

1. CONTENUTI PRESTAZIONALI

L'opera in oggetto, realizzata nel 1961, attraversa il fiume Po sulla statale n. 62 "della Cisa" alla progressiva Km 168+700, in prossimità del centro abitato di Borgoforte ed è costituita da tre parti principali che si differenziano per tipologia ed ubicazione:

- viadotto di accesso in sinistra idraulica (lato Lombardia): si sviluppa completamente in golena ed è costituito da n. 9 campate in semplice appoggio con luce di 18,35 m.
- Ponte sul fiume Po: si sviluppa parte in golena e parte in alveo ed è costituito da 7 coppie di pile che reggono un trave "cantilever" con doppio sbalzo da 8.925 m ed una lunghezza totale di $8.925+9.50+8.925 = 27,35$ m. I tratti cantilever sono tra loro collegati da travi tampone di 36 m di luce, per una luce complessiva, da interasse pila ad interasse pila, di 63,50 m. I cantilevers hanno altezza variabile da 3,50 m nella sezione alla radice della pila, a 2,50 m in corrispondenza delle selle Gerber e poggiano, tramite pulvini-traversone di collegamento, su due file di pali-pila di 1.50 m di diametro. Un secondo traversone di collegamento è posto al di sopra della quota del livello di magra. L' impalcato tampone ha una larghezza di m 12.50, compresi i marciapiedi, luce di 36.15m ed è costituito da 4 travi ad "T", alte 2.50 m, con interasse di 3.10 m, collegate da due traversi di testata e da tre traversi di campata. La soletta è in c.a. ordinario, con spessore di 18 cm, rastremata fino a 40 cm in corrispondenza all'anima delle travi. Le pile sono composte da 3 colonne a sezione circolare con diametro di 1.5 m e sono collegate in sommità da un pulvino. Le fondazioni di tipo indiretto sono costituite da palificate di 3+3 pali Ø 1500, fondati a profondità variabile da -21.30 a -42.90 m s.l.m.
- viadotto di accesso in destra idraulica (lato Emilia Romagna): si sviluppa completamente oltre l'argine per un numero complessivo di 28 campate in semplice appoggio con luce di 18,40 m.

Di seguito sono riassunte le principali caratteristiche ed i principali dati dimensionali del ponte.

PONTE DI BORGOFORTE SUL FIUME PO - S.S. 62 "DELLA CISA" km 168+700

PONTE SUL PO

Lunghezza dell' opera	471,83 m
Schema statico	pila cantilever+travi
tampone	
Numero totale delle campate	8
Numero delle pile in alveo	4
Numero delle pile in golena	3
Luce delle singole campate	63,50 m
Larghezza dell' impalcato	12,50 m
Tipo soletta	c.a. ordinario
Spessore soletta	18 cm
Appoggi	struttura monolitica
Pile	a colonne circolari su
pali	
Lunghezza media rilevata dei pali	47,9÷54,7 m
Quota minima rilevata del fondo alveo dal piano stradale	- 37,0 m

A seguito degli eventi alluvionali del mese di Ottobre 2000, l'ANAS, Compartimento della Viabilità della Lombardia, promosse una campagna di rilievi e di indagini volte a definire le condizioni statiche delle pile e delle fondazioni dei principali ponti in carico al

Compartimento e, tra questi, del ponte sul Fiume Po a Borgoforte.

Le indagini effettuate e le ricerche condotte hanno evidenziato una situazione critica relativamente alle pile in alveo, in particolare per la pila n. 32, che si trova al centro di un'ampia e profonda buca venutasi a creare nella zona centrale. La pila n. 32, risulta attualmente impostata al centro di una buca il cui fondo è di 15 m inferiore rispetto alla quota del fondo alveo all'epoca della costruzione.

Sulla base di queste evidenze, nell'estate del 2001, l'ANAS, Compartimento della Viabilità della Lombardia, ha ritenuto opportuno procedere allo sviluppo di un adeguato progetto integrativo di ripristino e sistemazione di pile e fondazioni del Ponte di Borgoforte. Tale progetto è volto al recupero del necessario grado di sicurezza delle pile e delle fondazioni dell'opera.

A seguito dell'incarico ricevuto dal Compartimento per la Viabilità della Lombardia dell'ANAS e sulla base della situazione di fatto illustrata al paragrafo precedente, nel 2002 il Prof. Ing. Pier Giorgio Malerba ha provveduto a redigere un progetto esecutivo riguardante, fra l'altro: ⁽¹⁾

a) Lavori di consolidamento e di protezione delle fondazioni e delle pile n. 31, 32, 33.

b) Lavori di protezione del fondo alveo.

A seguito dell'incarico ricevuto dalla Provincia di Mantova e sulla base del progetto del Prof. Ing. Pier Giorgio Malerba, nel 2004 il sottoscritto Prof. Ing. Silvio Franzetti ha provveduto a: i) riesame degli aspetti idraulici e conseguente adeguamento del progetto e del computo; ii) aggiornamento dei prezzi principali e conseguente aggiornamento della stima; iii) estrapolazione del presente lotto funzionale in modo da poter realizzare le opere più urgenti con il finanziamento disponibile. Tale attività è stata qui espletata lasciando sostanzialmente inalterati gli elaborati ANAS 2002, ad esclusione dei nuovi elaborati e di quelli aggiornati (indicati con la sigla SI) che sostituiscono i precedenti.

In definitiva il progetto attuale consta di:

A1 (A1.1 e A1.2)	Intervento Tipo A1. Rinforzo Pile 31, 32 e 33 con integrazione della palificata originale, alla quale vengono aggiunti 2+ 2 pali per ogni pila. Identico al progetto ANAS 2002. Preliminarmente si eseguono sondaggi di verifica. – Con sondaggi di verifica
A2	Intervento Tipo A2. Riempimento buca in alveo (aggiornato dal progetto 2004).

Più specificamente:

Intervento A1

- Esecuzione di sondaggi di verifica (tav. 14-SI) alle pile 31, 32, 33.
- Esecuzione dei pali integrativi fino alla quota di + 16.30 s.l.m., in modo da lasciare la nicchia per l'alloggiamento dei martinetti.
- Realizzazione dei nuovi traversi di collegamento, previa parziale demolizione dei traversi esistenti, i quali saranno conglobati nei nuovi.
- Messa in contrasto dei 4 pali con un ciclo di carico-scarico a 4500 kN/palo e successiva precarica a 2300 kN/palo.
- Sostituzione dei martinetti con 3 vitoni (da 1000 kN ciascuno) di contrasto e solidarizzazione dei pali ai nuovi traversi con calcestruzzo speciale.

⁽¹⁾ Altri interventi non sono inclusi nel presente appalto.

Intervento A2

Riempimento buca in alveo (Riferimento: Elaborato Tav. 21- SI (*))

Gli interventi finalizzati ad incrementare la capacità portante delle fondazioni delle pile n. 31, 32, 33, vanno completati con quelli per la protezione dell'alveo alla pila n. 32.

I lavori da eseguire per la stabilizzazione del fondo alveo sono stati studiati e definiti in funzione delle conclusioni tratte dalla relazione idraulica così come integrata e parzialmente sostituita dalla relazione sostitutiva-integrativa, alle quali si rimanda per maggiori dettagli.

E' importante sottolineare che gli interventi previsti in alveo modificano solo leggermente le condizioni idrodinamiche generali della sezione idraulica e le condizioni di deflusso della corrente.

Gli interventi idraulici di progetto, consistenti nel riempimento parziale della buca esistente in corrispondenza della pila n. 32 e nel corazzamento superficiale del riempimento stesso, comportano una riduzione della sezione idraulica disponibile al deflusso nella sottosezione "alveo principale" per circa 365 m². Per valutare gli effetti sulla corrente di piena dovuti a tale riduzione, in sede di Relazione Idraulica sono stati determinati la distribuzione delle portate nella sezione ed i corrispondenti valori delle grandezze idrodinamiche della corrente per la situazione di progetto. Ipotizzando che si mantenga anche per la sezione di progetto il livello massimo calcolato nel PAI per la portata duecentennale, si ricava un valore della pendenza motrice $J = 0.000063$. Confrontando tale valore con quello trovato per la situazione attuale ($J = 0.00004$) risulta che l'intervento di progetto non sembra in grado di provocare effetti significativi sul profilo di piena della corrente in quanto può determinare un aumento locale della pendenza motrice di soli 0.023‰. All'aumento della pendenza motrice corrisponde nella situazione di progetto anche una ridistribuzione delle portate all'interno delle sottosezioni, secondo le modalità esposte per esteso nella Relazione Idraulica (Elab. 5).

Come si osserva, gli interventi di progetto comportano una riduzione di circa il 10% della sezione di deflusso di massima piena nell'alveo principale, con corrispondente riduzione di circa il 3% della portata in transito (e quindi riduzione del 4% della velocità media) nella stessa sottosezione. Ne consegue un incremento di circa il 25% di portata e velocità nelle, altre sottosezioni. La sottosezione più sollecitata dal punto di vista idraulico rimane comunque quella centrale (alveo principale).

Nella fase di elaborazione del progetto era stata considerata la possibilità di intervenire sulla sezione idraulica con una sorta di compensazione della riduzione di area mediante il rizezionamento dell'area di deflusso. Tuttavia anche confrontando la sezione al ponte con quelle a monte e a valle, non sembra opportuno effettuare un allargamento artificiale della sponda che potrebbe essere vanificato dalle successive variazioni morfologiche ad opera della corrente. Sembra invece opportuno lasciare che la corrente nelle diverse condizioni di deflusso adatti il fondo alveo alle sue necessità, monitorando comunque con una certa continuità le condizioni del fondo per verificare la stabilità delle protezioni di progetto e la situazione in corrispondenza delle altre pile del ponte.

Tale monitoraggio dovrà consistere in un rilievo batimetrico come quello effettuato nel corso delle indagini che hanno preceduto questo progetto, a cadenza annuale e comunque dopo ogni piena importante.

Come detto, l'intervento riguarda la pila n.32. La protezione viene ottenuta riempiendo la buca con massi a granuometria graduata e variabile in funzione degli sforzi previsti.

Il peso complessivo dei massi di riempimento è di circa 100.000 t.

L'intervento di riempimento della buca, oltre ad incrementare la capacità portante delle fondazioni, contribuisce a migliorare anche la risposta dinamica del ponte, che è molto sensibile alle vibrazioni.

La riduzione del tratto di lunghezza libera della pila 32 comporta, infatti, un irrigidimento della struttura ed uno spostamento delle frequenze verso valori maggiori di quelli attuali.

Per le varie fasi di lavorazione è previsto l'uso di pontoni e natanti di servizio.

2. DESCRIZIONE DEI MATERIALI E DEI COMPONENTI

2.1 Materiali impiegati per i pali e per le strutture in c.a.

CALCESTRUZZO

- per rinforzo pile $R_{ck} \geq 45 \text{ N/mm}^2$
- per pali $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$

ACCIAIO

Fe B 44 k

CAVI DI PRECOMPRESSIONE

Area trefolo 0,6" super $A_f = 1,50 \text{ cm}^2$

Acciaio armonico per trefoli $\varnothing 0,6''$
stabilizzati al rilassamento:

- tensione di rottura $f_{ptk} = 1770 \text{ N/mm}^2$
- tensione all'1% di deform. $F_{p1k} = 1570 \text{ N/mm}^2$
- tensione di tesatura 1350 N/mm^2

CARATTERISTICHE BARRE

TIPO DYWIDAG $\varnothing 32$

- tensione di rottura $f_{tk} = 1030 \text{ N/mm}^2$
- tensione residua allo 0,1% di deformazione $f_{0,1k} = 900 \text{ N/mm}^2$
- forza di pretensione $= 600 \text{ kN}$

RESINA EPOSSIDICA

Per inghisaggi orizzontali nel calcestruzzo utilizzare resina epossidica tipo HILTI HIT 100 o equivalente.

GETTO DI SOLIDARIZZAZIONE PALI-TRAVERSO:

Il getto di completamento alla testa dei pali deve essere fatto con c.l.s. a ritiro compensato, autolivellante con basso rapporto a/c, pompabile e non segregabile ad elevate prestazioni meccaniche, ottenuto utilizzando quale legante un cemento reoplastico espansivo preconfezionato tipo MACFLOW o equivalente.

- dosaggio cemento minimo 380/400 kg.
- rapporto a/c = 0,48.
- slump al getto 18÷22 cm.
- inerte in almeno 2 classi granulometriche, meglio 3: sabbia 0,5; ghiaietto 5÷12; ghiaia 12÷20.

Il getto deve essere fatto in pressione.

Per i pali, il calcestruzzo avrà uno slump compreso fra 16 e 20 cm al cono di Abrams.

Per la messa in contrasto dei Pali

- La messa in contrasto dei pali integrativi viene effettuata agendo contemporaneamente sui 4 pali con 4 martinetti collegati in parallelo ad un'unica centralina a controllo di pressione. Sono necessari 4 martinetti (uguali tra di loro) da 5000kN con una corsa di 150 mm, dotati di testina oscillante e ghiera di bloccaggio.
- Durante la messa in carico, saranno misurati con strumentazione micrometrica di precisione gli spostamenti relativi tra palo e traverso in corrispondenza di ogni martinetto.

In corrispondenza di tali punti sarà effettuata anche una livellazione topografica di precisione rispetto ad un caposaldo esterno. Le misurazioni andranno ripetute ad ogni gradino di carico.

- I martinetti dovranno poter essere azionati anche in modo indipendente, al fine di correggere eventuali rotazioni della pila.
- Il cilindro idraulico dovrà essere provvisto di valvole di sicurezza.

Si richiama l'attenzione sul fatto che l'intensità di precarica dei pali è stata determinata in modo da redistribuire le azioni su pali originali e su pali nuovi in modo da ottenere per tutti i pali e per il più ampio spettro di condizioni di carico una distribuzione il più possibile uniforme dei coefficienti di sicurezza (vedasi Relazione di Calcolo §4.4. Riepilogo fattori di sicurezza pali).

2.2 Materiali impiegati per il riempimento della buca.

Per i massi di riempimento della buca, si fa riferimento alla seguente grandezza:

- w_r (m³) = 0,52 d³ volume del masso di diametro equivalente d , e peso specifico non inferiore a 2,7 t/m³.

Il riempimento è previsto in modo differenziato a seconda della posizione planimetrica e altimetrica.

Vengono adottate quattro classi di materiale:

CLASSE I

- 60% $d = 140 \div 200$ cm
- 20% $d = 90 \div 140$ cm
- 10 % $d = 30 \div 90$ cm
- 10% $d = 20 \div 30$ cm

CLASSE II

- 60% $d = 110 \div 160$ cm
- 20% $d = 70 \div 110$ cm
- 10 % $d = 20 \div 70$ cm
- 10% $d = 10 \div 20$ cm

CLASSE III

- 60% $d = 70 \div 110$ cm
- 20% $d = 50 \div 70$ cm
- 10 % $d = 20 \div 50$ cm
- 10% $d = 10 \div 20$ cm

CLASSE IV

- 60% $d = 50 \div 70$ cm
- 20% $d = 30 \div 50$ cm
- 10 % $d = 20 \div 30$ cm
- 10% $d = 10 \div 20$ cm

La disposizione dei massi è indicata in tav. 21SI, a partire dalla quota superiore di 0.00 m s.l.m. Attorno alla metà anteriore della pila, dove gli sforzi sono occasionalmente elevati, è prevista una doppia corona di massi da 1,4 m³ collegati fra loro con: catene d'acciaio zincate (tipo marino) con diametro del tondo $\varnothing \geq 15$ mm, lunghezza della catena fra due massi = 2 m; barre (rottura non inferiore a 33 t) dywidag $\varnothing 26,5$ mm tipo 835/1030 o acciaio tipo 85-105,

ancorate per almeno 0,70 m nel masso; golfare sulle barre, con resistenza analoga; grilli d'acciaio inox $\varnothing \geq 10\text{mm}$ di collegamento fra la golfara e la catena.

In dettaglio:

- RIEMPIMENTO Cat. I°:

Costituito da pietrame di cava a spacco, non gelivo compatto e fortemente resistente all'abrasione in elementi del diametro di categoria I°, posto in opera a strati a partire da quota 0,00 m s.l.m. fino a 0,80 m dal fondo.

- MASSI INCATENATI:

Pietrame come sopra, diametro 140 cm, con golfare e catene di collegamento di n.3 massi; due file superficiali; posati attorno alla metà anteriore delle pile.

- RIEMPIMENTO Cat. II°:

Costituito da pietrame di cava a spacco, non gelivo compatto e fortemente resistente all'abrasione in elementi del diametro di categoria II°, posto in opera a strati a partire da quota 0,00 m s.l.m. fino a 0,80 m dal fondo.

- RIEMPIMENTO Cat. III°:

Costituito da pietrame di cava a spacco, non gelivo compatto e fortemente resistente all'abrasione in elementi del diametro di categoria III°, posto in opera a strati a partire da quota 0,00 m s.l.m. fino a 0,80 m dal fondo.

- RIEMPIMENTO Cat. IV°:

Costituito da pietrame di cava a spacco, non gelivo compatto e fortemente resistente all'abrasione in elementi del diametro di categoria IV°, posto in opera: i) per uno spessore $s = 0,80\text{ m}$ sul fondo; ii) fra 0,00 m s.l.m. e -1,60 m s.l.m. circa, nella fascia esterna della buca.