termico lineare nell'impalcato corrispondente ad uno scarto di temperatura tra le fibre inferiori e superiori di:
  - 10° nel calcestruzzo ordinario, e
  - 15° nel calcestruzzo leggero in assenza di carichi accidentali;
  - 5° nel calcestruzzo ordinario e
  - 7,5° nel calcestruzzo leggero nel caso di sovrapposizione con carichi accidentali.
- A questo si aggiunge l'effetto di un aumento simultaneo della temperatura degli stralli di:
  - 25° in assenza di carichi accidentali,
  - 12,5° nel caso di sovrapposizione con i carichi accidentali.
- Si precisa che l'effetto di questo gradiente termico, aggiunto all'effetto dell'aumento della temperatura degli stralli, non è cumulabile con l'effetto di un aumento uniforme di temperatura, poiché la somma dei due effetti corrisponderebbe a delle temperature totalmente irreali.
- il ritiro del calcestruzzo;
- il fluage del calcestruzzo sotto l'effetto della sua compressione.

Tenuto conto della regolazione scelta per il tiro degli stralli, che permette di equilibrare quasi esattamente i carichi permanenti e del tracciato della precompressione — praticamente centrata — l'impalcato è sottoposto a vuoto ad uno stato di precompressione che è relativamente prossimo ad una compressione uniforme.

L'effetto del fluage può essere quindi correttamente affrontato supponendolo uniforme in ciascuna sezione dell'impalcato.

E' stato necessario prendere tutte queste precauzioni perché, a differenza di una struttura classica, una struttura strallata è particolarmente sensibile agli effetti della temperatura, del ritiro e del fluage uniforme, che producono delle variazioni importanti del tiro degli stralli.

#### 3.2 - Incertezze sui carichi permanenti e nel tiro degli stralli.

Il capitolato speciale della passerella di Meylan prevedeva anche che si tenesse conto delle incertezze sui valori dei carichi permanenti e sul tiro degli stralli.

Dei ragionamenti analoghi a quelli già fatti nell'ipotesi di una messa in tiro simultanea di tutti gli stralli, mostrano in effetti che un eccesso di tiro, anche moderato, degli stralli, può avere delle conseguenze catastrofiche sull'impalcato.

Sono state considerate le seguenti incertezze:

- sul peso proprio dell'impalcato dovute al peso specifico del calcestruzzo, alla sua dipendenza dal grado di umidità ed alla imprecisione delle casseforme che alterano il volume di calcestruzzo messo in opera;
- sul tipo degli stralli per attrito nell'ancoraggio, perdita nei martinetti, precisione del manometro, rientro dell'ancoraggio, ecc.

L'effetto di queste variabili sulla struttura è stato attentamente considerato e controllato al momento della messa in tiro degli stralli, con i criteri prima detti.

E' risultato che tali incertezze non superavano il 5% del valore delle grandezze in gioco.

Anche tutta la schematizzazione della struttura dei modelli di calcolo è stata sottoposta ad attenta critica studiando l'influenza dei diversi parametri assunti nella schematizzazione sulle sollecitazioni della struttura.

La differenza tra le diverse ipotesi, nonché fra i calcoli dell'impresa e quelli della S.E.T.R.A. è risultata di non oltre l'1%.

Per lo studio della messa in tiro degli stralli si sono dovuti considerare 127 schemi di calcolo diversi, corrispondenti all'intervento successivo dei trefoli, mano a mano che venivano tesati.

Inoltre è stato effettuato un calcolo dettagliato agli stati limite per la verifica di stabilità dei piloni.

## **4.0 – Conclusioni**

La costruzione della passerella di Meylan è stata una operazione relativamente costosa: l'importo finale dei lavori pagati all'impresa è stato di 4,62 milioni di franchi, assai elevato per un'opera di 126 metri di lunghezza reale e di 6,70 metri di larghezza utile.

Ma la riuscita dell'opera anche dal punto di vista architettonico è stata una notevole ricompensa agli sforzi economici e personali di tutti i partecipanti alla sua realizzazione.

La costruzione della passerella di Meylan è stata anche l'occasione di acquisire una esperienza essenziale per la costruzione di strutture di questo tipo, esperienza che è stata immediatamente utilizzata per la costruzione di un'altra passerella sul fiume Ill in francese (Ell in tedesco) presso Strasburgo.

### **RIASSUNTO :**

La passerella di Meylan di 125,70 m di lunghezza permette ai ciclisti ed ai pedoni di attraversare il fiume Isère a monte della città di Grenoble.

L'opera si sviluppa su tre campate, due laterali di 23,35 m di luce, ed una centrale di 79 m. di cui 68,80 m sono in calcestruzzo leggero.

L'impalcato di altezza costante, è costituito da una trave a cassone a sezione triangolare in cemento armato precompresso.

La passerella è costituita da due parti costruite in maniera simmetrica sulle due rive del fiume: la messa in tensione degli stralli ha permesso la scasseratura dell'impalcato dalla centina.

### **CONTENTS :**

The Meylan footbridge, 125,70 m long, enables cyclists and pedestrians to cross the river Isère upstream from Grenoble.

The bridge consists of three spans, two measuring 23,35 m and a main span of 79 m, of which 68,80 m are in lightweight concrete.

The bridge deck, of constant height, is formed by a caisson beam of triangular section, in prestressed concrete.

The footbridge was built in two symmetrical parts, erected on opposite river banks.  
Tensioning of the stay cables enabled demoulding of the bridge deck.

#### **SOMMAIRE :**

La passerelle de Meylan de 125,70 m de longueur permet aux cyclistes et aux piétons de franchir l'Isère à l'amont de Grenoble.

Elle comprend deux travées de rive de 23,35 m et une travée centrale de 79 m, dont 68,80 m en béton léger dans la partie médiane.

Le tablier d'hauteur constante, est constitué d'une poutre-caisson en béton précontraint de section triangulaire. L'ouvrage est formé de deux parties égales construites respectivement sur chaque rive; pour chaque partie la mise en tension des haubans a permis de désolidariser le tablier du cintre.

#### **INHALT :**

Die Fussgängerbrücke von Meylan ist 125,70 m lang und erlaubt den Fahrradfahrern und Fussgängern, den Fluss Isère stromaufwärts von Grenoble aus, zu überqueren.

Die Brücke verteilt sich über drei Felder; zwei Seitenfelder mit einer Spannweite von 23,35 m und einem Mittelfeld von 79 m, wovon 68,80 m aus Leichtbeton hergestellt worden sind.

Die Brückentafel hat eine gleichbleibende Höhe und besteht aus einem vorgespanntem Stahlbetoncaissonträger mit einem dreieckigen Schnitt.

Die Fussgängerbrücke setzt sich aus zwei symmetrischen Teilen, die auf den gegenüberliegenden Uferseiten errichtet worden sind, zusammen: das Anziehen der Spannkabeln hat das Ausheben der Brückentafel aus der Lehrschalung in der sie gegossen war, erlaubt.

**Fonte :** Internet