

Il viadotto Byker per la ferrovia metropolitana di Newcastle (Gran Bretagna).

Il viadotto Byker è stato realizzato a doppio binario, della lunghezza di circa 2,5 km, per il collegamento del nuovo tunnel metropolitano sotto il centro di Newcastle.

Il viadotto presenta una lunghezza complessiva di circa 820 m, con tre campate da 69 m ed una serie di campate minori di luce variabile a seconda delle condizioni orografiche e dei vincoli urbanistici: interamente in cemento armato con uso della precompressione nel solo elemento di impalcato, l'opera si presenta notevolmente leggera, pur essendo destinata a sostenere una sede ferroviaria, con le conseguenti, gravose, condizioni di carico.

1.0 - Descrizione generale.

1.1 - Caratteristiche del tracciato

Nella prima parte, il tracciato del tratto di raccordo metropolitano interessato dal viadotto, corre in superficie per raggiungere, dopo circa 300 m, l'inizio del viadotto Byker; dopo aver superato la vallata, restando a circa 30 m dal fondo valle, attraversa le colline di Byker, sino alla stazione. Successivamente, dopo un tunnel di circa 550 m, raggiunge la Road Station per poi congiungersi, ad Est, con la ferrovia.

Nel realizzare il tracciato descritto, che si snoda fra vincoli geometrici di vario tipo, i progettisti hanno dovuto, ovviamente, rispettare una serie di « caratteristiche di progetto » fissate, su indicazione della committenza, in base alla prevista funzione del tratto di linea ed alle relative previsioni di traffico futuro: sono stati innanzi tutto individuati due treni tipo, uno passeggeri ed uno merci, il primo più leggero (6 t/ml) e più veloce (80 km/h), con frequenza di 250.000 movimenti annui, il secondo più pesante (12 t/ml) ma più lento, con frequenza prevedibile di soli 25 movimenti annui.

In base, quindi, a questo presupposto ed in funzione delle condizioni di comfort e prestazioni volute (in omogeneità con l'intera linea) sono state definite le caratteristiche geometriche del tracciato: raggio di curva minimo di 390 m e pendenze massime che non superano il 3%.

2.0 - Descrizione dell'opera.

Il viadotto si presenta imponente e ben proporzionato, nel suo armonioso andamento curvilineo: usando le moderne metodologie di progettazione e di realizzazione per un ponte, in Inghilterra, realizzato con conci prefabbricati a sbalzo collegati con resine epossidiche.

Le due differenti situazioni orografiche, la vallata e la collina, sono state affrontate con due strutture abbastanza diverse, anche se ben armonizzate fra di loro.

2.1 - Attraversamento della vallata

In tale zona la ferrovia corre ad una altezza dal suolo che varia da un minimo di circa 12 m ad oltre 30 m.

Pertanto sono state realizzate delle pile doppie, aventi ognuna sezione a « TT » le cui ali tendono a divaricarsi, in prossimità del suolo, escludendo a priori la scelta, che normalmente si attua in tale tipologia di ponte, di pile scatolari, principalmente per motivi architettonici e paesaggistici.

Le pile doppie sono perfettamente solidali all'impalcato scatolare, che, in tali sezioni, è parzialmente chiuso da un trasverso.

Pertanto, il primo concio dell'impalcato, cioè quello in corrispondenza della coppia di pile, è stato realizzato con getto in opera ed è quindi monolitico con le pile stesse.

Diversamente, il rimanente impalcato è stato realizzato a piè d'opera, in un cantiere di prefabbricazione posto dall'impresa sulle colline in posizione baricentrica rispetto all'intera opera.

L'impalcato è stato infatti suddiviso in 253 conci larghi complessivamente 8,66 m e con lunghezza ed altezza variabile.

Tali segmenti prefabbricati dell'impalcato, dopo il trasporto, sono stati assemblati in opera, incollati tra di loro con resina epossidica e, quindi, parzialmente precompressi tramite barre d'acciaio.

Soltanto il primo concio prefabbricato di ciascun lato è stato collegato all'elemento centrale realizzato in sito, unitamente alle pile, con un getto in opera di circa 10 cm di spessore.

Così, concio dopo concio, la struttura progrediva con uno schema a « stampella » che giustificava anche la necessità della presenza di una pila atta ad assorbire i momenti trasmessi, in fase costruttiva dall'impalcato a mensola, ed in esercizio dalle azioni orizzontali.

L'impalcato, come già accennato, si presenta in sezione a forma scatolare, con le due anime in corrispondenza dell'asse dei due binari.

Tale forma, appare come la più idonea a poter assorbire tranquillamente le ingenti azioni torsionali indotte da un forte carico eccentrico come è quello prodotto dal passaggio di un solo treno, oltre che dalle azioni tangenziali sull'impalcato indotte dalla forza centrifuga che agisce sui convogli in curva.

2.2 - Superamento delle colline di Byker

In questa zona diversa si presenta la tecnica di esecuzione dell'opera, pur rimanendo l'impalcato realizzato sempre con i conci prefabbricati.

Data la vicinanza fra l'impalcato ed il suolo, sono stati usati dei piloni reticolari, in acciaio, come appoggi provvisori.

Man mano che progrediva la realizzazione della trave d'impalcato i conci sono stati via via spostati, onde evitare i forti momenti indotti da una realizzazione a sbalzo.

Con l'adozione di questa metodologia costruttiva si sono potuti eseguire dei pilastri semplici, sempre con sezione a doppio T, non solidali con l'impalcato e con in sommità due carrelli o due cerniere.

Anche qui, ovviamente, l'impalcato ha la stessa sezione scatolare della precedente tratta, ed i conci sono collegati tra loro con modalità analoghe a quelle precedentemente descritte: in corrispondenza di quasi tutte le pile, i conci sono parzialmente chiusi da un traverso.

3.0 – Aspetti progettuali.

La posizione obbligata di questo viadotto ha posto ai progettisti considerevoli problemi nell'ipotizzare i procedimenti costruttivi; infatti sono stati studiati numerosi schemi strutturali di progetto ed altrettante metodologie di costruzione, al fine di individuare una struttura che fosse tecnicamente valida ed insieme economicamente competitiva, in relazione sia ai circa 30 m di altezza del viadotto in corrispondenza della vallata, sia ai 7 m di altezza media nel restante tratto. Furono ipotizzate soluzioni diverse con strutture in acciaio o in cemento armato precompresso, cercando di ottimizzare le luci, fino a giungere alla scelta del progetto di un impalcato scatolare in cemento armato precompresso, realizzato a conci a piè d'opera, con una netta differenziazione costruttiva tra il tratto di viadotto sovrastante ed il rimanente tratto in corrispondenza delle

colline di Byker.

Nel primo caso, ove l'impalcato corre ad una notevole altezza dal piano di campagna, i progettisti prevedono di realizzare pile doppie sono state costruite perfettamente solidali all'impalcato, inducendo così, in fase costruttiva, uno schema statico a doppio sbalzo od a « stampella ».

Ad opera ultimata lo schema statico d'insieme, vista la monoliticità finale del sistema pile-impalcato e l'andamento plano-altimetrico, è di telaio spaziale.

Nell'altro settore, ove l'impalcato corre relativamente vicino al suolo, lo schema statico è quello di trave continua, con le pile sollecitate a sola compressione od a pressoflessione, a seconda della presenza in sommità di un carrello scorrevole, o di una cerniera in grado, quindi, di assorbire le azioni orizzontali dovute al vento e alla frenatura e/o alla forza centrifuga trasmessa dai convogli. Per la definizione dei carichi accidentali mobili, utili al calcolo e alle verifiche strutturali dell'opera d'arte, sono stati presi in esame i già citati treni tipo: il primo, adibito al trasporto passeggeri, a causa della maggiore velocità è stato utilizzato per il calcolo degli effetti dinamici, della forza centrifuga e della frenatura; il secondo treno, più pesante, è servito per il calcolo delle sollecitazioni di taglio e flessionali.

4.0 - Geotecnica e natura dei terreni.

Le prime ricerche bibliografiche mostrarono l'esistenza di moltissime informazioni geologiche, successivamente integrate da prospezioni geo-gnostiche comprensive, oltre che dei sondaggi a rotazione con l'estrazione di carote, anche di studi particolari con l'installazione di tubi e relativi serbatoi piezometrici, e la esecuzione di prove sui terreni sia in sito che in laboratorio.

In tal modo è stato possibile individuare le formazioni interessate dalle fondazioni dell'opera e le relative caratteristiche geotecniche.

Le formazioni di base, individuate dalle indagini, sono costituite da strati carboniferi, ricoperti da depositi glaciali con legante argilloso ed in superficie da uno strato di terreno di riporto; sulla sommità delle colline interessate dalle fondazioni, fu individuato un affioramento di arenaria sulla quale erano stati ricavati una cava di pietra ed un serbatoio.

Su tali zone particolari vennero eseguiti supplementi di indagini con l'uso dell'analisi gravimetrica e di indagini sismiche che permisero di individuare con sufficiente precisione la superficie di contorno dell'ammasso di arenaria ed il suo grado di compattezza.

Viceversa, in corrispondenza della valle, nella fascia interessata dall'opera, gli strati di carbone furono individuati a poca profondità, risultando di compattezza variabile ed a volte tale da richiedere un consolidamento con iniezioni di cemento.

In quest'area fu anche individuata la presenza di un'antica faglia: pertanto, anche qui, si eseguirono particolari indagini geologiche per individuare i limiti della fascia di terreno disturbato dal movimento di ammassi rocciosi avvenuto nelle ere passate.

Furono infine individuate due falde, una sopra e l'altra sotto lo strato di depositi a matrice argillosa di origine glaciale, complicando così ulteriormente l'articolata geologia dei luoghi.

Anche durante la costruzione, infine, si dovettero ulteriormente approfondire le indagini in corrispondenza delle previste pile, portando a modificare, in base alle indagini stesse, una delle fondazioni.

5.0 - Descrizione degli elementi strutturali:

5.1 - Fondazioni.

Le pile doppie, poste nella vallata, prendono appoggio tramite plinti di 3 m di altezza, su pali di

grosso diametro: in corrispondenza di due pile (n. 4 e 6) vi sono 4 pali da 1,83 m di diametro capaci di trasmettere alla roccia sottostante, ciascuno, un carico massimo di 1200 t.

La 3a pila, invece, prende appoggio su quattro gruppi di 4 pali ognuno da 1,20 m di diametro; questo a causa della presenza di una porzione di terreno fortemente disturbato da un'antica faglia. Infine, l'ultima pila (n. 5) del tratto di viadotto con ampie luci, per la presenza quasi in superficie di un banco di arenaria compatta, prende appoggio su di un semplice plinto basso.

Le restanti pile singole, in corrispondenza del tratto a travata continua, sono fondate direttamente, tramite plinti bassi rettangolari, sul conglomerato argilloso di origine glaciale ad eccezione di due sole pile (n. 2 e 7), fondate su pali da 2,10 m di diametro, i quali, attraversati gli strati argillosi, si intestano sul basamento roccioso; quest'ultimi, ad evitare la filtrazione ed il dilavamento della malta cementizia in corrispondenza del primo strato di terreno molto scadente, sono stati realizzati con l'ausilio di camicie metalliche infisse nel terreno.

5.2 - Pile

In corrispondenza della vallata, il tracciato ha un raggio di curvatura di 390 m, con conseguenti azioni dovute alla forza centrifuga (dell'ordine del decimo di tonn. a metro lineare, per il tipo di treno previsto su tale linea); si presenta inoltre in salita, con luci di 69 m: pertanto, la possibilità della presenza contemporanea di due treni, di cui uno in frenata ed uno in accelerazione (la frenata di un treno trasmette in questo caso delle azioni orizzontali dell'ordine della mezza tonn/ml), sommata alle predette caratteristiche ed alle modalità costruttive dell'impalcato (a sbalzo), presuppongono la trasmissione alle pile di sollecitazioni notevoli sia in senso longitudinale che trasversale.

Da queste ed altre considerazioni tecniche, unitamente alle necessità estetiche di un'opera vistosa posta in un centro abitato, è derivata la scelta di realizzare pile doppie con i due piedritti, di sezione a TT ad ali strette, posti a 2,87 m di interasse ed uniti a mezza altezza da un trasverso.

Tali pile, aventi un'altezza (fra spiccatto ed intradosso dell'impalcato) variabile da circa 18 a 27,5 m, presentano verso la base prima uno svasamento, poi una diramazione in due elementi, realizzando così un originale portale che, come si vedrà in seguito, è stato sfruttato anche come passaggio durante le fasi costruttive degli elementi prefabbricati dell'impalcato.

Pertanto dal plinto spiccano, per ogni pila doppia, 4 pilastri iscritti in un rettangolo di 8,23 X 4,00 m.

In corrispondenza dei rimanenti tratti del viadotto sono state realizzate, viceversa, 17 pile semplici, sempre con sezione analoga alle precedenti, iscritta in un rettangolo di 1,13 x 3,90 m, e con un'altezza variabile da 3,90 m a 11,70 m.

Sulla sommità delle pile, in corrispondenza del pulvino sono stati previsti gli alloggiamenti degli apparecchi di appoggio dell'impalcato.

5.3 - Impalcato

Le forti azioni torcenti, indotte dal passaggio di un singolo convoglio ed aggravate dall'andamento serpeggiante degli 820 m di viadotto, hanno portato alla scelta, per l'impalcato, di una sezione scatolare i cui setti verticali sono posti quasi in corrispondenza degli assi dei due binari.

L'orografia accidentata dei terreni attraversati, la presenza di ostacoli e la necessità di attraversare strade e ferrovia, hanno portato alla notevole variabilità della distanza fra le pile del viadotto, inducendo, quindi, delle luci variabili da 27,10 m a 52,80 m in corrispondenza delle colline, cioè dove il tracciato corre abbastanza prossimo al terreno, e variabili da 52,80 m a 69 m

in corrispondenza della vallata.

Data la difficoltà di individuare uno schema statico modulare con una cadenza regolare dei piedritti, è stato realizzato un impalcato a trave continua in cemento armato precompresso appoggiato sulle pile, ad eccezione delle quattro pile doppie ove risulta incastrato alle stesse, e suddiviso in tre parti dalla presenza di due giunti intermedi di dilatazione.

La trave scatolare d'impalcato presenta generalmente una altezza di 2,25 m, che aumenta sino a 4 m in corrispondenza dell'incastrato con le citate pile doppie.

Ovviamente, data la predetta complessità dell'opera, per mantenere per quasi tutto lo sviluppo longitudinale del viadotto la stessa altezza della trave d'impalcato si è dovuto variarne notevolmente lo spessore delle pareti: le ali variano da 35 a 75 cm, la soletta inferiore varia da 16 a 55 cm, mentre la soletta superiore rimane sempre di spessore costante.

In corrispondenza di ciascuna pila sono stati realizzati dei trasversi a parziale chiusura della cavità interna all'impalcato, onde permettere il passaggio di tubazioni.

Soltanto in corrispondenza di due pile (la 8 e la 9) non è stato ritenuto necessario l'irrigidimento con un trasverso, dati i forti spessori che presentavano le ali dello scatolare.

6.0 - Aspetti tecnologici e modalità costruttive.

L'impresa costruttrice decise di installare il cantiere di prefabbricazione in prossimità delle colline Byker, in considerazione della posizione baricentrica del luogo che permetteva un più agevole e rapido trasporto dei conci sul luogo di utilizzazione.

Dato il tortuoso andamento plano-altimetrico dell'impalcato e la variabilità delle luci, praticamente, ognuno dei 253 segmenti aveva dimensioni diverse, per cui sono state realizzate casseforme speciali, scorrevoli, con pannelli in legno basculanti, onde permettere la più ampia variabilità di forma, pur nel rispetto delle tolleranze richieste dal committente.

L'accuratezza del getto di ogni concio è stato uno degli elementi fondamentali nella realizzazione dell'impalcato e ciascun segmento, dopo il disarmo, è stato accuratamente controllato con strumenti di precisione.

L'incastellatura portante dei pannelli della cassaforma era montata su ruote; pertanto, una volta che il calcestruzzo gettato era opportunamente indurito (dopo circa 15 ore), la cassaforma veniva rimossa, riportata in avanti e ruotata in posizione per ricevere il successivo concio.

Dopo non meno di 36 ore dal getto, onde permettere al calcestruzzo di raggiungere la resistenza minima caratteristica richiesta per la messa in opera, pari ad almeno 30 N/mm² (300 kg/cm²) (resistenza destinata ad aumentare sino ai prescritti 55 N/mm² a 28 giorni), i conci venivano posti su di un carrello ferroviario opportunamente adattato che, correndo su binari lungo il tracciato, attraversava i portali formati dalle pile doppie.

Il movimento di tale carrello era regolato da un argano posto in sommità delle colline: arrivati a destinazione i conci venivano innalzati sull'impalcato, per mezzo di un secondo argano opportunamente agganciato, tramite un treppiede, all'impalcato già realizzato.

Le facce dei conci, dotate di dentellatura per facilitarne il posizionamento e per meglio resistere allo sforzo di taglio iniziale, venivano preventivamente sabbiate, spalmate, late alla faccia del concio precedendo, con resina epossidica, quindi incolte e precomprese; si trattava, però, di una precompressione iniziale per la sola fase di montaggio, realizzata con 12 barre Macalloy da 32 mm di diametro sulla soletta superiore e 6 da 20 mm nella soletta inferiore.

Successivamente, a campata ultimata, si procedeva alla precompressione finale mediante trefoli a 12 fili, che nella sezione maggiormente sollecitata raggiungevano il numero di 48 cavi.

Notevoli problemi sono stati risolti durante tali fasi di precompressione; infatti, durante il tiro delle barre, l'asse dei conci tendeva a deviare dal tracciato predeterminato; tale inconveniente fu

risolto con opportuni ispessimenti in fibre di vetro, posti tra concio e concio, onde permettere di far rientrare i disassamenti e le distorsioni nei limiti richiesti.

Altri problemi emersi in sede costruttiva, del resto già prevedibili in fase progettuale, furono costituiti dal « fluage » del calcestruzzo e dalle imperfezioni costruttive: nel primo caso si dovette tenere in conto, all'atto del ricongiungimento delle due mensole dell'impalcato, dell'effetto delle deformazioni lente del conglomerato cementizio.

Per quanto concerne i difetti costruttivi, essi non comportarono nessuna implicazione statica negli impalcati schematizzati in fase costruttiva come isostatici, mentre ove l'impalcato stesso divenne solidale con le pile od a travata continua, comportò la valutazione dei momenti flettenti indotti dalla nascita di tensioni parassite.

Fu, comunque, tenuto anche conto del fatto che il fluage riduce, col tempo, questo tipo di sollecitazioni.

7.0 - Elementi complementari.

L'impalcato è completato da un parapetto in cemento armato, prefabbricato in lastra, con la superficie esterna trattata analogamente alle pile, sempre con l'intento di migliorarne l'aspetto estetico.

A causa dell'attraversamento di zone abitate, è stato particolarmente curato il problema dell'impermeabilizzazione dell'impalcato, della raccolta delle acque piovane e del loro smaltimento; infatti l'estradosso della soletta si configura con una pendenza (1/30) verso l'interno.

Al centro di ogni concio è stato predisposto un bocchettone per convogliare l'acqua piovana in un'apposita condotta che corre all'interno dell'impalcato.

Altro elemento di particolare interesse è la soletta di appoggio dei binari di corsa.

Per alleggerire l'impalcato si è infatti eliminato il tradizionale « ballast », ed al posto delle traversine, onde ripartire con maggiore uniformità il carico trasmesso dal treno, si è realizzata una soletta continua in cemento armato.

Tale lastra, avente una larghezza di 220 cm, con giunti di dilatazione ogni 18 m è stata realizzata con una cassaforma scorrevole in grado di variarne trasversalmente lo spessore, onde dare in curva la sopra-elevazione massima alla rotaia esterna, fino ad un massimo di 16,5 cm.

Inoltre la traversina, appoggiata direttamente sull'impalcato, è ancorata a quest'ultimo con dei perni in acciaio, atti a trasmettergli tutte le forze orizzontali.

Altro problema accuratamente studiato e risolto brillantemente è stato quello della protezione delle armature dalle « correnti vaganti » di ritorno dalle rotaie, fenomeno presente in tutti i manufatti soggetti al transito di mezzi su rotaia a trazione elettrica.

Le guaine da precompresso sono state tutte collegate elettricamente fra di loro ed alle rotaie tramite un diodo che fornisce loro la polarità opportuna.

Fonte : Internet