Ponte Girevole Intelligente di Fiumicino



Relazione generale tecnica economica e finanziaria

Studio preliminare integrato sul Porto Canale e sulla Fossa Traianea

Ing. Diego Dell'Erba

La Nuova Ingegneria & Cyber Physical Engineering

Ottobre 2026

PGIF 01 — Relazione integrata — Revisione 02

Ponte Girevole Intelligente di Fiumicino

Relazione generale tecnica economica e finanziaria

Studio preliminare integrato sul Porto Canale e sulla Fossa Traianea

Oggetto e conclusione dello studio

La proposta riguarda un attraversamento mobile a campata unica con fulcro laterale, struttura metallica e un sistema digitale per monitoraggio, manutenzione e supporto alle decisioni. La soluzione merita un approfondimento di fattibilità, subordinato alla scelta dell'asse, alla compatibilità nautica e urbana e alla verifica del nodo di rotazione e delle fondazioni.

Il nuovo elaborato finanziario [S5] indica un quadro documentale di 14,67 milioni di euro. La presente relazione lo conserva e lo confronta con una previsione integrativa di perimetro, senza sommare i due budget. Il quadro lavori di origine di 9,20 milioni di euro è assunto come riferimento parametrico. L'integrazione di opere accessorie, sicurezza, somme a disposizione, rischi e fiscalità conduce nello scenario base integrato a 17,00 milioni di euro a prezzi costanti di ottobre 2026. Il costo nominale dipende dalla durata e dall'andamento dei prezzi. Nessun finanziamento è considerato acquisito.

Natura del documento: studio preliminare, non progetto esecutivo, PFTE formalmente approvato, autorizzazione, collaudo o attestazione di sicurezza. Quote, prestazioni, stratigrafia, costi e tempi sono ipotesi da confermare. Le riserve espresse nei capitoli tecnici prevalgono sulle formulazioni assertive degli elaborati di origine.

Indice

Relazione tecnica economica e finanziaria integrata con tutti e cinque gli elaborati di riferimento.

1 Finalità e metodo di integrazione 4
2 Inquadramento e scelta delle alternative 5
2.1 Proposta territoriale e mobilità 6
2.2 Planimetria della proposta verso la foce 7
2.3 Confronto con il ponte mobile di Ravenna 8
3 Geometria idraulica e compatibilità nautica 9
4 Impalcato e sezione trasversale 10
5 Stati strutturali e verifiche preliminari 11
6 Cinematica e dimensionamento degli azionamenti 12
7 Ralla vincoli e apparati oleodinamici 13
8 Geotecnica e fondazioni 14
9 Modello FEM e programma delle verifiche 15
10 Sensoristica FBG e qualità delle misure 16
11 Digital Twin OMA e governo dei modelli 17
12 Manutenzione predittiva IA e DSS 18
13 Sicurezza funzionale e cybersecurity 19
14 Cantierizzazione e BIM 4D e 5D 20
15 Iter autorizzativo e responsabilità 21
16 Cronoprogramma e dipendenze 22
17 Quadro economico dei lavori 23
18 Somme a disposizione fiscalità e investimento 24
18.1 Quadro documentale del nuovo allegato 25
18.2 Riconciliazione dei due quadri economici 26
19 Gestione manutenzione e rinnovi 27
19.1 Piano gestionale e LCC del nuovo allegato 28
20 Analisi del costo del ciclo di vita 29
21 Flussi di cassa e fabbisogno annuale 30
21.1 Flussi per fasi del quadro documentale 31
22 Scenari e sensitività economica 32
22.1 Scenari del nuovo allegato e confronto 33
23 Opzioni di finanziamento e sostenibilità 34
24 Rischi riserve e controllo delle modifiche 35
25 Collaudi consegna e conclusioni 36
Appendice A Registro di riconciliazione tecnica 37
Appendice B Tracciabilità e ipotesi finanziarie 38
Appendice C Fonti e riferimenti 39
Appendice D Riferimenti istituzionali e tecnici 40

1 Finalità e metodo di integrazione

L'opera è letta come un sistema unitario: impalcato, vincoli, meccanismi, terreno, impianti, operatori e dati concorrono alla prestazione del servizio. La Cyber Physical Engineering collega misure e modelli alla gestione dell'infrastruttura; la responsabilità delle verifiche e delle decisioni resta in capo ai soggetti tecnici e gestionali individuati dal committente.

La relazione integra cinque elaborati: il manuale PGIF 01 R06 [S1], la relazione illustrata PGIF 01 R03 [S2], la comunicazione al Sindaco del 19 gennaio 2025 [S3], la planimetria NUOVO PONTE [S4] e il PDF tecnico con ampliamento finanziario [S5]. S3 e S4 precisano la proposta territoriale verso la foce; S5 riprende in larga parte S1 e sviluppa una distinta ipotesi economica. S1 sviluppa valori di predimensionamento e una WBS economica; S2 definisce le condizioni di validità, illustra la concezione spaziale e mantiene aperta la scelta delle alternative. I valori puntuali del manuale sono quindi conservati come scenario di lavoro, non come esiti di indagini o verifiche già eseguite.

Classe informativa	Significato nella relazione
Dato documentale	Contenuto effettivamente presente in S1 o S2; non equivale a dato misurato sul sito.
Ipotesi di studio	Parametro assunto per sviluppare modelli, costi e tempi; deve essere validato.
Riscontro aritmetico	Ricalcolo limitato alla coerenza numerica; non verifica normativa né certificazione.
Requisito da definire	Prestazione da concordare con committente, gestore, progettisti e autorità.

Perimetro e risultati attesi

Il perimetro economico integrato riguarda il manufatto e i raccordi locali; non comprende automaticamente l'intero assetto urbano disegnato in S4. Il perimetro comprende il ponte mobile, i sostegni, gli appoggi, gli azionamenti, le protezioni essenziali, i raccordi locali di prima ipotesi, l'automazione e l'infrastruttura digitale. Sono inclusi stanziamenti provvisori per interferenze e disponibilità delle aree. Grandi riassetti urbani, dragaggi estesi e ricostruzioni generalizzate di banchine non sono dimensionati: se necessari, impongono una revisione del perimetro e del costo, non il loro assorbimento automatico nella contingency.

La decisione richiesta nella fase successiva è finanziare conoscenza del sito e confronto tra alternative. La realizzazione potrà essere proposta soltanto dopo la chiusura delle incongruenze riportate in appendice, la definizione della gestione delle aperture e la verifica della sostenibilità dell'investimento e dell'esercizio.

Tracciabilità

I riferimenti S1–S5 identificano i cinque allegati. S3 è una comunicazione propositiva e S4 è una tavola esemplificativa, non atti di approvazione. La ripetizione dei valori tecnici in S1 e S5 non rappresenta una conferma indipendente. I riferimenti N identificano fonti istituzionali consultate per il quadro generale. Il quadro documentale di S5 è distinto dalle integrazioni economiche ipotetiche della presente relazione; entrambi non derivano da offerte, prezzari applicati a quantità misurate o delibere di finanziamento.

2 Inquadramento e scelta delle alternative

L'ambito assunto è il tratto terminale del Porto Canale tra il Ponte Due Giugno e la foce, con collegamento tra Fiumicino e Isola Sacra [S1; S2, pp. 2–5]. S3 e S4 propongono un attraversamento verso la foce, in continuità con la viabilità portuale e il lungomare; l'asse rappresentato non risulta approvato sulla base degli elaborati forniti. La presenza del ponte esistente e della passerella impone di studiare la funzione di rete del nuovo attraversamento, senza presupporne demolizione o sostituzione.

La localizzazione deve risolvere simultaneamente accessi alle banchine, raccordi stradali, continuità pedonale e ciclabile, occupazione delle sponde e inviluppo del ponte aperto. La base satellitare della fonte illustra l'ambito, ma non certifica confini, quote, disponibilità delle aree o distanze dagli ormeggi. Serve un rilievo georeferenziato riferito a un unico sistema altimetrico.

Alternativa	Criterio di confronto	Possibile criticità
Scenario senza nuova opera	Servizio attuale, manutenzione e gestione delle aperture	Persistenza di eventuali criticità di rete da misurare
Ponte girevole laterale	Campata unica e assenza di pila centrale	Spazio di rotazione e momento elevato sul fulcro
Ponte basculante	Riduzione dell'occupazione longitudinale di sponda	Contrappeso, spazi tecnici e cinematica verticale
Ponte a sollevamento	Gestione del corridoio con impalcato traslante	Torri, altezza disponibile, manutenzione e impatto visivo

Programma conoscitivo

Il rilievo dovrà coprire entrambe le sponde, banchine, fabbricati, assi viari, sottoservizi e opere interrate. La batimetria dovrà descrivere fondali, ostacoli e variazioni stagionali; le indagini geotecniche dovranno interessare fulcro e spalla opposta. Il censimento nautico dovrà raccogliere dimensioni, pescaggi, frequenze, rotte e condizioni operative delle unità, non soltanto i valori massimi.

Lo studio del traffico dovrà misurare flussi, quote di mezzi pesanti, pedoni e ciclisti, code durante le aperture, accessibilità dei soccorsi e capacità dei percorsi alternativi. Un confronto multicriterio potrà pesare funzionalità, rischio, costo del ciclo di vita, impatti e autorizzabilità; pesi e soglie dovranno essere approvati prima di attribuire punteggi, per evitare una selezione costruita a posteriori.

2.1 Proposta territoriale e mobilità

La comunicazione del 19 gennaio 2025 è sottoscritta dal Consigliere comunale Alessandro De Vincentis e indirizzata al Sindaco indicato nel documento [S3]. Promuove un sito esterno rispetto alla viabilità urbana più interna, in asse con la nuova viabilità del porto commerciale. La sua motivazione va acquisita come proposta di assetto e come insieme di obiettivi da verificare; il richiamo al bilancio di previsione non documenta una copertura finanziaria del ponte.

Obiettivo espresso in S3	Verifica da sviluppare
Deviare traffico interno e di accesso	Modello di rete con origine-destinazione, capacità e tempi di percorrenza
Allontanare mezzi pesanti e migliorare il TPL	Rotte merci, accessi al porto pescherecci e mercato del pesce, itinerari bus
Distribuire il traffico su una rete più ampia	Code, intersezioni, rotatorie e rischio di trasferire congestione
Rendere più lineari gli accessi alla città	Confronto dei percorsi e tempi, anche durante le aperture
Collegare il waterfront e il Lungomare della Salute	Continuità pedonale e ciclabile, accessibilità e sicurezza alle intersezioni
Ridurre interferenze urbane e paesaggistiche	Analisi visuale, vincoli e confronto con gli enti competenti
Agevolare cantieri e raccordi altimetrici	Disponibilità reale delle aree, pendenze, sottoservizi e logistica

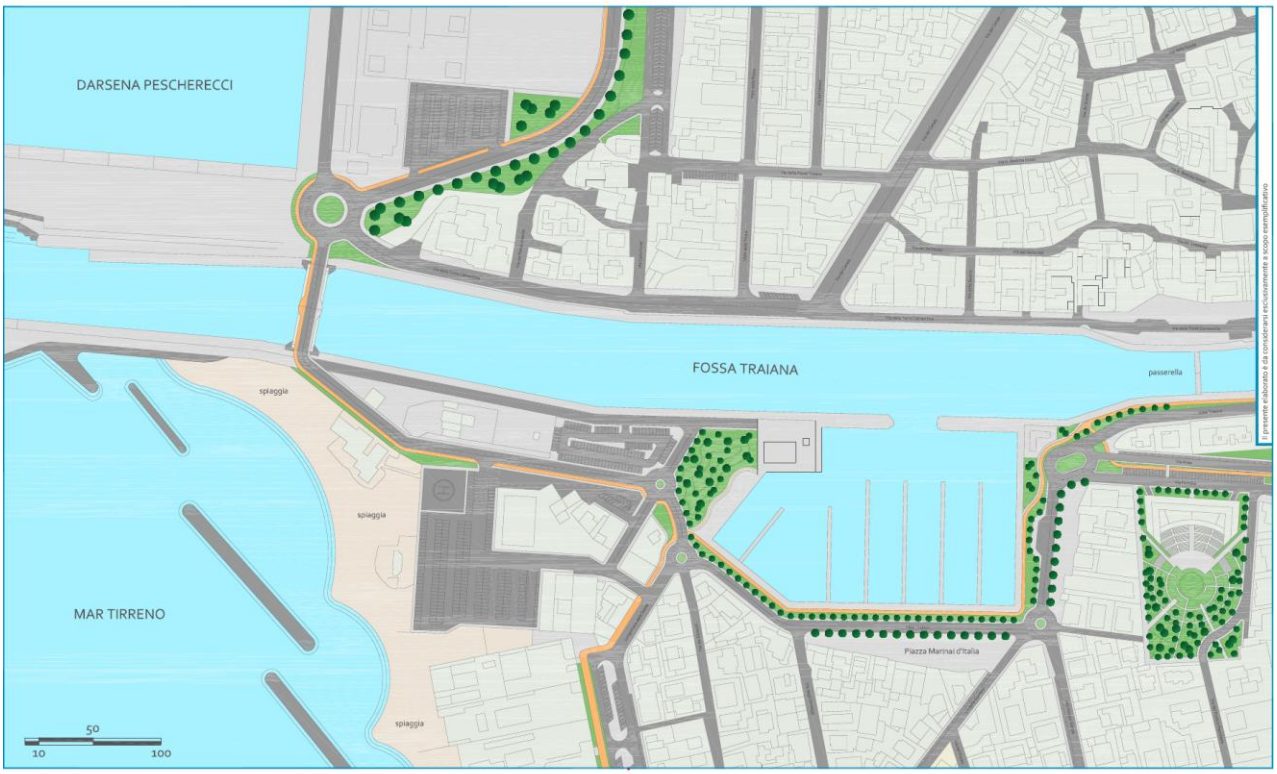
La comunicazione richiama una viabilità parallela al mare, collegata alle strade esistenti anche tramite rotatorie e via della Foce Micina. La tavola allegata mostra una relazione tra attraversamento, darsena pescherecci e rete costiera. Non è dimostrato lo stato di attuazione al momento della presente relazione: progetti approvati, cantieri, disponibilità e tempi delle opere di collegamento devono essere acquisiti dai soggetti titolari.

Lo studio della mobilità dovrà comprendere uno scenario con ponte disponibile, uno con aperture programmate e uno con chiusura prolungata per manutenzione. Vanno misurate le code sulle rotatorie e sulle banchine, evitando che i mezzi in attesa occupino percorsi di soccorso o accessi portuali. Le finestre nautiche e il trasporto pubblico devono essere coordinati per non trasferire i benefici attesi da una categoria di utenti a un'altra come ritardi.

Gli spazi apparentemente liberi nelle immagini non sono automaticamente cantierabili o disponibili. Analogamente, l'apertura del paesaggio non comporta un esito autorizzativo favorevole: la valutazione richiede viste, ingombri in esercizio e in manovra e analisi del rapporto con l'ambiente costiero.

2.2 Planimetria della proposta verso la foce

Figura 1. Riproduzione della tavola NUOVO PONTE [S4]. Il documento stesso qualifica l'elaborato come esemplificativo. L'immagine è riprodotta per descrivere le relazioni territoriali, senza usarla come rilievo o base di dimensionamento.



Nella tavola sono riconoscibili la Fossa Traiana, il Mar Tirreno, la darsena pescherecci, il nuovo collegamento in prossimità della foce e la passerella più interna. Percorsi colorati, rotatorie e sistemazioni a verde descrivono una proposta di continuità urbana e costiera. Non vengono attribuiti a tali elementi stato realizzato, conformità, titolarità o impegni di spesa.

Passaggio dallo schema al progetto

La tavola non rappresenta il fulcro, la coda contrappesata, il settore di rotazione o il ponte in posizione aperta. Non dimostra quindi che il ponte girevole di 42 m descritto in S1 e S5 possa essere collocato nell'asse proposto. La scala grafica presente nella fonte non sostituisce una base topografica verificata; la riproduzione è ridimensionata e non va misurata per ricavare quote esecutive.

Occorre sovrapporre un rilievo georeferenziato allo schema, distinguere luce libera e interasse dei vincoli e provare almeno le alternative di fulcro sulle due sponde. La scelta deve considerare ormeggi, banchine, percorsi ciclabili, rotatorie e passaggio dei mezzi di manutenzione. Il raggio della punta, il contrappeso e gli spazi di protezione devono risultare interamente compatibili con aree effettivamente disponibili.

Qualora la luce richiesta risultasse maggiore dei 38–38,5 m ipotizzati, andrebbero ricalcolati massa, rigidezza, baricentro, ralla, fondazioni e budget. La nuova localizzazione è pertanto un'ipotesi territoriale da verificare con priorità, non la conferma della geometria del manuale.

2.3 Confronto con il ponte mobile di Ravenna

S3 propone il ponte mobile sul Canale Candiano a Ravenna come riferimento: due campate metalliche basculanti, dispositivi oleodinamici alloggiati sotto il piano stradale, lunghezza di ogni campata pari a 45 m, larghezza 15 m e altezza con le torri di 16 m. La scheda del costruttore conferma le dimensioni principali e indica conclusione del progetto nel settembre 2010 [N6].

La comunicazione del gennaio 2025 cita un costo di circa 10 milioni di euro e una realizzazione risalente a circa quindici anni prima. L'importo è mantenuto come dato riferito dalla comunicazione, non verificato come consuntivo omogeneo. Non viene indicizzato né trasferito al nuovo ponte: manca il dettaglio di perimetro, fiscalità, prezzi e opere accessorie.

Aspetto	Girevole di studio a Fiumicino	Basculante richiamato in S3
Movimento	Rotazione nel piano orizzontale	Sollevamento di due elementi
Vincolo spaziale	Settore libero sulla sponda del fulcro	Ingombro verticale e apparati sui lati
Azioni determinanti	Peso eccentrico, momento sul fulcro e vento	Equilibrio delle campate e azioni sugli attuatori
Componenti critici	Ralla, pignoni, basamento e blocchi	Cerniere, cilindri, bilanciamento e sincronismo
Confronto economico	Da consolidare con geometria e sito	Costo storico non trasferibile senza normalizzazione

L'analogia riguarda la necessità di conciliare navigazione e mobilità stradale in un porto canale. Non dimostra equivalenza geotecnica, idraulica o strutturale. La soluzione basculante deve entrare nel confronto delle alternative, soprattutto se il settore di rotazione del girevole risulta incompatibile con la planimetria verso la foce.

Il confronto va svolto a parità di corridoio nautico, carreggiata, accessibilità, frequenza delle manovre e disponibilità richiesta. Deve includere costruzione, manutenzione, ricambi, durata dei fermi e recupero in emergenza. L'esperienza di Ravenna offre un riferimento operativo da approfondire, non una scelta tipologica già adottata per Fiumicino.

La proposta finale dovrà tenere distinta la scelta dell'asse dalla scelta del meccanismo. Un asse funzionalmente favorevole può richiedere una tipologia diversa; viceversa una cinematica efficiente non giustifica raccordi stradali o occupazioni incompatibili con il sito.

3 Geometria idraulica e compatibilità nautica

Le grandezze seguenti sono valori del manuale [S1, capp. 1–2], affiancati alle cautele della relazione illustrata. Non sono rilievi. Luce nautica, luce strutturale, lunghezza mobile e raggio di rotazione devono essere rappresentati separatamente: non sono intercambiabili.

Parametro	Ipotesi documentale	Conferma necessaria
Luce nautica aperta	38,50 m	Corridoio effettivo e franchi rispetto a protezioni e ingombri
Luce strutturale	38,00 m	Interasse dei vincoli e arretramento del fulcro
Lunghezza mobile	42,00 m; S2 indica 40–50 m	Campata, coda e contrappeso su una stessa planimetria
Intradosso e livello idrico	+3,30 m e +0,80 m	Datum, marea, sovralzo, piena e scenari combinati
Fondale e corrente	−4,50 m; 2,80 m/s	Batimetria e modellazione idraulica
Unità nautiche	180 t; pescaggio 3,20 m; alberatura 18 m	Censimento flotta e prescrizioni nautiche
Rotazione nominale	90°	Inviluppo reale e arresti in posizione aperta

La differenza tra +3,30 m e +0,80 m fornisce un franco geometrico indicativo di 2,50 m a ponte chiuso. Non certifica la transitabilità delle unità. Analogamente, la differenza nominale tra fondale −4,50 m e pescaggio 3,20 m non definisce da sola il franco sotto chiglia: occorre includere livello idrico, sedimentazione, moto, assetto e margini prescritti.

L’assenza di una pila centrale riduce l’occupazione dell’alveo, ma non annulla erosione, scalzamento o perdite di carico. Spalle, protezioni, banchine, cantieri e dragaggi possono modificare correnti e confinamento dei pali. Occorre un’analisi dello stato attuale e di progetto, anche per condizioni di piena e per la fase provvisoria.

Condizioni di accettazione

Il corridoio e le finestre di apertura devono essere condivisi con Capitaneria e Autorità portuale competenti. Vanno verificati urti accidentali, segnalamento, distanza dagli ormeggi, visibilità, vento operativo e recupero del ponte fermo in posizione intermedia. L’esito dovrà fissare un diagramma delle condizioni ammesse, distinto dai limiti di resistenza strutturale.

4 Impalcato e sezione trasversale

La soluzione di riferimento è un cassone metallico monocellulare ad elevata rigidezza torsionale, con traversi e dettagli locali compatibili con la rotazione. La fonte illustrata mantiene aperte configurazioni ortotrope o miste acciaio-calcestruzzo: la scelta finale richiede confronto tra massa, rigidezza, fatica, durabilità e sostituibilità [S1, cap. 2; S2, p. 6].

Componente trasversale	Larghezza assunta
Marciapiede	2,00 m
Fascia marginale ovest	0,50 m
Due corsie veicolari	2 × 3,50 = 7,00 m
Separazione centrale	0,50 m
Pista ciclopedonale	3,00 m
Fascia di bordo est	0,50 m
Somma delle componenti	13,50 m

La somma delle fasce è coerente con i 13,50 m dichiarati. Tuttavia la loro funzione deve essere risolta: la separazione centrale non sostituisce una protezione tra traffico veicolare e utenti vulnerabili. Le classi H2/H3 citate in S1 restano alternative da selezionare, con larghezza operativa, cordoli e spazi di deformazione verificati rispetto alla categoria stradale e alle condizioni di impatto.

Il manuale assume acciaio S355/S460, modulo elastico E = 210.000 MPa, area metallica A = 0,428 m², inerzia flettente I = 0,185 m⁴ e una grandezza torsionale di 0,210 m⁴. Il termine “inerzia torsionale polarizzata” della fonte non identifica univocamente la costante torsionale da usare nel FEM: occorre distinguere momento polare geometrico, torsione uniforme e ingobbamento. L’altezza indicativa varia da 2,40 m al fulcro a 1,80 m in punta.

Masse e dettagli costruttivi

S1 propone 285 t di impalcato e 95 t di contrappeso, per 380 t rotanti. Un’area uniforme di 0,428 m² estesa per 42 m, con densità convenzionale dell’acciaio 7.850 kg/m³, corrisponde a circa 141 t: la differenza non dimostra un errore, ma richiede una distinta masse con traversi, rinforzi, pavimentazione, impianti e accessori. Il contrappeso deve avere posizione e volume definiti.

Drenaggi, rivestimenti anticorrosivi, accessi interni, aperture di ispezione e punti di sollevamento devono essere previsti fin dal progetto. La scelta della protezione marina e dei dettagli saldati deve ridurre ristagni, fessure e zone non ispezionabili; l’aumento locale di spessore non risolve da solo la fatica.

5 Stati strutturali e verifiche preliminari

Il ponte deve essere verificato in configurazione chiusa, durante il trasferimento dei carichi, in rotazione, in posizione aperta bloccata e nelle condizioni di guasto, manutenzione e montaggio. Lo schema semplicemente appoggiato rappresenta soltanto una prima lettura dello stato chiuso; il comportamento reale dipende da ralla, appoggi, cunei e rigidezze di sponda.

$$Mmax = qL^2 / 8 \quad Vmax = qL / 2 \quad fmax = 5qL^4 / (384EI)$$

Per q = 192,75 kN/m e L = 38 m, il riscontro aritmetico restituisce Mmax = 34.791,38 kN·m e Vmax = 3.662,25 kN. Il manuale riporta 34.789,88 per il momento: lo scarto è piccolo, ma la catena di calcolo va ricostruita. Momenti e coppie sono espressi in kN·m, non in kN/m come in diversi passaggi della fonte.

Con lo stesso q, E = 210 GPa e I = 0,185 m⁴, la formula produce una freccia di circa 134,7 mm. Il valore di fonte di 86,4 mm corrisponderebbe invece a circa 123,63 kN/m nel medesimo modello. Una differenza tra carichi SLU e SLE potrebbe spiegarla, ma la fonte non esplicita la combinazione di esercizio: non è quindi possibile confermare l'idoneità deformazionale.

Il rapporto 38.000/86,4 è circa 440. Il criterio L/400 citato dal manuale non viene assunto come limite normativo universale: la prestazione va definita rispetto a norme applicabili, comfort, giunti, vincoli, apertura e chiusura. Una freccia compatibile con un rapporto geometrico può comunque compromettere il centraggio.

Famiglia di verifica	Contenuto da sviluppare
SLU e stabilità	Flessione, taglio, torsione, instabilità globale e locale, connessioni e tirafondi
SLE e funzionalità	Frecce, vibrazioni, rotazioni, giochi e ripetibilità della chiusura
Fatica	Spettri di traffico e manovra, dettagli saldati, concentrazioni e cumulazione
Azioni eccezionali	Sisma, vento, urti, perdita di un azionamento, arresti e appoggi indisponibili

Le combinazioni dovranno separare permanenti strutturali e portati, traffico mobile, frenatura, temperatura, vento e azioni di manovra. Non basta un unico carico equivalente distribuito. Il modello dovrà includere distribuzione trasversale, contatto e distacco degli appoggi e tolleranze geometriche.

6 Cinematica e dimensionamento degli azionamenti

Nella fase mobile il peso produce un momento ribaltante sul fulcro, mentre la coppia che genera la rotazione attorno all'asse verticale dipende da inerzia, attriti e vento. Confondere le due grandezze conduce a un dimensionamento non fisico. Il ponte è assimilabile a uno sbalzo soltanto per una prima interpretazione delle azioni, non per il dettaglio del nodo.

$$MG = G\,eG \quad T = J\,\alpha + Tattr + Tvento \quad P = T\,\omega / \eta$$

Il manuale assume massa 380 t, eccentricità del baricentro eG = 11,18 m e momento gravitazionale 41.766,80 kN·m. Con g = 9,81 m/s² si ottiene circa 41.677 kN·m: il valore deve essere riallineato con distinta masse, origine degli assi e posizione della coda. Il contrappeso non è verificabile senza bracci e distribuzione longitudinale delle masse.

Grandezza di fonte	Valore	Qualificazione
Inerzia di massa J	148.000.000 kg·m²	Da calcolare dalla geometria; unità corretta kg·m²
Angolo e durata	90° in 120 s	La durata riguarda la rotazione, non l'intera chiusura al traffico
Coppia inerziale	193,88 kN·m	Richiede legge di accelerazione esplicita
Attrito e vento	67,10 e 308,30 kN·m	Vento di 15 m/s solo come ipotesi di manovra
Coppia totale di spunto	569,28 kN·m	Somma aritmetica dei tre contributi
Rendimento e potenza di fonte	0,72 e 20,72 kW	P da interpretare come potenza a monte delle perdite
Azionamenti	4 × 11 kW = 44 kW	Ridondanza da dimostrare, non derivata dal solo numero

Una traiettoria trapezoidale simmetrica di 120 s con rampe di circa 10,97 s è compatibile con l'accelerazione 193.880/148.000.000 = 0,00131 rad/s²; la velocità massima risulta circa 0,0144 rad/s. Usando prudenzialmente la coppia massima a tale velocità, P è circa 11,4 kW. Viceversa 20,72 kW implicherebbero circa 0,0262 rad/s nella formula riportata. I dati non descrivono un'unica legge del moto coerente.

La selezione dei motori richiede curve coppia-velocità, rapporto di riduzione, servizio intermittente, frenatura, ripartizione tra pignoni e scenario con un motore indisponibile. Il margine di potenza non garantisce N+1 se un guasto meccanico blocca la trasmissione. Vanno definite soglie del vento, arresti controllati e recupero in assenza di rete.

7 Ralla vincoli e apparati oleodinamici

La ralla a tre corone di rulli trasferisce carichi assiali, radiali e momenti tra impalcato e basamento. S1 propone diametro esterno e diametro di rotolamento entrambi pari a 4,50 m: le quote devono essere distinte e confermate da un disegno del costruttore. Capacità dichiarate e azioni di progetto devono riferirsi a condizioni confrontabili.

Elemento	Predimensionamento di S1	Verifica richiesta
Ralla	Capacità assiale statica 28.500 kN	Interazione carico assiale, radiale e momento; vita e deformabilità
Momento statico ammissibile	125.000 kN·m	Curva del costruttore, bulloni, supporti e coefficienti
Centraggio	Due martinetti da 1.500 kN a 280 bar	Corsa, cinematismo, attrito, appoggi e perdite
Bloccaggio	Due perni in acciaio diametro 180 mm	Taglio, flessione, rifollamento, fatica e azioni accidentali
Controllo posizione	Finecorsa e encoder ridondanti	Diagnostica, cause comuni e prove dei consensi

Il rapporto 125.000/41.766,80 è circa 2,99. È un confronto nominale tra valori di fonte, non un coefficiente globale di sicurezza al ribaltamento del sistema. Restano da verificare combinazioni, resistenza della ralla, contatto, tirafondi, flange, rigidezza del plinto, pali e terreno. La verifica assiale isolata non copre il momento eccentrico.

Due attuatori da 1.500 kN non possono essere confrontati automaticamente con la reazione verticale di 3.662 kN dello schema chiuso: se dovessero sollevarla interamente in modo diretto, la forza nominale complessiva di 3.000 kN non sarebbe sufficiente. Se servono solo al centraggio o agiscono mediante cunei, occorre ricostruire il rapporto cinematico e l'effettivo percorso dei carichi. Gli appoggi strutturali e i dispositivi di serraggio hanno funzioni diverse.

Manutenibilità del nodo

Il progetto deve prevedere ingrassaggio, tenute, drenaggi, controllo dei giochi, ispezione della dentatura e modalità di sostituzione di motori e freni. Per la ralla occorre una procedura di sollevamento e sostegno temporaneo dell'impalcato, con spazi, punti di presa e costi di fermo. Le tubazioni oleodinamiche richiedono protezione marina, contenimento delle perdite e accessibilità alle valvole.

Il bloccaggio aperto deve resistere alle azioni ammesse durante il transito nautico senza affidarsi alla sola coppia dei motori. L'interblocco stradale richiede appoggi correttamente in presa, posizione verificata e blocchi inseriti. Il sistema deve riconoscere anche un sensore coerente elettricamente ma meccanicamente disaccoppiato.

8 Geotecnica e fondazioni

La stratigrafia numerica del manuale è mantenuta come modello ipotetico, non come risultato di una campagna di sito. Il PDF chiarisce che numero e dimensioni dei pali devono derivare dalle indagini [S1, cap. 5; S2, p. 8]. Le quote sono profondità indicative dal piano di riferimento, da precisare prima dell'uso.

Profondità	Unità ipotizzata	Parametri di fonte
0–6,50 m	Riporti e sabbie limose	$\phi = 26°$; E = 12 MPa
6,50–18,20 m	Limo argilloso organico tenero	cu = 35 kPa; E = 8,5 MPa
18,20–29,00 m	Sabbie medio-dense con conchiglie	$\phi = 34°$; E = 45 MPa
Oltre 29,00 m	Argille marnose attribuite al Piacenziano	cu = 150 kPa; E = 110 MPa

L'ipotesi costruttiva comprende un plinto circolare in calcestruzzo armato di diametro 8,50 m e altezza 2,80 m, su 16 pali trivellati di diametro 1,20 m e lunghezza 36 m. La geometria del gruppo, gli interassi, l'armatura, i tirafondi e la distanza dalle banchine non sono definiti. Il volume geometrico del solo plinto è circa 159 m^3, senza detrazioni o maggiorazioni costruttive.

S1 indica 4.479,07 kN sul palo più caricato e 6.250 kN di portata ammissibile. Il confronto non è una verifica agli stati limite: occorrono azioni e resistenze di progetto coerenti, effetto di gruppo, distribuzione dei momenti, eventuale trazione nei pali, attrito negativo, risposta laterale e cedimenti. La portanza di una prova su singolo palo non determina da sola quella del gruppo.

Il testo originario esprime le rotazioni in forma verbale ambigua ("zero virgola zeroicentotre" e "zero virgola zeroduemila gradi"). I valori non sono convertiti arbitrariamente: devono essere ricostruiti dal calcolo originale. La tolleranza di rotazione deve derivare dalla precisione richiesta a ralla, appoggi e giunti, oltre che dalle verifiche geotecniche.

Indagini e controllo in costruzione

Il programma dovrà comprendere sondaggi, prove penetrometriche, campioni e prove di laboratorio, falda, parametri sismici e ricostruzione delle fondazioni esistenti. Vanno valutati consolidazione, liquefazione ove pertinente, erosione, dragaggi e condizioni dei terreni durante l'esecuzione. La spalla opposta richiede un proprio modello, non l'estensione automatica di quello del fulcro.

Prima di scavi e pali si acquisirà una baseline topografica e fessurativa delle banchine. Il piano di monitoraggio dovrà associare soglie di movimento a sospensione, verifica e ripresa dei lavori. La scelta tra opere provvisionali e lavorazioni dall'acqua dipenderà da accessi, navigazione, rumore e gestione di fanghi e materiali di risulta.

9 Modello FEM e programma delle verifiche

Il modello agli elementi finiti deve collegare geometria, masse, vincoli e terreno. Un modello globale a travi o shell permette le prime analisi; sottomodelli locali del fulcro, delle piastre, dei tirafondi e dei dettagli saldati sono necessari dove gli effetti tridimensionali governano. Le ipotesi devono essere leggibili e versionate, con controlli indipendenti di equilibrio e sensibilità.

$$M\,\ddot{u} + C\,\dot{u} + K\,u = F(t)$$

M, C e K rappresentano matrici di massa, smorzamento e rigidezza; u è il vettore degli spostamenti. Durante la manovra cambiano vincoli e condizioni di contatto. L'aggiornamento digitale non può sostituire la definizione fisica delle configurazioni, né compensare errori di massa attraverso variazioni arbitrarie della rigidezza.

Configurazione	Analisi principali	Evidenza richiesta
Chiusa	Traffico mobile, frenatura, temperatura, vento e sisma	Inviluppi, deformazioni e vincoli in presa
Trasferimento	Distacco e presa degli appoggi, attuatori e cunei	Sequenza dei carichi e tolleranze
Rotazione	Peso eccentrico, vento, accelerazione e frenatura	Azioni sul fulcro per angolo e stato operativo
Aperta	Vento e blocchi, eventuali urti e manutenzione	Stabilità e percorso delle azioni
Montaggio e guasto	Sollevamento, appoggi temporanei, perdita di componenti	Procedure e limiti di impiego

Validazione del modello

Il piano di verifica comprenderà convergenza della mesh, confronto con schemi analitici, bilancio delle reazioni e sensitività a rigidezza della fondazione, giochi, temperatura e posizione del baricentro. Per la fatica si useranno categorie di dettaglio e spettri coerenti; per le lamiere del cassone si verificheranno instabilità e distorsione. Le connessioni devono essere rappresentate con un livello di dettaglio coerente con il meccanismo resistente.

La campagna di collaudo dovrà fornire dati indipendenti per confrontare frecce, reazioni, frequenze e forme modali con le previsioni. La calibrazione utilizzerà una parte dei dati; altri eventi e condizioni saranno riservati alla validazione. Un modello che riproduce un'unica prova non è automaticamente affidabile per vento, sisma, danno o configurazioni di manovra diverse.

Gli elaborati dovranno esplicitare vita nominale, classe d'uso, azioni ambientali, requisiti prestazionali e norme adottate. L'obiettivo di durata superiore a cento anni richiamato da S1 resta un'ambizione progettuale: non vale per tutti i componenti e non può essere garantito dalla sola presenza di sensori.

10 Sensoristica FBG e qualità delle misure

La rete di monitoraggio proposta in S1 è un punto di partenza per un progetto di osservabilità. Numero e posizione dei sensori dovranno essere confermati dal FEM, dalle grandezze da distinguere e dalla possibilità di calibrare e sostituire gli strumenti in ambiente marino.

Sistema	Quantità	Campionamento di fonte	Funzione
FBG estensimetrici	64 punti	250 Hz	Deformazioni in sezioni e nodi critici
FBG termici liberi	16 punti	1 Hz	Compensazione termica locale
Accelerometri triassiali	8	1.000 Hz	Dinamica globale e risposta transitoria
Inclinometri	4	50 Hz	Assetto di fulcro e impalcato
Encoder assoluti	2	100 Hz	Posizione e velocità angolare
Celle di carico	4	10 Hz	Reazioni sugli appoggi

$$\Delta\lambda B \,/\, \lambda B \;=\; (1 - pe)\,\varepsilon \;+\; (\alpha T \;+\; \xi)\,\Delta T$$

La relazione linearizzata FBG lega la variazione della lunghezza d'onda di Bragg alla deformazione ε e alla temperatura. pe è il coefficiente fotoelastico; αT e ξ rappresentano i contributi termici. L'accuratezza dipende da interrogatore, calibrazione, adesivo, trasferimento della deformazione e protezione: la fonte non dimostra una precisione "micrometrica". La deformazione si esprime in microstrain, non in micrometri di spostamento.

Gli inclinometri sono descritti nella prefazione di S1 come MEMS e nel capitolo dedicato come capacitivi: la tecnologia va definita in specifica insieme a risoluzione, stabilità e deriva. Le frequenze indicate sono requisiti ipotetici di acquisizione; archiviazione continua, filtraggio antialiasing e trasmissione devono essere dimensionati separatamente. Le vibrazioni locali della ralla possono richiedere sensori dedicati diversi dagli accelerometri globali.

Catena metrologica

Ogni dato deve includere identificativo, unità, timestamp sincronizzato, configurazione del ponte, calibrazione, qualità e versione della catena di elaborazione. Saturazione, dati mancanti, deriva e disallineamento temporale devono essere riconoscibili. Le misure termiche vanno associate ai rispettivi tratti strutturali; una sola temperatura ambientale non descrive i gradienti del cassone.

Sono necessari controlli all'installazione, prove a carico noto, baseline per più condizioni ambientali e verifiche periodiche. Ridondanza e controlli incrociati devono consentire di distinguere guasto del sensore, perdita di comunicazione e variazione fisica. L'indisponibilità del monitoraggio avvia una procedura degradata definita dal gestore, non una diagnosi automatica di danno.

11 Digital Twin OMA e governo dei modelli

Il Digital Twin unisce modello informativo, FEM, inventario dei componenti installati, documenti, misure, prove, guasti e interventi. La sua utilità dipende dalla continuità tra stato reale e registrazioni: una geometria tridimensionale priva di storia e responsabilità di aggiornamento non costituisce un gemello operativo.

Livello	Contenuto	Vincolo di progetto
Campo	Sensori, encoder e diagnostica impianti	Identificazione, sincronizzazione e qualità della misura
Edge	Filtraggio, compensazione, buffer e diagnostica locale	Continuità in assenza del collegamento esterno
Piattaforma analitica	FEM, OMA, storico e gestione documenti	Versionamento, validazione e separazione dal controllo di sicurezza

Il flusso verso la piattaforma può essere continuo, ma l'aggiornamento della matrice di rigidezza non deve essere accettato automaticamente ad ogni misura. Occorre delimitare parametri identificabili, intervalli plausibili e finestre stazionarie; gli aggiornamenti rilevanti richiedono validazione e possibilità di ripristino della versione precedente.

Identificazione modale operativa

L'OMA stima frequenze, forme modali e smorzamenti usando l'eccitazione ambientale e del traffico. Le frequenze di S1 — 2,14 Hz per il primo modo flettente verticale, 4,38 Hz per il primo torsionale e 5,82 Hz per il primo trasversale — sono valori di riferimento non verificati. Devono essere confrontati con il FEM e con una baseline misurata, distinguendo i diversi stati del ponte.

Temperatura, massa dei veicoli, giochi e rigidezza degli appoggi possono modificare le frequenze senza danno. L'identificazione deve quindi controllare qualità del segnale, durata della finestra, eccitazione sufficiente e coerenza delle forme modali. Una variazione sistematica giustifica un approfondimento, non localizza da sola una perdita di rigidezza.

Responsabilità e accettazione

Il gestore dovrà nominare responsabili dei dati, del modello e delle decisioni manutentive. L'appaltatore consegnerà dizionario dei dati, formati esportabili, configurazioni, certificati di calibrazione, manuali, licenze e procedure di backup. La proprietà e la portabilità dei dati devono essere definite contrattualmente per evitare dipendenza da un unico fornitore.

Il collaudo digitale dovrà verificare perdita del cloud, ripristino da backup, sostituzione di un sensore, ricostruzione di un evento e tracciabilità di una modifica del FEM. La disponibilità della piattaforma analitica sarà un requisito gestionale separato dalla capacità del ponte di raggiungere e mantenere uno stato sicuro.

12 Manutenzione predittiva IA e DSS

La manutenzione predittiva integra ispezioni e sostituzioni programmate. Per la carpenteria, i segnali FBG possono contribuire alla ricostruzione degli intervalli di tensione; conteggio Rainflow e regola di Miner stimano il danno cumulativo $D = \Sigma\ ni/Ni$, subordinatamente a calibrazione, categoria del dettaglio e storia dei carichi. Non misurano direttamente la vita residua di ogni saldatura.

Reti neurali ricorrenti e modelli non supervisionati possono individuare anomalie di serie temporali. Il loro impiego richiede dati di addestramento rappresentativi, controllo della deriva, validazione su eventi indipendenti e misure di falsi allarmi e mancate rilevazioni. La spiegazione di un allarme deve mostrare dati, condizioni del ponte e ipotesi alternative.

Livello di S1	Scostamento frequenza	Deformazione residua	Risposta da validare
0 Ordinario	< 1,5%	< 20 με	Esercizio e controlli ordinari
1 Attenzione	1,5%–< 4%	20–< 50 με	Controllo sensori e ispezione programmata
2 Allarme	4%–8%	50–120 με	Valutazione tecnica e possibili restrizioni ai pesanti
3 Critico	> 8%	> 120 με	Messa in sicurezza secondo stato e procedura

Le soglie sono riportate per conservarne il contenuto, non adottate come limiti operativi. Gli intervalli sono qui resi non sovrapposti; occorre definire riferimento, segno, persistenza, isteresi, compensazione termica e combinazione degli indicatori. In caso di indicatori discordanti, il DSS segnala il livello più cautelativo all'operatore, secondo una regola da validare. L'arresto immediato durante la rotazione non è necessariamente la risposta più sicura: la funzione di sicurezza deve definire decelerazione, mantenimento e recupero.

La diagnostica della ralla confronta coppia, corrente, temperatura, vibrazioni e durata della manovra a parità di vento e assetto. Aumenti di assorbimento possono dipendere da lubrificazione, disallineamento, freni o condizioni ambientali. Prima di attribuire il fenomeno a usura delle piste servono riscontri e ispezioni mirate.

Benefici da dimostrare

La riduzione del 35% dei costi manutentivi richiamata in S1 non è dimostrata e non è applicata al budget base. Dovrà essere verificata contro un piano tradizionale comparabile, includendo licenze, calibrazioni, personale e rinnovi del sistema digitale. Il DSS propone azioni; la loro approvazione, esecuzione e verifica devono essere registrate nel sistema di manutenzione.

13 Sicurezza funzionale e cybersecurity

La sicurezza della manovra deve restare indipendente da Digital Twin, servizi cloud e IA diagnostica. Il riferimento SIL 3 presente in S1 è un obiettivo ipotetico: componenti dichiarati SIL 3 non rendono automaticamente conforme l'intera funzione. Analisi dei pericoli e valutazione del rischio dovranno assegnare SIL o PL alle singole funzioni e dimostrarne l'architettura, la diagnostica e le prove.

Fase	Consensi essenziali
Interdizione accessi	Semafori, barriere veicolari e pedonali, verifica area libera
Trasferimento e sblocco	Condizioni ambientali ammesse, carichi trasferiti, perni retratti
Rotazione	Controllo posizione e velocità, freni disponibili, assenza di ostacoli
Apertura completa	Posizione verificata e blocchi inseriti prima del consenso nautico
Ritorno in esercizio	Canale libero, centraggio, appoggi e blocchi verificati prima del verde

Radar e telecamere possono assistere la verifica dell'area libera; l'uso di visione artificiale nella catena di sicurezza richiede qualificazione specifica e non può essere assunto sulla base delle sole prestazioni dimostrative. Mancanza di alimentazione, guasto di encoder, perdita di pressione e discordanza dei finecorsa devono condurre a risposte definite e provate. UPS, eventuale generatore e recupero assistito vanno dimensionati sullo stato sicuro richiesto.

Il manuale propone separazione OT e trasmissione unidirezionale mediante data diode. La soluzione riduce le vie di ingresso dal livello analitico, ma non elimina rischi da manutenzione locale, supporti rimovibili, credenziali, supply chain e aggiornamenti. I parametri calcolati in cloud non devono rientrare automaticamente nei controllori di sicurezza.

Presidi minimi da specificare

Occorrono inventario degli asset, segmentazione delle reti, accessi nominali e privilegi minimi, autenticazione forte per le funzioni amministrative, registrazione degli eventi, backup offline verificati e gestione delle vulnerabilità. Gli accessi di manutenzione saranno temporanei, autorizzati e tracciati; gli aggiornamenti dovranno essere provati prima della messa in esercizio e disporre di rollback.

Il registro normativo dovrà selezionare le edizioni applicabili di IEC 61508, IEC 62061, ISO 13849-1 e della famiglia IEC 62443. Il quadro macchine deve essere verificato alla data di immissione in servizio, considerando il passaggio al regolamento UE 2023/1230 [N4]. L'assoggettamento del gestore alla disciplina NIS2 nazionale richiede una valutazione specifica, non discende dalla sola presenza di un ponte intelligente [N5].

14 Cantierizzazione e BIM 4D e 5D

La facilità di cantierizzazione prospettata in S3 dovrà essere verificata con titoli delle aree, portanza dei piazzali, accessi delle gru e compatibilità con la nuova viabilità portuale. Il cantiere dovrà preservare accessi urbani, attività di banchina e navigazione nelle condizioni concordate. La pianificazione parte dalla disponibilità delle aree e dalle opere provvisionali, non dalla sola sequenza di montaggio dell'impalcato. Gli impatti su traffico, rumore, acque e materiali di risulta devono essere analizzati prima dell'affidamento.

Fase costruttiva	Contenuto	Punto di controllo
Preparazione	Rilievi, tracciamento, sottoservizi, baseline banchine	Aree consegnate e interferenze risolte
Fondazioni	Opere provvisionali, pali, plinto e spalla	Prove, geometria e controllo movimenti
Officina	Cassone, contrappeso, ralla e impianti	Certificati, controlli saldature e premontaggio
Trasporto e varo	Logistica, sollevamento, appoggi temporanei	Piano di sollevamento e finestra meteo-nautica
Integrazione	Azionamenti, vincoli, sensori e automazione	Allineamento e prove senza traffico
Consegna	Collaudi, addestramento e documenti as built	Accettazione integrata e piano di esercizio

La scelta tra assemblaggio a terra, trasporto su pontone o montaggio per conci resta aperta. Ogni alternativa modifica pesi di sollevamento, aree di stoccaggio, durata dell'interdizione nautica e azioni provvisorie. Il Just-in-Time può ridurre gli ingombri, ma deve essere accompagnato da margini logistici e stoccaggi alternativi per i componenti a lunga consegna.

Modello informativo e controllo economico

Il BIM 4D collegherà oggetti e sequenze temporali; il 5D assocerà quantità, prezzi, SAL e variazioni alla stessa WBS. Rilievi laser, immagini e nuvole di punti possono verificare avanzamento e geometria. La Computer Vision non certifica automaticamente volumi o qualità: il dato deve essere riscontrato e approvato da chi tiene la contabilità dei lavori.

Gli strumenti IA per DPI e prossimità ai carichi sospesi sono ausili di vigilanza. Un eventuale comando alle macchine richiede una catena di sicurezza idonea; segnalazioni informatiche non sostituiscono procedure, segregazioni, preposti e coordinamento. Riprese e droni richiedono verifica di autorizzazioni, tutela dei dati e vincoli dell'area.

Il monitoraggio geotecnico durante pali e scavi dovrà essere confrontato con soglie preventive. In caso di movimento anomalo, il piano definirà sospensione, messa in sicurezza, verifica delle opere provvisionali e autorizzazione alla ripresa. Tutte le modifiche eseguite confluiranno nel modello as built e nel registro degli asset.

15 Iter autorizzativo e responsabilità

La comunicazione S3 e la planimetria S4 non costituiscono approvazioni urbanistiche, portuali o finanziarie. Il richiamo di S3 alle disposizioni dell'Autorità portuale richiede l'acquisizione degli atti effettivi. L'iter è una mappa preliminare delle interlocuzioni, non un elenco esaustivo di titoli già individuati. La competenza e l'applicabilità di ciascun procedimento dipenderanno da localizzazione, proprietà delle aree, classificazione delle opere e impatti. Il committente dovrà nominare il responsabile del procedimento e costituire un registro di autorizzazioni, prescrizioni e scadenze.

Ambito	Interlocuzione indicativa	Risultato atteso
Assetto urbano e mobilità	Comune e gestori della viabilità	Coerenza urbanistica, accessi e disciplina del traffico
Porto e navigazione	Autorità di Sistema Portuale e Capitaneria	Compatibilità portuale, corridoio e procedure nautiche
Demanio e aree	Amministrazioni titolari e concessionari	Titoli, disponibilità, occupazioni e accordi
Idraulica e ambiente	Autorità idrauliche e ambientali competenti	Compatibilità, eventuale screening e prescrizioni
Paesaggio e archeologia	Soprintendenza e amministrazioni competenti	Verifica vincoli, indagini e autorizzazioni pertinenti
Strutture e impianti	Uffici competenti e soggetti di verifica	Adempimenti sismici, strutturali e conformità impiantistica
Interferenze	Gestori dei sottoservizi e opere di sponda	Accordi tecnici, tempi e riparto dei costi

Il percorso proposto prevede acquisizione dei dati, confronto delle alternative, definizione dei requisiti e sviluppo del livello progettuale formalmente richiesto; seguono verifiche, acquisizione dei pareri, approvazione, copertura economica e affidamento. Le attività possono sovrapporsi, ma ordini irreversibili e lavori non devono anticipare i presupposti autorizzativi necessari.

Il Codice dei contratti pubblici e i relativi allegati costituiscono il riferimento generale per livelli progettuali e quadro economico, da applicare nel testo vigente alla procedura [N3]. La presente relazione non ne sostituisce gli elaborati. Il quadro normativo strutturale assume come riferimento NTC 2018, modifiche del 2023 e istruzioni applicative del 2019, da integrare con le norme pertinenti alla soluzione [N1; N2].

Condizioni per procedere

Prima dell'affidamento dovranno risultare disponibili: asse e geometria coerenti, titolarità delle aree, condizioni nautiche, indagini e verifiche, matrice dei rischi, piano di sicurezza e collaudo, costo aggiornato e copertura. Il gestore dovrà accettare personale, manutenzione e procedure di emergenza; la sola copertura del costo di costruzione non garantisce l'esercibilità dell'opera.

16 Cronoprogramma e dipendenze

Si assume un avvio convenzionale a gennaio 2027 e una durata base di 48 mesi fino a dicembre 2030. Le date sono uno scenario organizzativo, non impegni degli enti. Il modello finanziario usa quattro annualità; slittamenti di autorizzazioni, aree o forniture impongono di riprogrammare anche i flussi.

Attività	Mesi dall'avvio	Esito o dipendenza
Rilievi e indagini	1–6	Topografia, batimetria, geotecnica, traffico e navigazione
Alternative e fattibilità	4–10	Asse e soluzione motivati
Confronto enti e autorizzazioni	6–18	Prescrizioni e titoli applicabili
Progettazione e verifica	10–20	Modelli, computo, sicurezza e specifiche
Affidamento e ordini critici	20–26	Copertura, gara e contratti
Fondazioni e opere di sponda	27–35	Prove, geometria e disponibilità al montaggio
Officina e forniture	27–39	Ralla, carpenteria, azionamenti e FAT
Varo e integrazione	40–44	Meteo favorevole e finestra nautica
Collaudi e avviamento	45–48	SAT, prove strutturali e consegna al gestore

La disponibilità della viabilità portuale richiamata da S3 è una dipendenza esterna da inserire nel programma; non si assume completata sulla base della comunicazione del 2025. Il percorso critico passa potenzialmente per disponibilità delle aree, autorizzazioni, ralla su commessa e finestra di varo. La costruzione delle fondazioni e la fabbricazione in officina possono procedere in parallelo solo dopo il congelamento delle interfacce. Le tolleranze tra basamento, ralla, tirafondi e impalcato devono essere concordate prima degli ordini.

Milestone decisionali

M6: sufficienza della conoscenza del sito. M10: scelta della soluzione. M20: progetto verificato e quadro economico aggiornato. M26: contratti e forniture avviati. M39: prove di officina e autorizzazione alla spedizione. M44: integrazione completata. M48: accettazione e avvio del servizio. Ogni passaggio deve avere evidenze e responsabile, non soltanto una data.

Lo scenario ottimistico ipotizza assenza di ritardi rilevanti e durata di 42 mesi; quello prudenziale 60 mesi. Nelle comparazioni economiche a quattro anni si isolano inizialmente prezzi e rischi; l'effetto del quinto anno è calcolato separatamente nel capitolo scenari. Le riserve temporali non sostituiscono le condizioni di accesso ai finanziamenti o i termini autorizzativi.

17 Quadro economico dei lavori

Importi in euro, prezzi convenzionali di ottobre 2026. La WBS di S1, ripresa in S5, è conservata integralmente come punto di partenza; S5 assume sicurezza e manodopera provvisoriamente incluse nei 9,20 milioni; il presente scenario integrato esplora esplicitamente il caso di integrazioni necessarie. Non è disponibile un computo metrico che ne dimostri quantità, prezzi unitari o completezza. Non si applica alcun ribasso d'asta presunto.

Codice	Categoria	Importo
A1	Opere geotecniche e fondazioni profonde	2.150.000
A2	Carpenteria metallica e contrappeso	2.850.000
A3	Ralla, apparati elettromeccanici e oleodinamici	1.900.000
A4	Sensoristica FBG e sviluppo Digital Twin	880.000
A5	Automazione, segnaletica e varchi	1.420.000
A0	Totale lavori di origine	9.200.000
A6	Sicurezza di cantiere specifica aggiuntiva ipotizzata	320.000
A7	Raccordi locali, protezioni, drenaggi e opere accessorie	550.000
A	Totale lavori nello scenario base integrato	10.070.000

Le incidenze delle cinque categorie originarie sono rispettivamente 23,37%, 30,98%, 20,65%, 9,57% e 15,43% del totale 9,20 milioni. L'incremento a 10,07 milioni non rivaluta queste categorie: introduce due accantonamenti di perimetro. La loro effettiva necessità e l'eventuale sovrapposizione con i prezzi originari devono essere verificate; importi già compresi vanno detratti per evitare doppio conteggio.

Regole per il successivo computo

La voce A6 è una previsione dei costi della sicurezza specifici da determinare nel piano di sicurezza; i costi aziendali dell'esecutore non sono una seconda maggiorazione automatica. La manodopera non è separata per assenza di analisi prezzi e dovrà essere identificata nei documenti di gara secondo la disciplina applicabile. Spese generali e utile dell'appaltatore sono assunti inclusi nei valori dei lavori.

La voce A7 è una somma provvisoria per opere locali ordinarie. Non copre grandi viabilità esterne, dragaggi generalizzati, bonifiche rilevanti o ricostruzioni estese delle banchine. I sistemi di protezione dagli urti, le opere provvisionali e le alimentazioni devono essere ricondotti a voci misurabili. L'infrastruttura digitale dovrà separare fornitura iniziale, sviluppo, integrazione e costi ricorrenti.

Il livello di attendibilità resta quello di una stima parametrica. Il preventivo successivo dovrà indicare data e fonte dei prezzi, quantità, esclusioni, offerte dei fornitori critici e analisi dei rischi. La precisione aritmetica degli importi non implica accuratezza estimativa.

18 Somme a disposizione fiscalità e investimento

Voce	Somme a disposizione e riserve	Euro
B1	Indagini, rilievi e studi specialistici	240.000
B2	Progettazione, DL, coordinamento sicurezza e BIM	1.050.000
B3	Collaudi strutturali, funzionali e digitali	160.000
B4	Verifica del progetto e supporti specialistici	130.000
B5	Procedure, contributi e pubblicazioni	35.000
B6	Prove aggiuntive e verifiche ambientali	60.000
B7	Assicurazioni e consulenze del committente	70.000
B8	Interferenze con sottoservizi	200.000
B9	Aree, occupazioni ed eventuali espropri	250.000
B10	Accantonamento funzioni tecniche interne	150.000
B11	Allacciamenti e oneri amministrativi	40.000
B	Totale somme a disposizione	2.385.000
C	Contingency tecnica 15% dei lavori A	1.510.500
D	Oneri professionali ipotizzati	53.600
E	IVA prudenziale di scenario	2.979.702
T	Investimento complessivo A+B+C+D+E	16.998.802

B2 include progettazione, direzione lavori e coordinamento; B4 è separata per la verifica e supporti indipendenti. B10 è un accantonamento convenzionale, non il calcolo o il riconoscimento di un incentivo spettante. B8 e B9 non presuppongono interferenze o espropri accertati: la disponibilità delle aree potrebbe modificarli anche significativamente.

Ipotesi fiscali, non parere tributario: contributo professionale del 4% su B2+B3+B4, pari a 53.600 euro; IVA del 22% su A+C e su B1+B2+B3+B4+B6+B7+B8+D. Per semplicità B5, B9, B10 e B11 sono trattate come importi fuori da questa base IVA, da riclassificare. Aliquote, imponibilità, recuperabilità e regime effettivo dovranno essere validati per ciascun contratto e soggetto.

La contingency C copre incertezza tecnica residua; non comprende inflazione, già trattata nei flussi nominali, né interessi. L'IVA sulla riserva è stanziata prudenzialmente, ma diventa esborso solo se la riserva viene impegnata. L'investimento netto delle ipotesi IVA è 14.019.100 euro. Il fabbisogno lordo assume IVA non recuperata; eventuali recuperi devono essere rappresentati con tempi e condizioni, non sottratti senza evidenza.

18.1 Quadro documentale del nuovo allegato

Il PDF PONTE GIREVOLE FIUMICINO [S5, pp. 11–13] sviluppa un quadro economico di 14.672.390,40 euro, che assume invariati i lavori da 9.200.000 euro. Questo è il quadro base documentale, distinto dal base integrato della presente relazione. I due valori sono alternative di budget e non vanno sommati.

Voce S5	Criterio o contenuto	Euro
A	Lavori; sicurezza e manodopera assunte comprese	9.200.000,00
B1	Indagini, rilievi e batimetria; 2,5% di A	230.000,00
B2	Progettazione e DL; 8% di A	736.000,00
B3	Coordinamento sicurezza; 2% di A	184.000,00
B4	Collaudi, verifiche e prove; 1,5% di A	138.000,00
B5	Allacciamenti e interferenze	250.000,00
B6	Contingency tecnica; 10% di A	920.000,00
B7	Aree, espropri e occupazioni eventuali	200.000,00
B8	Funzioni tecniche; ipotesi 1,5% di A	138.000,00
B9	Gara e supporti amministrativi	40.000,00
B	Totale somme a disposizione	2.836.000,00
C1	Contributi 4% su B2+B3+B4	42.320,00
C2–C4	IVA ipotizzata 22% su A, B1–B6 e C1	2.574.070,40
C5	Altri tributi e oneri fiscali eventuali	20.000,00
D	Investimento lordo documentale	14.672.390,40

Le somme della fonte risultano aritmeticamente coerenti. Il netto della sola IVA è 12.098.320 euro; comprende riserve e oneri diversi dall'IVA. Il 22% e il contributo del 4% sono ipotesi, non un inquadramento fiscale del singolo affidamento. Il coordinamento della sicurezza è una prestazione tecnica diversa dalle misure di cantiere.

S5 lascia non quantificati autonomamente bonifiche, dragaggi, assistenza archeologica, opere esterne e prescrizioni. La loro eventuale inclusione nei lavori deve essere verificata. Le superfici e le sistemazioni della tavola S4 non sono coperte per il solo fatto di essere disegnate: occorre un confine di intervento condiviso e un computo per le opere aggiuntive.

18.2 Riconciliazione dei due quadri economici

Il quadro integrato del capitolo 18 non corregge un errore di somma di S5: cambia alcune ipotesi di perimetro e riserva. La riconciliazione seguente raggruppa le voci omogenee e permette di valutare quali integrazioni mantenere dopo le indagini. Importi in euro, a prezzi costanti di ottobre 2026.

Componente omogenea	Base S5	Base integrato	Differenza
Lavori	9.200.000	10.070.000	870.000
Somme escluse contingency e oneri fiscali	1.916.000	2.385.000	469.000
Contingency tecnica	920.000	1.510.500	590.500
Contributi professionali	42.320	53.600	11.280
Altri oneri fiscali separati	20.000	0	−20.000
IVA ipotizzata	2.574.070,40	2.979.702,00	405.631,60
Totale lordo	14.672.390,40	16.998.802,00	2.326.411,60

Gli 870.000 euro di lavori aggiuntivi comprendono 320.000 euro di sicurezza specifica e 550.000 euro di raccordi e protezioni. In S5 tali oneri sono assunti compresi o non separatamente quantificati: l'integrazione si mantiene soltanto per prestazioni effettivamente non già coperte. La contingency cresce dal 10% dei lavori originari al 15% dei lavori integrati.

La differenza nelle somme a disposizione deriva da un diverso livello di dettaglio e di riserva per studi, progettazione, verifiche, prove, aree e supporti. I 20.000 euro fiscali separati di S5 non sono ripetuti automaticamente: nel modello integrato gli oneri amministrativi sono ricondotti alle voci B5 e B11, da disaggregare fiscalmente. L'IVA segue le rispettive basi imponibili convenzionali.

Criterio per scegliere il budget di programmazione

Il valore di 14,67 milioni conserva lo scenario economico dell'allegato aggiunto. Il valore di 17,00 milioni è una previsione integrativa di lavoro per discutere maggiore copertura del perimetro e dell'incertezza. Nessuno dei due è un costo approvato o un tetto sufficiente per qualunque variante. Fino al rilievo dell'asse verso la foce non è possibile affermare che la campata e le opere esterne siano quelle della WBS originaria.

Il committente dovrà scegliere una sola baseline dopo la verifica delle inclusioni. Il relativo registro dovrà indicare per ogni voce quantità, fonte del prezzo e rischio coperto; le riserve liberate per duplicazione non diventano automaticamente economie disponibili per altri interventi. Il cash flow integrato e quello documentale sono riportati separatamente nei capitoli 21 e 21.1.

19 Gestione manutenzione e rinnovi

Si assume esercizio dal 2031, con budget annuo a prezzi costanti distinto dall'investimento. La stima considera presidio organizzativo condiviso e reperibilità; non finanzia una postazione autonoma presidiata continuativamente da personale dedicato. Il regime effettivo delle aperture e le turnazioni possono aumentare sensibilmente il costo.

Costo ricorrente	Euro per anno
Personale, coordinamento e reperibilità	120.000
Energia e servizi ausiliari	25.000
Manutenzione meccanica e oleodinamica ordinaria	70.000
Ispezioni strutturali e controlli	35.000
Sensoristica, taratura, dati, licenze e cybersecurity	55.000
Pulizia, drenaggi e riprese protettive locali	25.000
Assicurazioni e servizi generali	15.000
Riserva per piccoli guasti ordinari	15.000
Totale annuo netto	360.000

La previsione base è 360.000 euro/anno netti. Per il solo modello di cassa si assume IVA al 22% su 240.000 euro di servizi e forniture e nessuna IVA sui 120.000 euro di personale: fabbisogno lordo convenzionale 412.800 euro/anno a prezzi 2026. Il trattamento delle singole voci andrà verificato. Il costo energetico richiede numero di manovre, rendimenti reali e carichi ausiliari; non deriva da 44 kW moltiplicati per tutte le ore dell'anno.

Rinnovo straordinario ipotetico	Anni di esercizio	Euro netti per evento
Elettronica, sensori e piattaforma	8, 16, 24	240.000
Azionamenti e oleodinamica	12, 24	650.000
Ciclo maggiore anticorrosione	15, 30	950.000
Revisione importante del nodo ralla	20	450.000

I rinnovi sono aggiuntivi al costo ordinario e non doppiamente accantonati nell'OPEX. Durate, costi e fermi sono ipotesi, da sostituire con piani dei costruttori e condizioni effettive. La revisione ralla non equivale a sostituzione completa: il rischio di sostituzione e sostegno temporaneo del ponte richiede un'analisi separata.

Il piano manutentivo dovrà prevedere controlli ordinari, verifiche specialistiche e ispezioni dopo urti, eventi meteo severi o anomalie. Ricambi critici, contratti di assistenza e tempi massimi di ripristino devono essere concordati con il gestore. Il costo economico dei disservizi alla città e alla navigazione non è monetizzato in questo budget.

19.1 Piano gestionale e LCC del nuovo allegato

S5, pp. 16–18, presenta un piano ordinario da 300.000 euro annui netti e un fondo rinnovi da 80.000 euro annui. Il budget equivalente di 380.000 euro non va aggiunto ai 360.000 euro del modello integrato: si tratta di due programmi alternativi, con manutenzioni e rinnovi diversi.

Costo ordinario di S5	Euro annui
Presidio condiviso, reperibilità e manovre	95.000
Energia e utenze	25.000
Meccanica e oleodinamica	65.000
Strutture, protezioni e ispezioni	40.000
Digital Twin, licenze e cybersecurity	45.000
Assicurazioni, verifiche e amministrazione	30.000
Totale ordinario	300.000
Fondo rinnovi separato	80.000

Anno di esercizio	Intervento di S5	Costo netto	Saldo fondo dopo prelievo
8	Sensori, edge e componenti digitali	400.000	240.000
15	Revisione elettromeccanica	600.000	200.000
22	Automazione e digitale	400.000	360.000
30	Meccanica e protezioni	1.000.000	0

Gli accantonamenti a fine anno prima dei prelievi producono 2,40 milioni in trent'anni, senza rendimenti reali, e coprono il calendario ipotizzato nella fonte. Nel modello integrato i rinnovi sono invece 4,37 milioni: includono cicli più espliciti di anticorrosione, elettronica, azionamenti e revisione ralla. Le differenze devono essere risolte con i costruttori e il gestore, non scegliendo automaticamente la cifra minore.

Per S5 il LCC netto della sola IVA al 3% è 19.300.077,03 euro: 12.098.320 euro iniziali, 5.880.132,40 euro attualizzati di esercizio e 1.321.624,62 euro di rinnovi, con differenze centesimali da arrotondamento. Il costo non attualizzato è 23.498.320 euro; il costo annuo equivalente è 984.675,63 euro. Ai tassi 2% e 4% la fonte riporta rispettivamente 20.415.268,16 e 18.388.465,60 euro.

S5 non ipotizza dismissione al trentesimo anno. La presente analisi integrata introduce invece un costo terminale convenzionale di 500.000 euro; il confronto deve quindi tener conto anche di questa differenza. La sensibilità fiscale di S5 porta il budget annuo equivalente a 463.600 euro e il LCC lordo al 3% a 23.458.533,97 euro, assumendo per semplicità il 22% su tutti gli esborsi futuri. Non è un'imposta sull'accantonamento e non determina la fiscalità del personale o delle assicurazioni.

20 Analisi del costo del ciclo di vita

L'analisi LCC considera 30 anni di esercizio a prezzi reali di ottobre 2026 e un tasso reale convenzionale del 3%. Non è una stima della vita strutturale, né un piano di ammortamento. Il capitale netto IVA è concentrato convenzionalmente al tempo zero di entrata in esercizio; questo consente un confronto trasparente dei costi, distinto dai flussi di costruzione per anno.

$$LCC = C0 + \Sigma t\,(OPEXt + Rinnovit + Costi\,finalit - Valore\,residuot) / (1 + r)\text{^}t$$

Componente	Ipotesi	Valore attuale euro
Investimento iniziale	Netto IVA, inclusi riserva e oneri	14.019.100
Gestione ordinaria	360.000 €/anno per 30 anni	7.056.159
Rinnovi straordinari	Calendario del capitolo 19	2.483.047
Costo terminale	500.000 € al trentesimo anno	205.993
Valore residuo	Assunto nullo per prudenza	0
LCC base	Somma dei valori attuali	23.764.299

Il costo terminale è una riserva convenzionale per ripristino o interventi di fine orizzonte, non un preventivo di demolizione e non l'affermazione che il ponte debba essere dismesso dopo trent'anni. Il valore residuo nullo è una scelta conservativa. Se si assume la prosecuzione dell'esercizio, occorre stimare il valore residuo e ridefinire il trattamento del rinnovo anticorrosione al trentesimo anno.

Tasso reale	LCC netto euro
2%	25.336.545
3%	23.764.299
5%	21.425.539

A tasso 3%, una variazione di 60.000 euro/anno dell'OPEX modifica il valore attuale di circa 1.176.026 euro. L'incertezza gestionale è quindi rilevante quanto alcune voci iniziali. Per il confronto delle alternative è necessario mantenere uguali orizzonte, fiscalità, tasso e livello di servizio.

Il LCC esclude interessi finanziari, inflazione generale, benefici sociali e perdite di utenza, per non confondere costo reale dell'opera, costo del capitale e analisi socioeconomica. Non consente di calcolare redditività, VAN finanziario o ritorno dell'investimento in assenza di ricavi e condizioni di finanziamento. Il costo non attualizzato, comprensivo di 10,80 milioni di gestione, 4,37 milioni di rinnovi e 0,50 milioni terminali, è 29,689 milioni netti.

21 Flussi di cassa e fabbisogno annuale

Il fabbisogno base è ripartito su quattro esercizi convenzionali: 8%, 22%, 42% e 28%. La distribuzione include lavori, servizi, oneri, IVA e l'intero accantonamento rischi, assumendone prudenzialmente l'utilizzo. Non è un piano contrattuale dei SAL. L'adeguamento prezzi ipotetico è del 3% annuo composto, applicato per semplicità all'intero fabbisogno di ciascuna annualità con esponenti da 1 a 4 rispetto al 2026.

Anno	Attività prevalente	Quota	Prezzi 2026 €	Cassa nominale €
2027	Indagini e sviluppo progettuale	8%	1.359.904	1.400.701
2028	Progetto, iter e affidamento	22%	3.739.736	3.967.486
2029	Fondazioni, officina e forniture	42%	7.139.497	7.801.521
2030	Varo, integrazione e collaudi	28%	4.759.665	5.357.044
Totale		100%	16.998.802	18.526.753

Il fabbisogno nominale base è 18,527 milioni di euro; la differenza di 1,528 milioni rispetto al quadro a prezzi costanti è un accantonamento temporale sui prezzi, distinto dalla contingency tecnica. Il picco annuale è nel 2029. Gli importi arrotondati possono differire di un euro dal totale calcolato a precisione completa.

Copertura e liquidità

Non essendo documentati contributi assegnati, mutui deliberati o risorse proprie vincolate, il fabbisogno da coprire coincide con l'intero investimento. Le quote annue vanno tradotte in impegni, anticipazioni, SAL, ritenute, saldo e tempi effettivi di pagamento. Le entrate dei finanziatori devono essere pianificate separatamente dalle spese, soprattutto se a rimborso.

Esempio di tensione di liquidità: un ritardo medio di sei mesi nell'erogazione di risorse a rimborso richiederebbe, al ritmo uniforme dell'anno di picco, circa 3,901 milioni di prefinanziamento. Non è un costo aggiuntivo dell'opera né un massimo garantito; il picco reale dipende da anticipi e concentrazione dei SAL. Gli interessi su tale liquidità non sono inclusi nel quadro base.

Per il primo anno di esercizio, il fabbisogno lordo ordinario convenzionale di 412.800 euro a prezzi 2026 diventerebbe circa 478.548 euro nel 2031 con la stessa ipotesi inflattiva. Occorre una copertura ricorrente, distinta dagli stanziamenti per costruzione e dai futuri rinnovi straordinari.

21.1 Flussi per fasi del quadro documentale

Il cronoprogramma economico di S5, pp. 14–15, ripartisce il medesimo investimento lordo di 14.672.390,40 euro su 2027–2030. Le allocazioni delle somme a disposizione B alle fasi non sono nuovi costi. Il totale C è distribuito proporzionalmente ad A+B per ottenere una curva sintetica, non il calendario fiscale delle fatture.

Anno	Lavori A	Somme B	Oneri C	Uscite lorde
2027	44.000	731.500	169.867,13	945.367,13
2028	2.710.000	744.500	756.680,84	4.211.180,84
2029	4.691.000	812.900	1.205.585,67	6.709.485,67
2030	1.755.000	547.100	504.256,76	2.806.356,76
Totale	9.200.000	2.836.000	2.636.390,40	14.672.390,40

Fase	2027	2028	2029	2030
Progettazione e autorizzazioni	880,8	155,4	0,0	0,0
Affidamento	0,0	97,5	0,0	0,0
Fondazioni	0,0	2.564,9	641,2	0,0
Impalcato e contrappeso	0,0	792,4	2.773,3	396,2
Elettromeccanica e automazione	0,0	471,8	2.594,7	1.651,2
FBG e Digital Twin	64,6	129,2	646,1	452,3
Collaudi e messa in esercizio	0,0	0,0	54,1	306,7

Matrice per fase in migliaia di euro lordi, arrotondata a 100 euro come nella fonte; la prima tabella in euro è il riferimento di quadratura. L'allocazione B per fase è: progettazione 850.000 euro; affidamento 80.000; fondazioni 480.000; impalcato 400.000; impianti 550.000; digitale 180.000; verifiche finali 296.000.

Il picco documentale è 6.709.485,67 euro nel 2029. Con inflazione del 2% annuo e pagamenti convenzionali a fine anno, S5 calcola 15.503.437,70 euro nominali. La curva integrata del capitolo 21 assume invece diverso perimetro, percentuali annue e inflazione del 3%: la differenza non deve essere interpretata come semplice rivalutazione dello stesso piano.

Il calendario di S5 prevede già fondazioni nel 2028, mentre il programma tecnico integrato avvia i lavori principali nel 2029 dopo progettazione e affidamento. Le due sequenze sono ipotesi alternative: la baseline finale deve sincronizzare autorizzazioni, ordini, anticipo contrattuale e SAL. Una spesa anticipata per progettare il Digital Twin non implica che il sistema sia operativo sul ponte prima della costruzione.

22 Scenari e sensitività economica

Ipotesi o risultato	Ottimistico	Base	Prudenziale
Variazione lavori A	−5%	0%	+20%
Somme B e oneri D	Invariati	Invariati	+15%
Contingency su A	10%	15%	25%
Inflazione annua	2%	3%	5%
Investimento prezzi 2026 M€	15,709	16,999	21,729
Investimento nominale 4 anni M€	16,640	18,527	25,056
OPEX netto annuo M€	0,300	0,360	0,480
LCC netto a 30 anni M€	21,396	23,764	30,544

Gli scenari non sono intervalli probabilistici e non hanno confidenza statistica. L'ottimistico assume ottimizzazione e assenza di criticità significative, senza contabilizzare un ribasso d'asta. Il prudenziale incorpora maggiori quantità o difficoltà dei lavori, più servizi e una riserva rischi più elevata. Nei LCC il tasso reale resta 3%; rinnovi e costo terminale variano con il fattore dei lavori, mentre l'OPEX segue le ipotesi riportate.

La tabella mantiene quattro anni per isolare le variazioni di costo. Applicando allo scenario prudenziale una durata di cinque anni e quote 8%, 17%, 30%, 30%, 15%, il fabbisogno nominale diventa 25,528 milioni. È una simulazione di slittamento: non quantifica automaticamente tutti i maggiori costi di cantiere prolungato, che richiedono un computo specifico.

Variabili da presidiare

Una crescita del 10% dei soli lavori A aggiunge 1.007.000 euro prima di effetti su riserva e IVA. L'incremento di un punto percentuale della contingency aggiunge 100.700 euro netti più l'IVA convenzionale. Se, dopo verifica fiscale, l'IVA sui soli lavori e relativa contingency fosse il 10% anziché il 22%, il fabbisogno base si ridurrebbe di 1.389.660 euro: è una sensibilità, non l'indicazione dell'aliquota applicabile.

La revisione delle fondazioni, gli spazi della coda, le protezioni nautiche e le opere di raccordo sono i principali fattori che possono cambiare il perimetro. In presenza di una variazione sostanziale della tipologia, non è corretto limitarsi ad applicare una percentuale al totale attuale: occorre ricostruire il quadro economico.

22.1 Scenari del nuovo allegato e confronto

S5, p. 19, costruisce scenari applicando −5% e +15% all'intero investimento documentale, già comprensivo di contingency; per esercizio e rinnovi applica −10% e +20%. Si conservano questi risultati per rendere leggibile l'evoluzione della stima. Non costituiscono una seconda riserva da aggiungere al quadro base.

Indicatore S5	Ottimistico	Base documentale	Prudenziale
Investimento lordo euro	13.938.770,88	14.672.390,40	16.873.248,96
Investimento netto IVA euro	11.493.404,00	12.098.320,00	13.913.068,00
OPEX netto annuo euro	270.000	300.000	360.000
Fondo rinnovi annuo euro	72.000	80.000	96.000
LCC netto al 3% euro	17.974.985,32	19.300.077,03	22.555.176,43

La vicinanza tra lo scenario prudenziale di S5, pari a 16,87 milioni, e la base integrata di 17,00 milioni non indica equivalenza. Nel primo varia uniformemente l'intero investimento; nel secondo cambiano lavori, prestazioni, fiscalità e riserva in modo esplicito. Gli scenari integrati del capitolo 22 hanno una diversa base e non devono essere mescolati con le quote percentuali di S5.

Criteri per il confronto delle alternative

Prima di scegliere un budget occorre ricondurre i modelli allo stesso asse, alla stessa luce, agli stessi raccordi e al medesimo livello di servizio. Poi si confrontano quantità, prezzi, riserve, tempi, IVA e costi di gestione. Le economie del progetto girevole rispetto al basculante di Ravenna non possono essere desunte dal confronto tra totali storici o tra campate di lunghezza diversa.

Se lo schema verso la foce richiedesse opere esterne estese, l'importo aggiuntivo deve essere calcolato separatamente: non è dimostrato che sia contenuto nel +15% di S5 o nel 25% di contingency dello scenario prudenziale integrato. Analogamente, un allungamento della campata può modificare in modo non lineare ralla, fondazioni e impalcato.

Nessuno scenario assume ricavi operativi dimostrati. La copertura deve finanziare investimento, liquidità, gestione e rinnovi. I benefici su traffico, waterfront e logistica portuale proposti da S3 sono obiettivi da misurare con l'analisi socioeconomica, non flussi di cassa da utilizzare nel servizio del debito.

23 Opzioni di finanziamento e sostenibilità

Le fonti seguenti sono categorie da esplorare. Non sono individuati bandi aperti, stanziamenti riservati o decisioni di concessione. La finanziabilità va verificata sulla soluzione approvata, sul soggetto titolare, sull'ammissibilità delle spese e sui tempi di completamento; il presente studio non assegna probabilità di ottenimento.

Opzione	Condizione da verificare	Effetto sulla gestione
Risorse del committente e accordi tra enti	Programmazione, bilancio e priorità territoriali	Copertura certa solo dopo atti e stanziamenti
Contributi nazionali o regionali	Coerenza infrastrutturale, requisiti e procedure	Possibili vincoli su tempi, spese e rendicontazione
Programmi europei pertinenti	Elegibilità, partenariati e quota di cofinanziamento	Nessuna copertura integrale da presumere
Debito tramite soggetti finanziatori pubblici o bancari	Merito, limiti di indebitamento e servizio del debito	Rate ricorrenti aggiuntive a gestione e rinnovi
Partenariato o contratto di disponibilità	Convenienza, rischi trasferibili e pagamenti sostenibili	Il capitale privato richiede ricavi o canoni verificabili

L'infrastruttura è qui valutata senza pedaggi o ricavi commerciali. Benefici di mobilità, affidabilità e navigazione non diventano automaticamente entrate del gestore. Un eventuale partenariato deve quindi dimostrare la sostenibilità dei canoni pubblici o di altre entrate contrattuali; non costituisce una fonte gratuita né una riduzione automatica del costo totale.

Esempio puramente illustrativo di debito

Se il 30% del fabbisogno nominale base fosse finanziato a debito, il capitale sarebbe circa 5,558 milioni di euro. Con tasso fisso ipotetico del 4%, 20 rate annuali posticipate e nessun preammortamento o costo accessorio, la rata sarebbe circa 408.969 euro/anno. Gli interessi complessivi sarebbero circa 2,621 milioni. Non si tratta di un'offerta: interessi di costruzione, commissioni e condizioni effettive restano da definire.

Nel primo anno di esercizio il servizio del debito dell'esempio e l'OPEX lordo inflazionato richiederebbero complessivamente circa 887.518 euro, oltre agli stanziamenti per rinnovi. La quota restante del 70% non è considerata finanziata. Ogni opzione deve essere testata con ritardi di erogazione, maggiori costi e disponibilità dei bilanci futuri.

La valutazione socioeconomica dovrà confrontare tempi di viaggio, code, affidabilità delle aperture, sicurezza e impatti con lo scenario senza intervento. In assenza di dati di traffico e monetizzazione dei benefici, non vengono calcolati VAN economico, TIR o rapporto benefici/costi.

24 Rischi riserve e controllo delle modifiche

Il registro seguente assegna priorità qualitative, non probabilità misurate. La contingency del 15% è un accantonamento di studio e non il risultato della somma dei rischi o di una simulazione Monte Carlo. La maturazione del progetto dovrà trasformare gli eventi in intervalli di costo e tempo, evitando duplicazioni con le voci già previste.

Rischio	Priorità	Misura e responsabile indicativo
Asse o area di rotazione incompatibili	Alta	Rilievo e alternative; committente e progettista
Fondazioni più onerose o cedimenti	Alta	Indagini e interazione terreno-struttura; geotecnico
Ralla e masse non coerenti	Alta	Distinta masse e confronto costruttori; strutturista e meccanico
Prescrizioni nautiche o urti	Alta	Studio manovre e protezioni; progettista con autorità
Sottoservizi e aree indisponibili	Alta	Censimento e accordi; committente e gestori
Ritardi di ralla e carpenteria	Medio-alta	Interfacce congelate e piani forniture; appaltatore
Corrosione e scarsa accessibilità	Medio-alta	Dettagli e piano sostituzioni; progettista e gestore
Guasto manovra o errore dei consensi	Alta	Analisi pericoli e prove di guasto; integratore
Falso allarme o attacco informatico	Medio-alta	Validazione, isolamento e ripristino; gestore OT
Copertura o rimborso tardivo	Alta	Piano liquidità e coperture; committente
Rinvenimenti o vincoli ambientali	Da indagare	Verifica preventiva e procedure; specialisti ed enti

Uso della riserva

Ogni utilizzo della contingency deve riportare evento, causa, importo, alternativa considerata, impatto sul programma e autorizzazione. Il registro economico distinguerà budget originario, contratti impegnati, pagamenti, previsioni a finire e riserva residua. La disponibilità della riserva non autorizza automaticamente nuove prestazioni o ampliamenti di perimetro.

Il BIM 5D può supportare la riconciliazione tra quantità, modifiche e costo, ma le variazioni devono essere approvate con procedure formali. A ogni milestone si aggiorneranno stima finale, fabbisogno annuale e piano dei finanziamenti. Il monitoraggio deve evidenziare le criticità prima che il residuo disponibile diventi insufficiente.

Il rischio residuo maggiore, in questa fase, è la mancata conferma della geometria complessiva e del percorso delle azioni. Nessun risparmio del sistema digitale può compensare una tipologia fisicamente incompatibile con sito, ralla o fondazioni.

25 Collaudi consegna e conclusioni

Il programma di accettazione deve coprire l'intero sistema e le interfacce. I collaudi strutturali non sostituiscono le prove meccaniche, le verifiche della sicurezza funzionale o l'accettazione del sistema informativo. Criteri e responsabilità devono essere fissati prima dell'affidamento per rendere verificabili prestazioni e costi.

Pacchetto	Evidenza di accettazione
Opere civili e strutturali	Materiali, pali, geometria, saldature, bulloni, prove e documenti di collaudo
Meccanica e manovra	FAT in officina, SAT in sito, coppie, freni, allineamenti e cicli ripetuti
Sicurezza funzionale	Consensi, guasti simulati, perdita alimentazione, arresto e recupero
Monitoraggio e modelli	Calibrazione, baseline, sincronizzazione, FEM validato e soglie approvate
Cybersecurity e dati	Accessi, separazione reti, backup, ripristino e tracciabilità
Gestione	Manuali, ricambi, addestramento, procedure nautiche e piano manutenzione

Le prove dovranno contemplare indisponibilità di un azionamento, discordanza di posizione, sensori guasti, perdita del collegamento analitico e condizioni di recupero. Limiti delle prove, carichi e procedure devono essere progettati, evitando che la simulazione del guasto generi un rischio non controllato. L'entrata in servizio richiede accettazione delle anomalie residue e delle misure compensative da parte dei soggetti responsabili.

Conclusione tecnica

Il ponte girevole laterale è una proposta da sviluppare con un'impostazione integrata. Il sistema digitale può migliorare conoscenza, tracciabilità e programmazione della manutenzione, ma non attesta la sicurezza dell'opera. I punti decisivi sono spazio di rotazione, corridoio nautico, massa e baricentro, ralla, fondazioni e transizione tra appoggi e fulcro. La fattibilità rimane condizionata alla loro verifica.

Conclusione economica e decisione successiva

La base lavori originaria di 9,20 milioni non rappresenta l'intero fabbisogno. Il nuovo S5 amplia il quadro documentale a 14,67 milioni; tale valore è conservato e riconciliato con lo scenario integrato, senza duplicazioni. Lo scenario integrato stima 17,00 milioni a prezzi costanti, circa 18,527 milioni nominali su quattro anni e 360.000 euro annui netti di gestione ordinaria. Il LCC convenzionale netto a trent'anni è circa 23,764 milioni. Questi valori sono ipotesi controllabili, non preventivi impegnativi.

Si propone di verificare prioritariamente la localizzazione verso la foce proposta in S3–S4, senza trasferirvi automaticamente la geometria del manuale. Occorre procedere con indagini, confronto delle alternative e confronto istituzionale, aggiornando il quadro economico dopo la definizione dell'asse e delle fondazioni. La decisione di costruire dovrà essere sostenuta da verifiche, titoli, copertura dell'investimento e risorse per l'esercizio. Eventuali esiti negativi devono poter condurre a una diversa configurazione senza vincolare la scelta al predimensionamento iniziale.

Appendice A Registro di riconciliazione tecnica

Tema e fonte	Contenuto conservato	Trattamento nella relazione
S1 cap. 1	Assenza pile e annullamento dello scour	Riduzione ostacoli; erosione e sponde da verificare, cap. 3
S1 cap. 2 e S2 pp. 4–6	38 m strutturali, 38,5 m nautici, 42 m mobili	Geometria unitaria ancora da dimostrare, capp. 3–4
S1 cap. 2	A = 0,428 m² e massa 285 t	Distinta masse necessaria; equivalenza uniforme circa 141 t
S1 cap. 3	Momento 34.789,88 e taglio 3.662,25	Ricalcolo momento 34.791,38 kN·m, cap. 5
S1 cap. 3	Freccia 86,4 mm e limite L/400	Carico SLE non documentato; nessuna verifica conclusa
S1 cap. 3	J, spunto e potenza 20,72 kW	Legge di moto da riconciliare; unità corrette, cap. 6
S1 cap. 4	Ralla 4,5 m e rapporto di sicurezza 3	Quote costruttive e interazione azioni da verificare
S1 cap. 4	Due martinetti da 1.500 kN	Ruolo nel trasferimento carichi da esplicitare
S1 cap. 5	Stratigrafia e pali numericamente definiti	Modello ipotetico; indagini mancanti
S1 cap. 5	Rotazioni espresse con parole ambigue	Nessun numero inventato; recupero del calcolo richiesto
S1 capp. 6–8	Quantità sensori, frequenze e soglie DSS	Specifiche di studio da calibrare e validare
S1 cap. 10	SIL 3 e data diode	Obiettivo per funzioni da analizzare; rischio cyber non nullo
S1 cap. 12 e S5 p. 21	Risparmio 35% e durata oltre 100 anni	Obiettivi non dimostrati, non benefici acquisiti
S3 e S4	Asse verso la foce e viabilità portuale	Proposta territoriale, senza approvazione o luce verificata
S5 pp. 11–20	14,67 M€ e piano gestionale	Base documentale distinta dalla base integrata

Il registro conserva gli elementi tecnici senza trasferire nella relazione conclusioni non supportate. Le equazioni semplificate e i riscontri numerici servono al controllo di coerenza; il progetto successivo dovrà fornire calcoli completi, verificabili e coerenti con le norme e con i dati di sito.

Appendice B Tracciabilità e ipotesi finanziarie

Blocco delle fonti	Copertura nella relazione
S1 capp. 1–2; S2 pp. 2–6	Capitoli 2–4: ambito, geometria, piattaforma, materiali e masse
S1 capp. 3–5; S2 pp. 7–10	Capitoli 5–9: meccanica, fondazioni e criteri di verifica
S1 capp. 6–8; S2 pp. 11–13	Capitoli 10–12: sensori, Digital Twin, OMA, IA e DSS
S1 capp. 9–10; S2 pp. 7 e 13	Capitoli 13–14: sicurezza, cybersecurity e cantiere
S1 cap. 11; S2 p. 14	Capitoli 17–23: quadro lavori e sviluppo economico
S1 cap. 12; S2 pp. 14–15	Capitoli 15–16 e 24–25: percorso, rischi e conclusioni
S3 pp. 2–4 e S4 tavola unica	Capitoli 2.1–2.3: sito verso la foce, mobilità, planimetria e Ravenna
S5 pp. 2–10 e 21	Capitoli 3–14: contenuti tecnici ripresi da S1 e riserve
S5 pp. 11–20	Capitoli 18.1–18.2, 19.1, 21.1 e 22.1: quadro e confronti

Regole del modello economico

Lavori A = 9.200.000 + 320.000 + 550.000 = 10.070.000 euro. Somme B = 2.385.000 euro. Contingency C = 15% × A = 1.510.500 euro. Oneri D = 4% × 1.340.000 = 53.600 euro. IVA E = 22% × 11.580.500 + 22% × 1.963.600 = 2.979.702 euro. Totale T = 16.998.802 euro. Le basi IVA sono convenzionali e sono definite al capitolo 18.

Flussi nominali: T × quota annuale × (1+inflazione)^anno, con anno pari a 1, 2, 3, 4. Nessun recupero IVA o contributo è sottratto. La riserva è prudenzialmente inclusa per intero. Gli interessi sono esclusi e presentati solo nell'esempio separato del capitolo 23, per non incorporare un debito non deliberato.

LCC: capitale netto IVA 14.019.100 euro, 30 rate annue di gestione da 360.000 euro, rinnovi per 4.370.000 euro non attualizzati, costo terminale 500.000 euro e valore residuo nullo. Tasso reale 3%, pagamenti di esercizio a fine anno. Gli importi di rinnovo sono riportati nel capitolo 19; non sono già compresi nell'OPEX.

Informazioni da acquisire per consolidare i costi

Servono quantità e prezzi per opere civili e carpenteria, offerte per ralla e trasmissioni, elenco delle interferenze, disponibilità catastale e demaniale, piano di cantiere, prove e collaudi, schema di gestione e condizioni dei contratti digitali. Il prezzario e le offerte dovranno essere aggiornati alla data della progettazione; il modello non assume che il valore originario di 9,20 milioni sia stato stimato con prezzi di mercato verificati.

Il quadro deve essere aggiornato dopo indagini, scelta della tipologia, confronto con i fornitori e acquisizione delle prescrizioni. Il registro delle esclusioni dovrà essere allegato al computo, con indicazione di chi sostiene ciascun costo e delle condizioni che ne possono determinare l'insorgenza.

Appendice C Fonti e riferimenti

Fonti progettuali integrate

[S1] MANUALE TEORICO PONTE GIREOLO FIUMICICNO.docx. Documento PGIF 01 R06, ottobre 2026, Ing. Diego Dell'Erba. Manuale tecnico con dodici capitoli, valori di predimensionamento e quadro lavori da 9,20 milioni di euro.

[S2] PONTE MOBILE CANALE FIUMICINO.pdf. Relazione illustrata PGIF 01 R03, 30 settembre 2026, Ing. Diego Dell'Erba, 15 pagine. Inquadramento, schemi concettuali, criteri di calcolo e condizioni per lo sviluppo della fattibilità. Le illustrazioni sono preliminari e non in scala; non costituiscono un rilievo.

[S3] Comunicazione_al_Sindaco_ponte.pdf, 4 pagine. Comunicazione del 19 gennaio 2025, firmata dal Consigliere comunale Alessandro De Vincentis e indirizzata al Sindaco indicato nell'atto. Proposta di localizzazione, sette motivazioni urbanistiche e funzionali, immagini del contesto e confronto con Ravenna. La firma e l'intestazione identificano la fonte, non un'approvazione del progetto.

[S4] NUOVO PONTE.pdf, tavola unica. Planimetria esemplificativa del collegamento verso la foce, tra darsena pescherecci, Fossa Traiana e rete costiera. Data e autore non ricavabili con certezza dalla tavola; non si attribuisce valore di rilievo o di progetto approvato.

[S5] PONTE GIREVOLE FIUMICINO.pdf, 21 pagine. Relazione tecnico-scientifica PGIF 01 R06, Ing. Diego Dell'Erba, anno 2026 e data interna ottobre 2026. Riprende il quadro tecnico del manuale e comprende l'ampliamento economico ai paragrafi 11.1–11.9, pp. 11–20. Quadro base documentale lordo di 14.672.390,40 euro.

Appendice D Riferimenti istituzionali e tecnici

Fonti istituzionali di inquadramento normativo

Consultazione: 1 ottobre 2026. I riferimenti non costituiscono un registro esaustivo di conformità; applicabilità, versioni consolidate ed edizioni tecniche devono essere verificate nella progettazione formale.

[N1] D.M. 17 gennaio 2018, Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale, 20 febbraio 2018. [Fonte istituzionale]

[N2] D.M. 9 marzo 2023, modifiche e integrazioni al D.M. 17 gennaio 2018. [Fonte istituzionale]

[N3] D.Lgs. 31 marzo 2023 n. 36, Codice dei contratti pubblici, con allegati e modifiche. Normattiva. [Fonte istituzionale]

[N4] Commissione europea, Machinery: quadro della direttiva 2006/42/CE e del regolamento UE 2023/1230. [Fonte istituzionale]

[N6] CMC Ravenna, scheda del progetto Ponte mobile sul Canale Candiano di Ravenna. Dimensioni e conclusione nel settembre 2010. [Fonte istituzionale]

[N5] D.Lgs. 4 settembre 2024 n. 138, recepimento NIS2. Normattiva. [Fonte istituzionale]

Ulteriori riferimenti tecnici da selezionare: Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP.; norme strutturali e di fatica pertinenti; IEC 61508, IEC 62061, ISO 13849-1 e famiglia IEC 62443. I riferimenti bibliografici e territoriali citati negli allegati sono documentazione di contesto, non prova della conformità della nuova opera. La pubblicazione editoriale attribuita a Dell'Erba in S1 non è utilizzata come riscontro indipendente.