CYBER PHYSICAL ENGINEERING / LA NUOVA INGEGNERIA

Fiumicino
Due ponti mobili per il porto canale

Ponte girevole e ponte a doppia bascula
Relazione tecnica preliminare
Calcoli di massima, costi e cantierizzazione





A / PONTE GIREVOLE

B / PONTE A DOPPIA BASCULA

Due ipotesi alternative per lo stesso attraversamento. Viste concettuali.

Ing. Diego Dell'Erba

Novembre 2026

CONTESTO E OBIETTIVI

Attraversare la Fossa Traianea

Il confronto riguarda un attraversamento ipotetico del porto canale. Le due configurazioni rappresentano alternative per lo stesso punto, da localizzare dopo i rilievi.



Figura 1. Due viste concettuali del porto canale. A sinistra, l’impalcato girevole durante la rotazione. A destra, i due semi-impalcati sollevati.

Il riferimento locale

Il Comune di Fiumicino documenta la presenza del Ponte 2 Giugno e della passerella pedonale mobile sulla Fossa Traianea. Le comunicazioni comunali descrivono il coordinamento tra apertura alla navigazione e interruzione temporanea del traffico. È il contesto operativo in cui confrontare le due ipotesi.

Obiettivi del confronto

Garantire la navigazione e la continuità urbana per quanto compatibile con le aperture. Verificare gli ingombri delle opere fisse, l’impatto sulle banchine e sugli ormeggi, i percorsi pedonali e ciclabili, l’accessibilità dei raccordi e l’accesso per ispezioni e manutenzione.

> **Base comune di calcolo**
> Si assumono 42 m tra le banchine, impalcato largo 12 m e unità navale larga 10 m. Queste grandezze sono ipotetiche. Batimetria, livelli idrici, sagome navali e allineamento delle banchine richiedono rilievi e confronto con gli enti competenti.

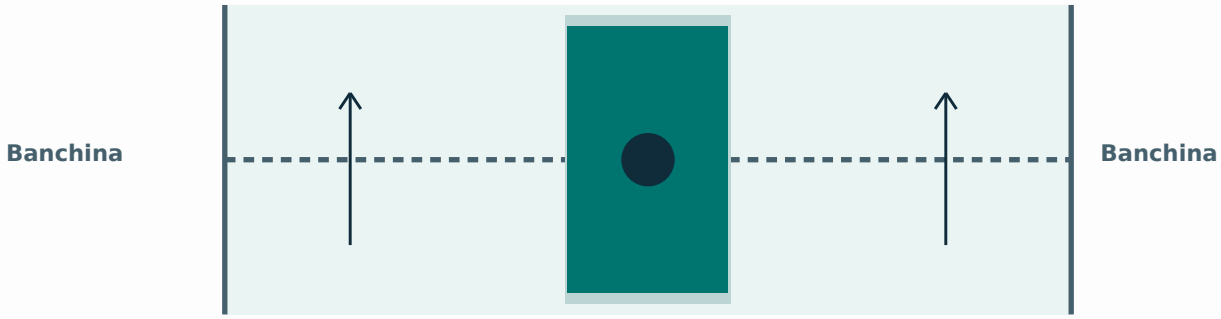
ALTERNATIVA A

Ponte girevole su pila centrale

L’impalcato ruota orizzontalmente attorno a un asse verticale. A ponte aperto si dispone lungo il canale e lascia due corridoi laterali.



Figura 2. Ponte girevole su perno centrale. Vista concettuale.



Schema 1. Pianta concettuale. Turchese: ponte aperto. Tratteggio: asse a ponte chiuso. Punto scuro: perno. Frecce: corridoi laterali.

Organi di manovra e vincoli

La soluzione richiede pila e protezioni contro gli urti, ralla o altro appoggio rotante, azionamento, dispositivi di frenatura e bloccaggio, appoggi terminali e accessi per l’ispezione. Va verificata l’intera area spazzata dall’impalcato, compresi gli ormeggi e le barche in attesa.

Punto decisivo. La luce utile per una nave è quella del singolo corridoio percorribile. Conta l’ingombro maggiore tra pila e protezioni, impalcato aperto e altri ostacoli, valutato alla quota e nel tratto pertinenti.

ALTERNATIVA B

Ponte a doppia bascula

Due semi-impalcati incernierati alle banchine si sollevano verso l’alto. Il varco centrale resta libero da pile nello schema esaminato.



Figura 3. Ponte con i due semi-impalcati sollevati. Vista concettuale.



Schema 2. Prospetto concettuale. Turchese: semi-impalcati sollevati. Tratteggio: asse a ponte chiuso.

Organi di manovra e vincoli

Ogni lato richiede cerniere, azionamento e locali accessibili. Il progetto deve verificare ingombri dei contrappesi, interferenze con i sottoservizi, impermeabilizzazione e manutenzione dei vani. In chiusura si controllano allineamento dei due lati e dispositivi di blocco.

Punto decisivo. Il transito navale dipende dalla sagoma tridimensionale libera al livello idrico di riferimento e durante le fasi autorizzate della manovra.

CALCOLI DI MASSIMA / GEOMETRIA

Quanto spazio resta alle navi

Confronto illustrativo con larghezza tra banchine B = 42 m. Si ipotizzano un’imbarcazione larga 10 m e una distanza laterale di 2 m per lato.

> **Larghezza di confronto**
> 10 + 2 × 2 = **14 m**. È il corridoio assunto per questo esempio. Il margine effettivo dipende anche da allineamento, vento, corrente e caratteristiche della nave.

A · Ponte girevole, ingombro in pianta

Si assumono un impalcato largo 12 m e pila con protezioni di 5 m complessivi. In pianta prevale l’ingombro trasversale dell’impalcato aperto. Assumendo posizione centrata e una fascia di 0,50 m per ciascuna banchina, il singolo corridoio vale **(42 − max(12, 5)) ÷ 2 − 0,50 = 14,50 m**.

B · Doppia bascula, apertura a 65°

Con due semi-impalcati di 21 m, la proiezione orizzontale per lato è **21 cos(65°) ≈ 8,87 m**. La fascia centrale fra le proiezioni delle punte è **42 − 2 × 8,87 ≈ 24,25 m**, pari a **23,25 m** se si riserva in via cautelativa una fascia di 0,50 m per lato. Il rialzo della punta rispetto alla cerniera è **21 sin(65°) ≈ 19,03 m**.

Indicatore	A · Girevole	B · Doppia bascula
Larghezza geometrica indicativa	14,50 m per corridoio	23,25 m centrali in proiezione
Margine sulla larghezza assunta di 14 m	0,50 m	9,25 m
Dato da verificare con priorità	Ingombri a quota nave e traiettorie laterali	Sagoma nave e ingombro reale dei semi-impalcati

Il rialzo delle punte è una quota relativa alle cerniere. Per determinare il franco verticale si usano livello idrico, profilo dell’impalcato, spessori, parapetti e sagoma della nave. Le cifre descrivono una geometria semplificata e richiedono verifica nautica e strutturale.

CALCOLI DI MASSIMA / MANOVRA

Movimento, potenza e viabilità

Esempi di calcolo su manovre ipotetiche. Tempi, masse e flussi servono a confrontare gli ordini di grandezza.

A · Velocità del ponte girevole

Per una rotazione di 90° in 100 s, la velocità angolare media è **(π/2) ÷ 100 = 0,0157 rad/s**. A 21 m dall’asse, la velocità tangenziale media è **0,33 m/s**. Per stimare la coppia motrice si devono valutare inerzia, accelerazione, attriti, vento e frenatura.

B · Bilanciamento semplificato di una bascula

Per una foglia da 120 t con baricentro a 10,5 m e un contrappeso da 200 t a 6 m, assunti opposti e allineati alla chiusura, il momento gravitazionale residuo a ponte orizzontale è **9,81 × (120 × 10,5 − 200 × 6) = 589 kN·m** circa. Nel modello la coppia di gravità varia con il coseno dell’angolo.

> **Potenza media teorica per foglia**
> Il lavoro per sollevare da 0° a 65° è **589 × sin(65°) ≈ 534 kJ**. Con 90 s di manovra e rendimento ipotizzato del 75%, la potenza media associata al solo squilibrio è **534 ÷ (90 × 0,75) ≈ 7,9 kW**. Il dimensionamento richiede coppie di picco, accelerazioni, vento, attriti, frenatura e condizioni di esercizio e guasto.

Effetto indicativo sul traffico stradale

Sei aperture al giorno, ciascuna con 12 minuti complessivi di interdizione, danno **72 min/giorno**. Con un flusso di 600 veicoli/ora per direzione, in una singola chiusura arrivano **600 × 12 ÷ 60 = 120 veicoli per direzione**, assumendo flusso costante e assenza di deviazioni. Tempi di smaltimento e ricadute sulla rete richiedono conteggi locali.

Cicli di esercizio. Sei cicli completi al giorno per 20 anni corrispondono a circa **43.800 cicli**. Per la verifica a fatica servono gli spettri effettivi delle sollecitazioni e i dettagli strutturali e meccanici.

TECNOLOGIA E GESTIONE IN ESERCIZIO

Il ponte che registra ogni manovra

Il Digital Twin collega geometria, organi di manovra, misure, guasti e interventi. Il registro di ogni ciclo rende confrontabili le prestazioni nel tempo.



Figura 4. Ispezione e consultazione dei dati del gemello digitale. Vista concettuale.

Dato da registrare	Strumento indicativo	Verifica supportata
Posizione, velocità e durata	Encoder e finecorsa	Coerenza delle posizioni e variazione dei tempi di manovra
Carico sull’azionamento	Corrente motore o pressione idraulica	Aumento persistente dello sforzo a parità di condizioni
Deformazione e risposta dinamica	Sensori FBG o estensimetri, accelerometri	Confronto con il riferimento e con le ispezioni
Vento, temperatura e livello idrico	Anemometro e sensori ambientali	Interpretazione delle misure e gestione operativa

Dall’anomalia alla manutenzione

Se aumenta la corrente motore a parità di velocità, vento e temperatura, il sistema segnala la variazione. Il tecnico controlla la qualità dei dati e dispone, se necessario, una verifica di ralla, cerniere, lubrificazione o azionamento. Il rapporto e l’intervento aggiornano lo storico.

Comando e sicurezza. Il sistema di controllo gestisce barriere, segnali, blocchi e consensi mediante logiche e dispositivi validati. L’IA analizza le serie, segnala anomalie e prepara rapporti per il tecnico.

STIMA ECONOMICA / INVESTIMENTO

Quanto costano i due ponti

Scenario parametrico per un nuovo attraversamento di 42 × 12 m, pari a 504 m² d’impalcato. Importi al netto dell’IVA, in migliaia di euro, con prezzi ipotizzati a novembre 2026.

Voce e base di calcolo	A · Girevole	B · Doppia bascula
Impalcato, protezioni superficiali e finiture	504 × € 3.500/m² 1.764,0	504 × € 3.900/m² 1.965,6
Fondazioni e opere civili	Pila e protezioni 1.100 Spalle 2 × 350 1.800,0	Spalle e vani tecnici 2 × 1.100 2.200,0
Meccanica e azionamenti	Gruppo rotante e azionamento 1.100,0	Due gruppi da 775 1.550,0
Impianti, controllo e monitoraggio iniziale	380,0	450,0
Raccordi viari, banchine e ripristini	650,0	700,0
Allestimenti, opere provvisionali e logistica	550,0	650,0
Costi della sicurezza da stimare in progetto	230,0	260,0
Totale lavori, sicurezza inclusa	**6.474,0**	**7.775,6**
Indagini, progettazione, DL e collaudi · 12% dei lavori	776,9	933,1
Riserva per incertezza · 20% dei lavori	1.294,8	1.555,1
Investimento indicativo, IVA esclusa	**8.545,7**	**10.263,8**

Perimetro. I valori unitari e le quote a corpo sono assunzioni. La stima esclude IVA, espropri, bonifiche, dragaggi estesi e spostamenti rilevanti di sottoservizi. Le lavorazioni ordinarie vanno verificate con il prezzario regionale applicabile. Gli organi mobili richiedono analisi prezzi e quotazioni specialistiche.

Il riferimento locale al Ponte 2 Giugno riguarda la ristrutturazione degli organi meccanici esistenti e ha un perimetro diverso dalla costruzione di un nuovo ponte.

STIMA ECONOMICA / CICLO DI VITA

Costi di esercizio a 30 anni

Confronto a prezzi costanti e IVA esclusa. Tasso reale ipotizzato del 3%. L’investimento è riportato all’anno zero per entrambe le alternative.

Ipotesi di spesa	A · Girevole	B · Doppia bascula
Energia, presidio e controllo · €/anno	40.000	50.000
Ispezioni, manutenzione ordinaria e ricambi · €/anno	60.000	80.000
Sensori, dati e assistenza Digital Twin · €/anno	20.000	25.000
Totale ordinario annuo	**120.000**	**155.000**
Revisione straordinaria ipotizzata all’anno 15	500.000 €	700.000 €

Calcolo del valore attuale dei costi
Fattore di attualizzazione di 30 annualità al 3% = **$[1 - (1{,}03)^{-30}] \div 0{,}03 = 19{,}60$**.
Girevole: $8{,}546 + 0{,}120 \times 19{,}60 + 0{,}500 \div 1{,}03^{15} \approx$ **11,22 milioni €**.
Doppia bascula: $10{,}264 + 0{,}155 \times 19{,}60 + 0{,}700 \div 1{,}03^{15} \approx$ **13,75 milioni €**.

Sensibilità dell’investimento iniziale

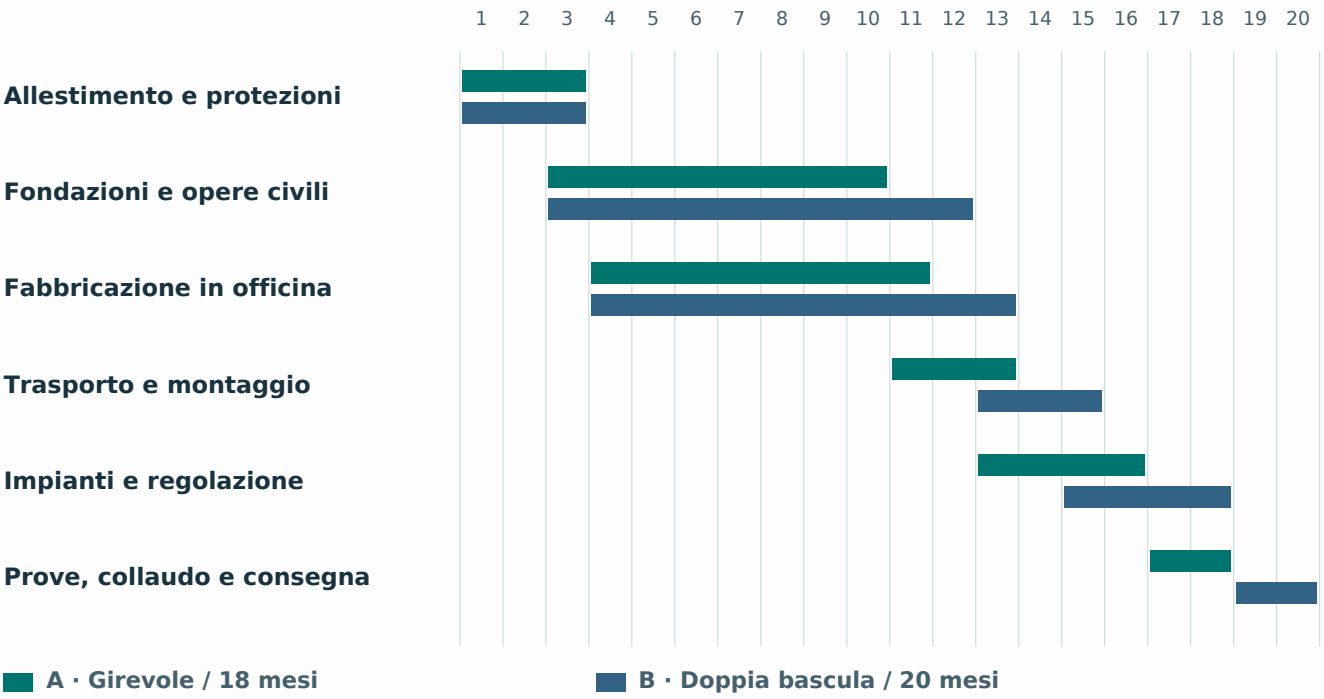
Variando solo la riserva dal 10% al 30% dei lavori, il girevole passa da **7,90 a 9,19 milioni €** e la doppia bascula da **9,49 a 11,04 milioni €**. Questi intervalli derivano dal solo cambio della riserva. La geometria delle opere, i prezzi e i tempi restano quelli dello scenario base.

Nel confronto completo si aggiungono i costi delle interruzioni, gli effetti sulla navigazione e sulla viabilità, l’eventuale valore residuo e le altre voci pertinenti. Servono dati di traffico e tempi di fermo realistici per stimare questi effetti.

CANTIERIZZAZIONE / CRONOPROGRAMMA

Come si costruiscono i due ponti

Cronoprogramma indicativo dall’avvio dei lavori. Indagini, progettazione, autorizzazioni e gara precedono il mese 1. La fabbricazione in officina procede in parallelo alle opere civili.



Schema 3. Mesi di lavoro ipotizzati. Le barre sovrapposte indicano attività in parallelo.

A · Pila in alveo, poi montaggio e rotazione

Organizzare accessi da terra e da acqua. Realizzare la fondazione della pila centrale con opere provvisionali definite dal progetto. Installare protezioni, supporto rotante e spalle. Trasportare l’impalcato, posarlo e verificare allineamento, frenatura, finecorsa e appoggi terminali.

B · Due fronti sulle sponde, poi allineamento

Organizzare un’area operativa su ogni riva. Realizzare spalle, fondazioni e vani dei contrappesi. Preassemblare i semi-impalcati in officina, montarli in finestre concordate e regolare la chiusura al centro, i blocchi e la sincronizzazione.

Le durate dipendono in particolare da indagini e sottoservizi, tempi di fornitura, disponibilità delle aree, mezzi di sollevamento e finestre di lavoro sul canale.

CANTIERIZZAZIONE / INTERFERENZE

Tenere il canale e la città operativi

La gestione delle interferenze va definita per fase con il Comune e le autorità competenti. I corridoi provvisori e le finestre di chiusura dipendono dal rilievo e dal piano di cantiere.

Ambito	Misura da pianificare	Riscontro prima di procedere
Navigazione e ormeggi	Corridoio provvisorio, spostamento degli ormeggi e finestre per posa e prove.	Sagome, segnalamento e comunicazioni agli utenti concordati.
Viabilità e accessibilità	Percorsi pedonali protetti, accessi alle attività e itinerari alternativi.	Percorsi verificati con Comune e soggetti competenti, anche per i soccorsi.
Sollevamenti e lavoro sull’acqua	Piano di sollevamento, aree interdette e gestione del rischio di caduta in acqua.	Mezzi, portanze, condizioni meteo, comunicazioni ed emergenze verificati.
Ambiente e sottoservizi	Protezione delle reti, gestione delle acque di cantiere e prevenzione degli sversamenti.	Sottoservizi localizzati e misure di controllo definite prima delle opere interferenti.

Le chiusure più delicate

Per il girevole, programmare le lavorazioni in alveo e la posa dell’impalcato sopra il canale. Per la doppia bascula, coordinare le aree di lavoro su entrambe le sponde e le due pose. In entrambi i casi, le prime manovre complete richiedono una finestra dedicata e il controllo delle aree di transito.

> **Collaudo e consegna al gestore**
> Provare manovre a vuoto, consensi, blocchi e recupero secondo le procedure approvate. Consegnare manuali, schemi elettrici e meccanici, elenco ricambi e misure iniziali del Digital Twin. Registrare tempi, posizioni e assorbimenti di riferimento per la manutenzione.

Riferimenti per affinare la stima

Regione Lazio · Tariffa dei prezzi per i lavori pubblici

Comune di Fiumicino · Gara per la ristrutturazione del Ponte 2 Giugno, primo stralcio

CONFRONTO E PERCORSO DI FATTIBILITÀ

I rilievi che orientano la scelta

La larghezza geometrica è una sola delle condizioni da verificare. Il confronto deve includere navigazione, viabilità, opere di fondazione e costi di esercizio.

Criterio	A · Girevole	B · Doppia bascula
Navigazione	Due corridoi. Verificare ingombro del ponte aperto e manovre laterali.	Un varco centrale. Verificare sagoma libera e vento a foglie alzate.
Opere civili	Pila e fondazione in alveo, protezioni, raccordi a riva.	Opere sulle due sponde e ingombro dei locali di manovra.
Manutenzione	Ralla o appoggio rotante, azionamento, appoggi terminali.	Cerniere, contrappesi, azionamenti e sincronizzazione.
Costo nel ciclo di vita	Stimare opere in acqua, accessi, manutenzione e fermate.	Stimare opere di sponda, impianti, manutenzione e fermate.

Dati e verifiche da acquisire

Rilievi topografici e batimetrici, livelli e correnti, indagini geotecniche, sottoservizi, traffico navale e stradale, vincoli di ormeggio e accesso alle banchine. Seguiranno simulazione delle manovre, verifica delle strutture e dei meccanismi, fasi di cantiere e stima comparabile del costo di ciclo di vita.

Indicazione preliminare

Con le ipotesi adottate, la doppia bascula offre un varco centrale più ampio. Il confronto con il girevole va aggiornato dopo aver verificato gli spazi sulle sponde, la navigabilità dei corridoi laterali e il comportamento dei due sistemi in esercizio.

Riferimenti consultabili

Comune di Fiumicino · Ristrutturazione del Ponte 2 Giugno e della passerella mobile
Comune di Fiumicino · Modalità operative di apertura al transito navale
Gazzetta Ufficiale · D.M. 17 gennaio 2018, Norme tecniche per le costruzioni
AASHTO · Movable Bridge Inspection, Evaluation, and Maintenance Manual

Relazione di inquadramento. Immagini concettuali, schemi fuori scala e valori di calcolo illustrativi.