

RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA

1. Caratteristiche tecniche delle strutture, delle infrastrutture viarie e degli impianti, descrizione delle soluzioni
proposte, modalità di gestione e valutazione dei costi di gestione/manutenzione dell'intera infrastruttura 1
2. Descrizione dei materiali proposti, anche in relazione ad aspetti manutentivi 12
3. Descrizione delle varie fasi realizzative in relazione all'ottimizzazione della gestione delle fasi stesse 14
4. Soluzioni progettuali e/O tecnologiche con principi legati alla sostenibilità ambientale 17



1. CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE STRUTTURE, DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE E DEGLI IMPIANTI, DESCRIZIONE DELLE SOLUZIONI PROPOSTE, MODALITÀ DI GESTIONE E VALUTAZIONE DEI COSTI DI GESTIONE/MANUTENZIONE DELL'INTERA INFRASTRUTTURA

Il Ponte, nella sua essenza più profonda, ha da sempre nella percezione comune una valenza simbolica. Elemento unificatore, simbolo della Cultura ed espressione del Progresso di una Comunità, **il ponte è per tradizione e a pieno diritto il punto di congiunzione più nobile tra Arte e Tecnica, tra Architettura e Ingegneria. Opera d'Arte nel paesaggio e del Paesaggio**, elemento caratterizzante e aggregatore per il Territorio e i suoi Abitanti.

I dintorni di **Arezzo** e il **Casentino** sorprendono per le testimonianze che riferiscono della presenza di un **grande numero di ponti sin dai tempi dell'antica Roma** in corrispondenza delle 4 vie che da Arezzo si dirigevano a nord (A. Fatucchi, *“Le Strade Romane del Casentino”*), ossia la Cassia Vetus, la via di Porta San Clemente e Petrognano, la via di Rimini e la via Maior o Flaminia Minor: il ponte a Vado, il ponte alla Lama, il ponte di Arcena, il ponte a Pontaccio, il ponte delle Mulina e, appunto, il **primo ponte Buriano**. Quest'ultimo, di origini antichissime e con tutta probabilità etrusche o tardo etrusche, vede la sua configurazione attuale databile secondo quanto riportato negli Annales Arretini Minores (XVI° sec) all'anno 1277, (come testimoniato dalla scarna annotazione “Pons Buriani in agro aretino constructus”), e rappresenta il simbolo della massima potenza politica, economica e culturale della città di Arezzo.

Fin dai tempi antichi l'Arno, che *“per mezza Toscana si spazia”* e *“nasce in Falterona e cento miglia di corso non sazia”* (Dante Alighieri, *Purgatorio*, XIV, vv 16-18), insieme ai suoi principali affluenti, sono teatro di una straordinaria antologia di Ponti e la storia della Terra che attraversano è intimamente e indissolubilmente legata, descritta e rappresentata dai suoi Ponti. **In questo legame tra l'Arno e i suoi Ponti, la tipologia ad Arco è senza dubbio la più interessante, rappresentativa e documentata.** Purtroppo a causa delle molte alluvioni e delle distruzioni della 2° Guerra Mondiale (solamente Ponte Vecchio a Firenze e Ponte Buriano ad Arezzo rimasero indenni dalle mine e dai bombardamenti), di questo patrimonio inestimabile molto è andato perduto. Certo però è che, dal Ponte d'Annibale a Bruschetto (XIII° sec.) alla trattazione di Leon Battista Alberti sui ponti nel libro IV del *De Re Aedificatoria* con le citazioni alle centine di Brunelleschi, ai ponti della Toscana Medicea, con l'esempio del ponte sulla Sieve, ai più recenti ponte di Mezzo a Pisa, nella ricostruzione del 1950, in sostituzione del precedente ponte a 3 luci, con il progetto strutturale firmato da Giulio Krall, ponte San Niccolò a Firenze ricostruito nel 1960 con progetto strutturale di Riccardo Morandi, **l'arco e la ricerca della sua forma migliore come espressione massima delle tecniche costruttive e del sapere del proprio tempo connotano l'Arno e i suoi ponti.**



Il ponte di Annibale a Buschetto e il ponte sulla Sieve



Il ponte di Mezzo a Pisa in una raffigurazione settecentesca e nella configurazione attuale

Il sito di progetto è caratterizzato dalla presenza di un “vicino” illustre di incalcolabile valore storico e culturale come il ponte storico di Buriano, tra Arezzo e il Val d'Arno Aretino. Certamente noto a Leonardo da Vinci e forse dallo stesso Leonardo ritratto nella *“Madonna dei Fus”* e nella *“Gioconda”*, **l'attuale Ponte Buriano, è caratterizzato, come moltissimi dei ponti sull'Arno, oltre che dalle arcate in muratura, anche da possenti rostri a cuspide a protezione della struttura dai tronchi negli eventi di piena.**



Il ponte storico di Buriano

In questo contesto del tutto unico e per molti versi straordinario e irripetibile, il progetto per il nuovo ponte nasce dall'analisi delle caratteristiche morfologiche e architettoniche del contesto, come sintesi tra Tradizione e Innovazione e si materializza in una soluzione caratterizzata dal connubio tra tecnologie d'avanguardia e forme minimali, nel rispetto del luogo e del Ponte storico esistente.



La lettura del luogo e la presenza storica delle forme “ad Arco” lungo il corso dell'Arno sia nel contesto ambientale che nel panorama dei Ponti,

Caratteristiche tecniche delle strutture, delle infrastrutture viarie e degli impianti

Un **nuovo Ponte** nel Paesaggio e per il Paesaggio che nasce “dal” e “per” il contesto in cui si colloca, nella consapevolezza e nel rispetto pieno di esso e nella volontà dichiarata di entrare “in punta di piedi” ed in modo naturale nel sito di progetto nella scelta delle forme, dei materiali e dei cromatismi.

Architettonicamente il nuovo ponte è caratterizzato dalla presenza di archi tesi e ribassati che definiscono una campata principale e una campata di riva, in una soluzione asimmetrica a via superiore, nell'interpretazione dell'asimmetria della configurazione spondale dell'Arno nel sito di progetto e nella dichiarata volontà di minimizzare le superfici in elevazione e le altezze di progetto, pur collocando il ponte al di sopra della quota di massima piena duecentennale (per il dettaglio dello studio idraulico si rimanda all'apposita sezione).

Nella soluzione proposta, che consapevolmente evita la presenza di strutture al di sopra del piano viario, l'arco rappresenta un gesto primordiale e unificatore, estrema sintesi e attuale reinterpretazione dei molteplici segni storico-paesaggistici e delle presenze che connotano il contesto. Sono la semplicità formale, la pulizia del disegno, il ricorso ad un numero minimo di segni a guidare il percorso progettuale e l'individuazione della soluzione finale. La forma sinuosa e continua dell'intradosso della struttura ad arco sottolinea l'attraversamento in modo leggero, galleggiando sull'acqua e dando l'apparenza di toccare “in punta di piedi” il fondo dell'alveo grazie ad un profilo laterale estremamente leggero, frutto di una ricerca architettonica e strutturale finalizzata alla generazione di forme in grado di minimizzare gli impatti visivi nella definizione di un ponte che si collochi in modo naturale ed armonioso nel contesto di progetto.



La proposta per il nuovo ponte

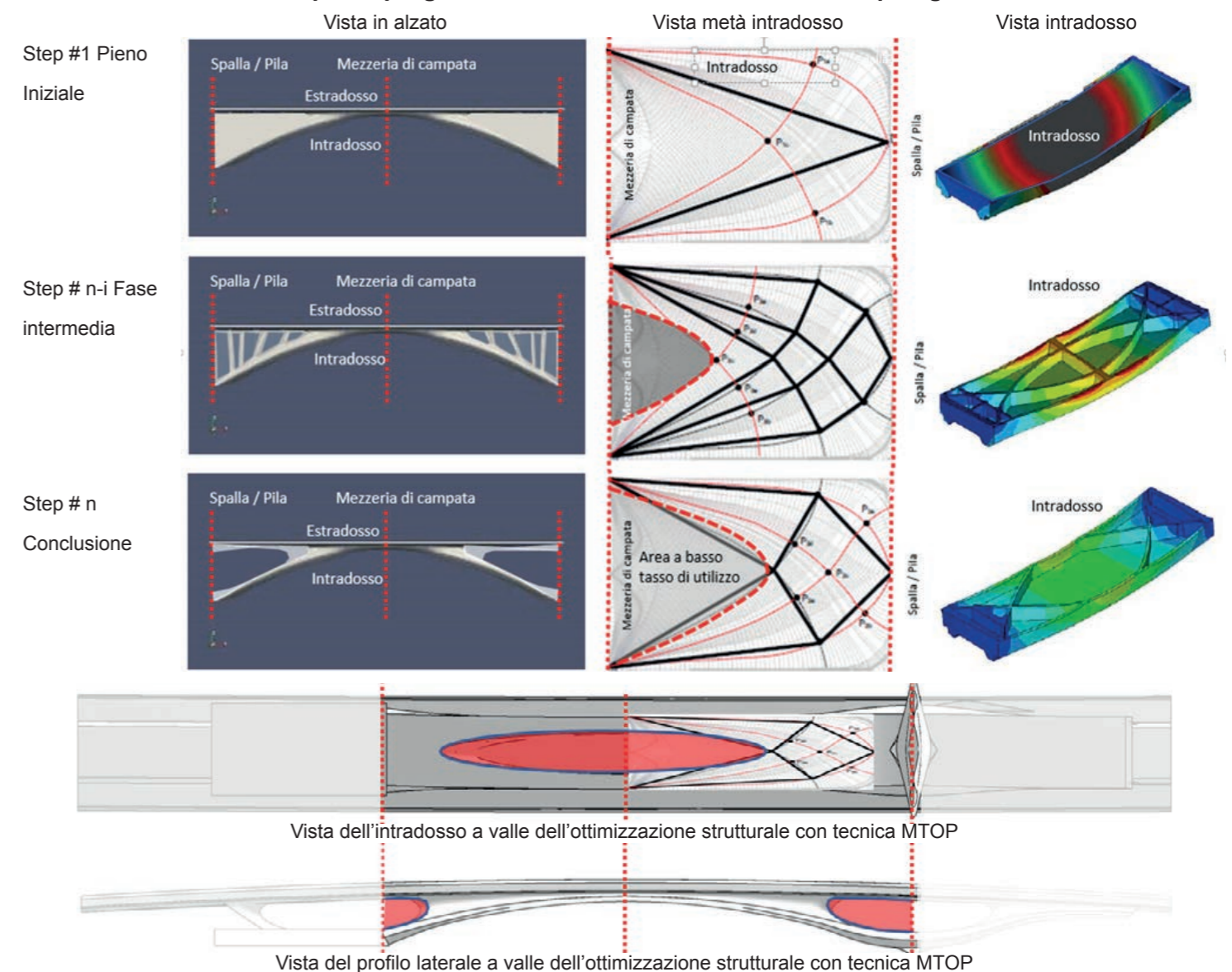
Caratteristiche principali del ponte

La prerogativa principale della proposta progettuale per il nuovo ponte Buriano è quella di essere un **ponte integrale**, ossia un **ponte senza giunti di dilatazione e senza appoggi**, in cui la **sovrastuttura è collegata in modo continuo a pile, spalle e apparato fondale**. Questa tipologia di ponti garantisce **elevate rigidità strutturali a fronte di costi di manutenzione estremamente ridotti**. L'eliminazione dei giunti all'ingresso del ponte, consente un **maggiore comfort di marcia unito a maggiori prerogative di durabilità complessive**. L'eliminazione degli appoggi consente una gestione facilitata del manufatto durante la sua vita utile di progetto. Infatti, in misura ancora maggiore rispetto ai giunti, la sostituzione degli appoggi comporta operazioni delicate e costose che necessitano il sollevamento dell'impalcato e il restringimento della carreggiata con conseguenti evidenti disagi per gli utenti. I ponti integrali, nelle tipologie moderne, non rappresentano una novità assoluta, essendo presenti nel panorama della prima metà del '900 negli Stati Uniti ed essendo da un trentennio presenti in Europa e in Italia. Per completezza è opportuno ricordare che la quasi totalità dei ponti costruiti fino agli inizi del 1900 siano per loro natura “integrali”, essendo realizzati prevalentemente mediante l'utilizzo di murature in pietre o mattoni riempite con materiale permeabile per favorire il drenaggio delle acque. **Lo stesso ponte storico di Buriano, in questo senso, rappresenta un nobile e antesignano esempio di ponte integrale.**

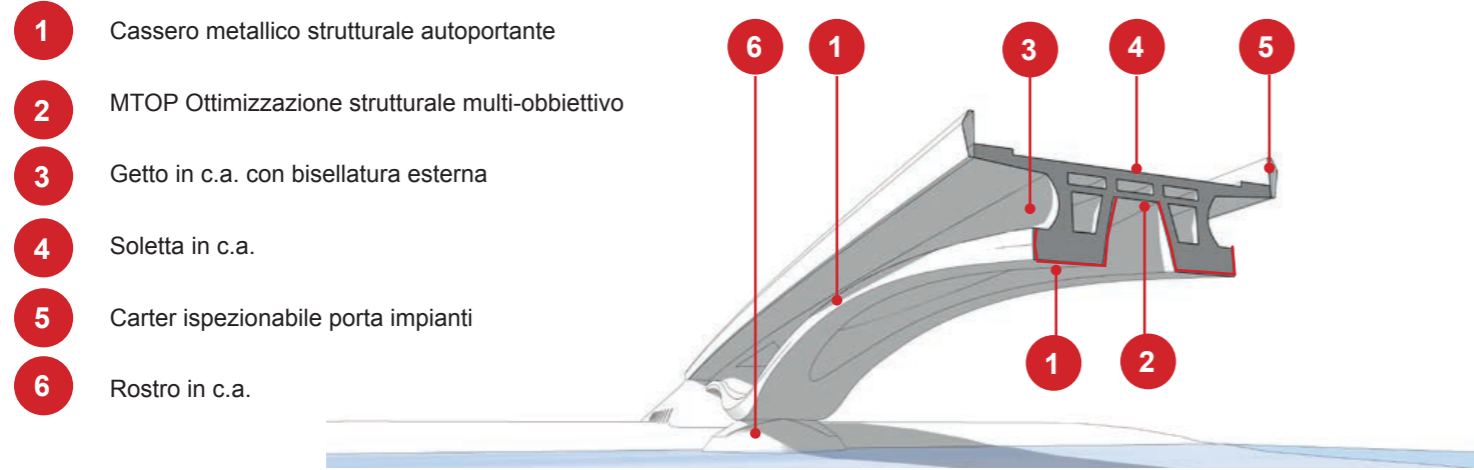
Il ponte proposto, tipologicamente riconducibile ad una struttura ad arco a via superiore, è caratterizzato da una lunghezza complessiva pari a 130 m e suddivisa in tre campate di lunghezze diverse e rispettivamente pari (da sinistra idraulica verso destra idraulica) a 12 m, 83 m e 35 m. La sezione trasversale ha una larghezza costante pari a 12,3 m organizzata su 2 corsie di marcia da 3,5 m ciascuna, banchine bordo da 1,25 m, cordolo porta barriera di sicurezza e cordolo laterale per l'ispezione tecnica dell'impalcato e degli impianti integrati in un carter laterale cavo metallico che funge da parapetto assicurando al contempo la piena e completa ispezionabilità sia impiantistica che del sistema di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma, come evidenziato nella figura seguente. La **sovrastuttura è realizzata con una soluzione mista acciaio-calcestruzzo**, attraverso l'impiego di profili metallici ad arco prefabbricati e autoportanti in prima fase e atti a sostenere il getto in c.a. di completamento dell'impalcato fino al piano viario.

Al fine di limitare il peso della sovrastuttura, l'intradosso degli archi è “scavato” con una foratura ellittica frutto dell'implementazione di **procedure di ottimizzazione strutturale multi-obiettivo tipo MTOP** (Multi-resolution/Multiobjective Topology Optimization) applicate ad un **modello parametrico del ponte agli Elementi Finiti** e tese all'eliminazione del materiale soggetto a tassi di sfruttamento più contenuti. Applicando le tecniche in questione, in via preliminare, alla definizione del profilo in alzato e in pianta del ponte **si ottengono, poste le condizioni al contorno date, forme che rispecchiano l'andamento ottimale della distribuzione dei canali di forza dai punti di applicazione dei carichi fino al trasferimento definitivo alle fondazioni.**

Proposta progettuale - Processo di ottimizzazione topologica

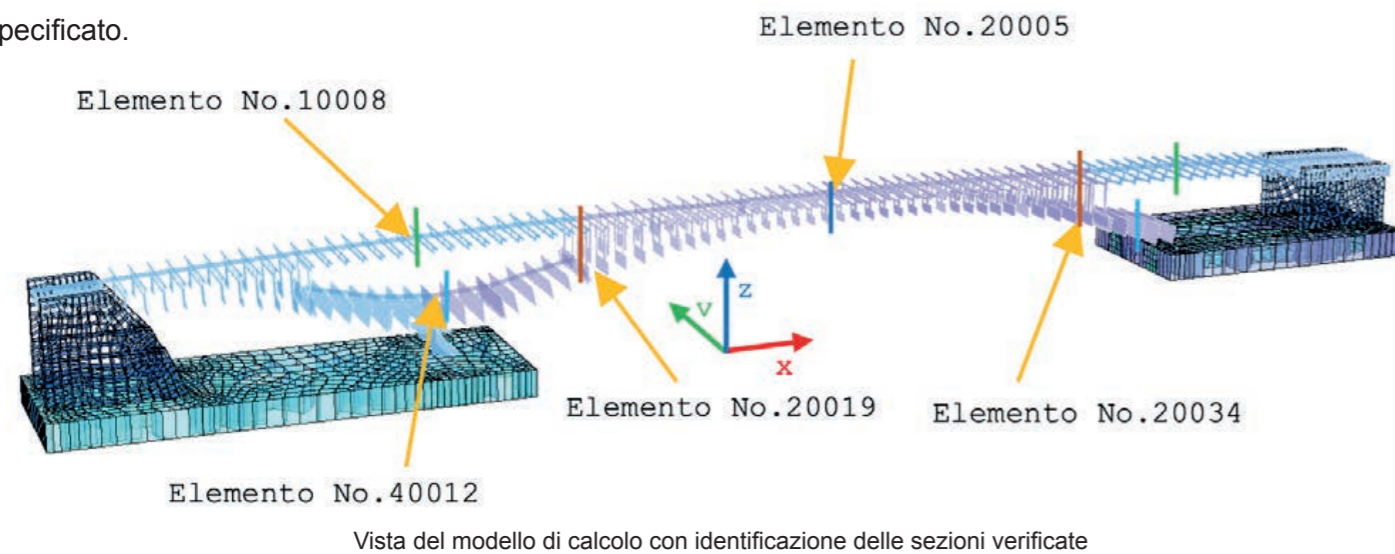


La sovrastruttura, estremamente snella e atta ad assicurare un'elevata trasparenza idraulica, nei confronti dei regimi di piena, come specificatamente dimostrato nello studio idraulico presentato nel seguito di questa **relazione**, è collegata rigidamente in corrispondenza delle spalle nella classica configurazione tipica dei ponti integrali, mentre poggia con un vincolo a cerniera in corrispondenza dell'unico appoggio intermedio, con configurazione geometrica allungata e parallela al corso dell'Arno, **reinterpretazione in chiave attuale dei tradizionali rostri aventi funzione protettiva** nei confronti di tronchi o altro materiale galleggiante trasportato dal fiume negli eventi di piena.



La struttura del nuovo ponte con la descrizione degli elementi principali e della tecnica MTOP di ottimizzazione strutturale (Multiresolution/Multiobjective Topology Optimization) applicata per la minimizzazione dei pesi della sovrastruttura

Le fondazioni del ponte in ragione della tipologia strutturale dello stesso e a causa delle caratteristiche meccaniche dei terreni che caratterizzano il sito di intervento con la presenza di strati superficiali e sub-superficiali caratterizzati da caratteristiche meccaniche estremamente scarse fino alla profondità di 40-50 m, sono, come di seguito meglio dettagliato, di tipo diretto e consentono una distribuzione omogenea delle pressioni all'interfaccia tra la quota di imposta della zattera di fondazione e lo strato di terreno sottostante consolidato localmente, come di seguito specificato.



Vista del modello di calcolo con identificazione delle sezioni verificate

Il ponte è stato dimensionato strutturalmente ai sensi di quanto previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2018 e risulta in linea con quanto da esse prescritto. Il modello strutturale FEM è stato sviluppato sulla base della geometria globale e delle sezioni architettoniche.

Il **processo iterativo di definizione della configurazione finale del ponte ha coinvolto sia il modello strutturale che quello architettonico** consentendo un'ottimizzazione delle sezioni sia dell'arco che dell'impalcato assicurando un'elevata eleganza e leggerezza complessiva delle forme, ma allo stesso garantendo un'eccezionale efficienza strutturale. Il modello strutturale agli EF è costituito da elementi beam (dove le sezioni parametrizzate sono

suddivise in sotto parti assegnate alle diverse fasi di costruzione) e shell per le spalle e le fondazioni; al di sotto di quest'ultime, il terreno è simulato con un "bedding" (letto di molle distribuite). L'applicazione dei carichi stradali è tale da massimizzare le sollecitazioni in ogni parte della struttura variando sia la posizione longitudinale che trasversale sia in termini di carichi uniformemente distribuiti che concentrati. Le sezioni del ponte sono state verificate allo stato limite ultimo determinando l'armatura necessaria verificante le diverse combinazioni. Il coefficiente di utilizzo delle sezioni varia mediamente tra 0.6 e 0.8, con percentuali d'armatura longitudinale ρ , che variano tra 1.8 per le parti di impalcato laterali a 0.8 nelle sezioni più alte dell'arco.

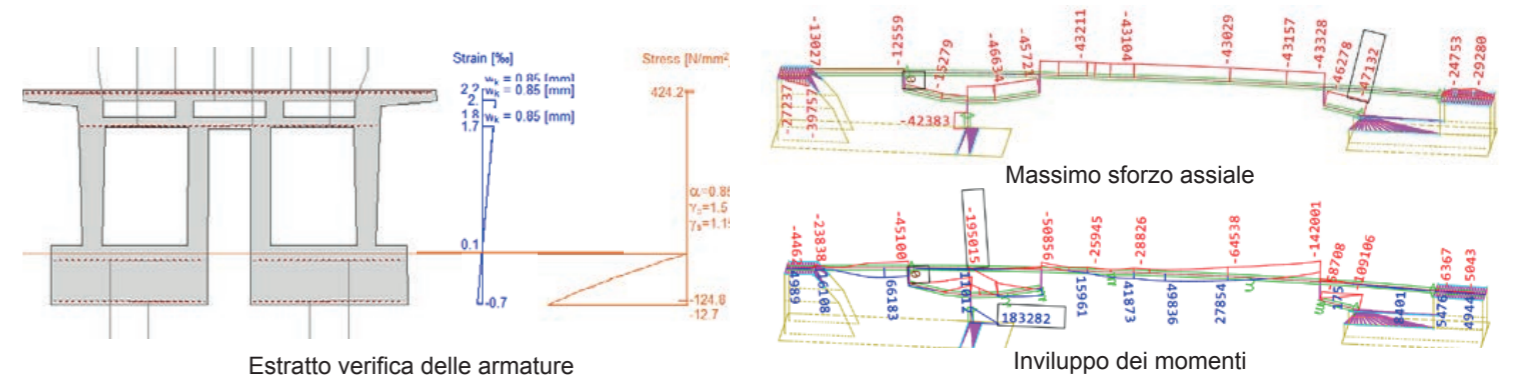
Elemento N°.20019						
Action forces / Efficiency: eff(M,N)=0.73 OK						
No.	AP	P	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	eff(M,N) [-]
1	IULS		-44257.0	-1.42E+5	-61.0	0.73

Elemento N°.2005						
Action forces / Efficiency: eff(M,N)=0.7 OK						
No.	AP	P	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	eff(M,N) [-]
1	IULS		-22046.0	49836.0	73.0	0.70

Elemento N°.10008						
Action forces / Efficiency: eff(M,N)=0.8 OK						
No.	AP	P	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	eff(M,N) [-]
1	IULS		198.0	12572.0	-232.0	0.80

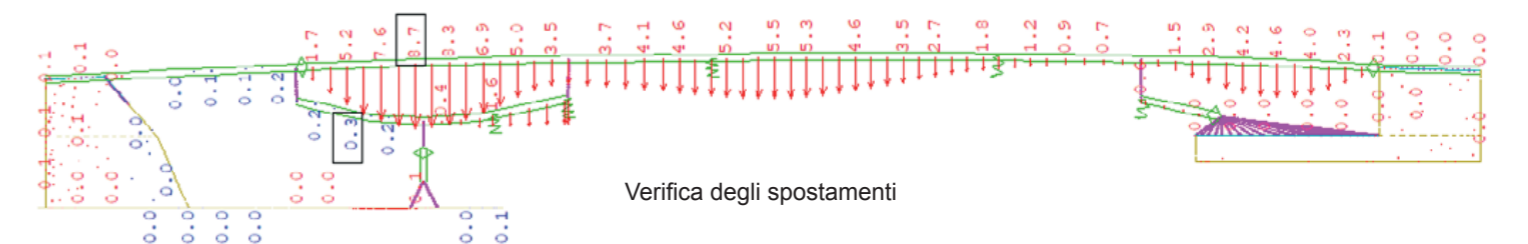
Elemento N°.40012						
Action forces / Efficiency: eff(M,N)=0.84 OK						
No.	AP	P	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	eff(M,N) [-]
1	IULS		-22463.0	-1.95E+5	67.0	0.84

Estratto dei risultati del modello di calcolo rappresentativi dei fattori di utilizzo delle sezioni più sollecitate



Estratto verifica delle armature

Lo spostamento verticale massimo dovuto ai carichi variabili stradali è per la campata centrale pari a circa 6 mm, dato che evidenzia la rigidità della soluzione proposta. Tale valore cresce a circa 9 mm nelle due campate laterali. Considerando una luce delle campate laterali di circa 20 m, **il rapporto tra spostamento e la luce è pari a 1/20'000 confermando l'eccezionale efficienza dello schema strutturale adottato.**



La scelta della tipologia della fondazione del ponte è stata attentamente valutata sia in base a considerazioni legate alla stratigrafia geologica sia in ragione dell'impatto ambientale risultante.

L'ipotesi di realizzazione di pali profondi, fino alla necessaria profondità di circa -54 m, in terreni con argille limose, è stata valutata con attenzione e infine scartata per i motivi di seguito elencati. La trivellazione dei pali comporterebbe l'uso di tecnologie di contenimento della falda all'interno del cavo, e tipicamente di fanghi bentonitici, che risultano altamente inquinanti, anche considerando che le lavorazioni sarebbero in prevalenza effettuate al di sotto della falda

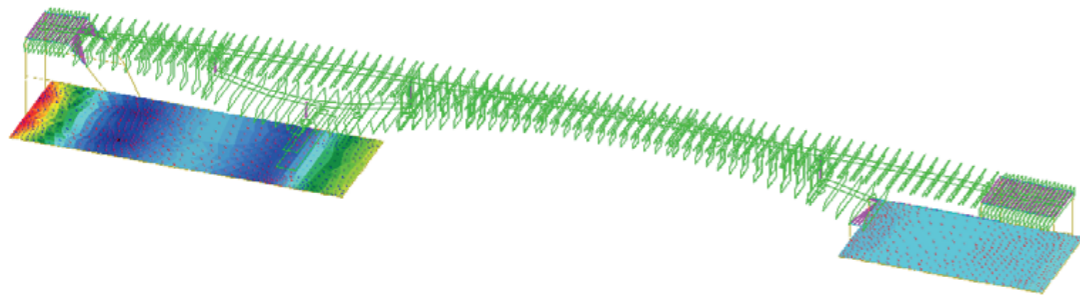
acquifera. Una ulteriore criticità delle fondazioni su pali dell'opera di attraversamento è rappresentata dall'attrito negativo che inevitabilmente verrebbe innescato a seguito dell'applicazione dei carichi derivanti dal rilevato di appoggio alle spalle del nuovo Ponte. Pali di elevata lunghezza in terreni compressibili necessitano inoltre di lunghi tratti sommitali di incamicatura, in modo da evitare i sovraccarichi derivanti dall' "attrito negativo", vanificando il possibile contributo della componente di attrito laterale, e demandando quindi l'intera resistenza al carico di punta. Pali lunghi oltre 50 m, necessiterebbero di diametri molto importanti (almeno 1.200 mm), in quanto il basso valore di resistenza laterale delle argille attraversate potrebbero favorire lo sbandamento per carico di punta.

La soluzione progettuale adottata per le fondazioni del ponte è stata studiata in modo da ricercare un equilibrio tra lo stato tensionale e lo stato deformativo dell'ammasso sottostante, minimizzando i comportamenti statico-deformativi differenziali tra il corpo di rilevato e l'opera di attraversamento.

Lo spessore medio di 2m della platea di fondazione in corrispondenza del rostro è finalizzata all'ottenimento di una **distribuzione omogenea delle pressioni** trasferite al terreno sottostante dalla sovrastruttura e scongiurando l'attivazione di cedimenti differenziali anche rispetto ai carichi indotti dal rilevato di appoggio alle spalle.

Nonostante le indagini geologiche abbiano individuato al di sopra del bacino argilloso una copertura ghiaioso-sabbiosa di spessore tra i 4-6 m, al fine di minimizzare i cedimenti a lungo termine del terreno è prevista, al di sotto di entrambe le platee, una **stabilizzazione superficiale in calce per uno spessore di 30-40 cm e un sistema di consolidamento del terreno sottostante con utilizzo di pali in ghiaia e/o preconsolidamento del terreno con precarico ed eventuale applicazione di dreni verticali a nastro**. Nell'ottica della sostenibilità ambientale, il preconsolidamento con i dreni a nastro è un trattamento assolutamente neutrale rispetto alle criticità che si avrebbero con l'impiego di fanghi bentonitici in falda. Come mostrato in dettaglio nel cronoprogramma, l'esecuzione di tali lavorazioni risulta pienamente coerente con le tempistiche del cantiere. Qui di seguito si presentano le massime tensioni sul terreno allo SLU (stato limite ultimo) considerando come azioni principali sia la temperatura che i varichi veicolari.

L'analisi della pressione al di sotto della platea di fondazione per i carichi portati e variabili fattorizzati presenta un valore medio di 87 kN/m² al di sotto del rostro e di 54 kN/m² al di sotto della platea più piccola. Il contributo delle azioni variabili è di circa il 18% riducendo pertanto la pressione dovuta ai carichi permanenti a circa 65 kN/m².



Analisi pressioni sul terreno

Caratteristiche principali dell'opera infrastrutturale

L'idea progettuale intrapresa nasce e si sviluppa con lo scopo precipuo di **coniugare le esigenze funzionali con quelle ambientali**, laddove con il termine "ambientale" si intende il più ampio insieme degli aspetti che concorrono

al migliore equilibrio tra le azioni dell'uomo e l'essenza degli ambiti naturali interessati.

Il concetto innovativo di funzionalità della progettazione stradale

Compatibilità Idraulica

Paesaggio perifluviale

Funzionalità dell'opera

Fauna terrestre e anfibia

Sostenibilità (CAM)

è quindi intrinsecamente legato al contesto ambientale in applicazione ai cosiddetti principi de **"l'Architettura della Strada"**. Con questo termine si intende comunicare che l'opera stradale, è progettata alla stessa stregua di un edificio pubblico, associando la sua funzione ad una precisa connotazione simbolica. L'opera pubblica, nel suo complesso, comunicherà una propria identità e riconoscibilità divenendo parte integrante dell'ambiente che la ospita nel pieno rispetto dello stesso. Il concetto di *Architettura della Strada* è qui applicato nelle due componenti essenziali dell'opera stradale. L'idea progettuale che segue ricomprende tre distinte componenti:

Il Ponte sul Fiume Arno, - I due tratti stradali di appoggio al ponte, - Le intersezioni a rotatoria

Ciascuna di queste tre componenti è stata sviluppata a seguito di un percorso ideativo che le ha viste partecipi di un unico processo compositivo.

Variante sud-nord da S.P.01 a S.P.56 - Caratteristiche geometriche del tracciato



Dal punto di vista viabilistico il **tracciato Nord-Sud**, che comprende l'infrastruttura di attraversamento del fiume Arno, **presenta una sede stradale di categoria C2**, con larghezza delle corsie di 3.5 m, banchina in destra ed in sinistra di 1,25 m, velocità di progetto comprese all'interno dell'intervallo normativo (60-90 km/h, raggi planimetrici > di 400 m e pendenza longitudinale inferiore al 7%.

Il tracciato proposto è caratterizzato da un corretto coordinamento plano-altimetrico tra asse stradale e profilo longitudinale evitando la cosiddetta "perdita di tracciato"; grazie a questa tecnica **la visione dell'utente è sempre rappresentativa della realtà geometrica consentendo al guidatore la percezione ottimale della strada dinanzi a sé nell'ambito di un criterio di massima sicurezza**. Il tracciato stradale presenta uno sviluppo di circa 1.200 m, pertanto sono state inserite due piazzole di sosta, una per senso di marcia, esterne alla banchina e con dimensioni concordi a quanto indicato del D.M. 2001. La lunghezza complessiva è di 75 m, con 25 m di piazzola effettiva e 25 m + 25 m per le zone di raccordo con la banchina stradale. La larghezza delle piazzole è di 3 m, alla quale vanno aggiunti, esternamente, 0.5 m di margine esterno.

Dal punto di vista altimetrico il tracciato in variante è **collocato al di sopra della quota di piena duecentennale solamente nella sua parte centrale, mentre nell'approccio ai due tratti di collegamento alle S.P. n°1 e n°56**, questo resta inevitabilmente al di sotto della quota di pelo libero duecentennale, essendo la stessa viabilità di collegamento a tale quota. Nella parte centrale dell'intero sviluppo l'opera come concepita garantisce peraltro, la **permeabilità viaria trasversale poderale grazie alla realizzazione di un sottopasso agricolo** sul quale confluiscono le strade di servizio dei campi coltivati a Sud del ponte di progetto; **la permeabilità viaria è anche garantita al di sotto del nuovo ponte, in sinistra idraulica, dove è prevista la predisposizione infrastrutturale che per ospitare la futura ciclopista dell'Arno.**

Le intersezioni a rotatoria

Le **intersezioni a rotatoria** sono state ideate con la finalità di:

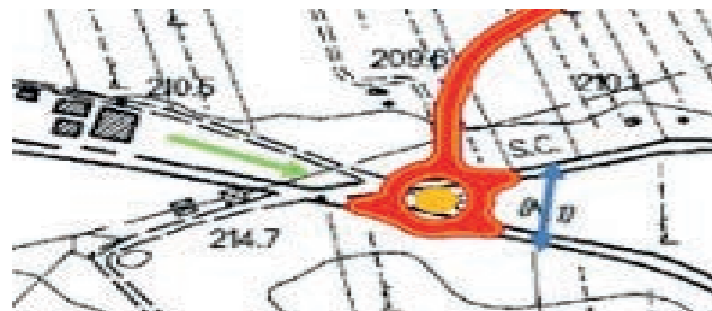
- essere estremamente **funzionali e sicure**;
- essere un **elemento di riconoscibilità del tracciato**;
- garantire una **elevata valorizzazione degli ambiti antropizzati**.

Il livello funzionale delle intersezioni a rotatoria appartenenti al progetto è garantito dagli elementi compositivi proprie dei contenuti geometrici del D.M. del 19 Aprile 2006 che regola le intersezioni a rotatoria. Gli elementi salienti degli interventi ideati sono costituiti dall'elevato livello di riconoscibilità e di rinaturalizzazione delle aree verdi e alla minimizzazione degli elementi propriamente stradali che queste assumono. Tra questi la presenza minima delle **barriere di sicurezza, che grazie alla particolare conformazione delle scarpate con pendenza laterale ben inferiore a quella limite del 3/2 prevista nelle Norme, non sono necessarie per gran parte dello sviluppo perimetrale dell'anello di rotatoria minimizzando la rilevanza paesaggistica della piattaforma stradale a tutto vantaggio della sicurezza per l'utenza motociclistica e ciclistica.**

Le intersezioni diverranno così dei veri e propri "luoghi" e non meri nodi. Con specifico riferimento all'utenza stradale, **le intersezioni potranno eventualmente disporre di un "logo" posizionato in un totem che porrà l'accento sul vicino ponte storico di Buriano mediante una simbologia caratterizzante e rappresentativa del "genius loci" che permetterà di valorizzare lo storico attraversamento del Fiume Arno invitando l'utenza ad una sosta e ad un approfondimento nell'ambito della promozione e valorizzazione di una mobilità "dolce" .**

Rotatoria Sud

La rotatoria Sud, che funge da collegamento tra l'attuale SP01, la bretella di nuova costruzione e la strada "**Quarata 2**" (quest'ultima definita come "**strada storica**" all'interno del "Piano Strutturale" del 2019) rappresentano l'elemento puntuale di interscambio veicolare al quale è stata destinata una particolare attenzione.



Ipotesi progettuale a base di Gara - Fonte: D.I.P.



Proposta progettuale

La forma geometrica proposta garantisce la corretta gerarchizzazione della rete stradale e delle sue intersezioni, comprensive dei due accessi privati, che non interferiranno così con il flusso principale. Il suo posizionamento supera anche la criticità del dislivello tra la S.P. n°1 e la via di Quarata 2, che diversamente ne condizionerebbe la funzionalità.

La rotatoria a 4 rami proposta all'interno del **Documento di Indirizzo alla Progettazione (D.I.P.)**, illustrata nell'immagine soprastante, presenta le seguenti criticità:

Viabilità secondaria ad Ovest: nel ramo in direzione Ponte di Buriano, si trovano due ingressi privati e due intersezioni di strade secondarie che coinvolgono la S.P.n°1; gli aspetti critici sono legati alla vicinanza di tali elementi alla rotatoria del D.I.P. le cui **manovre di immissione e uscita risultano critiche per la sicurezza generale di percorrenza.**

Dislivello tra SP n°1 e Via Quarata:

La rotatoria proposta nel D.I.P. presenta due rami in direzione Est, di cui un tratto della SP 01 ed uno di Via Quarata 2, i quali presentano **pendenze longitudinali e quote in approccio all'intersezione di progetto estremamente differenti tra di loro e complesse da coniugare con una rotatoria circolare di diametro di circa 40 m.**



Dislivello tra la S.P.n°1 e la Via Quarata 2, compensato con la geometria di rotatoria ovoidale qui ideata

Per poter ideare un'intersezione sicura ed efficiente superando le criticità sopra evidenziate, si propone l'adozione di una rotatoria non convenzionale, la quale si avvale di un segmento della corona circolare (*sopra evidenziato in rosso*) di circa 65 m, con cui connettere i due rami Est adottando delle pendenze adeguate (intorno al 5%).

Gestione dell'isola centrale

l'inserimento di elementi ben visibili (come ad esempio specie arboree autoctone) rende l'isola centrale un consistente punto focale per l'utente incrementando "*l'avvistabilità*" dell'intersezione e quindi la percezione della variabilità di tracciato, permettendone l'approccio a velocità prossime a quella di progetto. **La configurazione progettuale della rotatoria Sud, così come proposta in questa sede, assume quindi una configurazione utile alla risoluzione di tutte le criticità sopra esposte nell'ambito del pieno rispetto della Normativa Stradale vigente, adottando una forma geometria "ovoidale" con due diversi raggi di curvatura, coniugati tra loro da settori circolare ad ampio raggio.** Questa configurazione garantisce la corretta manovra di svolta, sia in percorrenza dell'anello, che in percorrenza dei rami di ingresso ed uscita, come anche la corretta gerarchizzazione delle svolte, considerando quelle che servono la viabilità Provinciale e quelle che servono la viabilità locale, tra cui la coppia di accessi privati, che restano serviti in condizioni di massima sicurezza attraverso la creazione un piazzale "*di calma*" posizionato a margine della piattaforma della viabilità Provinciale attuale e non interferente con la viabilità di

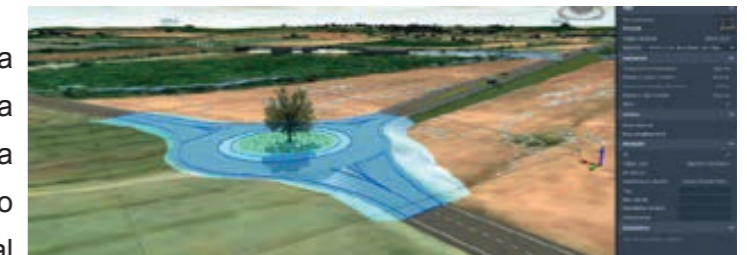


Estratto dal modello BIM dell'infrastruttura relativo alla rotatoria Sud

scorrimento.

Rotatoria Nord

L'intersezione che unisce l'esistente SP56 alla nuova viabilità di progetto viene risolta con la realizzazione di una rotatoria a 3 rami. Nel D.I.P. è specificato che la nuova viabilità dovrà essere in grado di far circolare al suo interno circa 12'000 *veicoli al giorno*; riportando tali numeri al traffico della canonica ora di punta si ottengono circa 1'800



Modellazione infrastrutturale della rotatoria nord sviluppata in BIM

veic/ora (circa il 15% del numero di veicoli giornalieri considerando debitamente le ore di punta e le ore di morbida). Alla luce di questi numeri si ritiene che un'intersezione a 3 rami conformata con un diametro pari a 40m **possa utilmente "smaltire" i volumi di picco di traffico circolante senza la necessità di inserire doppie corsie di approccio all'intersezione o by-pass per la svolta diretta verso destra.**

Per quanto concerne la **sicurezza stradale**, vengono proposti dei **flessi in serie**, distribuiti in approccio all'intersezione; questo accorgimento è qui necessario in quanto gli utenti in avvicinamento all'intersezione da Sud percorrono un lungo tratto di viabilità con $V_p, max = 100$ km/h, mentre le rotatorie extraurbane hanno una velocità d'approccio ottimale che si aggira intorno ai 30/40 km/h. L'utilizzo di 2 curve con curvatura opposta e decrescente in avvicinamento all'anello fa sì che la Velocità di Progetto decresca gradualmente in modo puramente spontaneo

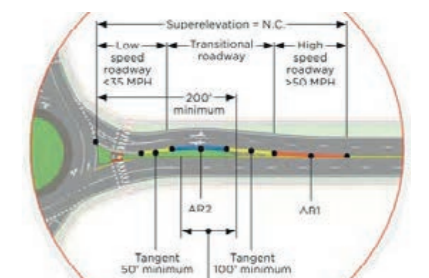


Illustrazione della corretta progressione della variabilità della velocità di progetto in approccio all'anello di rotatoria

e senza variazioni superiori ai 20 km/h (rif. par.5.4.4. del DM 5/11/01). Un ulteriore elemento che contribuisce all'aumento della sicurezza dell'intersezione è l'inserimento di elementi facilmente avvistabili all'intero dell'isola centrale, ad esempio con la piantumazione di un albero di ulivo. Questo espediente rende subito chiaro all'utente la presenza di un ostacolo, aumentando nello stesso il livello di vigilanza rispetto a quello medio percettivo.

Rotatoria Ovest

A differenza delle altre due rotatorie, in questa è l'**unicità del contesto storico a prevalere**. La sua vicinanza con il Ponte storico di Buriano suggerisce un **ritrovato ruolo per un "luogo"**, la **creazione di un'occasione per generare attenzione e curiosità nell'utenza, stimolando l'interesse per la visita dell'antica opera**. Questo obiettivo potrà essere ottenuto mediante l'ideazione di un'**opera d'arredo urbano collocata all'interno dell'anello**, da realizzarsi su commissione ad un Artista scelto direttamente dalla Stazione Appaltante o in ragione dell'esito di una specifica gara nell'intento di conferire identità e riconoscibilità al territorio e alla Riserva Naturale di Ponte a Buriano e Penna.

Adeguamento S.P. 56



Estratto della modellazione BIM con analisi geometrica e funzionalità del tracciato in miglioramento della S.P.n°56

Il principio guida per l'ideazione degli interventi previsti sulla S.P.n°56, deriva dalla considerazione che l'attuale tracciato riveste, sì, il ruolo garanzia della continuità funzionale della nuova S.P.n°1 "dei Sette Ponti", ma che le sue **caratteristiche geometriche attuali non permetteranno nei fatti, un livello di servizio confacente a seguito della realizzazione della nuova Variante** (sezione ridotta ed asse tortuoso). Ne consegue la **proposta per interventi di "miglioramento" dell'asse di tracciato e adeguamento della sezione trasversale**, limitando al tempo stesso l'invasività del tracciato fuori sede, e quindi di

conseguenza gli espropri. L'elevazione del livello di servizio garantirà una continuità omogenea dell'infrastruttura nel suo complesso, in modo da risultare compatibile in termini di variazione di velocità di progetto come previsto dal D.M. del 5 novembre 2001 al paragrafo 5.5.4.

Ne consegue che l'ideazione di questo tratto stradale migliora significativamente l'attuale sedime, allargandone la sezione (che ad oggi non garantisce le condizioni minime di sicurezza), ed incrementandone i raggi di curvatura da pochi metri fino al valore di 118 m in modo da assicurare la conformità nei confronti una velocità di progetto di 60 km/h, compatibile con la velocità di uscita dall'anello di rotatoria che è di 50 km/h.

Caratteristiche principali degli impianti di illuminazione

L'illuminazione stradale è definita mediante corpi illuminanti distribuiti sulle intersezioni e sul ponte, con una distinta funzione.

Assunto che l'illuminazione stradale, nelle infrastrutture extraurbane è resa necessaria solamente nelle intersezioni, il processo ideativo della nuova variante prevede una **dotazione illuminotecnica rispettosa dell'inquinamento luminoso** a salvaguardia della fauna autoctona propria dell'ambito fluviale interessato dall'intervento, ma che al tempo stesso **valorizzi l'opera di attraversamento del fiume Arno**. Il livello illuminotecnico sarà quindi ottenuto mediante un utilizzo di corpi illuminati con fascio luminoso di tipo "*radente*". Tra questi si distingueranno una prima tipologia funzionale atta ad assicurare il livello minimo di illuminamento previsto per norma e una seconda

tipologia atta ad assicurare la massima percezione del ciglio di margine, mentre altra tipologia sarà destinata alla valorizzazione del ponte. Non si prevedono quindi, "torri faro" ma di una **illuminazione diffusa e distribuita omogeneamente**, "mirata" al soddisfacimento dei *lumen* di normativa **limitatamente alle aree strettamente necessarie alla sicurezza stradale**.

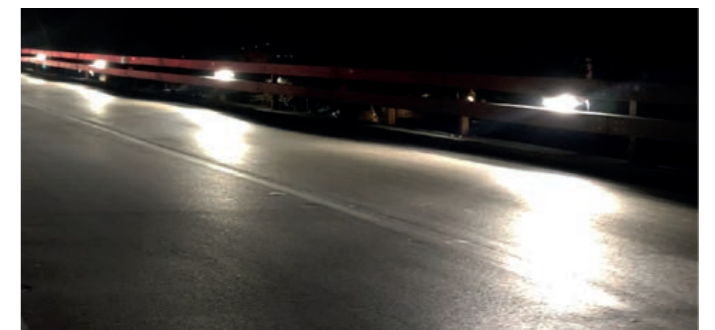
L'**illuminazione stradale delle intersezioni**, dispone di corpi illuminanti perimetrali all'anello, evitando configurazioni a "torre faro", che comporterebbero un elevato inquinamento luminoso anche su porzioni del territorio esterne all'intersezione stessa, che andrebbe a mortificare pesantemente l'habitat faunistico. L'illuminamento sarà quindi disposto lateralmente alla sede viaria verso l'interno consentendo altezze dei corpi illuminanti molto inferiori alle classiche torri faro, restando così, limitato alla sola superficie della piattaforma stradale. Inoltre, al fine di incrementare il livello percettivo delle cuspidi spartitraffico in corrispondenza dei rami di ingresso ed uscita all'anello, il progetto prevede l'adozione di corpi illuminanti bassi, **a luce radente**, che garantiscono la massima percezione delle parti "canalizzate" del tracciato. La disposizione dei corpi illuminati a luce radente, permetteranno la **migliore individuazione del tracciato di deviazione** anche nelle condizioni di illuminazione naturale più penalizzanti quali nebbia e pioggia.



Segnapasso utilizzati in corrispondenza delle intersezioni a rotatoria



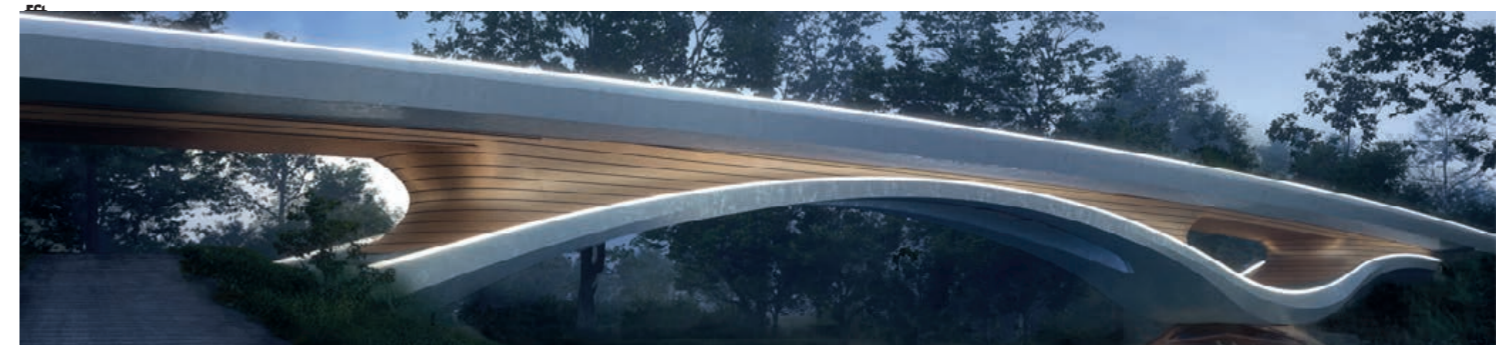
Immagine dell'armatura stradale



Esempio reale di illuminazione radente. Il campo di irraggiamento resta confinato all'impalcato

L'**illuminazione del tratto corrispondente all'attraversamento del fiume Arno** sarà concepito anch'esso in modo da non disturbare la fauna migratoria sulle sponde e ottenuto mediante la previsione di corpi illuminati bassi, integrati nella barriera di sicurezza, anch'essi con fascio luminoso limitato alla sola piattaforma stradale. Si tratta di armature stradali su supporto verticale di rigidità ininfluente ai fini della deformabilità della barriera di sicurezza, disposti ad un interasse di circa 15 m, in sinistra ed in destra con cadenzamento a *quinconce*, in modo da trasmettere la migliore percezione del tracciato, contenendo, al tempo stesso il flusso luminoso all'interno della piattaforma stradale.

Il ponte sarà dotato all'esterno di un'illuminazione d'accento di tipo lineare, con tecnologia led dimmerabile e a bassa intensità tale da enfatizzare le forme principali dell'arco e dell'impalcato. Per i dettagli si rimanda agli specifici



Simulazione dell'illuminazione d'accento

Caratteristiche principali degli impianti di sicurezza

In questo contesto di alveo fluviale con fasce di esondazione molto ampie, è assunto, nel progetto, che nel caso delle piene meno frequenti (vedi studio idraulico), si possa considerare che parti di tracciato siano poste a quote raggiungibili dai fenomeni di piena con tempi di ritorno più lunghi. Assetti del progetto che prevedano quote stradali a valori superiori a quello della piena *duecentennale* sarebbero infatti troppo impattanti e costosi. Ne consegue l'utilità di un **sistema di rilevazione della piena e di chiusura al traffico temporanea mediante dispositivi di avviso e sbarramento**. I dispositivi di avviso e sbarramento saranno disposti in corrispondenza delle due rotatorie Sud e Nord, il modo che l'utenza possa comunque deviare in tempo il proprio itinerario. Il sistema prevede un **sensore di livello idrometrico** dotato di una propria elettronica e microprocessore con memoria di registrazione. Il trasduttore ad ultrasuoni misura il livello del pelo libero. L'innalzamento di quest'ultimo oltre i livelli di guardia comporterà l'avviso di allarme e l'**attivazione (abbassamento) di una barriera mobile in corrispondenza delle due rotatorie di accesso alla nuova variante**.



Dispositivo di rilievo del livello del fiume

Qualità dell'intera infrastruttura a livello stradale, strutturale, architettonico e funzionale

Il progetto dell'intera infrastruttura rappresenta il risultato di un processo progettuale organico e multidisciplinare condotto con l'obiettivo di formulare una proposta di elevata qualità dal punto di vista stradale, strutturale, architettonico e funzionale facendo sintesi e tenendo sotto controllo tutti i fattori che sono determinanti per il raggiungimento degli obiettivi fissati. Tra i numerosi aspetti approfonditi e dettagliati nelle pagine della presente relazione, in questa parte vengono esposti gli approfondimenti in merito all'inserimento paesaggistico dell'intera infrastruttura e descritti i risultati dell'analisi idraulica condotta sul progetto al fine di dare evidenza dell'impatto della nuova infrastruttura all'interno di un ambiente delicato come quello del bacino dell'Arno Settentrionale.

Accorgimenti per l'inserimento dell'infrastruttura all'interno del paesaggio circostante

L'intervento si sostanzia nell'operazione di **inserimento paesaggistico dell'opera infrastrutturale** del nuovo ponte alternativo al ponte storico di Buriano, con relativo adeguamento della rete viabilistica di supporto, **mirando alla tutela, conservazione e miglioramento del "paesaggio" esistente**.

L'intervento così interpretato, pertanto, si sviluppa su un doppio registro costituito da un sistema dal carattere "minerale" che definisce l'infrastruttura composta dal nuovo ponte di Buriano, dall'adeguamento della rete viabilistica di servizio e dal potenziamento di quella che è la mobilità lenta. Quest'ultima si inserisce invece all'interno di un sistema "vegetale" che individua nei segni tipici del paesaggio agricolo esistente: campo agricolo, filare di alberature ad alto e basso fusto, scoline e vegetazione ripariale elementi d'innescio per la rigenerazione dell'area di progetto creando connessioni ed occasioni con tutto il territorio circostante della provincia di Arezzo.

Il progetto, pertanto, insiste prevalentemente sull'*area ripariale esistente e potenziale (ampliamento e completamento dell'esistente*, come illustrato nello specifico elaborato grafico) dell'asta fluviale dell'Arno andando a evidenziare elementi di criticità che l'operazione progettuale tende a trasformare in possibilità, occasioni vere e proprie per il territorio. Delimitata ad Ovest dalla presenza del manufatto storico del Ponte di Buriano con relativa Zona di Tutela Paesaggistica, l'**area dal carattere prevalentemente agricolo**, è **soggetta a periodici fenomeni di allagamento**. Di conseguenza, la **gestione idraulica dell'intero sito di progetto rappresenta il fil rouge in cui la nuova**

opera infrastrutturale del rilevato costituisce elemento di connessione ad alto potenziale permeabile e non di barriera. Permeabilità del rilevato di progetto, gestione delle acque fluviali e meteoriche, integrazione ambientale sono pertanto obiettivi ai quali il progetto vuole dare risposta concreta. È possibile così leggere l'intera proposta di intervento attraverso una sezione longitudinale costituita da dispositivi funzionali atti ad innescare sinergie con le tracce del paesaggio esistente, andando a "disegnare" nuovi spazi nel territorio.

Le stesse **piantumazioni di progetto** sono disposte in modo da **rafforzare la matrice territoriale della vegetazione ripariale** ponendo in secondo piano l'andamento planimetrico dell'asse stradale che necessariamente non può essere strettamente rettilineo, come invece lo sono i filari arborei dei fossi di drenaggio che caratterizzano il contesto ambientale. Tra le specie proprie di questa parte della valle dell'Arno, si censiscono una ricca serie di varietà di piante, perlopiù igrofile, che caratterizzano questa parte più meridionale della valle dell'Arno. Tra queste: *Populus alba*, *Populus nigra*, *Corylus avellana*, *Ulmus minor*, *Ranunculus ficaria*, *Rorippa sylvestris* (Viciani et Raffaelli, 2003), ovvero quelle di seguito raffigurate.



Polygonum hydropiper

Salix alba

Alnus glutinosa

Barbarea vulgaris

Salix triandra

I filari arborei sono distribuiti in asse parallelo alla matrice dei filari arborei ripariali esistenti, in modo che la linea predominante dal punto di vista paesaggistico sia mantenuta pressoché inalterata rispetto alle linee di coltivazione. Quello che si va così a definire è un **doppio registro vegetale: filare arboreo a grosso/medio fusto** con altezze superiore ai 6m/12m in continuità alla struttura arborea esistente in direzione Nord-Sud. **Tale sistema dalla funzione anche di barriera acustica**, sarà associata alla piantumazione di canneto lungo il sistema delle scoline per favorire processi di fitodepurazione andando a sgravare quello che è la pressione inquinante del settore agricolo sul sistema idrico con lo sversamento di nitrati e azotati. A completamento della struttura vegetale vi sarà l'introduzione di **filari a cespugli dalle altezze ridotte** (1,5 m max) in direzione Est-Ovest, le quali andranno ad aumentare la diversità e continuità biologica del paesaggio, l'assorbimento di CO₂, ponendo le basi per la **definizione di una rete di mobilità lenta** in grado di definire **ulteriori possibilità e connessioni all'interno del paesaggio**.

Recupero, valorizzazione, ed efficientamento sono le tre azioni principali che l'intera infrastruttura di progetto mette in campo per facilitare il funzionamento a pieno regime di quella grande macchina che è il paesaggio agricolo lungo le sponde del fiume Arno. I due tratti stradali di approccio al ponte hanno una rilevanza paesaggistica molto elevata, in quanto interessano aree di notevole pregio ambientale con marcato interessamento idraulico e rappresentano l'occasione per rappresentare un elemento di "good practice" in termini di sostenibilità.

La massima **integrazione paesaggistica** è stata perseguita mediante l'**applicazione dei seguenti criteri e accorgimenti costruttivi**:

- **Morfologia del corpo di rilevato irregolare e naturomorfa**, cioè diversamente dalla consueta forma delle scarpate laterali con rapporto 3/2, il solido stradale, mostra delle pendenze più dolci ed irregolari. Questo aspetto morfologico **garantisce il superamento della classica rigidità delle forme trapezie delle sezioni stradali**, rendendo le linee di cambio delle pendenze maggiormente conformi alla flessuosità degli elementi

strutturanti il territorio. In particolare il fosso di scolo delle acque di piattaforma e di rilevato, assumerà non un andamento rettilineo innaturale, ma flessuoso, disegnando il digradare delle curve di livello.

- **Piantumazioni sulle scarpate del rilevato**, che, una volta **colonizzate assumeranno la valenza di vegetazione ripariale predominante rispetto all'asse stradale**. Anche la loro matrice irregolare contribuirà a disegnare lo spazio vegetazionale, in modo da divenire predominante rispetto alla piattaforma stradale, che assumerà una visibilità di secondo piano dalle viste a volo d'uccello. **L'orditura dei filari arborei seguirà le linee dell'attuale vegetazione ripariale di corrivazione rispetto a quella del Fiume Arno (quindi ad asse trasversale rispetto allo stesso Fiume Arno), che corrisponde anche all'orditura prevalente di coltivazione dei campi agricoli.**

Presenza diffusa di tubazioni prefabbricate di attraversamento al di sotto dei rilevati stradali della viabilità di progetto, in modo da garantire sia la trasparenza idraulica dell'attraversamento del rilevato **nelle occasioni di piena**, sia, per tutto il periodo dell'anno, la continuità dei passaggi faunistici e la **tutela delle biodiversità autoctone**. **Tale accorgimento oltre che garantire la trasparenza migratoria all'interno dell'habitat naturale di molte specie, garantisce anche la sicurezza stradale, scongiurando sinistri dovuti all'attraversamento di animali.** Le tubazioni hanno diametri variabili e sono realizzate con un prodotto prefabbricato, collaudato nel tempo in numerose applicazioni che ne assicura efficacia e durabilità. Gli imbocchi potranno essere naturalizzati con rivestimento in pietra naturale o inverdimento degli imbocchi dotati di inviti, colonizzabile da essenze vegetali.



Le tubazioni garantiscono la trasparenza idraulica dell'invaso in caso di piena
Gli imbocchi saranno naturalizzati con pietra naturale o inverdimento

La concezione architettonica ed ambientale della strada

Il progetto stradale non si limita ad una mera applicazione dei criteri geometrici di progettazione previsti nel D.M. del 5/11/2001 o del D.M. del 19/4/2006 *sulle intersezioni*, ma **esprime una serie di concetti progettuali e costruttivi di tipo integrato che mutuano le esigenze funzionali con quelli di una forte caratterizzazione architettonica e ambientale.**



Andamento sinuoso del ciglio di piede scarpa di rilevato, che favorisce una configurazione naturomorfa eliminando la percezione di opera antropica del solido stradale

Il solido stradale è stato concepito, quindi, come un volume inserito nel contesto paesaggistico in continuità percettiva con il nuovo Ponte sul Fiume Arno, in modo che le due componenti d'opera assumano una unica connotazione antropica fortemente integrata nel contesto paesaggistico e ambientale.

Morfologia del solido stradale: le forme curvilinee del nuovo Ponte trovano riscontro nella **morfologia "variabile" e "organica"** del solido stradale, che si adagia sul piano di campagna naturale (*ma che in realtà è antropizzato esso stesso dalle coltivazioni agricole*) con un **andamento curvilineo che asseconda la morfologia del piano di campagna**. Questo effetto di ondulazione deriva dall'adozione di **pendenze trasversali delle scarpate di tipo "variabile"** (e quindi minore del classico rapporto 2/3 dei rilevati stradali) rendendo la coniugazione del solido

stradale maggiormente fluida e plastica.

Le opere a verde: le piantumazioni di progetto, inserite con la funzione di opere mitiganti degli impatti sul paesaggio, sono **disposte in modo da rafforzare la matrice territoriale della vegetazione ripariale**, ponendo in secondo piano l'andamento planimetrico dell'asse stradale che necessariamente non può essere strettamente rettilinea come lo sono i fossi di corrivazione. I filari arborei non sono, quindi, posizionati in perfetta perimetrazione del ciglio inferiore del rilevato, ma saranno distribuiti in asse parallelo alla matrice dei filari arborei ripariali esistenti, in modo che la linea predominante dal punto di vista paesaggistico sia mantenuta pressoché inalterata rispetto alle linee di corrivazione.

Come già accennato in precedenza, il rilevato nella configurazione di progetto assicura una piena trasparenza sia idraulica che faunistica. Grazie alla presenza di tubi ad una diversa quota d'imposta, questi saranno alternativamente "umidi" o "asciutti" assicurando il transito in sicurezza della fauna sia anfibia che terrestre rispettivamente. Questa caratterizzazione dei rilevati contribuisce inoltre alla loro **"leggerezza" in termini di pressione sul terreno di fondazione**, con importanti **effetti benefici** in termini costruttivi e manutentivi **nel caso di terreni superficiali estremamente compressibili come quelli che interessano il sito di progetto.**



La stabilizzazione a calce del sottofondo limo-argilloso permette l'utilizzo di materiale in sito minimizzando l'apporto da cava ed il trasporto a discarica con i conseguenti oneri di discarica

Tecnica costruttiva della stabilizzazione a calce: la tecnica costruttiva del piano di posa del rilevato, integra l'esigenza di aumentare la capacità portante del sottofondo con l'**esigenza di minimizzare gli apporti da cava e degli esuberanti da portare a discarica**. Questo obiettivo è ottenuto mediante l'impiego della tecnica della **stabilizzazione a calce in situ** del piano di posa del rilevato. Questa tecnica garantisce l'ottenimento di caratteristiche proprie di un materiale di tipo A1/A2 (quindi materiali granulari) a partire da una litologia limo-argillosa come quella presente nel sedime del nuovo asse stradale che potrà quindi, disporre di un sottofondo prestante grazie all'azione legante della calce, unitamente all'umidità propria del piano di campagna. Oltre che per il consolidamento del piano di posa del corpo di rilevato, questa tecnica è anche impiegata, in questo progetto, per la formazione del rilevato che potrà parzialmente essere realizzato utilizzando il terreno limo-argilloso proveniente dagli scavi necessari per la realizzazione delle parti interrante del nuovo ponte ottenibile mediante stabilizzazione a calce fuori opera e non in situ.

Tecnica costruttiva della pavimentazione stradale: anche nel caso della pavimentazione stradale il progetto rappresenta un elevato livello di compatibilità ambientale ottenuto mediante l'**adozione dello strato di base in bitume "schiumato" costituito da inerte proveniente dal riciclaggio del materiale fresato proveniente da altre pavimentazioni dismesse**, che evita l'apporto di materiale da cava ed utilizzando come legante un'emulsione bituminosa al 2% e polvere di cemento 3% garantisce **basse temperature di produzione e posa che minimizzano l'emissione di CO₂ in atmosfera.**

Barriere di sicurezza in legno lamellare e acciaio corten: Questa tipologia di barriere garantisce la massima integrazione paesaggistica, grazie ai cromatismi propri degli ambienti naturali (marrone delle terre e del legno e "ruggine" delle foglie), e scongiura la presenza di componenti in acciaio zincato a vista che vanificherebbero gli

sforzi di ri-ambientazione delle altre componenti dell'opera stradale.

Impianto di fitodepurazione contro lo sversamento accidentale: lo sversamento accidentale di inquinanti in corrispondenza della viabilità di progetto, potrebbe compromettere ampie porzioni della falda e dell'alveo dell'Arno. Il progetto prevede la collocazione di due aree di fitodepurazione posizionate nelle due rive del Fiume Arno, in modo che grazie alla pendenza longitudinale discente sia possibile ottenere il gradiente idraulico sufficiente alla corrivazione delle acque di piattaforma nelle relative aree di fitodepurazione. Il terreno naturale a granulometria fine, filtrerà i liquidi inquinanti, specificatamente oli, gomma e metalli, che potranno essere così recuperati e bonificati scongiurando che gli stessi inquinanti raggiungano la falda e l'alveo del Fiume Arno.

In corrispondenza dell'**isola centrale delle rotatorie sono disposte vasche di accumulo e sifonamento delle acque di piattaforma** che hanno la funzione di raccogliere la corrivazione delle acque di piattaforma, confinate tra gli "arginelli" ai lati della carreggiata, in modo da per essere recuperate in caso di sversamento accidentale prima che possano raggiungere la falda. Poiché le intersezioni sono considerate un "punto nero" per un tracciato stradale, in quanto in corrispondenza delle intersezioni è maggiore il rischio di sinistro e di rovesciamento dei mezzi di trasporto di sostanze inquinanti, la vasca dispone di un sifone che ha lo scopo di separare gli oli alle acque meteoriche, in modo che, galleggiando, possano essere aspirati e portati a discarica.

Smaltimento delle acque meteoriche: Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche disporrà di **embrici in materiale plastico riciclato di colore verde**, in modo da limitare l'impatto paesaggistico minimizzando l'azione antropica. Il colore adottato permetterà il perfetto inserimento ambientale di tali dispositivi che tradizionalmente restano molto visibili sulle scarpate stradali, ancorché inerbite, in quanto, solitamente costituiti da elementi in cemento dall'evidente colore grigio chiaro.



L'impianto di fitodepurazione in prossimità dell'alveo del fiume Arno permetterà la salvaguardia della falda in caso di sversamento accidentale

L'impianto di depurazione in corrispondenza delle intersezioni a rotatoria, quali punti neri più frequenti, permetterà l'intercettazione degli agenti inquinanti con selezione delle acque di prima pioggia

Gli embrici in plastica riciclata di colore verde contribuiscono al migliore inserimento paesaggistico delle scarpate di rilevato stradale

Minimizzazione dell'impatto sul rischio idraulico mediante modellazione idraulica dello stato di progetto



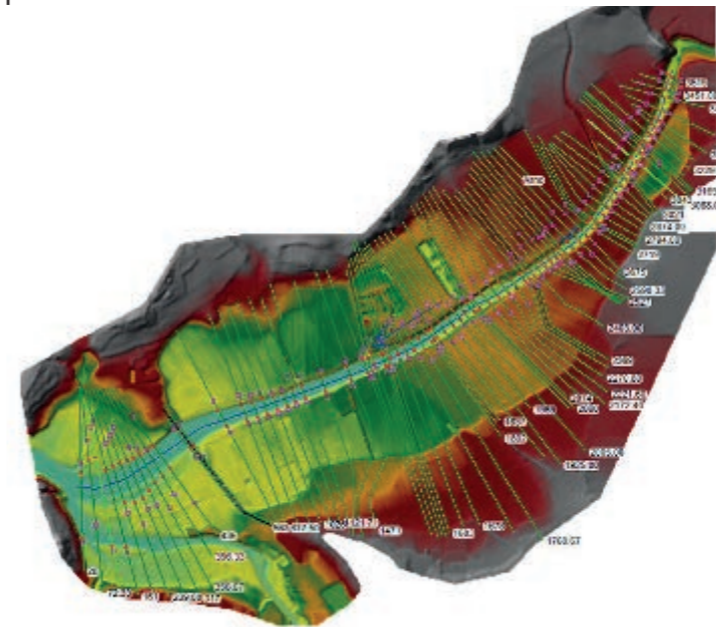
Carta di pericolosità di Alluvioni Fluviali (PGRA)

L'Arno è da sempre un fiume idraulicamente molto complesso: per questo motivo la **progettazione strutturale ed infrastrutturale delle opere è stata supportata da un modello idraulico** con il quale è stata indagata la relazione tra l'opera oggetto di progettazione ed il corso d'acqua per fenomeni di piena con **Tr=30 anni** e **Tr=200 anni**.

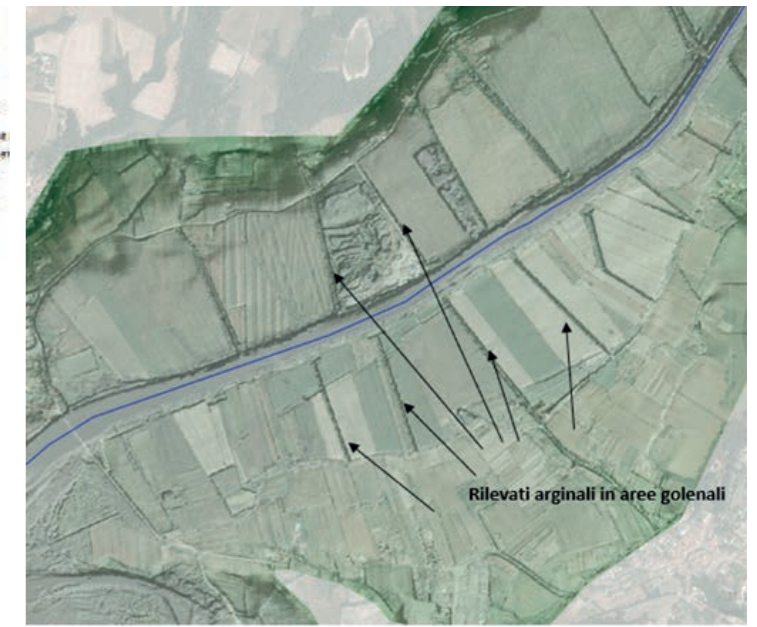
Gli aspetti che sono stati presi in considerazione per analizzare la relazione tra progetto e contesto idrologico sono due: il primo riguarda il confronto tra la mappa di allagabilità dello stato attuale (scenario "do nothing") e dello stato di progetto, mentre il secondo riguarda solo lo scenario di progetto e consiste nel verificare che il **franco**

idraulico tra l'intradosso del ponte e la quota del pelo libero dell'onda di piena della portata duecentennale dell'Arno sia superiore al valore minimo di 150cm indicato nelle "NTC2018".

In prima battuta è stato eseguito uno **screening della vincolistica locale e degli strumenti cartografici** pubblici; dalla cartografia del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno riguardante la Pericolosità di Alluvioni Fluviali (immagine a sinistra) si può vedere come l'area dell'intervento ricada all'interno delle zone di Classe 3.0 (blu scuro), 2.0 (blu chiaro) e 1.0 (azzurro). Questo significa che il rischio di alluvione del sito di progetto risulta essere piuttosto elevato: una testimonianza di ciò si può ritrovare tornando indietro nel tempo, nel 1966, anno della grande piena dell'Arno, durante la quale il Ponte Antico venne sommerso completamente dall'evento di piena.



Elaborazione del concorrente della geometria del modello per lo scenario "do nothing" su base LiDAR

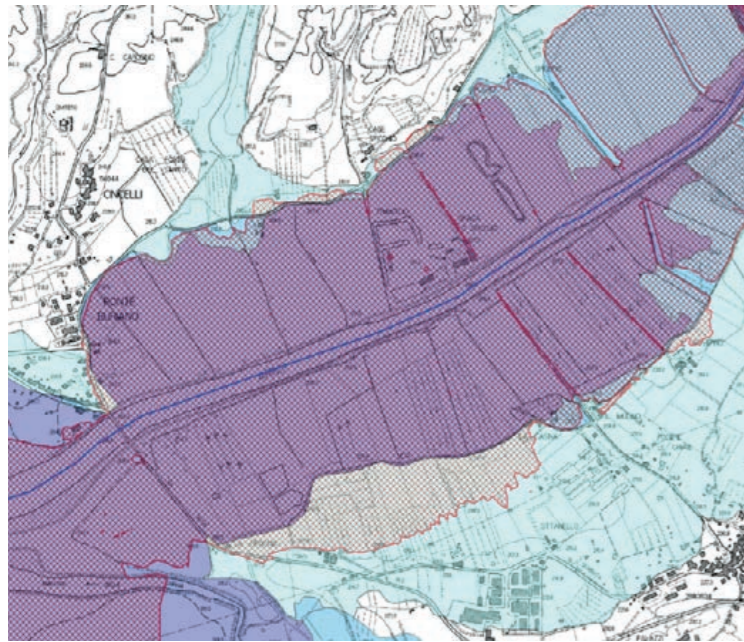


Morfologia dello scenario "do nothing" (dati LiDAR)

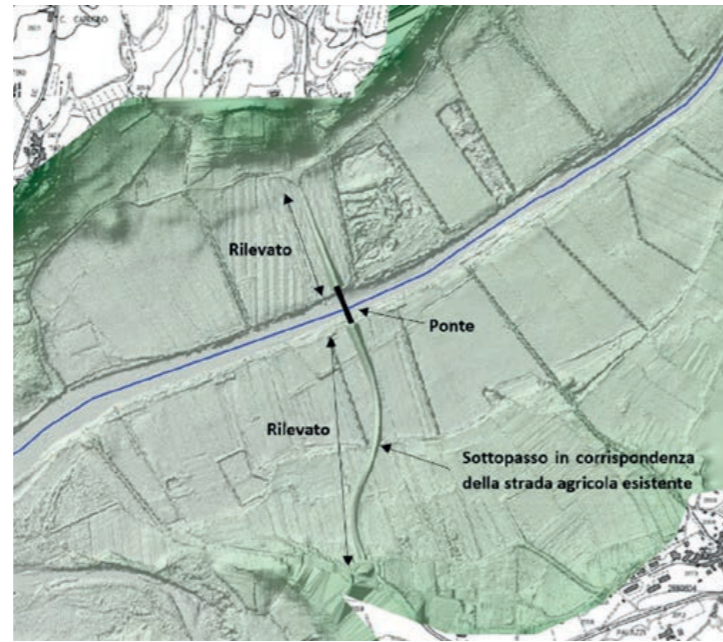
Una delle motivazioni principali di questa fenomenologia è che l'andamento altimetrico del centro abitato di Ponte Buriano, la presenza del Ponte Storico ed i rilevati stradali in approccio allo stesso contribuiscono a far sì che si verifichi un "effetto strozzatura" che comporta un restringimento di sezione per i flussi idrici transitanti. Questo fenomeno, durante gli eventi di piena, genera un profilo di rigurgito a monte che causa l'esondazione delle acque e l'allagamento di una vasta area golenale a monte dell'antica struttura.

Si è poi passati alla creazione del modello idraulico dello scenario "do nothing": Nell'area di progetto il corso d'acqua assume un andamento planimetrico poco sinuoso, con alveo inciso per una larghezza al fondo intorno ai 60 m. Inoltre non è stata rilevata la presenza di erosioni spondali localizzate significative, indice di una configurazione d'alveo sostanzialmente stabile. Le sponde, mediamente acclivi, come già messo in luce, sono interessate da una vegetazione arbustiva ed arborea ripariale. Nelle aree golenali presenti sia in destra che in sinistra idraulica, è possibile individuare una serie di rilevati arginali con tracciamento ortogonale alla direzione di deflusso delle acque, finalizzati al confinamento delle potenziali esondazioni del corso d'acqua ed al rallentamento della corrente dei volumi esondati. La geometria del modello è stata ottenuta dai dati LiDAR e si estende oltre l'esistente Ponte di Buriano, in modo da poter considerare gli importanti effetti che l'opera esercita sul deflusso delle portate. La simulazione idraulica dello scenario "do nothing" per Tr=200 anni genera un output di aree allagate che, in buona parte, ricopre le zone del PGRA di classe 3.0 e parte delle zone di classe 1.0 a Sud rispetto al fiume Arno. L'ottima corrispondenza tra la mappa di allagabilità ottenuta con l'analisi idraulica e le mappe ricavate dal PGRA testimoniano il fatto che il modello idraulico ottimizzato per le analisi SdF e SdP è stato realizzato in modo corretto e

che rispecchia le reali caratteristiche dei luoghi. Completata la modellazione dello scenario “do nothing” si è passati alla creazione dello scenario di progetto: la geometrizzazione è partita dal modello digitale del terreno LiDAR sul quale sono state poi innestate le curve di livello tridimensionali del solido stradale di progetto ottenute come output dai software di progettazione infrastrutturale BIM. Il rilevato di progetto è stato poi modificato inserendo dei culvert trasversali in modo tale che durante i fenomeni di piena l’acqua possa permeare attraverso l’infrastruttura di progetto. Completata la geometrizzazione del modello dello stato di progetto si è svolta l’analisi idraulica seguendo una metodologia atta a definire la configurazione ottimale dei culvert stessi.

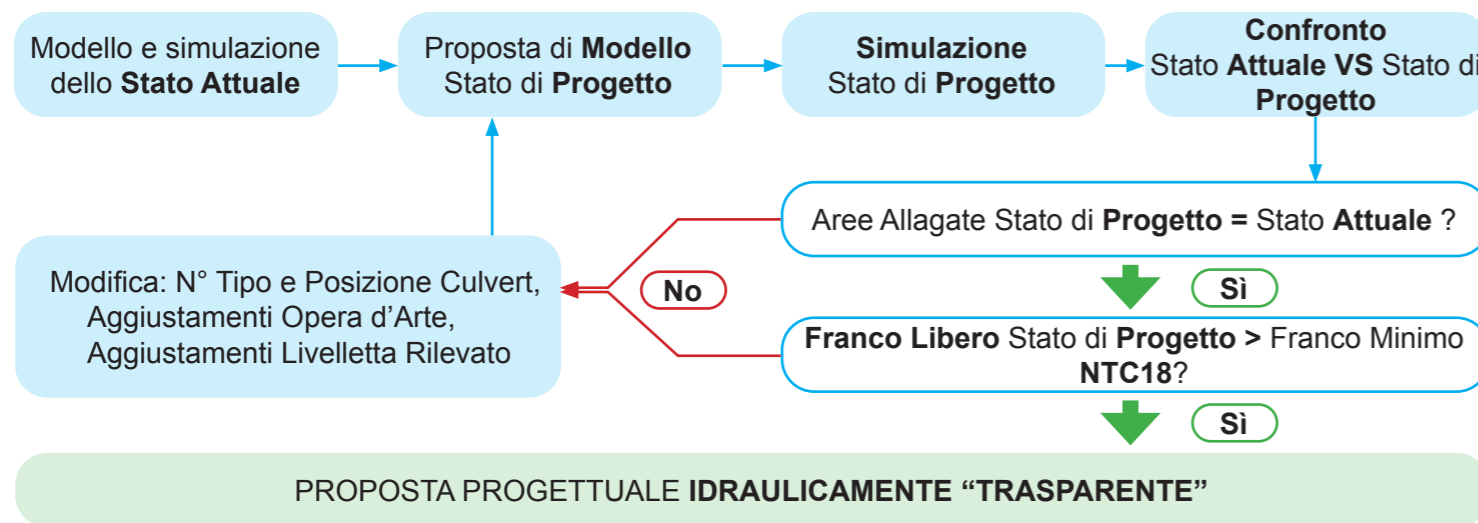


Mappa di allagabilità dello scenario “do nothing” sovrapposta alla carta di Pericolosità di Alluvioni Fluviali: si può notare un’ottima corrispondenza tra le due cartografie (tr200)

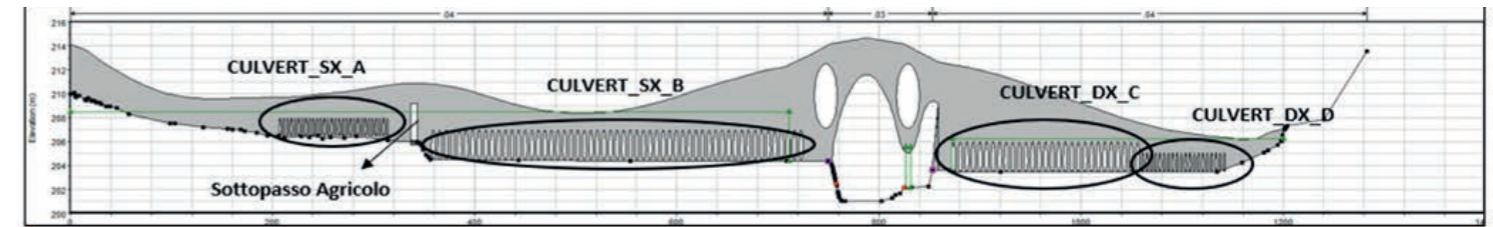


Geometria del modello dello scenario di progetto

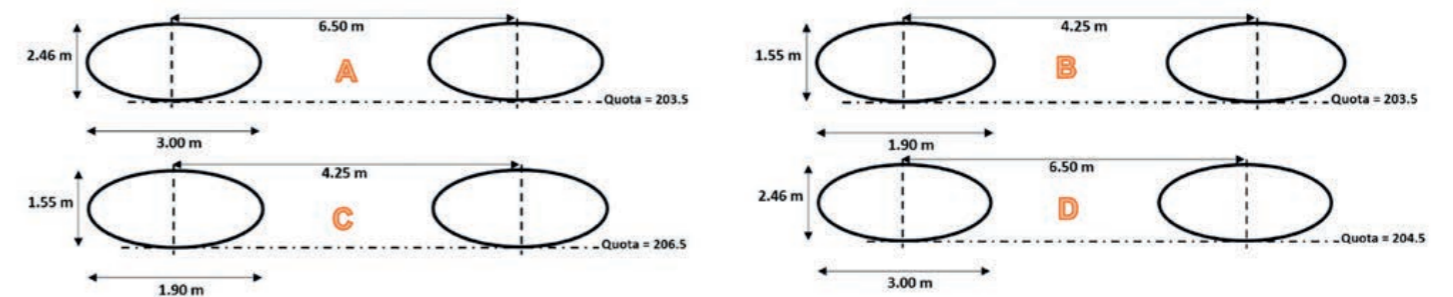
La metodologia seguita per l’analisi dell’impatto dell’opera è di stampo iterativo ed ha consentito di definire il numero, la tipologia ed il posizionamento dei culvert, ha permesso di ottimizzare, insieme a fattori di carattere infrastrutturale, la livelletta longitudinale della strada di nuova realizzazione ed ha anche fornito i dati per verificare l’impatto dell’opera sulle aree allagabili e l’entità del franco idraulico sul pelo libero della piena duecentennale all’intradosso del ponte di progetto. Il processo decisionale iterativo, rappresentato graficamente nell’immagine sottostante, ha portato alla definizione di una configurazione molto articolata di 136 condotti in corrugato metallico, riportata nella sezione tecnica seguente.



I particolari geometrici della disposizione dei culvert secondo il raggruppamento in 4 zone è di seguito riportata.



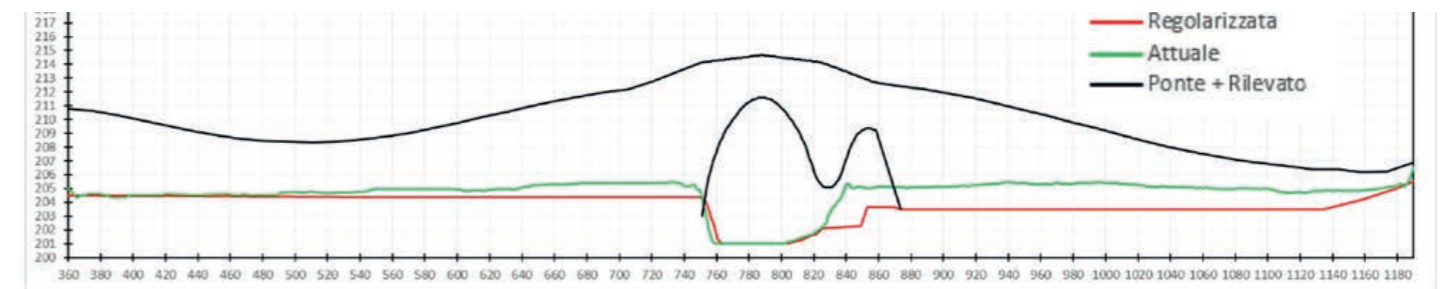
Sezione di monte del progetto, con riferimento alle diverse tipologie e disposizioni dei culvert



Posizionamento e dimensionamento dei culvert

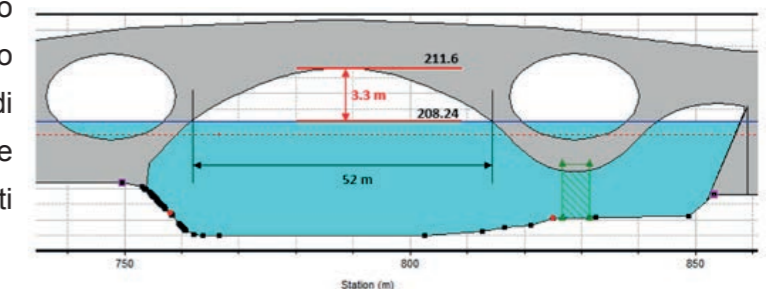
La configurazione di progetto prevede anche l’inserimento di un fosso di guardia, posto al piede del rilevato stradale. Il fosso ha lo scopo di ottenere una buona regimazione delle acque nelle aree golenali e, nel caso di eventi meteorici straordinari, permette di far defluire l’acqua verso il corso principale nonostante i diversi tempi di risposta del bacino dell’Arno (in un intorno dell’area d’intervento) ed il bacino delle aree golenali presenti nell’area.

Completato il ciclo iterativo si è ottenuta la **configurazione di progetto ottimale per il raggiungimento dell’invarianza in termini di zone allagabili e per la realizzazione del nuovo ponte di Buriano con un franco idraulico superiore ai minimi previsti da Normativa (NTC18)**. Il confronto tra la simulazione dello stato attuale e la proposta progettuale ottenuta tramite ciclo iterativo mostra come l’**impatto sul territorio sia ingegneristicamente trascurabile**.



Sezione riprofilata a monte del ponte

Franco libero all’intradosso dell’impalcato del ponte: per un Tr=200 anni l’output della modellazione mostra come il franco idraulico in chiave sia pari a 3.3 m e che il franco libero min da NTC18 (1.5 m) sia mantenuto per una luce di circa 38 m. I fori ovali nell’impalcato aumentano la superficie di deflusso e presentano un franco idraulico maggiore rispetto al minimo da NTC18 per una luce di circa 19 m per entrambi i fori, implementando le larghezze utili per il passaggio dei corpi galleggianti (Sezioni permeabili supplementari).



Particolare sezione di monte, scenario di progetto, Tr200

Aree allagabili Stato Attuale vs Stato di progetto: per un $T_r=200$ anni mettendo a confronto l'estensione delle aree soggette ad allagamento dello scenario di progetto con quelle dello scenario "do nothing" risulta evidente che l'incremento della superficie risulta essere, come detto, ingegneristicamente trascurabile (intorno al 1~2 %) e che inoltre tali zone hanno una destinazione d'uso agricola e non coinvolgono edifici esistenti. **Questo significa che la nuova opera non comporterà un incremento del rischio di allagamento in nessuna area edificata, che sia abitativa o produttiva: tutti gli edifici che allo stato attuale non vengono raggiunti dall'allagamento da piena non lo saranno neanche una volta che l'opera sarà ultimata.**



Aree allagabili nella configurazione di progetto, confrontata con le aree allagabili dello stato attuale e con il PGRA

Focus sulla zona di espansione delle aree allagabili: si può notare come l'incremento sia quasi irrilevante

Coerenza della stima dei costi con le soluzioni proposte. Congruità con l'importo previsto

Valutazione dei costi di costruzione

Sulla base degli obiettivi attesi e dei costi stimati per la realizzazione dell'intervento oggetto di gara, così come illustrati all'interno del disciplinare di gara, in questo paragrafo viene effettuata la valutazione tecnico-economica dei costi necessari alla realizzazione dell'opera proposta nella sua totalità. La stima del costo è stata fatta partendo dalla suddivisione in categorie indicate nel disciplinare di gara (strutture, viabilità ed impianti) ed, all'interno di ciascuna di esse sono state individuate le voci di spesa che componenti la proposta progettuale. Assieme ai costi di costruzione, sono stati analizzati anche i costi di esercizio, controllo, gestione e manutenzione al fine di approssimare la progettazione in termini di "costo globale".

Il disciplinare di gara indica come costo stimato per la realizzazione dell'opera 8.930.000,00 €, comprensivo di oneri per la sicurezza, ripartiti in base alle categorie dei lavori secondo il D.M. 17 giugno 2016 come da seguente tabella:

S.06	V.01	V.02	IA.04
4.250.000,00 €	1.045.000,00 €	3.515.000,00 €	120.000,00 €

Metodologia operativa

Il disciplinare di gara richiede di esplicitare le valutazioni preliminari relativamente alla coerenza economica del costo dell'intervento rispetto all'importo previsto per il costo complessivo delle opere e dei relativi costi di gestione lungo il ciclo di vita dell'opera. La stima dei costi relativa alla presente proposta si è sviluppata attraverso la suddivisione degli interventi nelle quattro categorie omogenee di opere previste dal Bando ovvero **S.06** - Strutture, **V.01** - manutenzione su viabilità ordinaria, **V.02** - Viabilità ordinaria, **IA.04** - Impianti elettrici e speciali. All'interno di ciascuna categoria sono state individuate le voci di spesa relative alle lavorazioni individuate per la realizzazione

dell'opera. Al fine dell'attribuzione dei prezzi unitari si è fatto riferimento per quanto più possibile al prezziario della Regione Toscana - pertinenza della provincia di Arezzo aggiornato per l'anno 2021. Per le voci non incluse nel prezziario si è proceduto all'analisi dei nuovi prezzi utilizzando i costi elementari per materiali, manodopera noli e trasporti del prezziario Regione Toscana e, ove necessario, prezzi di lavorazioni da altri prezziari affini e/o prezzi da ricerca di mercato. Di seguito viene fatta una descrizione sintetica dei contenuti delle voci che compongono le categorie di intervento.

Il valore di costo finale della proposta progettuale risulta pari a **8.790.276,84 €**, inferiore alle stime di costo contenuta nel Bando, con uno **scostamento in ribasso** da esso **dello 1.56%**. Per il dettaglio della valutazione dei costi si rimanda al documento "stima economica".

Valutazione dei costi di gestione

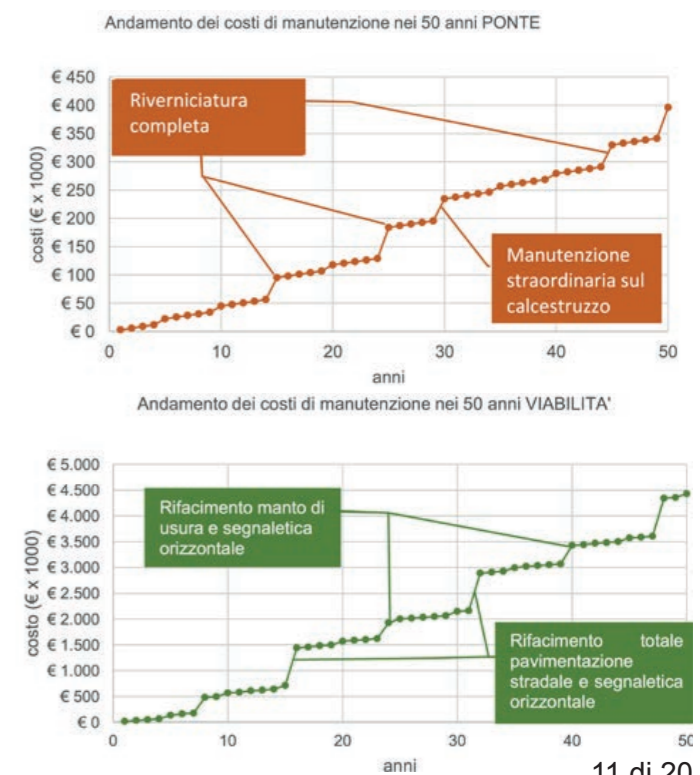
Il processo di gestione di ogni organismo edilizio e infrastrutturale consiste nell'elaborazione di scelte operative aventi come obiettivo il mantenimento dei livelli prestazionali di ogni singola unità costituente l'intero apparato all'interno di scenari di minimizzazione dei costi e ottima allocazione delle risorse disponibili. Si possono distinguere diverse fasi del processo di gestione ovvero quelle che permettono l'utilizzo quotidiano dell'infrastruttura (esercizio), quelle che permettono il monitoraggio della funzionalità ed efficienza dell'organismo (controllo) e quelle che permettono il mantenimento delle prestazioni (manutenzione). Di seguito si esaminano i costi relativi ai controlli ed alla manutenzione.

Costi di controllo

In questa categoria sono state prese in considerazione le attività di controllo e verifica dei livelli di prestazione delle singole unità tecnologiche, effettuate da personale specializzato sia in modo diretto, tramite ispezioni in sito, sia da remoto, mediante i dati raccolti dai sistemi di monitoraggio previsti. Per una trattazione di dettaglio si rimanda al documento di stima economica.

Costi di manutenzione

Ogni bene edilizio con il passare del tempo, è soggetto inevitabilmente a fenomeni di degrado e obsolescenza funzionale, tecnologica ed economica. Si sottolinea che tutte le scelte progettuali proposte, relative alla tipologia strutturale, alle soluzioni tecnologiche adottate, alla scelta dei materiali da costruzione, fino all'individuazione delle possibili soluzioni costruttive di dettaglio, sono improntate al perseguimento della riduzione dei costi legati alla manutenzione ordinaria e straordinaria. **Relativamente al ponte si segnala come l'adozione della tipologia del "ponte integrale" riduca drasticamente la componentistica del manufatto e di conseguenza i costi legati alla gestione e manutenzione** che è prevalentemente relativa agli elementi caratterizzanti la viabilità quali pavimentazioni stradali, barriere, segnaletica orizzontale e verticale etc. Nelle tabelle riportate a lato si riporta la previsione dei costi di manutenzione effettuati secondo il programma sopra riportato nel periodo di riferimento di 50 anni suddivisi tra Viabilità e Ponte.

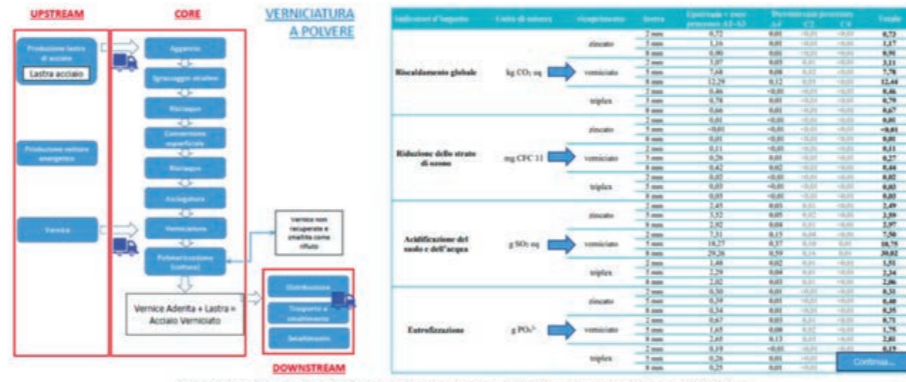


2. DESCRIZIONE DEI MATERIALI PROPOSTI, ANCHE IN RELAZIONE AD ASPETTI MANUTENTIVI

Ponte - Materiali da costruzione

Nell'ottica della sostenibilità GPP e dei CAM i materiali principali che caratterizzano la proposta progettuale per la struttura del nuovo ponte sono il **calcestruzzo e l'acciaio**, protetto con cicli idonei ai più elevati standard di durabilità e così specificati. Per quanto riguarda l'**acciaio da carpenteria di tipo S355**, saranno richieste al produttore, in accordo con la Normativa vigente, le **dichiarazioni EPD (Environmental Product Declaration)** atta a certificare, tra le altre cose, il contenuto minimo di acciaio da riciclo presente nella fornitura e il contributo dei singoli componenti sull'impatto ambientale complessivo del prodotto "cradle-to-grave". Per quanto riguarda i **cicli di verniciatura** saranno richieste al produttore, in accordo con la Normativa vigente, le dichiarazioni EPD relative ai vari cicli protettivi. Nello specifico, per la sovrastruttura del ponte in oggetto di propongono i seguenti cicli. Preparazione della superficie: **Sabbiatura Grade Sa 2 1/2 (SSPC SP- 10)**; **Primer: Primer epossidico arricchito in zinco applicato in officina con spessore di 80 micron**; **Strato intermedio: ossido di ferro micaceo (MIO) pigmentato con spessore di 165 micron**; **Finitura in poliuretano acrilico con spessore pari a 75 micron**.

Per quanto riguarda il calcestruzzo, saranno richieste al produttore, in accordo con la Normativa vigente, le **dichiarazioni EPD (Environmental Product Declaration)**; nello specifico è previsto l'uso di **C40/50** per la soletta di impalcato, il riempimento degli archi, le pile e spalle (modellate plasticamente dal punto di vista formale sia per una migliore percezione estetica sia per costituire minor possibile ostacolo al flusso delle acque nelle situazioni di piena). È previsto l'uso invece di calcestruzzo classe **C28/35** sia per i plinti che per le solette.



COMPOSIZIONE MEDIA (%)					
	CEM I 52,5 R	CEM II/A-L 42,5 R	CEM II/B-L 32,5 R	CEM IV/A (V) 32,5 R	CEM IV/A (V) 42,5 R
MP NATURALI					
Marna, Gesso naturale, Pozzolana	26,8	30,8	38,8	23,2	23,0
MP NON NATURALI (PRODOTTI)					
Additivi, Gesso chimico, Leva	2,3	2,1	2,2	2,8	2,5
SOTTOPRODOTTI					
Flue Dust, Solfato ferroso, Fluoesso	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2
RIFIUTI RECUPERATI					
Calcare di recupero, Refrattari, Cemento, Gesso da desolfazione, Ceneri leggere	4,5	4,0	3,6	19,6	20,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

fase	GWP [kg CO ₂ eq]	ODP [kg CFC 11-eq]	AP [kg SO ₂ eq]	EP [kg PO ₄ ³⁻ eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ eq]	EDP-E [kg Sb eq]	ADP-F [MJ]
CEM I 52,5 R	707	0	0,86	0,13	0,06	0	0
CEM II/A-L 42,5 R	671	0	0,81	0,13	0,06	0	0
CEM II/B-L 32,5 R	589	0	0,71	0,11	0,05	0	0
CEM IV/A (V) 32,5 R	580	0	0,70	0,11	0,05	0	0
CEM IV/A (V) 42,5 R	579	0	0,70	0,11	0,05	0	0

fase	PERE [MJ]	PERM [MJ]	PERT [MJ]	PENRE [MJ]	PENRM [MJ]	PENRT [MJ]	SM [kg]	NRSE [MJ]	RSF [MJ]	FW [m ³]
CEM I 52,5 R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34
CEM II/A-L 42,5 R	0	292	292	0	21	21	0	0	0	0,32
CEM II/B-L 32,5 R	0	292	292	0	21	21	0	0	0	0,28
CEM IV/A (V) 32,5 R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28
CEM IV/A (V) 42,5 R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28

Ponte - Principali accorgimenti e dettagli costruttivi

La durabilità di un'opera come noto, se da un lato si basa su una scelta dei **materiali da costruzione con caratteristiche meccaniche e chimiche**, dall'altro non può prescindere dal **"conceptual design"** dell'opera, con la definizione di uno schema statico che garantisca un'adeguata rigidità e robustezza al sistema strutturale, da un'attenta concezione dei dettagli costruttivi e dalla protezione dei materiali stessi e delle zone di innesco dei processi di degrado.

L'**acqua di piattaforma è raccolta in corrispondenza delle estremità laterali della sezione trasversale dell'impalcato** grazie alla configurazione geometrica dell'estradosso dello stesso che ne impedisce gli accumuli. L'acqua di piattaforma è convogliata alle vasche di disoleazione tramite un **sistema di raccolta formato da cordoli drenanti opportunamente dimensionati in funzione della sezione stradale ed alle simulazioni degli eventi atmosferici più gravosi. Il sistema è completamente ispezionabile e manutenibile direttamente dall'impalcato e, in fase di costruzione, risulta di veloce posa in opera, economico e completamente integrato nel cordolo.**

Le barriere stradali in corrispondenza del ponte sono di tipo H2-bordo ponte in legno e acciaio

Oltre le barriere stradali è stato inserito un passaggio di ispezione che consente la totale ispezionabilità dell'opera in sicurezza. Il passaggio è protetto verso il fiume da un parapetto metallico il cui interno viene utilizzato per il passaggio di **canali ispezionabili per eventuale impiantistica aggiuntiva** dedicata all'illuminazione e all'alimentazione del sistema di monitoraggio. L'acqua piovana, tramite il cordolo drenante, viene fatta defluire oltre e da qui raccolta in vasche di filtraggio e smaltimento. La raccolta delle acque di piattaforma tramite elementi prefabbricati intergrati nel cordolo, l'assenza di appoggi e giunti di dilatazione, tipici elementi di innesco dei fenomeni di deterioramento nei ponti, unitamente all'impiego di materiali con idonee caratteristiche in termini di durabilità assicurano la **minimizzazione degli oneri manutentivi e la massima estensione del ciclo di vita dell'opera.**

Ponte - Monitoraggio strutturale

Al fine di supportare adeguatamente tutte le strategie atte alla massimizzazione del ciclo di vita dell'opera con la contemporanea minimizzazione dei costi diretti e indiretti di manutenzione e gestione, è prevista l'installazione di un semplice ed economico **sistema di monitoraggio in grado di cogliere le misure fondamentali atte a caratterizzare la risposta del ponte**. La strategia di monitoraggio del ponte è basata sull'effettuazione di una prova per la caratterizzazione della risposta dinamica dell'opera al completamento dei lavori di realizzazione e prima dell'apertura al traffico. La prova consentirà al Gestore di avere una **Carta d'Identità del Ponte all'atto della sua nascita**. Tale prova, basata sui dati di accelerazione forniti da un set accelerometri piezoelettrici di tipo triassiale campata installati solo in occasione della prova, verrà ripetuta periodicamente con cadenza tipicamente triennale o quinquennale o al manifestarsi del superamento sistematico di precise soglie di allarme fornite da sensori fissi quali:

- un **set di strain gauges** e sensori di spostamento per la registrazione delle variazioni tensionali, stati di overstress e possibile insorgere di fenomeni di fatica;
- un **set di inclinometri** in corrispondenza delle spalle e pile per cogliere eventuali cedimenti differenziali in direzione verticale della pila;
- un **set sensori di temperatura ambientale** in corrispondenza sia dell'estradosso dell'impalcato che in corrispondenza della sommità dell'arco, oltre che in prossimità dei sensori di tensione e inclinazione.

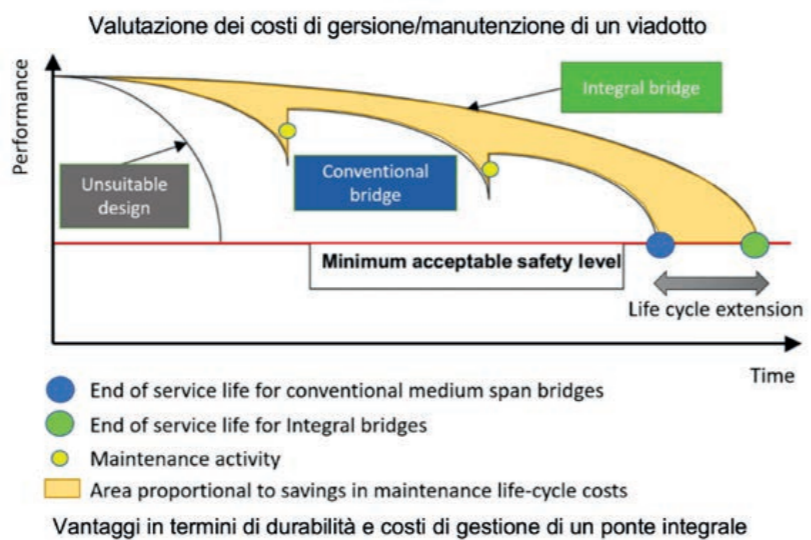
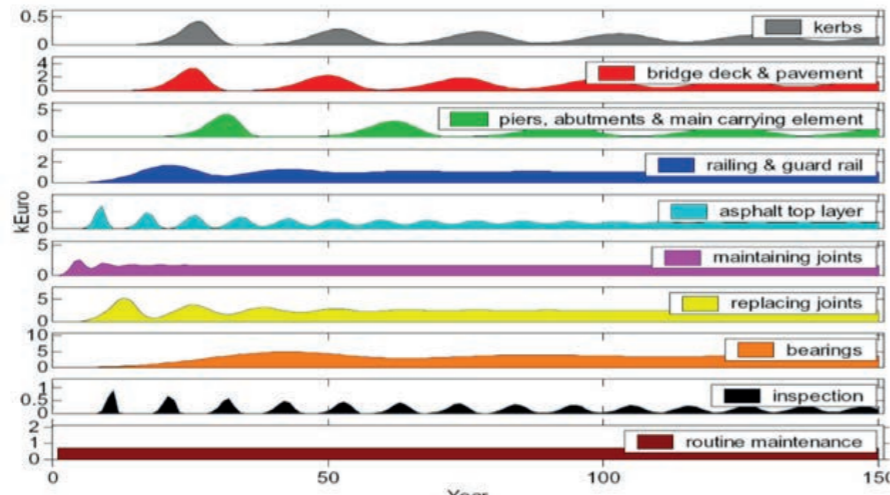
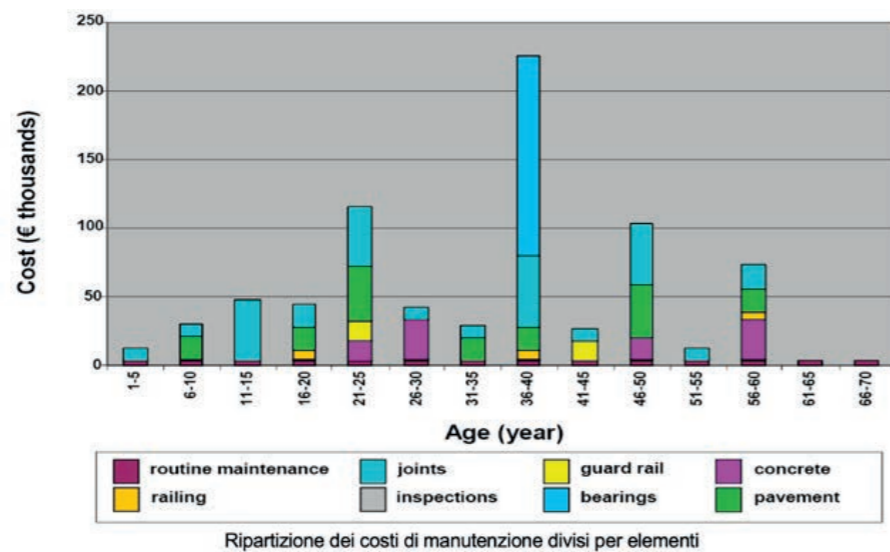
La caratterizzazione per via sperimentale della risposta dinamica del ponte all'inizio del suo ciclo di vita consentirà

inoltre la calibrazione del modello di calcolo agli Elementi Finiti implementato in fase di progettazione. In tal modo il modello FEM costituirà uno **strumento interpretativo nell'identificazione di possibili cause responsabili di eventuali variazioni nella risposta della struttura nel tempo** unitamente alla **localizzazione e soluzione di possibili fenomeni di danneggiamento** che dovessero insorgere.

Ponte - Durabilità, sostenibilità e gestione delle soluzioni proposte

Come noto, tra le voci di spesa più consistenti relativamente alla gestione e alla manutenzione in servizio di un ponte per l'intero ciclo di vita risiedono le attività di manutenzione di appoggi e giunti di dilatazione. I diagrammi sotto rappresentati, tratti da statistiche diverse presentate nell'ambito di Letteratura Scientifica/Pubblicazioni Accademiche a livello internazionale evidenziano dati forniti da Gestori di reti viarie che confermano quanto asserito e in cui si specificano i costi tipici manutentivi riferiti a componentistica tipica di ponti stradali con una determinata età. I costi attribuibili a giunti (joints) e appoggi (bearings) rappresentano una porzione consistente dei costi totali. I ponti integrali, eliminando appunto elementi quali appunto apparecchi di appoggio e giunti di dilatazione, nell'ambito di luci medio-piccole, come quelle del ponte in questione, riducono in modo molto considerevole i costi di gestione senza presentare aggravii nei costi di costruzione.

Chiaramente la tipologia "integrale" non è applicabile a tutte le ipotesi progettuali, ma nel caso specifico del ponte qui presentato questa soluzione si presta ottimamente per tipologia strutturale, lunghezza totale, luci di esercizio e tipologia di terreno all'adozione di una soluzione strutturale "integrale" con il collegamento diretto della sovrastruttura alla sottostruttura e l'eliminazione dei giunti di dilatazione e degli apparecchi di appoggio. Tale soluzione, nell'ambito dell'utilizzo di materiali con elevate prerogative di qualità e della realizzazione di dettagli costruttivi e tecnologici, come quelli che caratterizzano la soluzione proposta, rientra in un ambito di progettazione pienamente sostenibile. Tale soluzione, come ampiamente documentato nella letteratura tecnica di riferimento,



consente intervalli di manutenzione con tempistiche allungate rispetto alle tipologie di ponte convenzionali, con una estensione del ciclo di vita tipico e un risparmio economico riconducibile all'integrale della differenza tra la curva di performance nel tempo di un ponte convenzionale e uno integrale, come rappresentato nella figura a lato.

Materiali proposti per la nuova opera viaria

La durabilità della componente stradale dell'opera è **garantita attraverso le seguenti scelte progettuali: Sottofondi** Al fine di conferire la massima durabilità e considerata la natura litologica del sottofondo (terreno alluvionale molto compressibile a granulometria fine), si procederà alla **stabilizzazione binaria a calce e cemento**, ottenuta mediante macchinario tipo "Wirtgen". La stabilizzazione avverrà, pervia l'asportazione del terreno vegetale, in due fasi, la prima dopo l'ulteriore asportazione dei primi 25 cm di terreno avrà luogo nel terreno in situ sottostante, mentre la seconda avverrà fuori opera sul terreno dei primi 25 cm prima asportati e ri-stesi dopo la stabilizzazione fuori opera. Questa lavorazione permetterà di avere **uno strato complessivo di 50 cm stabilizzato a calce e cemento che conferirà un adeguato modulo elastico al sottofondo, di valore paragonabile a quello delle terre di tipo A1 e A2 della Classificazione Generale delle terre granulari.**



La rete di rinforzo alle azioni tangenziali, specie sulle rotatorie, permette una maggiore durabilità della pavimentazione senza compromettere il rifacimento del tappetino.

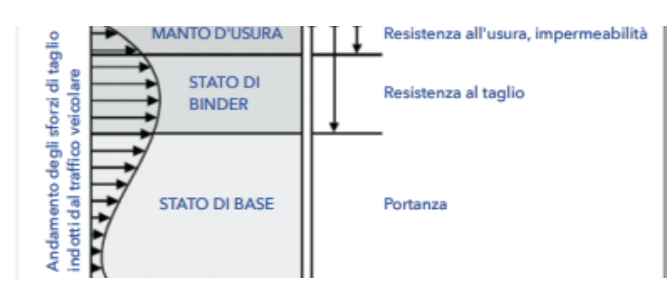
Strato	Cicli di carico a rottura	Strato	Cicli di carico a rottura
Sottofondo	7.23E+08	Sottofondo stabilizzato a calce	5.04E+09

Tabella rappresentativa della durabilità maggiore per una infrastruttura con stabilizzazione del sottofondo a calce rispetto ad uno tradizionale.

La Pavimentazione è calcolata in base alla sua vita utile, utilizzando un criterio di calcolo che parte dal livello di conoscenza della quantità e della natura del traffico atteso, anche in relazione dell'aliquota dei mezzi pesanti. L'impiego di **bitumi modificati** permette un significativo incremento della vita utile della sovrastruttura stradale, che seppur di un incremento dei costi di realizzazione, garantisce una maggiore durabilità e quindi minore costo di manutenzione, per i rifacimenti della sovrastruttura, valutabili in circa il 25% della vita utile, a parità di traffico. **Un significativo incremento della durabilità della pavimentazione è derivante dalla differenziazione della stessa tra i tratti di tracciato lineare e quelli in intersezione a rotatoria**, in quanto il livello di applicazione delle sollecitazioni è segnatamente differente. Per lo strato d'usura è previsto, oltre all'impiego di bitumi di tipo modificato con resine ad alto modulo elastico, anche l'inserimento di una rete in "PeAD", posata tra gli strati della pavimentazione con la funzione di assorbimento delle tensioni tangenziali che si attivano a causa del ridotto raggio di curvatura dei veicoli in svolta sull'anello.

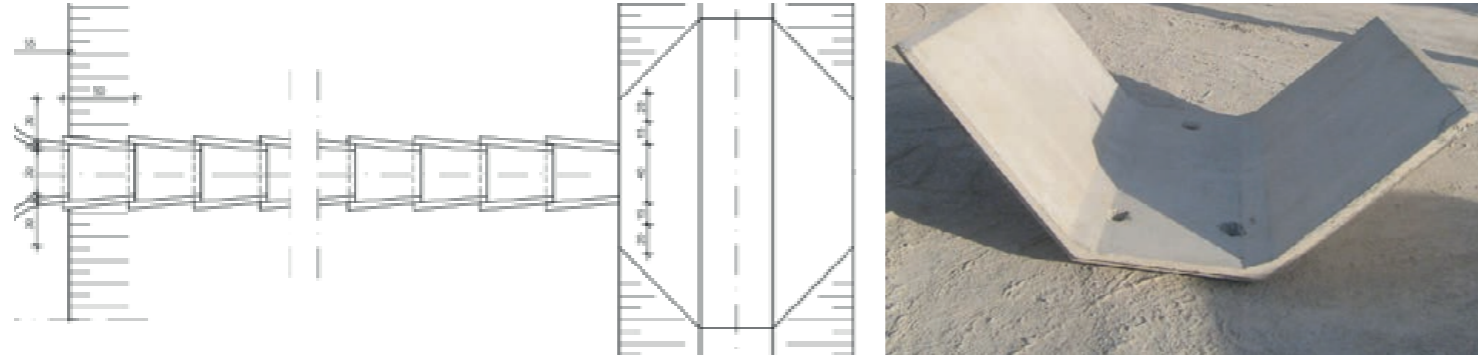
BITUME						
Parametro	Normativa	unità di misura	Tal quale 50/70	Tal quale 70/100	Modificat o hard	Modificat o soft
penetrazione a 25° c	EN1426, CNR24/71	dmm	50-70	70-100	50-70	50-70
Punto di ramollimento	EN1427, CNR35/73	°C	46-54	43-51	≥65	≥60
Punto di rottura (Fraass)	CNR43/74	°C	≤-8	≤-10	≤-15	≤-12
Solubilità in Tricloroetilene	CNR48/75	%	≥99	≥99		
Viscosità dinamica a 160° c	PrEN 13072-2	Pa·s	≥0,15	≥0,10	≥0,40	≥0,25
Ritorno elastico a 25° c	EN 13398	%			≥75%	≥50%
Stabilità allo stoccaggio 3gg a 180° c - variazione del punto di ramollimento	EN 13399	°C			≤0,5	≤0,5
Valori dopo RTFOT	EN12607-1					
Volatilità	CNR54/77	%	≤0,5	≤0,8	≤0,8	≤0,8
Penetrazione residua a 25° c	EN1426, CNR24/71	%	≥50	≥46	≥60	≥60
Incremento del punto di ramollimento	EN1427, CNR35/73	°C	≤11	≤11	≤5	≤5

Tabella di raffronto delle prestazioni di durabilità del bitume proposto



Regimazione delle acque di piattaforma

La corrivazione delle acque di piattaforma è gestita mediante la realizzazione di **arginelli in terra confinati da un cordolo di bitume estruso**, aperto in corrispondenza **delle calate realizzate con embrici lungo il pendio del rilevato e dotate di protezione antiersiva in pietra**.



L'utilizzo di sistemi antiersivi al piede degli embrici garantirà una maggiore durabilità dei fossi di guardia

Segnaletica

La segnaletica verticale disporrà di pellicole retroriflettenti di classe RA2, che garantiscono una durata di circa 10 anni. I supporti saranno in alluminio per motivi di durabilità, con trattamento superficiale a norma UNI EN 12899-1: 2003, punto 5.3.5, Prospetto 18, Classe SP1. La segnaletica orizzontale sarà realizzata con prodotti ad alta durabilità, estrusi o colati (bicomponenti a freddo, Df lu16%), con indicatore d'usura ≥ 19 , che rispetto a quelli termoplastici risultano ad elevata compatibilità ambientale minimizzando le emissioni di CO2 in atmosfera.

Impianti di illuminazione

Scontata la tecnologia LED delle lampade, la qualità degli impianti di illuminazione che si propongono, risiede nella presenza di due componenti tecnologiche peraltro molto diffuse, che garantiscono il massimo risparmio energetico e la massima efficacia dell'impianto: i regolatori di flusso e la dimmerizzazione delle lampade. La scelta dell'illuminazione "bassa" nello sviluppo del nuovo Ponte sull'Arno garantisce anche bassi costi negli interventi manutentivi che non necessitano di attrezzature di particolare impegno per la loro eventuale sostituzione.

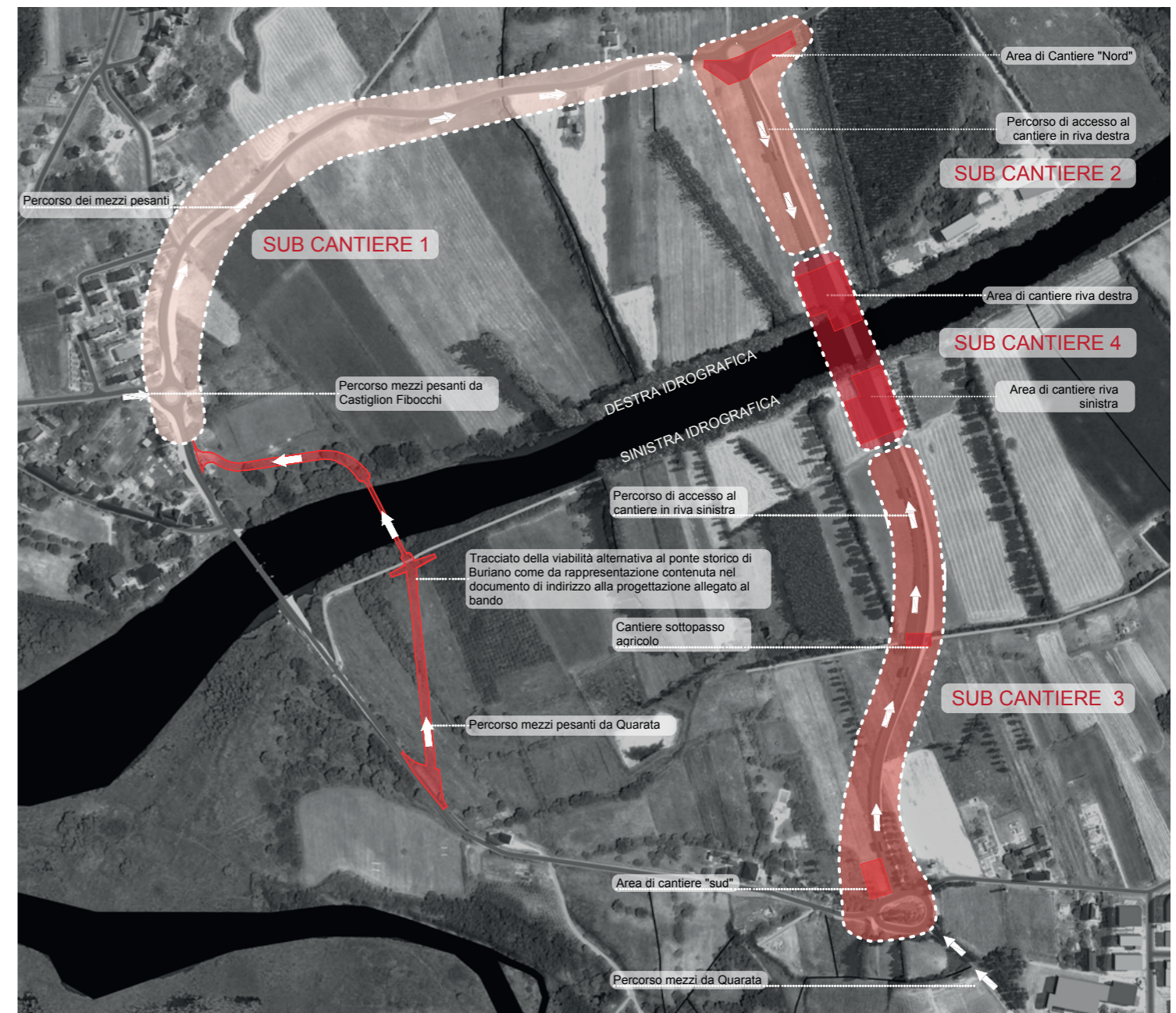
3. DESCRIZIONE DELLE VARIE FASI REALIZZATIVE IN RELAZIONE ALL'OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE DELLE FASI STESSE

Le **fasi di cantiere sono state studiate con una visione globale dell'intervento** considerando le condizioni al contorno poste dal contesto in cui si inserisce l'intervento tra cui, ad esempio, i percorsi di accesso ai cantieri dei mezzi d'opera, gli approvvigionamenti di materiale, i trasporti delle terre e rocce da scavo, la presenza di aree vincolate etc... La **pianificazione dell'intervento è frutto quindi di un'analisi del contesto in relazione alle lavorazioni da eseguire**. Vista la delicatezza del luogo, risulta di fondamentale importanza la riduzione dei tempi di costruzione. A tal proposito sono state organizzate le fasi di cantiere in modo da garantire quanto più possibile la **continuità alle lavorazioni, la riduzione delle interferenze e la sovrapposizione tra fasi non interferenti**, oltre a questo, l'adozione di tecniche di prefabbricazione, fa sì che ci sia un risparmio delle tempistiche del cantiere. Di seguito si rappresenta la planimetria generale con l'individuazione degli ambiti di intervento: All'interno dell'ambito di intervento sono stati individuati 4 sub-cantieri, ognuno di essi coincidente con un ambito di intervento. In dettaglio i sub-cantieri individuati sono:

1. Adeguamento della S. P. n° 56;
2. Ramo Nord;
3. Ramo Sud;
4. Ponte.

Le lavorazioni, come riportato nel cronoprogramma, partiranno con l'adeguamento della S.P. 56. Tale scelta nasce dalla necessità di fare arrivare in modo sicuro i mezzi pesanti provenienti da ovest destinati al cantiere nord del ponte. Questa scelta è anche spinta dal fatto che l'accessibilità da Castelluccio – Buon Riposo è difficoltosa e limita la dimensione dei mezzi che vi possono transitare.

Sarà poi realizzato lo scotico e bonifiche dei sottofondi con riempimento fino al piano campagna sia del sub cantiere nord che sud e compreso il semi anello sud della rotatoria nord. Questo garantirà l'accesso ai mezzi di cantiere del ponte posti sulle 2 rive e realizzate le sottostrutture dello stesso (Spalle e rostro). Durante questa fase, il piano di posa dei rilevati sarà utilizzato come viabilità di cantiere per l'esecuzione delle fasi costruttive del ponte. Al termine della realizzazione delle sottostrutture del ponte saranno realizzati i rilevati con intercalazione degli attraversamenti idraulici sia a Nord che a Sud. Al termine di questa fase riprenderanno le lavorazioni sul ponte ed i rilevati fungeranno da viabilità di cantiere per l'accesso al ponte. In questo modo saranno risparmiati i costi di realizzazione di piste di cantiere, sarà garantita la permeabilità idraulica e faunistica anche in fase di costruzione ed i terreni del rilevato avranno il tempo per assestarsi. Oltre a questo, le aree di cantiere saranno poste al di sopra delle quote di piena e quindi mettendo in sicurezza mezzi e materiali.



Individuazione dei sub-cantieri all'interno della planimetria generale di intervento

La fasistica di cantiere ha tenuto conto della eventuale possibilità che durante la realizzazione dell'intervento sia realizzata la viabilità provvisoria relativa percorso alternativo alla ponte storico di Buriano. Tale eventualità risulterebbe ideale per l'approvvigionamento di mezzi e materiali ai cantieri posti in destra idrografica dell'Arno (Adeguamento S.P. 56 e Ponte – lato nord) consentendo l'arrivo dei mezzi da sud.

In totale si stima una durata complessiva del cantiere pari a 137 settimane (ovvero 959 gg naturali consecutivi).

Si rimanda al cronoprogramma per una trattazione di dettaglio di questo aspetto.

Accorgimenti realizzativi nella definizione delle fasi, in relazione a interferenze di traffico con i tratti di raccordo

Le interferenze sul traffico, nelle fasi realizzative dell'opera stradale, sono essenzialmente di tre distinti ordini di tematiche: **1.** Interferenza con la viabilità della rete Provinciale di collegamento (S.P. 1 in corrispondenza della Rotatoria Sud ed S.P. 56 in corrispondenza della rotatoria Nord); **2.** Viabilità interpodereale e viabilità d'argine; **3.** Viabilità urbana di Ponte Buriano (intersezione tra S.P. 1 dei setteponti e S.P. 56 dello spicchio) e adeguamento della S.P. 56 in ambito extraurbano fino all'intersezione Nord.

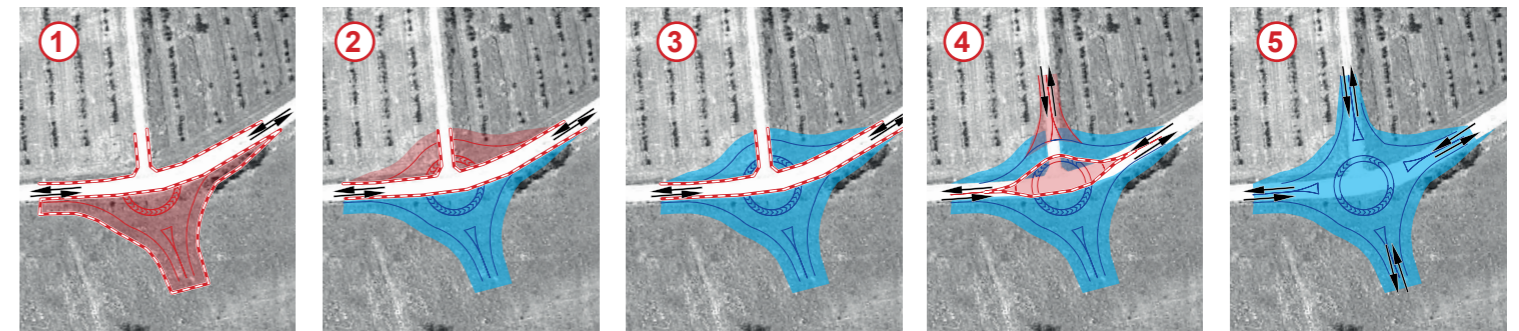
Relativamente alla **tematica di ordine 1**, l'interferenza con la viabilità esistente in corrispondenza delle intersezioni Nord e Sud, è risolta piuttosto semplicemente, mediante la realizzazione preliminare delle superfici di sedime **esterne alla viabilità esistente** (senza quindi interferire con il traffico attuale), per poi passare allo spostamento del traffico nelle fasce di anello che provvisoriamente saranno mantenute a doppio senso di marcia. Questa configurazione resta possibile in quanto la larghezza dell'anello consente l'inserimento delle due corsie seppur con una segnaletica provvisoria di cantiere. Anche dal punto di vista normativo la larghezza minima dell'anello che alla fine di lavori sarà di 6 m, oltre le banchine, contribuisce all'inserimento delle due corsie a senso doppio. Questo spostamento del traffico consentirà quindi l'aggressione del sedime di viabilità esistente per la sua trasformazione nel nuovo assetto progettuale. Tradizionalmente, ed anche in questo caso, la realizzazione delle aiuole spartitraffico potrà avvenire con la minima parzializzazione della sezione senza interruzione del flusso di traffico, ma sarà sufficiente la presenza di un moviere nelle fasi più invasive per mantenere in scurezza il flusso dell'utenza veicolare. La parte interna dell'anello sarà utilizzata per buona parte degli apprestamenti della cantierizzazione, in modo da limitare l'occupazione temporanea di altre aree esterne al sedime di intervento. Relativamente alla **tematica di ordine 2**, l'interferenza con la viabilità interpodereale, questa ricopre un ruolo secondario rispetto alla precedente, sia per il basso divello di flusso che per le basse velocità di percorrenza. In questa specificità, la viabilità sarà garantita mediante la deviazione dell'attuale sede stradale per il tempo strettamente necessario alla realizzazione del sottopasso podereale previsto nel progetto, per poi essere riportata nel sedime originario durante le fasi di formazione del rilevato soprastante all'opera di attraversamento. Relativamente alla **tematica di ordine 3**, sarà necessario predisporre un avanzamento del cantiere per tratti omogenei con disposizione del traffico a senso unico alternato per tratti di sviluppo non superiore a 100 m. La S:P. 56 dello Spicchio mostra livelli di flussi di traffico inferiori ai 250 veic./h nelle fasce di punta oraria, con la conseguenza che, con l'applicazione di una fase semaforica con segnale rosso per 2 min, la formazione di coda non sarà superiore alle 9 vetture. Assumendo un ingombro lordo per ogni vettura di circa 6 m, si avrebbe così uno sviluppo massimo della coda nella fase semaforica di "rosso" mai superiore a 50 m.

Sostenibilità ed ottimizzazione delle fasi realizzative, in relazione alle tempistiche previste sul cronoprogramma

Le fasi realizzative ideate per la componente stradale sono ottimizzate anche in relazione alla natura dell'opera di

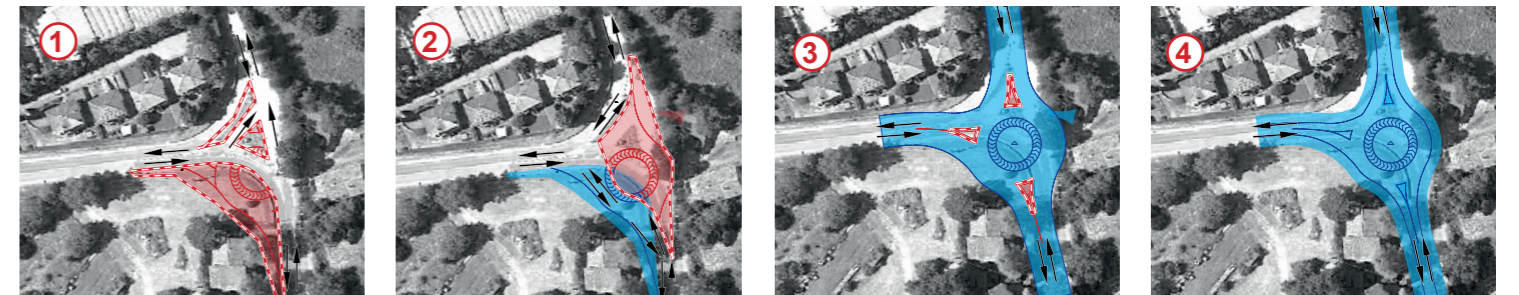
attraversamento principale (nuovo ponte sul fiume Arno), oltreché dalla tecnica realizzativa dei sottofondi del corpo del rilevato. In particolare la tecnica di stabilizzazione a calce del piano di posa, risulta moto più speditiva di altre tecniche costruttive, specie se relazionata alla natura alluvionale dei terreni interessati. Il **procedimento costruttivo delle opere stradali ideato risulta essere molto vantaggioso in termini temporali**, anche rispetto a soluzioni di attraversamento aventi sviluppo longitudinale maggiori (opere a più campate), in quanto la realizzazione delle fondazioni profonde per ciascuna campata aggiuntiva, comporterebbero un impatto temporale nel cronoprogramma che allungherebbe i tempi realizzativi anche in relazione alla notevole profondità prevedibile dei pali. Una ulteriore scelta progettuale che permette l'ottimizzazione dei tempi realizzativi e dello sviluppo del cronoprogramma è quella di **considerare il sedime del piano di posa del rilevato quale pista di cantiere** per le fasi di realizzazione del nuovo ponte sul fiume Arno, in quanto non necessita dei tempi di realizzazione di una pista di cantiere, potendo contare su un avanzamento continuo in asse al sedime stradale definitivo. Si riportano di seguito le fasi di cantiere dei principali nodi viari.

Rotatoria NORD

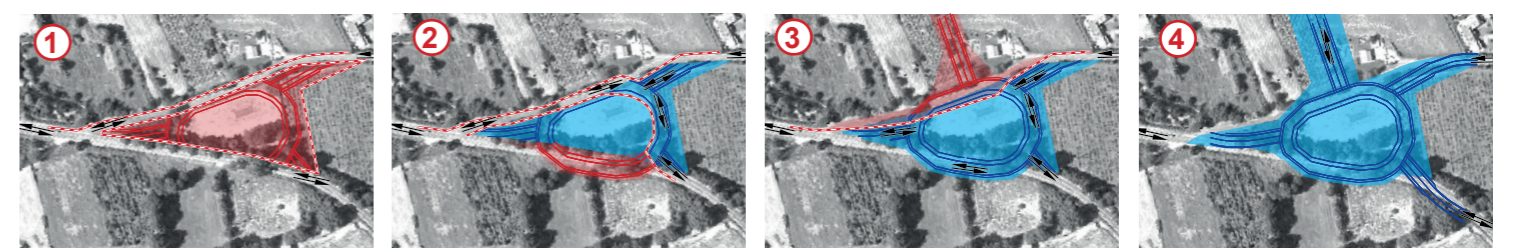


■ aree in corso di realizzazione ■ aree realizzate in fase precedente

Rotatoria OVEST



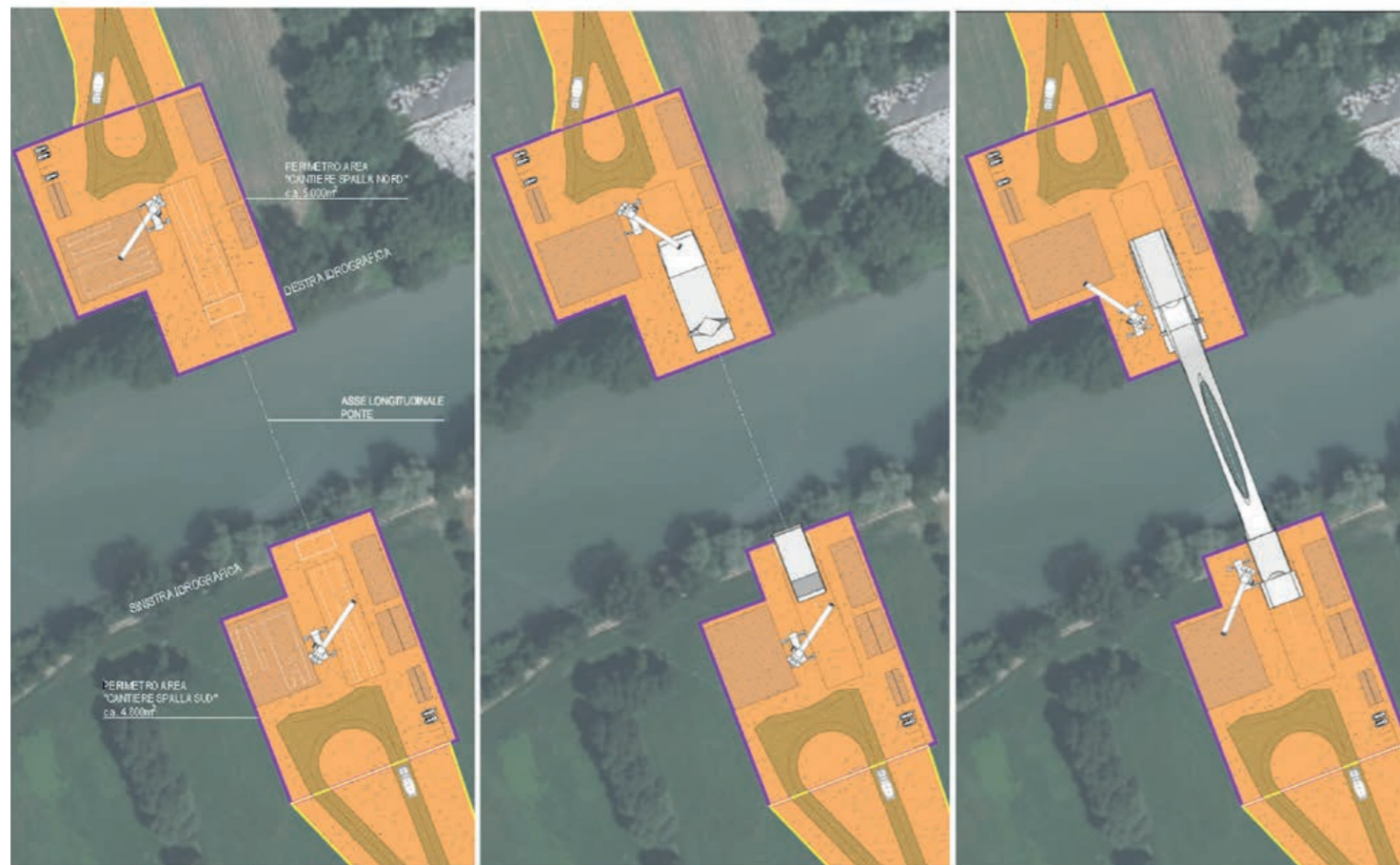
Rotatoria SUD



Il cantiere del Ponte

L'organizzazione, preparazione e gestione delle due aree di cantiere collocate su entrambe le sponde dell'Arno si basano su principi che fanno del rispetto e della tutela dell'ambito fluviale, nonché della gestione ambientale, aspetti imprescindibili nella definizione delle strategie di intervento. La metodologia proposta per la costruzione del ponte è stata definita con l'obiettivo di ridurre le tempistiche di cantiere, le possibili interferenze con fattori esterni e le conseguenze di eventi atmosferici di forte entità che possono produrre ondate di piena importanti. Il tutto

rientra nella visione d'insieme già descritta nel paragrafo precedente, orientata alla **minimizzazione dell'impronta ecologica, sostenibilità e all'ottimizzazione delle fasi realizzative complessive**. Le aree di cantiere saranno posizionate su ciascuna sponda e saranno utilizzate dapprima per la costruzione delle sottostrutture e poi, al termine della formazione dei rilevati e della relativa permeabilità idraulica, saranno utilizzate per le opere in elevazione. L'area principale sarà collocata in riva destra. Questa infatti risulta essere l'area interessata dal maggior numero di lavorazioni nonché quella maggiormente favorevole da un punto di vista morfologico. Di seguito si riporta un estratto planimetrico dell'organizzazione del layout di cantiere. Entrambe le aree saranno poste ad una quota di sicurezza rispetto alla quota di massima piena, garantendo la salvaguardia di persone, mezzi e materiali ospitati all'interno di esse. **L'area prevista in riva destra** sarà considerata la principale in quanto su tale riva è previsto un maggior numero di lavorazioni dovuto alla presenza della campata di riva. Al cantiere si accederà dalla S.P56 previo scotico e bonifiche dei sottofondi con riempimento fino al piano campagna. Al termine della costruzione delle sottostrutture saranno formati i rilevati con intercalazione degli attraversamenti idraulici (culvert). Su quest'area sarà aperto un varco per l'accesso all'alveo per consentire le lavorazioni sul rostro.



Layout delle aree di cantiere del ponte posizionate in destra e sinistra idrografica

Realizzazione delle fondazioni dirette su entrambe le sponde

Varo dell'arco

L'area occupa una superficie di circa 5.000 m² e risulta di dimensioni adeguate ad ospitare tutti gli apprestamenti necessari alla costruzione del ponte, le aree di deposito materiale e di ricovero. All'interno di essa sono individuate le aree destinate allo stoccaggio e trattamento dei casseri prefabbricati nonché le aree preposte ad ospitarne l'assemblaggio dei conci provenienti dal sito di prefabbricazione ed il successivo ingaggio nelle pile. L'accesso e l'uscita all'area sono distinti in modo da eliminare il rischio di interferenze. Lo spazio interno all'area risulta adeguato al transito ed alla manovra dei mezzi. **L'area prevista in riva sinistra** sarà accessibile dalla S.P. 1. Come indicato per il ramo Nord, anche in quest'area sarà eseguito preliminarmente lo scotico e bonifiche dei sottofondi con riempimento fino al piano campagna del tracciato del rilevato dell'intero ramo sud. In contemporanea potrà

essere realizzata e completata la rotatoria SUD in modo da rendere quanto prima fruibili i benefici alla viabilità ordinaria dovuti al miglioramento del nodo viario. Le dimensioni dell'area sono simili a quella Nord, ma a differenza di questa, non dovrà prevedere un accesso all'alveo. Anche quest'area sarà dotata di ingresso/uscita separati e sarà dotata di tutti gli apprestamenti necessari alla costruzione delle opere, comprese le aree di assemblaggio e varo del cassero prefabbricato. Come già descritto per il cantiere Nord, anche per il ramo Sud, al termine della realizzazione delle sottostrutture saranno formati i rilevati con intercalazione degli attraversamenti idraulici e faunistici (culvert). La scelta di realizzare i rilevati (e la relativa permeabilità idraulica) in uno stadio temporale intermedio dell'intero intervento, farà in modo che il tempo di costruzione del ponte unito al transito dei mezzi sia utile per l'assestamento dei terreni consentendo un risparmio sia da un punto di vista economico che nelle tempistiche di cantiere correlate.

Relativamente all'area di cantiere prevista per l'adeguamento della S.P.56 la stessa sarà utilizzata anche per l'accesso al cantiere Nord del ponte. A tal proposito, all'altezza dell'innesto del ramo nord con la S.P.56 si prevede l'allestimento di un'area di cantiere che sarà utilizzata anche dal Sub-cantiere 1. Tale ambito ospiterà tutti gli apprestamenti necessari per la realizzazione delle fasi preliminari di accesso all'area del ponte nonché per la realizzazione del semianello sud della rotatoria. L'area in esame ha una superficie di circa 1.400 m². I mezzi pesanti in arrivo disporranno di un'area di sosta esterna in attesa dell'autorizzazione all'accesso al cantiere, adeguata alle dimensioni dei mezzi e che garantirà la sosta temporanea senza interferenze con la viabilità ordinaria. I mezzi pesanti in arrivo da ovest avranno un accesso dedicato al cantiere.

Fasi di costruzione del ponte

La **costruzione del ponte** è stata sviluppata in modo tale da essere il **meno invasiva possibile** avendo come primario obiettivo quello di assicurare l'**assenza di attrezzature provvisorie in alveo durante la costruzione**



Layout dell'area di cantiere Nord ponte (Destra Idrografica)

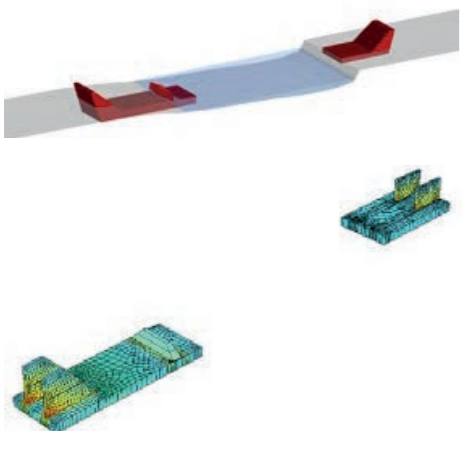
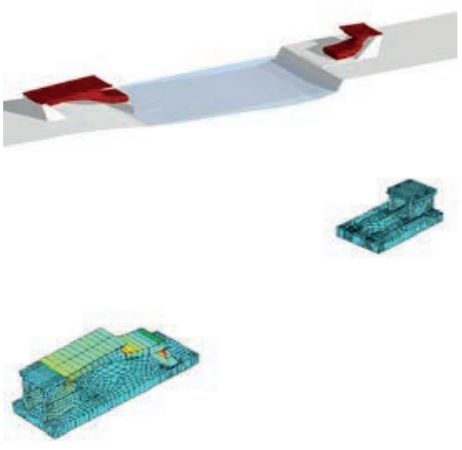
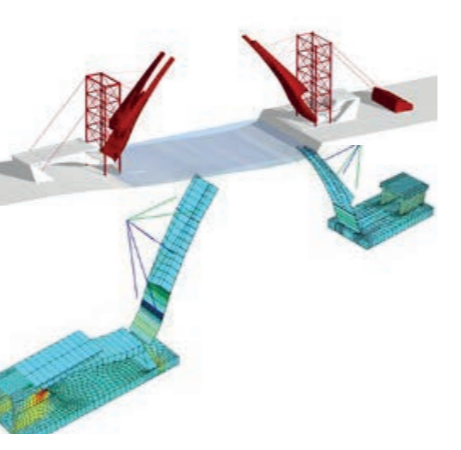
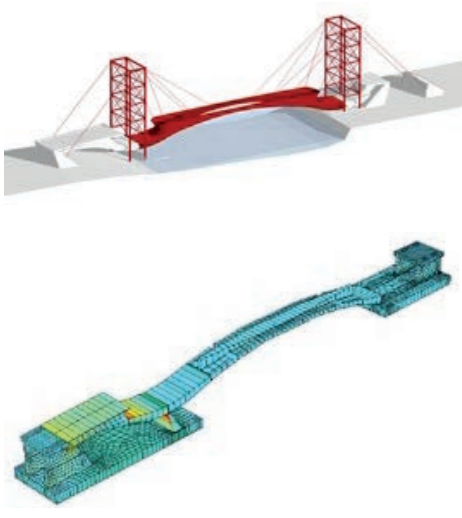
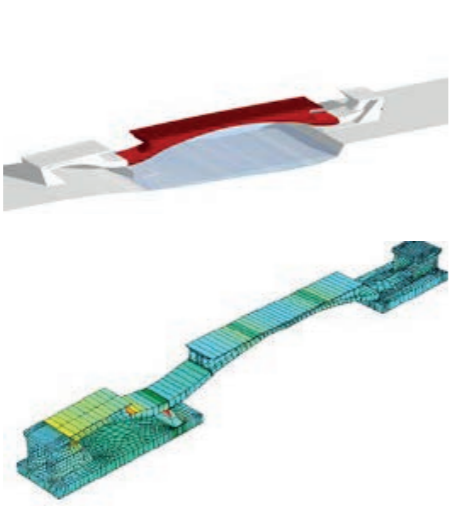
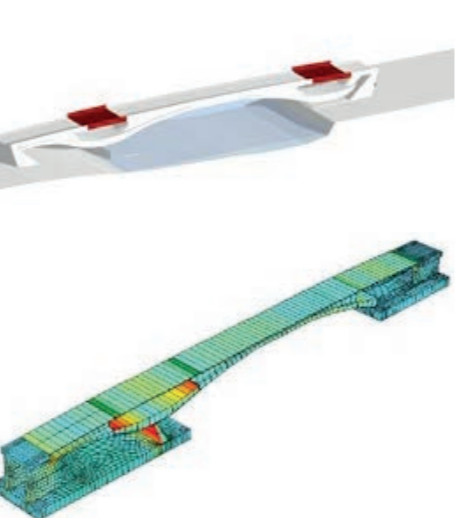
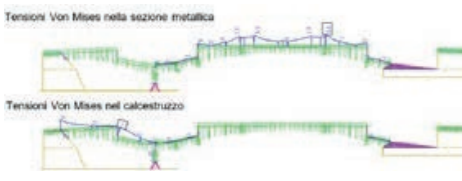
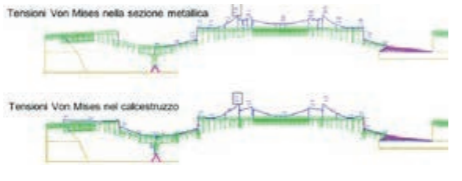
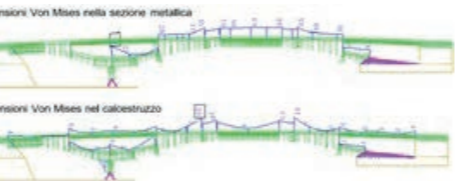


Layout dell'area di cantiere Sud del ponte (Sinistra idrografica)



Layout dell'area di cantiere all'innesto del ramo Nord con la S.P. 56

del ponte, fattore critico per la sicurezza in presenza di corsi d'acqua caratterizzati da fenomeni di piena ed esondazione. Questo è reso possibile grazie all'utilizzo di torri di varo provvisorie che consentono l'assieme della porzione metallica della struttura della campata principale del ponte in posizione pseudo-verticale e la successiva rotazione dei semi-archi che, una volta posizionati e resi solidali, assicureranno l'autoportanza della struttura e la sua funzione di supporto per tutte le fasi successive fino al completamento della sovrastruttura.

Fase 1	Fase 2	Fase 3
		
Realizzazione dei solettoni di fondazione, delle spalle e della pila (modello solido e mappatura tensionale nel modello di calcolo agli elementi Finiti)	Realizzazione delle campate di riva collegate monoliticamente alle spalle (modello solido e mappatura tensionale nel modello di calcolo agli elementi Finiti)	Installazioni delle torri di varo sulla platea esistente e assieme dei semi-archi metallici in posizione pseudo-verticale (modello solido e mappatura tensionale nel modello di calcolo agli elementi Finiti)
Fase 4	Fase 5	Fase 6
		
Rotazione dei semi-archi metallici e formazione dell'arco principale, getto della porzione verticale di struttura fino a quota impalcato (modello solido, mappatura tensionale e rappresentazione dei parametri della sollecitazione nel modello di calcolo agli elementi Finiti)	Completamento dei getti in c.a. alla base degli archi con inibizione delle cerniere alla rotazione, getto della soletta dell'impalcato nella porzione centrale dell'arco principale (modello solido, mappatura tensionale e rappresentazione dei parametri della sollecitazione nel modello di calcolo agli elementi Finiti)	Completamento/chiusura dell'impalcato e ottenimento di uno schema statico "integrale" (modello solido, mappatura tensionale e rappresentazione dei parametri della sollecitazione nel modello di calcolo agli elementi Finiti)
		

Tale metodologia costruttiva, ampiamente sperimentata, assicurando la virtuale assenza di strutture temporanee in alveo, come accennato massimizza il livello di sicurezza nei confronti di eventi inattesi di piena e consente la **prosecuzione senza interruzione dei lavori di costruzione in sicurezza anche in concomitanza di eventi di piena con periodi di ritorno stimati fino a 50 anni. La modalità costruttiva consente inoltre, per quanto detto, un'accelerazione importante delle tempistiche di cantiere con un risparmio atteso dei tempi di costruzione fino al 30% rispetto a quelli che caratterizzano la realizzazione della stessa opera con tecniche costruttive tradizionali e presenza di opere di sostegno provvisorio in alveo.**

Le fasi costruttive, come sopra specificate, sono state pianificate, modellate e analizzate sulla base di un modello di calcolo tridimensionale agli Elementi Finiti verificando le diverse parti della struttura nelle principali fasi transitorie. Dal punto di vista della cantierabilità degli enti fondali, sia del corpo di rilevato che dell'opera di attraversamento, la scelta della tipologia della fondazione superficiale diretta del ponte è stata attentamente valutata, ed infine preferita e scelta, per la sua elevata semplicità realizzativa, per il ridotto impatto ambientale e per il limitato costo che la caratterizzano. Si evidenzia come il ridotto impatto ambientale ed economico delle fasi di cantierizzazione si traducano in "certezze" nei tempi di avanzamento del cantiere. Se si fosse optato per una fondazione su pali profondi oltre 50m, oltre alle criticità di natura strutturale, in termini di cedimenti differenziali e stati tensionali, si sarebbero ottenute anche inevitabili incertezze esecutive derivanti dalle necessarie verifiche dell'integrità del palo stesso (cross hole e down hole), nonché alla necessità di effettuare un maggiore numero di pali per poterne verificare e validare la capacità portante mediante l'esecuzione di "pali sacrificali" (come prescritto dalle NTC2018) con conseguenti complessivi impatti negativi su costi e tempistiche di cantiere. Dal punto di vista dell'invasività e delle dimensioni del cantiere, l'esecuzione di fondazioni superficiali risulta infine meno invasiva non necessitando dei tipici vasconi di gestione dei fanghi bentonici e dei relativi impianti di circolazione.

La realizzazione di una fondazione superficiale, ancorché preceduta da una fase di pre-consolidamento e stabilizzazione del sottofondo, mostra quindi una dinamica di cantierizzazione più speditiva, rispetto ad una fondazione profonda, che, al contrario, per le caratteristiche peculiari del sito di progetto, espone a rischi legati all'interazione fondazione/terreno maggiori delle soluzioni superficiali.

4. SOLUZIONI PROGETTUALI E/O TECNOLOGICHE CON PRINCIPI LEGATI ALLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE



Vista del guidatore in approccio alla rotonda sud di progetto (modello BIM); da notare l'isola a duna verde.

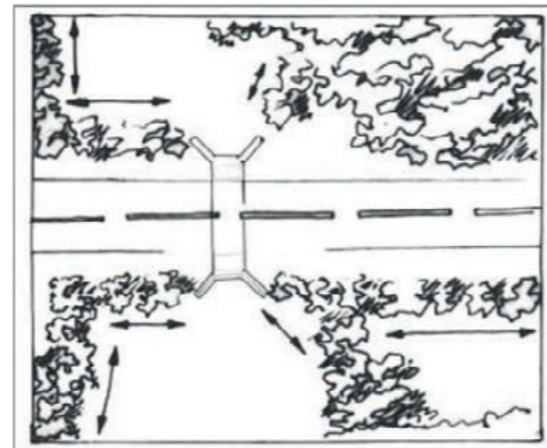
La sostenibilità ambientale è stato uno dei perni concettuali attorno ai quali si sono sviluppate tutte le fasi che hanno caratterizzato la definizione della presente proposta progettuale, sia dal punto di vista delle scelte progettuali (rilevato idraulicamente, trasportisticamente ed ecologicamente trasparente) sia in termini di materiali utilizzati (utilizzo di materiali riciclati certificati, stabilizzazione a calce, riduzione conferimenti a discarica). Il materiale ottenuto dallo **scotico del terreno vegetale** non può essere riutilizzato per la realizzazione

del rilevato stradale, e generalmente viene mandato a discarica: in questo caso invece, **per limitare i conferimenti a discarica**, il terreno ricavato dallo scotico verrà riutilizzato in vari modi, sempre nell'ottica del concetto di rinaturalizzazione. Un **primo riutilizzo** di questa componente naturale consiste nella rinaturalizzazione delle aree di cantiere, una volta che la realizzazione dell'opera sarà completa. Inoltre, come **seconda modalità di riutilizzo**,

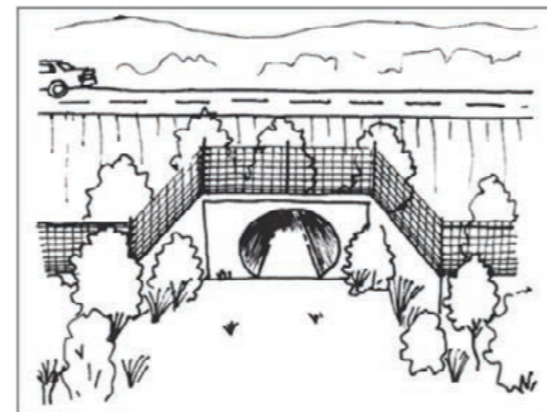
lo scotico verrà utilizzato per la creazione di dune inerbiti all'interno delle isole centrali delle rotonde di progetto, le quali avranno anche la funzione di incrementare l'"avvistabilità" dell'intersezione e, di conseguenza, il livello di sicurezza stradale basato sulla percepibilità degli elementi stradali ("Roundabouts: An Informational Guide" – Federal Highway Administration). La **terza modalità di riutilizzo** consiste nella creazione di una copertura ad andamento irregolare del rilevato stradale dell'infrastruttura di progetto, grazie alla quale verrà conferita una **conformazione naturomorfa al solido stradale**, riducendo l'impatto visivo dell'opera riducendo la percezione antropizzata del contesto paesaggistico.

Sempre dal punto di vista dei materiali utilizzati si è scelto di utilizzare **materiali riciclati certificati e standardizzati** per la realizzazione di diverse componenti stradali: ad esempio, degli inerti riciclati verranno utilizzati per la realizzazione dei sottofondi stradali e per i drenaggi, mentre lo strato di base sarà costituito da conglomerato bituminoso riciclato da scarifica e fresatura.

Le infrastrutture viarie costituiscono spesso vere e proprie interruzioni dei corridoi ecologici, con conseguenti problematiche legate all'alterazione dei flussi bio-geochimici tra aree limitrofe, disturbi sulle popolazioni animali presenti, riduzione delle dimensioni delle aree naturali e morte diretta per investimento da traffico di animali in attraversamento. Il superamento di queste problematiche è stato raggiunto grazie alla **funzione di opere di deframmentazione ecologica dei culvert**. I "culvert ecologici" saranno un sottoinsieme del sistema che garantisce la permeabilità idraulica e verranno predisposti con due conformazioni differenti, una per garantire il transito della **fauna anfibia**, mentre un'altra ottimale per il passaggio della **fauna prettamente terrestre**. Data la sezione ovale dei culvert, la loro larghezza è stata valutata in modo tale da garantire spazio sufficiente perché ci siano i presupposti per un parziale riempimento del fondo della tubazione finalizzato alla formazione di una superficie di movimento orizzontale, mentre ai lati dei due imbocchi dell'attraversamento verranno posizionate delle essenze autoctone con la funzione di "invito" all'entrata, alte circa 1.5 m e con un impianto ad alta densità, in modo tale che gli animali si sentano protetti e siano maggiormente inclini all'attraversamento. Le rampe di ingresso ed uscita avranno una pendenza non superiore a 2/3 e, per quanto concerne gli attraversamenti ecologici per la fauna terrestre, la pendenza longitudinale del prefabbricato sarà maggiore del 1% per evitare il ristagno delle acque. Tra gli attraversamenti e la strada verrà posta una barriera perimetrale, vegetale od artificiale, per impedire che gli animali circumnavighino l'ingresso e si portino sull'arco.



Pianta ingresso in sottopasso
(Filamauro et al., 2005)



Prospetto ingresso in sottopasso
(Filamauro et al., 2005)

Ponte - Qualità e caratteristiche dei materiali utilizzati anche in riferimento ai criteri ambientali minimi

I materiali da costruzione scelti per la realizzazione del nuovo ponte, oltre che a presentare caratteristiche meccaniche idonee e in linea alla domanda in termini di azioni ambientali esterne, saranno scelti secondo strumenti di politica ambientale tali da favorire l'acquisto di prodotti che abbiano il minore impatto possibile sull'ambiente lungo l'intero ciclo di vita. Questo approccio, stabilito dalla Commissione Europea con l'acronimo **GPP (Green Public Procurement)**

favorisce l'applicazione di politiche atte a sviluppare un'economia circolare supportando le Amministrazioni della razionalizzazione di acquisti e consumi incrementando la qualità ambientale delle proprie forniture e affidamenti.

In Italia, con il nuovo Codice appalti (D.lgs 50/2016), e con le modifiche apportate successivamente con il Correttivo del Codice appalti (D.lgs. 56/2017), il GPP non è più uno strumento volontario ma è diventato obbligatorio con l'obbligo di applicazione, per l'intero valore dell'importo della gara, delle "specifiche tecniche" e delle "clausole contrattuali", contenute nei criteri ambientali minimi (CAM), "per gli affidamenti pubblici di qualunque importo.

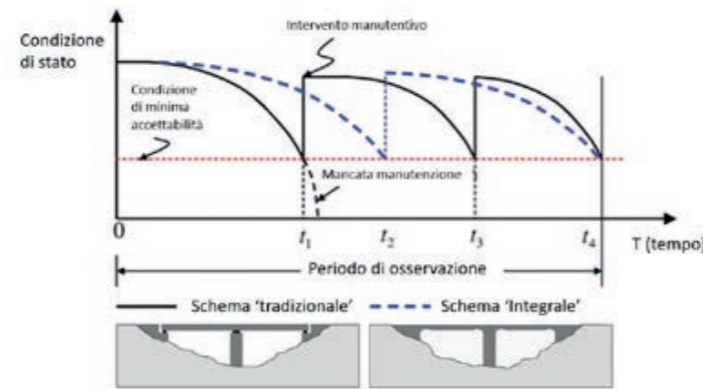
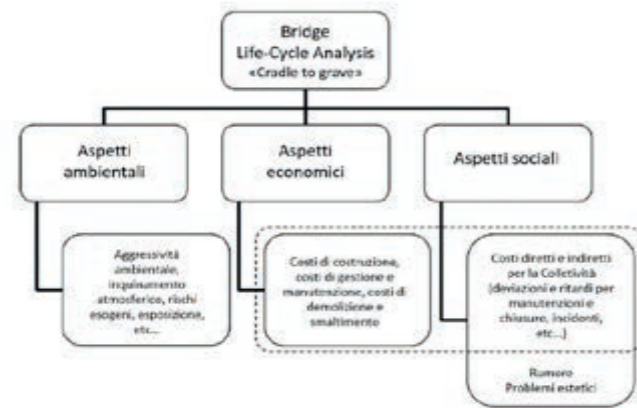
I **Criteri Ambientali Minimi (CAM)** rappresentano i *requisiti ambientali ed ecologici definiti dal Ministero dell'Ambiente per indirizzare le Pubbliche Amministrazioni verso una razionalizzazione dei consumi e degli acquisti fornendo indicazioni per l'individuazione di soluzioni progettuali, prodotti o servizi migliori sotto il profilo ambientale.* Gli **acquisti verdi** devono **tener conto dell'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio**, dal suo smaltimento, alla sua disponibilità sul mercato, alla trasparenza della filiera produttiva.

Politiche GPP (Green Public Procurement) per l'incentivazione di un'economia circolare volta a massimizzare la sostenibilità dell'opera pubblica nell'ambito del rispetto dei CAM (Criteri Ambientali Minimi) rappresentano il contesto in cui si collocano tutte le scelte per l'utilizzo dei materiali da costruzione scelti per l'opera proposta.

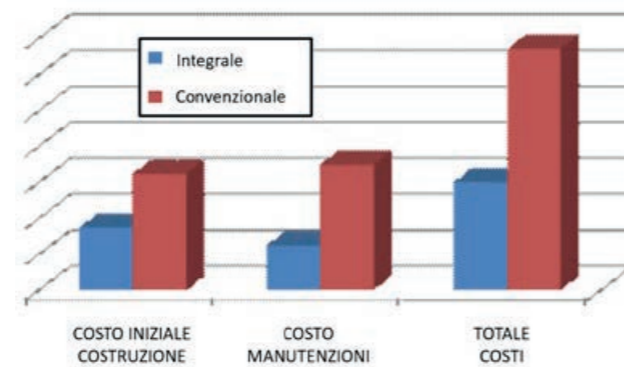
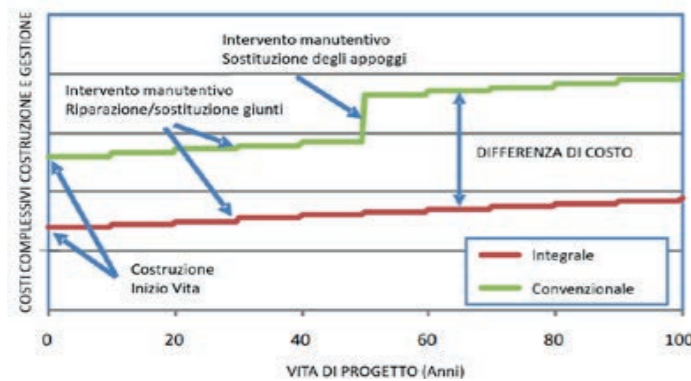


Il ponte proposto, da un punto di vista strutturale, è caratterizzato dalla continuità strutturale tra sovrastruttura e sottostruttura, grazie all'assenza di apparecchi di appoggio e giunti di dilatazione, secondo uno **schema tipico di "Ponte Integrale"**. Questa tipologia di ponti, come ormai ampiamente dimostrato e riconosciuto a livello Internazionale nella letteratura scientifica di riferimento sia Statunitense che Europea (aree in cui a livello Internazionale si ha la maggior concentrazione di ponti integrali), su luci piccole e medie, come quelle che caratterizzano il ponte in questione, ha dato prova di possedere **caratteristiche estremamente favorevoli in termini di durata del ciclo di vita e minimizzazione dei costi di gestione e manutenzione**. Infatti, è stato dimostrato come, **a sostanziale parità di costo di costruzione, o come solitamente avviene a fronte di un vantaggio in termini di costi di costruzione a favore del ponte con schema integrale, la medesima configurazione geometrica per un'opera progettata per una vita utile di 50 anni, presenti una performance in termini di durata di ciclo di vita (Condizione di Stato/Condition Rate @T=50anni) e costi di gestione e manutenzione inferiori fino al 50% in favore del ponte con schema integrale.**

Questo grazie ad un'incrementata rigidità nella risposta globale, all'assenza di fenomeni difettologici e di degrado su giunti e appoggi (assenti), ma anche grazie all'assenza di fenomeni di degrado sui materiali della struttura principale e sui suoi componenti accessori innescati dal malfunzionamento di giunti e appoggi (infiltrazioni d'acqua, dilavamento, corrosione locale, distacco e espulsione dei copriferri...).



A sinistra un tipico diagramma di flusso con i parametri e gli aspetti che influiscono sul costo complessivo del ciclo di vita di un ponte dalla costruzione alla demolizione e smaltimento (cradle-to-grave). A destra il tipico andamento delle curve di decadimento della condizione di stato (intervallo manutentivo per lo stesso ponte con schema "tradizionale" con giunti e appoggi (nero continuo) e "integrale" senza giunti e appoggi (blu tratteggiato). L'allungamento degli intervalli manutentivi corrisponde ad un allungamento sostanziale del ciclo di vita dell'opera a minori costi diretti e indiretti di gestione e manutenzione che si attestano a valori anche superiori al 50% in favore del ponte integrale



Rappresentazione, da letteratura scientifica di riferimento, del confronto tra i costi cumulativi di costruzione e manutenzione dello stesso ponte costruito con schema convenzionale (dotato di giunti e appoggi) e con schema integrale. Si nota come su luci convenzionali (piccole e medie) lo schema integrale presenti considerevoli vantaggi in termini economici (circa il 50%) grazie all'assenza di fenomeni diretti e indiretti dovuti alla presenza di elementi tipici di innesco di degrado quali giunti di dilatazione e appoggi

Strade - Qualità e caratteristiche dei materiali utilizzati anche in riferimento ai criteri ambientali minimi

La proposta di progetto, già in questa fase concorsuale, è concepita nella massima applicazione dei criteri ambientali minimi (CAM) di cui al D.M. 11 ottobre 2017, in modo che le eventuali fasi progettuali successive, Definitiva ed Esecutiva, possano essere impostate considerando l'utilizzo di prodotti e tecnologie costruttive dalle migliori prestazioni ambientali, in applicazione anche alle norme tecniche ISO che distinguono tre diverse tipologie di etichettature ambientali:

- Tipo I (UNI EN ISO 14024): criteri multipli che tengono conto del ciclo di vita del prodotto attraverso organismi di terza parte;
- Tipo II (UNI EN ISO 14021): auto-dichiarazione del produttore;
- Tipo III (UNI ISO 14025): dichiarazione di prodotto basata su LCA (Life Cycle Assessment), con verifica di terza parte.

L'ampio utilizzo di materiale riciclato all'interno della presente proposta progettuale, garantisce una adeguata quota di incremento del Life Cycle Assessment (LCA) nella più ampia porzione delle componenti dell'opera, che permetterà la **minimizzazione dell'uso di materie prime non rinnovabili** ed il contenimento dei conferimenti a

discarica dei terreni di bonifica e di scavo, oltreché del conglomerato bituminoso fresato.

Le tecniche costruttive adottate in questa proposta che concorrono al rispetto dei CAM sulla componente stradale del progetto sono:

- trattamento di stabilizzazione a calce del sottofondo, in modo che il terreno in situ, pur essendo, per sua natura, inadatto alla funzione strutturale richiesta, potrà essere modificato in situ mediante l'applicazione delle tecniche di stabilizzazione a calce, consentendo la riduzione dei volumi di scavo e di riporto conseguenziale alle tradizionali lavorazioni di bonifica;
- realizzazione dello strato di base della pavimentazione in bitume "schiumato". Questa tecnica garantisce l'eliminazione degli apporti del materiale da cava quale elemento lapideo del conglomerato bituminoso per questo strato. L'inerte dello stesso sarà composto esclusivamente da conglomerato bituminoso riciclato da fresature provenienti da altre pavimentazioni, in modo che il materiale stesso disporrà di un allungamento della propria vita utile (maggiore LCA), e l'azzeramento della necessità di coltivazione delle cave per la produzione di inerte;
- utilizzo di barriere di sicurezza in legno e acciaio corten, riducono fortemente l'emissione di CO2 (minore quantità di acciaio) ed utilizzano materiale proveniente da risorse rinnovabili (legno lamellare). Il legno peraltro, dispone di un LCA maggiore, essendo per sua natura riciclabile.

Inoltre contribuiscono alla migliore rispondenza ai contenuti dei CAM, i seguenti provvedimenti progettuali:

- interventi previsti in salvaguardia della flora e della fauna;
- riutilizzo del terreno di scotico;
- realizzazione dei sotto-atteveramenti di rilevato anche ad uso di attraversamenti per la fauna migratoria;
- minimizzazione delle aree di occupazione temporanea in fase di cantiere, mediante l'utilizzo del sedime stradale, senza ricorrere ad una vera e propria strada di cantiere parallela alla viabilità di progetto;
- predisposizione delle vasche di raccolta degli eventuali sversamenti accidentali, che contribuisce alla riduzione del rischio di inquinamento dei livelli falda.

Punti di forza della proposta progettuale

Sulla base di quanto descritto nei paragrafi precedenti, si sintetizzano i principali punti di forza della proposta progettuale:

- **Fortissima integrazione con il contesto storico, culturale e sociale del luogo**

Il progetto per il nuovo ponte e per la nuova viabilità nasce dall'analisi delle caratteristiche morfologiche e architettoniche del contesto, come sintesi tra Tradizione e Innovazione e si materializzano in una soluzione caratterizzata dal connubio tra tecnologie d'avanguardia e forme minimali, nel rispetto del luogo e del Ponte storico esistente (Par.1). Le nuove strutture entrano "in punta di piedi" ed in modo naturale nel sito di progetto nella scelta delle forme, dei materiali e dei cromatismi e in virtù anche di un'elevatissima trasparenza idraulica complessiva dell'opera che minimizza gli impatti ambientali e l'impronta ecologica sul contesto attuale.

- **Tipologia strutturale ed estetica del ponte altamente innovativi ed originali**

La soluzione proposta per il ponte parte dallo studio dell'evoluzione tipologica della straordinaria antologia di ponti ad arco presenti lungo in corso dell'Arno e ripercorre la loro evoluzione nei secoli per trovare una sintesi finale nella tipologia ad arco a via superiore (Par.1). Il processo di definizione formale è altamente innovativo e basato sull'applicazione di algoritmi genetici a strumenti automatici di ottimizzazione strutturale. Quest'approccio, indirizzato dagli obiettivi del progettista, porta alla definizione di una struttura altamente efficiente da un punto di vista strutturale ed estremamente armoniosa nella tensione delle forme.

- **Massimizzazione del ciclo di vita dell'opera e minimizzazione dei costi di manutenzione e gestione grazie all'utilizzo di una soluzione a ponte integrale**

Ancora una volta, prendendo spunto dalla storia dei ponti sull'Arno, il ponte proposto interpreta in chiave attuale e in ragione dei più avanzati strumenti di analisi le tipologie classiche ad arco proponendo una soluzione "integrale", ossia in assenza di giunti di dilatazione e apparecchi di appoggio (Par.1). Vengono in questo modo eliminati, all'interno di una soluzione "monolitica" tra sotto e sovrastruttura gli elementi tradizionalmente interessati dall'insorgere dei fenomeni difettologici e di degrado più comuni nei ponti moderni. assicurando, anche in ragione de un'attenta progettazione dei dettagli e grazie alla scelta di materiali con elevate caratteristiche meccaniche e chimiche, la massimizzazione del ciclo di vita e la contestuale minimizzazione dei costi di gestione e manutenzione.

- **Superamento delle criticità viarie puntuali**

Il progetto per la nuova viabilità coniuga le esigenze funzionali con quelle ambientali secondo i più avanzati principi di architettura stradale, minimizzando la rilevanza paesaggistica dei rilevati grazie ad una progettazione degli allineamenti stradali plano-altimetrici e delle rotatorie finalizzata alla creazione di "luoghi" dai quali fruire al meglio della qualità dell'ambiente circostante in un approccio basato su un attento inserimento paesaggistico dell'opera infrastrutturale teso alla tutela, conservazione e miglioramento del "paesaggio" esistente in un approccio "dolce" alla mobilità (Par.1).

- **Accelerazione delle tempistiche di cantiere per la realizzazione del ponte e virtuale assenza di interferenze con il regime idraulico dell'Arno**

La tipologia di montaggio proposta per il ponte, con l'assenza di attrezzature di varo in alveo, assicura l'assenza di interferenze tra i regimi idraulici del fiume e il cantiere assicurando il rispetto dei cronoprogrammi, la minimizzazione degli imprevisti e la conferma del budget preventivato (Par.2). Il cantiere sarà organizzato nella sua interezza in modo da minimizzare l'impronta ecologica dello stesso nel sito di progetto, con la trasformazione della viabilità provvisoria in viabilità definitiva con virtuale assenza di ambientali aggiuntivi e necessità di interventi di rinaturalizzazione diffusi.



- **Introduzione dei criteri ambientali e di sostenibilità nel progetto dell'opera**

Aspetto fondamentale risiede nell'applicazione dei CAM all'intera proposta progettuale, sia per quanto riguarda il ponte sia per quanto riguarda l'opera viabilistica. L'analisi dei contenuti delle schede EPD (Par. 2 – Par.4), sarà alla base della scelta dei materiali da costruzione, dei prodotti e della componentistica, secondo quanto definito dal Ministero dell'Ambiente per indirizzare le Pubbliche Amministrazioni verso una razionalizzazione dei consumi e una massimizzazione del "valore" intrinseco degli acquisti.

- **Trasparenza idraulica dei rilevati e dell'intera opera**

La minimizzazione dell'impronta ecologica dell'intera opera nel sito di progetto è assicurata anche dall'elevatissima trasparenza idraulica dei rilevati, progettati sulla base di simulazioni idrodinamiche con modelli piani di deflusso tarati su simulazioni di eventi di piena con Tr da 30 a 200 anni e finalizzati a confermare la sostanziale trasparenza idraulica dell'intera opera (Par.1).

- **Tutela delle biodiversità con introduzione dei passaggi faunistici per le specie anfibie e di terra**

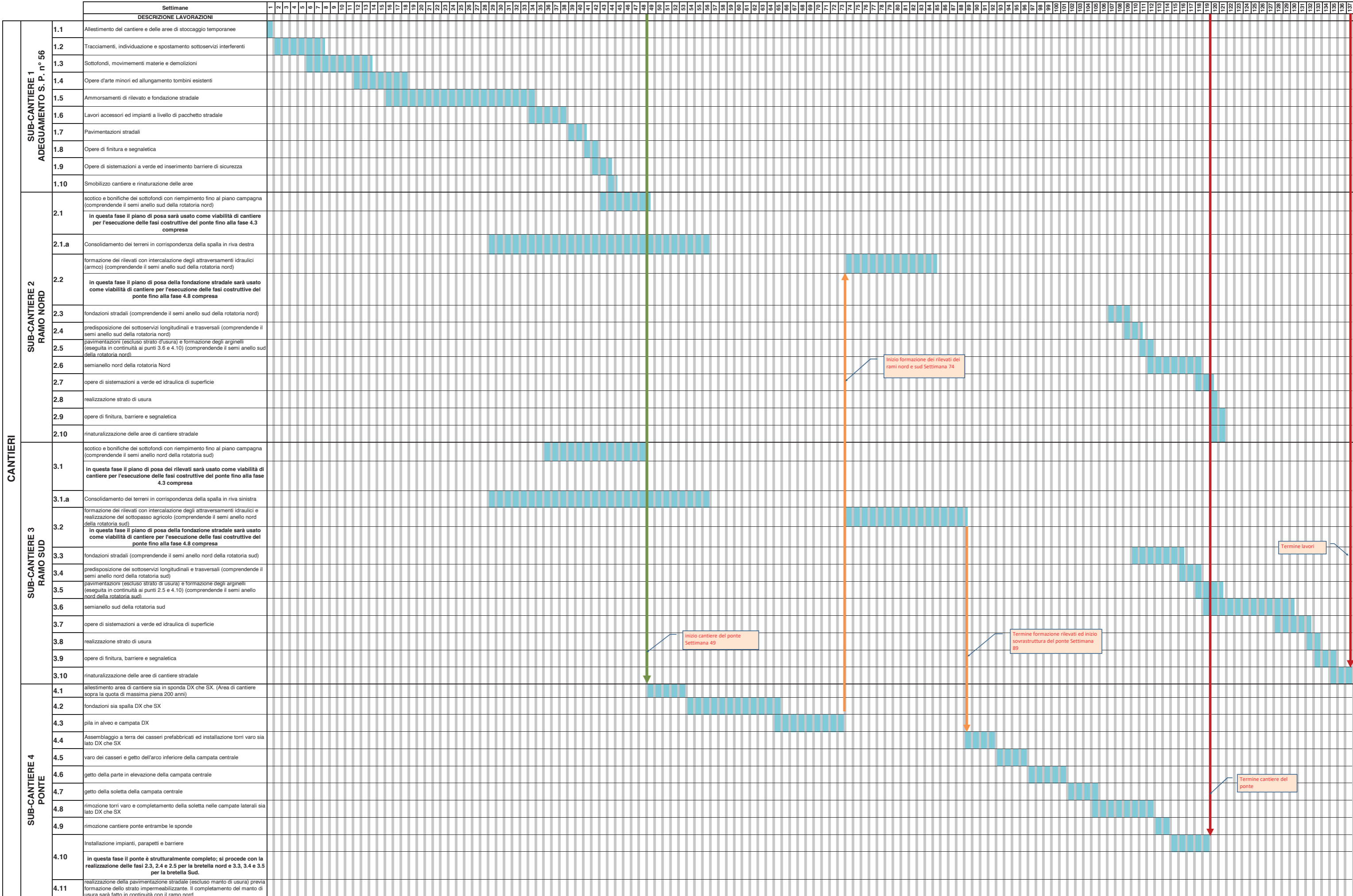
Il progetto prevede la realizzazione di rilevati atti ad assicurare la migliore trasparenza faunistica grazie alla presenza di condotti (culvert) caratterizzati da diametri diversi, con imbocchi segnalati e "naturalizzati" in modo differente per fauna di tipo anfibio e terrestre (Par.4).

- **Costi di costruzione pienamente congruenti con i budget a disposizione**

I costi di costruzione sono stati valutati in modo estremamente analitico. La stima del costo complessivo è stata fatta partendo dalla suddivisione in categorie indicate nel disciplinare di gara (strutture, viabilità ed impianti) ed, all'interno di ciascuna di esse sono state individuate le voci di spesa che compongono la proposta progettuale. Assieme ai costi di costruzione, sono stati analizzati anche i costi di esercizio, controllo, gestione e manutenzione al fine di approssimare la progettazione in termini di "costo complessivo" associato all'intero ciclo di vita (si rimanda al documento di stima economica).

CRONOPROGRAMMA





VERIFICA DI COERENZA CON IL PROGRAMMA FUNZIONALE



La verifica di coerenza del progetto in oggetto viene esplicitata nel presente documento ripercorrendo il "Documento di Indirizzo alla Progettazione – Quadro esigenziale" fornito dalla S.A. all'interno della documentazione a base di Gara. Al fine di dare evidenza circa il rispetto da parte della proposta progettuale delle richieste della S.A., saranno ripercorsi nella tabella seguente gli **obiettivi** di cui al § 2 e §3 del D.I.P. e per ciascuno verrà illustrata la **risposta** fornita dal progetto.

VERIFICA DI COERENZA DELLE OPERE PREVISTE CON IL DOCUMENTO DI INDIRIZZO ALLA PROGETTAZIONE – QUADRO ESIGENZIALE
<p>Obiettivo: Progettazione di una nuova viabilità alternativa di collegamento tra Arezzo e la zona del Valdarno Superiore, costituito da variante alla Provinciale n° 01 "dei Setteponti", con nuovo ponte sul fiume Arno della Provincia di Arezzo.</p>
<p>Risposta: la proposta progettuale ha affrontato ogni punto indicato dal D.I.P. allo scopo di raggiungere gli obiettivi richiesti andando ad individuare puntualmente le criticità presenti sull'infrastruttura attuale fornendo una risposta progettuale per ciascuna di esse. Il progetto, dal generale al particolare, è il risultato di un'attenta analisi dei luoghi e del contesto condotta in modo scrupoloso con consapevolezza degli obiettivi da raggiungere. In particolar modo, la realizzazione del nuovo ponte viene affiancata da un duplice intervento: realizzazione di due nuovi archi viari ed il miglioramento e la messa in sicurezza della viabilità esistente. Questi due elementi infrastrutturali andranno a dialogare tra loro grazie all'inserimento di due rotatorie, elementi in grado di garantire alti standard di sicurezza stradale e capacità veicolare. Per omogeneizzare il livello di sicurezza e qualità del traffico della rete viaria in approccio al centro abitato di Buriano viene previsto un riassetto di parte della viabilità esistente; l'intersezione a tre bracci tra la SP1 "Setteponti" e la SP 46 "dello Spicchio" verrà trasformata in rotatoria ed il tratto della SP46 che parte da questo nodo e si innesta nella rotatoria Nord di nuova realizzazione sarà oggetto di una ri-geometrizzazione, di un allargamento della sede stradale e di opere di riqualificazione, in accordo con il quadro economico del bando ed il livello di antropizzazione dell'area.</p>
<p>Obiettivo: Sostituzione dell'attuale ponte con una struttura definitiva senza pregiudicare in fase realizzativa l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione delle opere, degli impianti e strutture esistenti e la mobilità nell'area.</p>
<p>Risposta: Il nuovo ponte si colloca a monte del ponte storico, lungo la nuova infrastruttura di collegamento tra la S.P. 56 e la S.P. 1, conformemente al posizionamento indicato dal D.I.P.</p> <p>La proposta progettuale risulta pienamente in linea con gli obiettivi del D.I.P. in quanto vengono garantiti durante la costruzione: 1. Il mantenimento in esercizio del ponte storico o del guado provvisorio (qualora venisse realizzato), a tal proposito si rimanda agli elaborati grafici nei quali vi è rappresentata l'organizzazione delle fasi principali di realizzazione dell'intera infrastruttura; 2. La posizione del nuovo ponte e della relativa viabilità di raccordo è prevista all'interno dell'area indicata dal D.I.P. ed integrata con modifiche migliorative del livello di servizio dell'intera infrastruttura senza pregiudicare l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione della viabilità locale durante le fasi realizzative; 3. Il rispetto delle raccomandazioni fornite dagli strumenti urbanistici vigenti e l'adeguatezza della proposta progettuale in funzione dei vincoli presenti nell'area. A tal proposito si rimanda agli elaborati grafici per una trattazione di dettaglio dell'aspetto paesaggistico, idrogeologico-forestale, ed idraulico. Quest'ultimo risulta in linea con le indicazioni di invarianza grazie all'adozione del sistema <i>culvert</i> inserito all'interno del corpo di rilevato in approccio al nuovo ponte (per una trattazione di dettaglio degli aspetti citati in questo punto si rimanda agli elaborati grafici ed alla relazione).</p>
<p>Obiettivo: Ridefinizione della viabilità di accesso e dei raccordi con la viabilità principale.</p>
<p>Risposta: Il gruppo di lavoro è partito dalle indicazioni del Documento di Indirizzo alla Progettazione per elaborare una proposta che riuscisse a soddisfare tutte le esigenze del territorio, rispondendo punto per punto agli obiettivi specifici fissati all'interno del D.I.P.. Per quanto concerne l'ottimizzazione delle due rotatorie di collegamento tra la strada di nuova realizzazione e la viabilità esistente, sono stati individuati degli accorgimenti ad-hoc per la loro geometrizzazione: la rotatoria nord, a 3 rami, è stata progettata con un diametro di 40 m ed è provvista di una corsia di circolazione all'interno della corona rotatoria di larghezza 7 m. La rotatoria Sud collega la strada di nuova realizzazione con la SP 1 "Setteponti" ed ha richiesto una geometrizzazione più elaborata rispetto a quella collocata a Nord; Essa presenta 4 rami in ingresso non posizionati radialmente rispetto al centro del nodo viario: questo ha portato il gruppo di progettisti a prevedere l'inserimento di una rotatoria "oblunga", grazie alla quale i punti di accesso risultano essere sufficientemente distanziati tra di loro. L'utilizzo di questa geometria ha inoltre consentito di migliorare il raccordo al nodo delle quattro strade che vi convergono: le strade esistenti, infatti, si presentano con quote relative molto differenti tra loro e l'incremento di sviluppo dell'intersezione consente maggiori margini di "recupero della quota", evitando così di avere pendenze longitudinali troppo elevate. Durante la progettazione della rotatoria Sud sono inoltre stati tutelati gli accessi dei privati cittadini ed è stato evitato di ricadere all'interno di "Aree soggette a vincolo paesaggistico ambientale" (in particolar modo della Riserva naturale Ponte Buriano e Penna). In merito alla riduzione delle interferenze con la viabilità esistente, risulta facile comprendere come l'inserimento delle rotatorie Nord e Sud non presenti lati negativi dal punto di vista funzionale o di sicurezza stradale; al contrario: la capacità veicolare di rotatorie extraurbane di questa tipologia ammonta a circa 2000 veic/ora, sufficiente per smaltire i 11000/12000 veic/giorno citati all'interno del D.I.P., ed il livello di sicurezza attribuibile alle rotatorie è sempre superiore rispetto alle intersezioni a raso, come quelle presenti ad oggi nel tratto in cui verrà inserita la rotatoria Sud. Anche gli interventi previsti sulla viabilità esistente, ed in particolare la realizzazione della rotatoria Ovest nel centro abitato di Buriano, non andranno a creare interferenze con lo stato attuale, piuttosto contribuiranno ad incrementare il livello di funzionalità, sia locale che globale, della rete viaria. La progettazione dei rami viari e delle intersezioni è stata eseguita nel rispetto delle indicazioni del D.I.P. dal punto di vista normativo; la strada di nuova realizzazione presenta tutte le caratteristiche geometrie proprie delle strade extraurbane di categoria C2 ai sensi del D. M. del 5 Novembre 2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". In particolare l'arco viario presenta 1 corsia per senso di marcia di larghezza 3.5 m, banchina in destra ed in sinistra di larghezza 1.25 m, pendenza longitudinale sempre inferiore al 6% (max da normativa pari al 7%) e raggi di curvatura planimetrica maggiori di 200 m (min da normativa 118 m). Le rotatorie soddisfano le indicazioni del D.M. del 19 Aprile 2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali", in particolare la corsia di circolazione all'interno della corona circolare è unica e larga 7 m, i rami in ingresso presentano un'unica corsia, come anche quelli in uscita. Per quanto riguarda l'illuminazione pubblica sui tratti ritenuti rilevanti, verranno previsti degli impianti sia in corrispondenza delle 3 rotatorie che in corrispondenza del nuovo ponte. La metodologia che verrà seguita per la realizzazione degli impianti d'illuminazione tende ad ottimizzare la resa estetica e la funzionalità, evitando allo stesso tempo di incorrere nel fenomeno di "inquinamento luminoso". Le rotatorie saranno provviste di illuminazione radente, evitando l'utilizzo di torri-faro, essendo queste un elemento molto impattante dal punto di vista paesaggistico-ambientale e rappresentando un elemento di rischio nel caso di veicolo in svio.</p>
<p>Obiettivo: Inserimento del progetto nell'attuale cartografia degli strumenti di pianificazione comunale vigenti, per consentire le valutazioni necessarie per la variante urbanistica.</p>
<p>Risposta: Per tale aspetto si rimanda agli elaborati grafici all'interno dei quali sono state riportate le sovrapposizioni tra il progetto e le cartografie ufficiali relative agli strumenti urbanistici, vincoli paesaggistici, idraulici ecc...).</p>
<p>Obiettivo: Realizzazione di una soluzione innovativa e di elevata qualità estetica in considerazione del pregio ambientale, storico e paesaggistico del sito.</p>
<p>Risposta: Il dialogo con il ponte storico è inevitabile, nei confronti di esso e del paesaggio circostante il nuovo ponte instaura un rapporto rispettoso dove la forma degli archi si pone in ideale continuità con la tradizione costruttiva dei ponti reinterpretandola in chiave contemporanea secondo i più recenti sviluppi della ricerca architettonica ed ingegneristica. Dal punto di vista formale il ponte è un esempio di una avanzata ricerca stilistica. Il ponte così come è rappresentato è il risultato quindi di una espressione progettuale che fa sintesi della tradizione costruttiva dei luoghi in una forma iconica che contribuisce a valorizzare l'area in cui viene inserito diventando al contempo elemento distintivo e immagine simbolica nel processo di crescita e di sviluppo infrastrutturale promosso dalla Provincia di Arezzo. Visto da monte, il nuovo ponte inquadra idealmente il ponte storico quasi ad instaurare un dialogo tra forme universali che trovano in un unico scorcio di paesaggio una combinazione tra antico e moderno. La soluzione del ponte ad arco a via superiore asimmetrico, trova la sua genesi dall'interpretazione dell'asimmetria della configurazione spondale dell'Arno nel sito di progetto e nella volontà di minimizzare le superfici in elevazione e le altezze di progetto pur collocando il ponte al di sopra della massima piena duecentennale. Nella soluzione proposta, l'arco rappresenta un gesto primordiale e unificatore, estrema sintesi e attuale reinterpretazione dei molteplici segni storico-paesaggistici e delle presenze che connotano il contesto. Sono la semplicità formale, la pulizia del disegno, il ricorso ad un numero minimo di segni a guidare il percorso progettuale e l'individuazione della soluzione finale. La forma sinuosa e continua dell'intradosso della struttura ad arco sottolinea l'attraversamento in modo leggero, galleggiando sull'acqua e dando l'apparenza di toccare "in punta di piedi" il fondo dell'alveo grazie ad un profilo laterale estremamente leggero, frutto di una ricerca architettonica e strutturale finalizzata alla generazione di forme in grado di minimizzare gli impatti visivi nella definizione di un ponte che si collochi in modo naturale ed armonioso nel contesto di progetto. Materiali e tecnologie costruttive sono stati scelti in modo da minimizzare l'impatto sull'ambiente. I cromatismi utilizzati per l'opera sono stati scelti a valle di un processo di studio delle preesistenze naturali ed antropiche, con particolare riferimento al Ponte Storico di Buriano, e dalle suggestioni maturate durante i sopralluoghi.</p> <p>La soluzione "integrale" prevista per il ponte, con l'eliminazione di apparecchi di appoggio e giunti di dilatazione, assicura la massimizzazione del ciclo di vita dell'opera e la minimizzazione dei costi di gestione e manutenzione anche grazie alla corretta scelta dei materiali da costruzione e all'attenta progettazione dei dettagli costruttivi. L'applicazione, in sede di progetto, di tecniche di ottimizzazione strutturale multi-obiettivo tipo MTOP (per i cui dettagli si rimanda alla relazione tecnica) conferisce all'opera un'eccellente efficienza nella risposta strutturale e minima domanda manutentiva.</p>
<p>Obiettivo: Rispetto delle specifiche condizioni e raccomandazioni in relazione agli altri vincoli derivanti dagli strumenti di pianificazione esistenti nell'ambito di intervento.</p>
<p>Risposta: le specifiche dettate dagli strumenti di pianificazione risultano soddisfatte. Si rimanda all'elaborato grafico specifico per una trattazione di dettaglio di tale aspetto.</p>
<p>Obiettivo: Indicazione degli elementi che consentano di programmare ed impostare i successivi adempimenti (acquisizione autorizzazione d.lgs. 42/2004, nulla osta vincolo idrogeologico, autorizzazione idraulica, etc.) in relazione agli ulteriori vincoli di varia natura cui l'ambito di intervento risulta soggetto in tutto o in parte (vincolo paesaggistico ai sensi del d.lgs. 42/2004, vincolo idrogeologico-forestale, vincolo idraulico).</p>
<p>Risposta: la proposta progettuale è stata corredata da studi ed analisi (con particolare riferimento all'idraulica ed all'inserimento paesaggistico) il cui livello di approfondimento è tale da consentire i futuri adempimenti normativi.</p>
<p>Obiettivo: Inserimento del progetto nell'attuale cartografia degli strumenti di pianificazione comunale vigenti, per consentire le valutazioni necessarie per la variante urbanistica..</p>
<p>Risposta: l'intero progetto è stato inserito nella cartografia degli strumenti di pianificazione. Per una trattazione di dettaglio si rimanda all'elaborato grafico specifico</p>

Obiettivo: Adeguata considerazione delle possibili interferenze con i sottoservizi evidenziati nell'area.

Risposta: Relativamente ai sottoservizi, saranno condotte le opportune interrogazioni agli Enti preposti in modo da affrontare e risolvere fin dal prima fase progettuale, tutti i conflitti che normalmente interessano questo tipo di interventi.

Obiettivo: Minimizzare l'impatto sull'ambiente sia per quanto riguarda l'esecuzione delle lavorazioni sia per quanto riguarda le scelte progettuali sia per quanto riguarda la scelta dei componenti edilizi. Rispetto, nei casi imposti dalla norma, dei criteri minimi ambientali adottati con D.M. 24/12/2015 e ss.mm.ii.

Risposta: Per quanto riguarda i materiali da costruzione del ponte, saranno richieste al produttore, in accordo con la Normativa vigente sopra richiamata, le dichiarazioni EPD (Environmental Product Declaration) atte a certificare, tra le altre cose, il contenuto minimo di acciaio da riciclo presente nella fornitura e il contributo dei singoli componenti sull'impatto ambientale complessivo del prodotto "cradle-to-grave". Saranno pertanto scelti materiali che abbiano il minore impatto possibile sull'ambiente. Questo approccio, stabilito dalla Commissione Europea con l'acronimo GPP (Green Public Procurement) favorisce l'applicazione di politiche atte a sviluppare un'economia circolare supportando le Amministrazioni della razionalizzazione di acquisti e consumi incrementando la qualità ambientale delle proprie forniture e affidamenti. Le fasi costruttive dell'intera infrastruttura sono state studiate nel rispetto del contesto ambientale e nella minimizzazione degli effetti del cantiere su flora e fauna. Per quanto riguarda il ponte sono state individuate tecniche di montaggio e varo innovative ancorchè collaudate in altre opere, che puntano a ridurre notevolmente i tempi del cantiere garantendo un'elevata protezione dell'ambiente. Alcune di queste soluzioni sono relative all'impiego di tecniche di prefabbricazione degli elementi principali del ponte come, ad esempio, per la costruzione dell'arco inferiore della campata centrale. Tali elementi sono stati concepiti come dei casseri a perdere varati mediante torri temporanee (per una trattazione di dettaglio si rimanda agli elaborati grafici) la cui costruzione avviene interamente in stabilimento. In questo modo viene spostata una importante parte di attività dal cantiere al sito di prefabbricazione, all'interno del quale la gestione ambientale risulta decisamente più controllabile e mitigata. L'uso di una progettazione sviluppata interamente in ambiente BIM, mediante l'uso dei più moderni software ed hardware in campo architettonico, strutturale, stradale, impiantistico ed idraulico, consente di controllare in modo preciso tutte le fasi della costruttive e di pianificare al meglio l'attività di cantiere a tutto vantaggio della riduzione dell'impatto ambientale della costruzione. L'uso di tecnologia BIM potrà essere esteso fino alle lavorazioni del cantiere sfruttando i più recenti sviluppi della ricerca tecnologica nel campo del "Mixed Reality". Attraverso tale sistema, il processo costruttivo sarà nettamente più efficiente dato che l'operatore potrà, in tempo reale, condurre attività come ad esempio: controllo del modello BIM, simulazione delle fasi costruttive, formazione del personale, gestione delle attività in 3D direttamente sul punto di costruzione grazie alla precisa georeferenziazione del modello, verifica dell'installazione. Una volta sviluppato il processo produttivo secondo il protocollo BIM gestito in "Mixed Reality", la S.A. disporrà di uno strumento estremamente potente per la pianificazione e gestione dell'intera opera durante tutto il suo ciclo di vita e di dismissione all'interno quindi di un sistema di economia circolare. Relativamente alle lavorazioni stradali si descrivono in dettaglio le soluzioni proposte ai fini del raggiungimento dell'obiettivo indicato nel DIP. Si pone in evidenza che il progetto stradale, prevede il più ampio utilizzo dei materiali provenienti dagli scavi, nonché l'impiego di tecniche efficaci di miglioramento delle caratteristiche di resistenza di sottofondi in situ, riducendo così al massimo sia gli apporti da cava che i conferimenti a discarica. Il perseguimento di tale obiettivo sarà intrapreso mediante le seguenti tecniche costruttive: **A)** Stabilizzazione a calce del piano di posa dei rilevati. Questa tecnica garantisce il passaggio dalla classificazione di terreni in situ, originariamente associabili alla tabella CNR UNI 10006 alle categorie A4÷A6 verso i terreni associabili alle categorie A2-5 ÷ A2-7, proprie delle terre granulari utilizzate per i rilevati stradali, grazie ad un significativo incremento del Modulo Elastico (M), necessario alla funzione di sottofondo del corpo del rilevato stradale. Al fine di garantire la migliore miscela stabilizzante, il progetto prevedrà una serie di campi prova nei quali sarà applicata una diversa % di Calce (variabile tra il 2,0, 2,5 e 3,0 %) in modo da poter valutare l'effettivo raggiungimento dei valori di M anche attraverso la successione delle curve sforzo/deformazione derivanti dalle prove CBR e carico su piastra nei tre siti di campo-prova. **B)** Utilizzo di materiale riciclato da demolizione per la realizzazione della bonifica al di sotto del piano di campagna, in sostituzione dello strato vegetale asportato. A parità di spesa, questa tecnica, permette l'adozione di spessori maggiori, rispetto al materiale proveniente da cava, ovvero, a parità di spessori dello strato di bonifica, questa tecnica permette un risparmio significativo, valutabile intorno al 20% del costo del materiale. Inoltre l'impiego di materiale di origine riciclata permette l'allungamento della vita utile dello stesso e la riduzione di consumo di risorse non rinnovabili. **C)** Utilizzo di strato di base della pavimentazione stradale, con la tecnica del conglomerato bituminoso, cosiddetto "schiumato", che consiste nella stesa di un conglomerato la cui componente inerte è costituita da asfalto fresato proveniente da altre pavimentazioni stradali, l'aggiunta di emulsione bituminosa al 3,5 % e cemento all' 1,5 %. Questa tecnica per lo strato di base (quello posto alla quota più inferiore dei tre strati di pavimentazione), garantisce un Modulo Elastico di elevato livello ed è realizzabile a costi non superiori a quello tradizionale. Il riciclaggio a freddo del conglomerato bituminoso rappresenta sempre di più una valida alternativa alle tradizionali tecniche di costruzione offrendo apprezzabili vantaggi dal punto di vista ambientale (uso di materiali di risulta e riduzione di emissioni in atmosfera) ed economico (riduzione dei consumi energetici), senza comportare alcuna difficoltà in fase realizzativa. **D)** Integrazione dei dispositivi idraulici di permeabilità del rilevato con la funzione di "attraversamenti faunistici". L'ampia fascia esondabile presente in questo tratto di valle del fiume Arno, necessita di una elevata permeabilità del rilevato stradale; tale permeabilità è intesa solo ai fini idraulici, ma anche nei confronti della fauna migratoria, che potrà attraversare il corpo del rilevato utilizzando gli stessi cavi, che lo renderanno permeabile nelle fasi di piena. La sistemazione a terra dei cavi sarà differenziata nel caso che intenda garantire il passaggio alla fauna terrestre (nei tratti più distanti dalla sponda, ovvero la fauna anfibia, nei tratti più vicini alla sponda. Si tratta, in questo caso di un intervento ambientale a tutela della fauna, nel mantenimento dei propri flussi migratori, ma anche in termini di sicurezza stradale in quanto non induce la fauna stessa all'attraversamento a livello della carreggiata. **E)** disposizione di un sistema di filtraggio biologico degli sversamenti accidentali costituito da due vasche di prima pioggia, una per ciascun lato dell'alveo del fiume Arno, che consentono la raccolta delle acque di piattaforma, e, se queste dovessero contenere componenti viscosi (oli, benzene, kerosene, gasolio) la superficie della vasca ne tratterebbe il contenuto in saturazione della propria permeabilità. Successivamente allo sversamento accidentale, l'invaso sarà bonificato con il trasporto a rifiuto del solo strato filtrante. Si tratta di un sistema a doppia vasca, con la prima a fondo stagno e funzione di sedimentazione, collegate da uno sfioro di filtrazione verticale che pone in collegamento la prima con la seconda vasca che è costituita da un bacino su litologia drenante. Questo sistema garantisce la salvaguardia della falda del fiume Arno nel caso di possibili sversamenti accidentali sulla piattaforma stradale, con significativo beneficio per l'ambiente senza costi di realizzazione e manutenzione significativi. **F)** Utilizzo di barriere di sicurezza in legno lamellare in luogo di quelle tradizionali in acciaio zincato, che permettono sia un migliore inserimento paesaggistico che impiego di risorse rinnovabili con un maggiore LCA e con ciclo produttivo a bassa emissione di CO₂.

Obiettivo: Contenimento dei costi e dei tempi realizzativi delle opere.

Risposta: Il contenimento dei costi e dei tempi realizzativi delle opere è uno degli obiettivi perseguiti dalla proposta progettuale. Relativamente al contenimento dei tempi di cantiere, l'uso di tecniche di prefabbricazione permette di pianificare in anticipo la produzione e di portare a termine parte delle lavorazioni all'interno di un ambiente controllato e con una logica produttiva standardizzata, senza impatti con le lavorazioni in corso presso il cantiere. Il fatto di avere il controllo dell'intero ciclo produttivo tramite piattaforma BIM consente di pianificare "a monte" interventi mirati per risolvere potenziali criticità del processo di costruzione. Il controllo migliore attuato tramite l'aiuto di piattaforme software ed hardware all'avanguardia si traduce quindi in una pianificazione più efficiente e quindi ad una riduzione di tempi e costi. Oltre alla qualità della pianificazione garantita dall'alta professionalità del personale e dalla dotazione di sistemi informatici all'avanguardia, l'ipotesi di ponte integrale è priva di componenti quali appoggi e giunti stradali, ne consegue che i costi di costruzione, controllo e manutenzione siano di fatto eliminati con un notevole risparmio nel bilancio globale dell'opera.

Per quanto riguarda il progetto stradale, il contenimento dei costi di realizzazione viene perseguito mediante l'ampio impiego di materiali riciclati come descritti nella documentazione tecnica prodotta, i cui prezzi sono ormai tabellati nei prezziari ufficiali delle Regioni italiane e nell'elenco prezzi ufficiale Anas, sia nelle nuove costruzioni che nei prezziari delle manutenzioni. A titolo di esempio, si riporta che l'inerte riciclato per i sottofondi e per i drenaggi ha un costo di circa il 20% inferiore rispetto a quello del corrispondente materiale proveniente da cava. Uno strato di base in conglomerato bituminoso riciclato da scarifica e fresatura, ha un costo medio di circa il 15% in meno del corrispondente strato di base con inerti provenienti da cava. Un significativo vantaggio in termini di contenimento dei tempi di realizzazione è fornito dalla scelta progettuale di attivare una prima pista di cantiere in coincidenza del sedime stradale, costituita dallo strato di bonifica, che permetterà di risparmiare i tempi realizzativi di una pista di cantiere in affiancamento, la quale poi andrebbe peraltro ri-naturalizzata. Lo schema del cantiere siffatto sarebbe così maggiormente endogeno l'intervento e la percorrenza dei mezzi avverrebbe sugli strati del corpo stradale, dapprima a livello di piano campagna (per la realizzazione delle fondazioni e delle spalle del ponte, e successivamente, alle maggiori quote di rilevato, permetterebbe di alimentare la logistica delle fasi di varo del cassero in acciaio e del successivo getto grazie alla quota altimetrica vantaggiosa. In sostanza, durante l'esecuzione delle fondazioni, il piano di posa del rilevato (estradosso del volume di bonifica), permetterà il transito dei mezzi d'opera alla stessa quota del piano di campagna, senza necessitare di piste di cantiere parallele che comporterebbero importanti e costose aree di occupazione temporanea. Durante l'esecuzione della piattaforma stradale, la pista di cantiere coinciderà con il piano di posa della fondazione stradale, posto ad un'altezza prossima a quella stessa dell'impalcato. Una breve rampa provvisoria metterà in collegamento il piano di campagna con la sommità del corpo di rilevato. Questa scelta evita la fase di occupazione temporanea di piste di cantiere lunghe su terreno agricolo ed allagabile, che potrebbe comportare costi elevati, e perditempi nelle fasi realizzative.

Obiettivo: Indicazione degli elementi utili a consentire, in sede di adeguamento delle previsioni urbanistiche, la stesura della relazione richiesta dalla normativa del *Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini idrografici del fiume Arno* per la realizzazione di infrastrutture viarie nella specifica zona di pericolosità idraulica.

Risposta: Per quanto concerne gli aspetti legati all'assetto idrogeologico, sono stati prodotti dei modelli idraulici molto elaborati, su cui sono state eseguite analisi, sia monodimensionali che bidimensionali, grazie alle quali è stato possibile estrapolare dei dati in *output* molto dettagliati ed utili, in futuro, per l'amministrazione locale e gli enti competenti in materia (es. Autorità del Bacino del Fiume Arno) che potranno così recepirli per l'aggiornamento degli strumenti vincolistici ed urbanistici.

Il modello idraulico e le caratteristiche procedurali delle analisi eseguite sono dettagliatamente descritte nella Relazione Tecnico-Descrittiva; per quanto riguarda i risultati ottenuti, invece, è bene specificare il modo in cui tali elementi potranno agevolare le procedure di adeguamento delle previsioni urbanistiche legate all'area di progetto ed alle zone limitrofe. Gli output principali che sono stati prodotti sono quindi le mappe di allagabilità dello scenario "*do nothing*" e di quello di *progetto*, ottenute sia per eventi di piena con tempo di ritorno di 30 anni che di 200 anni. Queste mappe, sono state sovrapposte agli strumenti di regolazione del territorio, alle carte di vincolo ed a quelle dei rischi, come ad esempio la carta del PGRA (Piano di Gestione Rischio Alluvioni) rendendo dunque il confronto tra lo scenario "*do nothing*" e quello di *progetto* di facile ed immediata interpretazione, anche grazie alla georeferenziazione del modello idraulico (e dunque dei conseguenti output). Altro elemento importante, è che il modello idraulico qui proposto risulta essere "*intelligente*" in quanto offre la possibilità, nel caso in cui sia necessario, di estrapolare altri dati rilevanti, come ad esempio la *velocità del deflusso delle acque* o l'*altezza del battente idraulico* in vari punti dell'area simulata.

Inoltre, per rendere coerente l'analisi dello scenario di progetto con quelle passate e future eseguite dagli enti competenti, la topografia del bacino è stata geometrizzata partendo dai dati cartografici pubblici Lidar, i quali presentano un grado di dettaglio molto elevato (punti quotati con maglie 1x1 m ovvero 2x2 m), nei quali è stata inserita la geometrizzazione del nuovo rilevato, provvisto di *culvert* metallici trasversali per la permeabilità idraulica, corredati di sistemi antiersivi appositi.

DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI



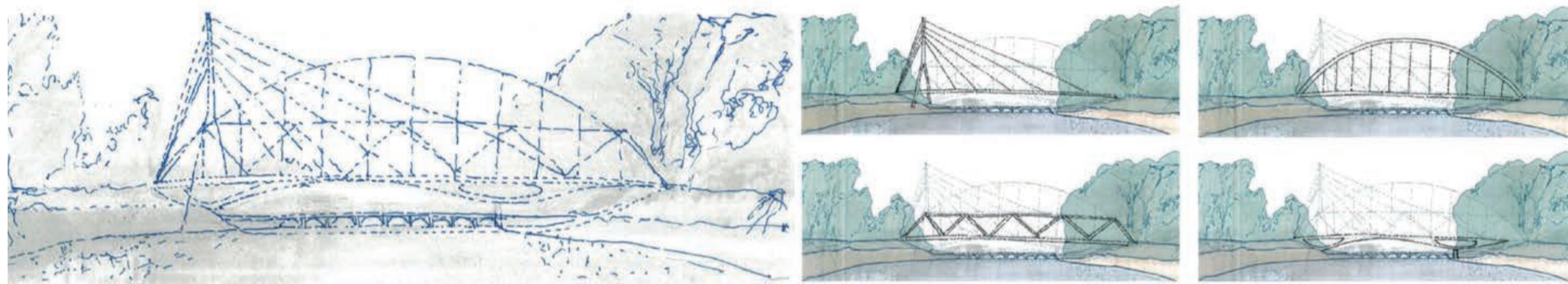
La proposta progettuale nasce come sintesi di una molteplicità di valutazioni di tipo storico/culturale, sociale, ambientale, compositivo, strutturale e idraulico. Il corso dell'Arno è la culla di una straordinaria antologia di ponti dominata dalla presenza della tipologia "ad arco", testimone dell'evoluzione delle tecniche costruttive e dei materiali da costruzione, interprete della cultura del proprio tempo e massima espressione del sapere. In un contesto simile è imprescindibile la lettura specifica del *genius loci* caratterizzato dalla delicatezza ambientale del sito e dalla presenza silenziosa e grandiosa del ponte storico di Buriano. Il nuovo ponte deve mostrare consapevolezza del luogo ed inserirsi "in punta di piedi", in modo perfettamente naturale nel sito di progetto, nelle forme, nei materiali e nei cromatismi. Tale peculiarità non rappresenta motivo di rinuncia all'espressione di contenuti tecnico-formali propri dello Stato dell'Arte di cui il ponte è sempre autorevole interprete.



La lettura del luogo e la presenza storica delle forme "ad Arco" lungo il corso dell'Arno sia nel contesto ambientale che nel panorama dei Ponti

Le alternative progettuali sono state valutate tramite analisi SWOT. Con riferimento ai risultati qualitativi dell'analisi ed in ragione dei criteri di valutazione delle soluzioni progettuali del bando di gara, a seguire una tabella riepilogativa a matrice del "valore" degli aspetti progettuali dove viene assegnato un "peso" identificato da un colore. Valore **ALTO**, **MEDIO** e **BASSO**.

Di seguito un compendio di soluzioni progettuali analizzate per il ponte: soluzione strallata, ad arco a via inferiore e trave reticolare.



Sovrapposizione di possibili alternative

Diverse ipotesi progettuali

SWOT NUOVO PONTE					
	ALTERNATIVE	PUNTI FORTI	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
1	 Ponte strallato asimmetrico H=30m	Struttura leggera Impalcato snello Operazioni di montaggio snelle in avanzamento da spalla sx	Scarsa trasparenza complessiva Tipologia aliena dal contesto Mancato dialogo formale con ponte storico	Introduzione di una nuova tipologia strutturale nel contesto Minimizzazione del numero di stralli per evitare l'effetto «quinta» data la presenza del ponte storico	Impatto visivo elevato Possibile effetto «quinta» degli stralli con oscuramento della vista sul ponte storico Manutenzione elevata anche legata alla deformabilità strutturale
2	 Ponte ad arco a via inferiore H=20m	Struttura leggera Impalcato snello	Scarsa trasparenza complessiva Operazioni di montaggio impegnative con varo a spinta o attrezzature in alveo	Minimizzazione del numero di stralli per evitare l'effetto «quinta» vista la presenza del ponte storico	Impatto visivo elevato Possibile effetto «quinta» degli stralli con oscuramento della vista sul ponte storico
3	 Ponte reticolare a via inferiore simmetrica H all'intradosso 10m	Struttura semplice ed economica	Estetica penalizzante Operazioni varo con attrezzature presenti in alveo Mancato dialogo formale con il ponte storico	Minimizzazione del budget allocato per la costruzione del ponte	Impatto visivo elevato Probabile effetto «quinta» con oscuramento della vista sul ponte storico
4	 Ponte ad arco-trave a via superiore asimmetrico	Forte integrazione nel contesto e dialogo con il ponte storico Semplicità di montaggio Assenza virtuale di manutenzione nella configurazione «integrale» di progetto	Necessità di un attento e approfondito studio di trasparenza idraulica	Possibilità di eliminare appoggi strutturali e giunti di dilatazione ottenendo una soluzione a «ponte integrale» Minimizzazione degli impatti visivi della nuova opera	Aumento del rischio idraulico in assenza di un attento e approfondito studio di trasparenza idraulica

Indicatore	Descrizione	TIPOLOGIA PONTE			
		1 Strallato	2 Arco a via inferiore	3 Reticolare	4 Arco-trave a via superiore
		Valore			
1	Pregio Architettonico e inserimento nel contesto storico ambientale del luogo				
2	Compatibilità Ambientale				
3	Efficienza strutturale				
4	Durabilità, sostenibilità, aspetti manutentivi				
5	Semplicità realizzativa relativamente alle fasi di varo				
6	Tempistiche realizzative, interferenze con le dinamiche fluviali				
7	Costo di costruzione				
8	Costi di gestione				
	Totale in prevalenza di indicatore colorimetrico				

L'indicatore complessivo restituito dalla matrice generata sulla sintesi delle componenti presenti nell'analisi SWOT evidenzia favorevolmente una soluzione progettuale in grado di massimizzare il peso dei valori degli indicatori **1, 2, 4, 6, 8**.

La soluzione 4 ponte ad arco-trave a via superiore con schema statico "integrale", **risulta essere in fase di analisi preliminare delle alternative progettuali la più adeguata ai requisiti espressi dal Bando di Gara.**

SWOT TRACCIATO STRADALE					
	ALTERNATIVE	PUNTI FORTI	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
1	Tracciato a base di gara Ramo Sud	Maggiore sviluppo del rettilineo prossimo alla spalla Sud del ponte	Elevata deflessione con limitazione del livello di servizio Peggior livello di frazionamento dei suoli agricoli Minore visibilità in prossimità delle piazzole di emergenza	Migliore possibilità di sorpasso nel rettilineo	Superamento della velocità di progetto in rettilineo
2	Tracciato proposto Ramo Sud	Migliore livello di servizio Migliore allineamento del rilevato all'orientamento dei filari arborei Migliore visibilità in prossimità delle piazzole di emergenza	Maggiore difficoltà a effettuare manovre di sorpasso	Mantenimento della velocità costante ed omogenea	



Tracciato base gara

Tracciato proposto

Piazzole emergenza

La proposta progettuale garantisce un andamento planimetrico prossimo ai filari arborei della vegetazione ripariale e, mantenendo raggi di curvatura maggiori, garantisce un migliore livello di servizio con la minima variazione della velocità

Indicatore	Descrizione	TRACCIATO STRADALE	
		Tracciato a base di gara Ramo Sud	Tracciato proposto Ramo Sud
		Valore	
1	Rispetto norme strade C1		
2	Impatto sui frazionamenti del tessuto agrario		
3	Livello di servizio		
4	Visibilità in curva e inserimento piazzole		
	Prevalenza di indicatore colorimetrico		

L'indicatore complessivo restituito dalla matrice generata sulla sintesi delle componenti presenti nell'analisi SWOT evidenzia favorevolmente una soluzione progettuale in grado di massimizzare il peso di tutti i valori associati agli indicatori.

SWOT - APPROCCIO PONTE					
	CARATTERISTICHE ALTERNATIVE CONSIDERATE	PUNTI FORTI	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
1	Approccio al ponte con manufatti a più campate	Struttura industrializzabile Massima trasparenza idraulica in condizioni di piena Operazioni di montaggio snelle e tradizionali	Elevata rigidità compositiva Tempi lunghi di esecuzione delle fondazioni Mancato dialogo formale con il ponte storico Necessità manutentive sugli appoggi Costi elevati	Possibile riduzione del numero dei giunti Possibile forma fluido dinamica delle pile	Impatto visivo elevato Necessità manutentive sugli appoggi Esigenze manutentive legate alla presenza di giunti Rapido invecchiamento dell'opera con degrado paesaggistico
2	Rilevati di approccio dotati di <i>culvert</i>	Centralità della componente ponte rispetto all'alveo dell'Arno Composizione <i>naturomorfa</i> dei rilevati di approccio in approccio alle sponde Garanzia del franco idraulico di normativa	Necessità di un attento e approfondito studio di trasparenza idraulica Possibili fasi di piena centennale che ingenerino la bagnatura dei profili più bassi dell'arco Costi contenuti	Utilizzo degli attraversamenti idraulici come attraversamenti faunistici Minimizzazione dell'impatto visivo nelle fasce retrostanti alle sponde e rinaturazione delle scarpate Velocità esecutiva	Rischio idraulico in assenza di un attento e approfondito studio di trasparenza idraulica Possibile interferenza tra le tubazioni ed eventuali corpi galleggianti (TR 100 anni)

La proposta progettuale con rilevato con culvert è stata integrata con una approfondita simulazione idraulica che ne ha confermato la trasparenza.

Indicatore	Descrizione	APPROCCIO PONTE	
		1 Approccio al ponte con manufatti a più campate	2 Rilevati di approccio dotati di culvert
		Valore	
1	Inserimento paesaggistico		
2	Compatibilità Ambientale		
3	Efficienza idraulica (Ottenimento trasparenza idraulica)		
4	Durabilità e sostenibilità, aspetti manutentivi		
5	Semplicità realizzativa		
6	Manutenzione		
7	Costo di costruzione		
Prevalenza di indicatore colorimetrico			

L'indicatore complessivo restituito dalla matrice generata sulla sintesi delle componenti presenti nell'analisi SWOT evidenzia favorevolmente una soluzione progettuale in grado di massimizzare il peso dei valori degli indicatori 1, 2, 4, 5, 6, 7.

SWOT FONDAZIONI PONTE					
	SOLUZIONI VALUTATE	PUNTI FORTI	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
1	Fondazione profonda in pali in c.c.a. Profondità di intervento: >50 m	Indipendenza delle sollecitazioni dagli strati limo-argillosi sovrastanti Cedimenti assoluti dell'opera di attraversamento molto limitati Indipendenza dei cedimenti dall'avanzamento dell'erosione	Necessità utilizzo di fanghi bentonici a causa della falda Cantierizzazione lunga e complessa Necessità di prove di integrità Necessità di pali «sacrificali» per le prove di carico Necessità di sistemi antierosivi Movimentazione di elevati volumi di scavo		Necessità utilizzo di fanghi bentonici a danno della falda Cantierizzazione lunga e complessa Necessità di prove di integrità Necessità di pali «sacrificali» per le prove di carico Necessità di sistemi antierosivi Movimentazione di elevati volumi di scavo
2	Fondazione superficiale in platea in c.c.a. Profondità di posa: >2,00 m	Omogeneità di cedimenti del ponte rispetto al rilevato Semplicità esecutiva Costo contenuto Elevata compatibilità ambientale Contenimento dei volumi di scavo Possibile contemporaneità con altre lavorazioni in prossimità alveo	Necessità di sistemi antierosivi efficaci in argine Tempi di precarico	Prove di carico economiche ed affidabili (senza sorprese) Rimodulabilità degli interventi in caso di necessità I tempi di precarico potrebbero essere utilizzati per la formazione del rilevato.	Rischio di cedimenti significativi in assenza di indagini approfondite Rischio di scalzamento in fasi erosive impreviste

Indicatore	Descrizione	FONDAZIONE PONTE	
		1 Fondazione profonda in pali	2 Fondazione superficiale a platea
		Valore	
1	Semplicità esecutiva		
2	Impatti ambientali		
3	Test accettazione		
4	Tempistiche di cantiere		
Prevalenza di indicatore colorimetrico			

SWOT SCELTE TECNOLOGICHE					
	SOLUZIONI ADOTTATE	PUNTI FORTI	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
1	Corpo stradale utilizzo di stabilizzazione a calce in situ del piano di posa dei rilevati e impiego di materiali riciclati ad elevato LCA	Minore utilizzo di risorse non rinnovabili Rapidità di applicazione dei nuovi carichi Maggiore profondità di bonifica a parità di costo	Non lavorabilità in caso di maltempo L'appaltatore deve possedere il know-how adeguato Necessità di sviluppare un elevato livello conoscitivo dei materiali riciclati	Riduzione degli apporti e conferimenti a discarica Riutilizzo di volumi di scavo provenienti dalle fondazioni del nuovo ponte per la preparazione di sottofondi stabilizzati a calce	Rischio di errore nella miscelazione di calce con la necessità di ripetere il mix-design
2	Pavimentazione stradale utilizzo dello strato di base in «bitume schiumato» con inerte proveniente da fresatura di altre pavimentazioni stradali, con aggiunta di emulsione bituminosa e cemento	Minore utilizzo di risorse non rinnovabili Maggiore modulo elastico dello strato di base Maggiore spessore del pacchetto di pavimentazione Migliore aderenza con lo strato di binder soprastante	L'appaltatore deve possedere il know-how adeguato Necessità di sviluppare un elevato livello conoscitivo dei materiali riciclati	Riduzione degli apporti e conferimenti a discarica Riutilizzo di volumi conglomerato fresato direttamente dalle superfici pavimentate da rimodulare in corrispondenza delle intersezioni Nord e Sud	Rischio di errore nel mix-design con la eventuale necessità di ripetere il mix-design
3	Rotatoria Sud forma ovoidale dell'anello che permette l'alimentazione ben distribuita degli assi stradali convergenti e degli accessi privati ad esso prossimi	Idoneo distanziamento tra i rami di ingresso Sufficiente sviluppo longitudinale per la distribuzione dei flussi Compensazione del dislivello naturale tra la S.P. 1 e la via Quarata 2		Forte caratterizzazione dell'arredo o rinaturalizzazione dell'interno dell'anello Messa in sicurezza degli accessi privati	Errata percezione da parte dell'utenza della curvatura a raggio variabile se percorsa a velocità elevate

A valle delle analisi condotte risulta che le soluzioni progettuali adottate corrispondano al meglio ai requisiti del Bando di Gara.

STIMA ECONOMICA

1. PREMESSA	1
2. CALCOLO SOMMARIO DI SPESA	1
2.1. Valori di costo a base di gara.....	1
2.2. Metodologia operativa	1
2.3. Descrizione voci del preventivo sommario di spesa.....	2
2.4. Valore di costo del progetto diviso per categorie.....	3
2.5. Valore di costo di progetto diviso per opera	4
3. COSTI DI GESTIONE	11
3.1. Costi di controllo	11
3.2. Costi di manutenzione	12



1. PREMESSA

L'obiettivo del concorso di progettazione è l'individuazione della migliore proposta tecnica che permetta la futura realizzazione della viabilità alternativa in sostituzione del ponte storico di Buriano.

Il Disciplinare di gara richiede la stima economica delle principali categorie dei lavori previste per la realizzazione del progetto.

Lo scopo di questo documento è quello di fornire evidenza della coerenza della stima dei costi con le soluzioni proposte e la congruità della stessa con l'importo previsto a base di gara.

A tal proposito sono state condotte stime accurate relativamente alle voci di spesa che compongono la proposta progettuale. In aggiunta alla valutazione dei costi di costruzione è stata predisposta un'analisi dei costi di gestione e manutenzione lungo il ciclo di vita dell'opera per la determinazione del costo complessivo "cradle-to-grave".

La stima del costo è stata fatta partendo dalla suddivisione in categorie indicate nel disciplinare di gara (strutture, viabilità ed impianti) ed, all'interno di ciascuna di esse sono state individuate le voci di spesa che componenti la proposta progettuale.

2. CALCOLO SOMMARIO DI SPESA

2.1. Valori di costo a base di gara

Il disciplinare di gara indica come costo stimato per la realizzazione dell'opera 8.930.000,00 €, comprensivo di oneri per la sicurezza, ripartiti in base alle categorie dei lavori secondo il D.M. 17 giugno 2016 come da seguente tabella:

S.06	V.01	V.02	IA.04
4.250.000,00 €	1.045.000,00 €	3.515.000,00 €	120.000,00 €

2.2. Metodologia operativa

La stima dei costi relativa alla presente proposta si è sviluppata attraverso la suddivisione degli interventi nelle quattro categorie omogenee di opere previste dal Bando ovvero **S.06** - Strutture, **V.01** – manutenzione su viabilità ordinaria, **V.02** - Viabilità ordinaria, **IA.04** – Impianti elettrici e speciali. All'interno di ciascuna categoria sono state individuate le voci di spesa relative alle lavorazioni individuate per la realizzazione dell'opera. Al fine dell'attribuzione dei prezzi unitari si è fatto riferimento per quanto più possibile al prezzario della Regione Toscana - pertinenza della provincia di Arezzo aggiornato per l'anno 2021. Per le voci non incluse nel prezzario si è proceduto all'analisi dei nuovi prezzi utilizzando i costi elementari per materiali, manodopera noli e trasporti del prezzario Regione Toscana e, ove necessario, prezzi di lavorazioni da altri prezzari affini e/o prezzi da ricerca di mercato. Di seguito viene fatta una descrizione sintetica dei contenuti delle voci che compongono le categorie di intervento.

2.3. Descrizione voci del preventivo sommario di spesa

S.06 – Strutture

STR.01 Opere di fondazione, spalle e pila	Opere di fondazione, spalle e pila: vengono prese in considerazione le opere per la realizzazione delle nuove fondazioni, oltre all'impianto di cantiere e gli apprestamenti necessari alle lavorazioni in ambito fluviale ed il consolidamento del terreno.
STR.02 Opere provvisionali per il montaggio	Opere provvisionali per il montaggio: vengono considerati i costi delle torri temporanee per il calaggio del cassero metallico della campata centrale, i noli dei mezzi meccanici per la movimentazione ed installazione dei casseri.
STR.03 Archi inferiori	Archi inferiori: vengono considerati costi dei casseri metallici speciali, compresa zincatura e verniciatura, utilizzati per il getto degli archi e delle parti in elevazione delle campate, il calcestruzzo per il getto compreso di additivi pigmentanti per le parti verticali e l'acciaio di armatura.
STR.04 Soletta	Vengono considerati i costi dei casseri metallici utilizzati nelle parti a vista, compresa zincatura e verniciatura, il calcestruzzo per il getto compreso di additivi pigmentanti per le parti verticali e l'acciaio di armatura.
STR.05 Opere complementari	Vengono considerati i costi del pacchetto stradale, compreso di impermeabilizzazione, massetto di pendenza, binder (sp. 8cm) e strato di usura (sp. 4cm), il sistema di raccolta ed allontanamento delle acque di piattaforma, il parapetto metallico utilizzato per il passaggio degli impianti con relative ispezioni, le opere di installazione delle tubazioni per la permeabilità idraulica/passaggi faunistici, le opere di ripristino ambientale da effettuarsi al termine della costruzione dell'opera.

V.01 e V.02 – Viabilità

VIA.01 – Opere in terra	Nella stima vengono considerate tutte le lavorazioni relative alla gestione delle terre necessarie per a costruzione dei nuovi rilevati stradali e degli adeguamenti dell'esistente (sterri, riporti) al netto delle sovrastrutture stradali comprensivo delle sistemazioni a verde.
VIA.02 - Pavimentazioni e fondazioni stradali	Vengono computati i pacchetti di fondazione stradale e pavimentazione come descritti all'interno della relazione tecnico-descrittiva.
VIA.03 - Barriere di sicurezza	Vengono computate le barriere di sicurezza dell'intero progetto che sono di tipo in legno ed acciaio a 2 fasce classe H2 - bordo laterale, compresa la barriera del ponte.
VIA 04 - Idraulica di piattaforma e segnaletica	Vengono computate i sistemi di raccolta ed allontanamento acqua dalle piattaforme stradale (escluso il ponte, computato in apposita sezione STR.05) compresi gli impianti di fitodepurazione, embrici, fossi di guardia e la segnaletica stradale dell'intero progetto realizzata secondo le disposizione normative del Codice della Strada.

IA.04 – Impianti

IMP.01 - Impianto di illuminazione	vengono computati gli impianti di illuminazione realizzati esclusivamente sulle intersezioni e sullo sviluppo del ponte.
IMP.02 - Impianto di monitoraggio	viene computato il sistema di monitoraggio descritto all'interno della relazione tecnico-descrittiva.

2.4. Valore di costo del progetto diviso per categorie

Cat.	Cod.	DESCRIZIONE	Importo [€]	%
S.06	STR.01	Opere di fondazione, spalle e pila	953.223,61	10,84%
	STR.02	Opere provvisorie per il montaggio	410.990,00	4,68%
	STR.03	Archi inferiori	1.879.483,24	21,38%
	STR.04	Soletta	432.436,99	4,92%
	STR.05	Opere complementari (pav.stradale, parapetti e finiture)	393.129,00	4,47%
		Totale esclusi oneri sicurezza	4.069.262,84	46,29%
		Oneri sicurezza (3%)	122.077,89	1,39%
	STR.	Totale strutture	4.191.340,73	47,68%
V.01	VIA.01	Opere in terra	235.357,50	2,68%
	VIA.02	Pavimentazioni e fondazioni stradali	287.511,84	3,27%
	VIA.03	Barriere di sicurezza	102.960,00	1,17%
	VIA.04	Idraulica di piattaforma e segnaletica	34.000,16	0,39%
		Totale esclusi oneri sicurezza	659.829,50	7,51%
		Oneri sicurezza (4%)	19.794,89	0,23%
	VIA.	Totale viabilità	679.624,39	7,73%
V.02	VIA.01	Opere in terra	2.589.679,00	29,46%
	VIA.02	Pavimentazioni e fondazioni stradali	603.944,88	6,87%
	VIA.03	Barriere di sicurezza	385.110,00	4,38%
	VIA.04	Idraulica di piattaforma e segnaletica	68.735,62	0,78%
		Totale esclusi oneri sicurezza	3.647.469,50	41,49%
		Oneri sicurezza (4%)	109.424,09	1,24%
	VIA.	Totale viabilità	3.756.893,59	42,74%
IA.04	IMP.01	Impianto di illuminazione	132.687,50	1,51%
	IMP.02	Impianto di monitoraggio	25.000,00	0,28%
		Totale esclusi oneri sicurezza	157.687,50	1,79%
		Oneri sicurezza (4%)	4.730,63	0,05%
	IMP.	Totale impianti	162.418,13	1,85%
	COSTI TOTALI	8.790.276,84	100%	

Il valore di costo finale della proposta progettuale risulta pari a **8.790.276,84 €**, inferiore alle stime di costo contenuta nel Bando, con uno scostamento da esso dello **1.56%**.

2.5. Valore di costo di progetto diviso per opera

Ponte

OPERE DI FONDAZIONE	Descrizione	Totale
Taglio piante	Taglio della vegetazione erbacea ed arbustiva fino al diametro di cm 15, sia in piano che su scarpate ...	240,00 €
	Taglio raso di piante di alto fusto di qualsiasi specie ed altezza, compreso la rimozione delle ceppaie... di diametro alla ceppaia misurato ad un metro da terra compreso tra cm 15 e cm 40	1.129,00 €
	Taglio raso di piante di alto fusto di qualsiasi specie ed altezza, compreso la rimozione delle ceppaie... di diametro alla ceppaia misurato ad un metro da terra superiore a cm 40	1.821,80 €
Scavi opere di fondazione	Scavo a larga sezione obbligata eseguito con mezzi meccanici, compreso accatastamento nell'ambito del cantiere, in terreni sciolti fino alla profondità di m 1,50	
		Spalla 1 12.384,81 €
		Spalla 2 6.730,88 €
	Scavo a larga sezione obbligata eseguito con mezzi meccanici, compreso accatastamento nell'ambito del cantiere, in terreni sciolti da m 1,50 fino alla profondità di m 3,00	
		Spalla 1 5.843,75 €
		Spalla 2 3.175,95 €
	SOVRAPREZZI da applicarsi alle voci scavi: per presenza di acqua sorgiva negli scavi a larga sezione obbligata con battente acqua maggiore cm. 20	
		Spalla 1 3.696,19 €
	Noleggio di palancole metalliche della lunghezza fino a 12 m con sezione a U , Z o piatte in acciaio, composte o a cassone, fino a 140 kg/mq, in acciaio S 235-S 275-S 355, nolo mensile	
		Spalla 1 40.824,00 €
INFISSIONE O ESTRAZIONE DI PALANCOLE METALLICHE di lunghezza fino a 12 m e peso compreso tra 75 kg/mq e 150 kg/mq,	213.091,20 €	
Rinterri e movimentazioni terra	Riempimento di scavi o buche eseguito con mezzi meccanici con materiale proveniente da scavi.	
		Spalla 1 3.977,82 €
		Spalla 2 2.556,74 €
	Carico movimentazione e scarico di materiali terrosi, sciolti o simili di qualsiasi natura e provenienza giacenti in cantiere eseguito con mezzi meccanici nell'ambito del cantiere	
		Spalla 1 3.114,77 €
	Spalla 2 1.282,18 €	
Consolidamento dei terreni	Consolidamento del terreno nelle zone di spalla con pali in ghiaia e pre-carico	55.000,00 €

OPERE DI FONDAZIONE	Descrizione	Totale
Fondazioni spalle	Conglomerato cementizio per magroni o getti non armati o debolmente armati classe di resistenza caratteristica C12/15	
	Basamento Spalla 1	9.927,77 €
	Basamento Spalla 2	5.022,28 €
	getto in opera di calcestruzzo ordinario, classe di esposizione ambientale XC3, esposto a corrosione da carbonatazione, per ambiente con umidità moderata classe di resistenza caratteristica C28/35 - consistenza S4	
	Basamento Spalla 1	122.927,59 €
	Basamento Spalla 2	50.602,72 €
	Casseri per opere di fondazione, plinti, travi rovesce	
	Basamento Spalla 1	4.623,14 €
	Basamento Spalla 2	2.348,81 €
	Fornitura e posa in opera di acciaio per cemento armato secondo le norme UNI in vigore barre presagomate ad aderenza migliorata (solo nell'ambito di progettazione preliminare)	
	Basamento Spalla 1	120.593,81 €
	Basamento Spalla 2	49.642,03 €
	getto in opera di calcestruzzo ordinario, classe di esposizione ambientale XC3, esposto a corrosione da carbonatazione, per ambiente con umidità moderata classe di resistenza caratteristica C28/35 - consistenza S4	
	Elevazione Spalla 1	61.570,16 €
	Elevazione Spalla 2	38.370,97 €
	Casseri per opere in elevazione travi, pilastri, solette, setti e muri	
	Elevazione Spalla 1	13.288,58 €
	Elevazione Spalla 2	9.161,51 €
	Fornitura e posa in opera di acciaio per cemento armato secondo le norme UNI in vigore barre presagomate ad aderenza migliorata (solo nell'ambito di progettazione preliminare)	
	Elevazione Spalla 1	68.454,75 €
Elevazione Spalla 2	41.820,40 €	
Totale opere di fondazione	953.223,61 €	

OPERE IN ELEVAZIONE	Descrizione	Totale
Strutture per montaggio	Nolo di torrini metallici per montaggio strutture impalcato	380.000,00 €
Gru	Nolo di Autogru autogrù semovente gommata con portata oltre 100 tonn, fino a t. 150 tonn.	30.990,00 €
	Totale opere provvisionali	410.990,00 €

OPERE IN ELEVAZIONE	Descrizione	Totale
ARCHI IMPALCATO	Casseri metallici s=16 mm con traliccio di irrigidimento	
	Cassero nervato metallico per arcata campata centrale - intradosso Lato pila	127.917,57 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata centrale - intradosso Lato chiave	46.894,48 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata centrale - sponde laterali inf lato pila	32.918,47 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata centrale - sponde laterali sup lato pila	32.638,67 €

OPERE IN ELEVAZIONE	Descrizione	Totale
ARCHI IMPALCATO	Cassero nervato metallico per arcata campata centrale - sponde laterali lato chiave	18.494,78 €
	Casseri metallici s=5 mm con traliccio di irrigidimento	
	Cassero nervato metallico per arcata campata laterale - intradosso Lato spalla 1	26.262,27 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata laterale - intradosso Lato pila 1	16.193,67 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata laterale - sponde inf Lato pila 1	5.178,62 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata laterale - sponde sup Lato pila 1	5.181,97 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata laterale - sponde Lato spalla 1	7.309,80 €
	Cassero nervato metallico per arcata campata laterale spalla 2	17.284,43 €
	Casseri metallici s=5 mm senza traliccio di irrigidimento	
	Cassero metallico interno per setto di collegamento tratto lato pila	12.087,90 €
	Cassero metallico interno per setto di collegamento tratto lato chiave	8.991,44 €
	Cassero metallico esterno per setto di collegamento tratto lato pila	16.500,59 €
	Cassero metallico esterno per setto di collegamento tratto lato chiave	20.909,21 €
	Casseri laterale lato spalla 1	25.396,80 €
	Casseri laterale lato spalla 2	11.233,20 €
	Zincatura di opere in ferro con trattamento a fuoco mediante immersione in vasche contenenti zinco fuso alla temperatura di circa 500 °C previo decappaggio, sciacquaggio e quanto altro necessario per ottenere un prodotto finito: lamiere e tubi di peso superiore a 80 kg	
	Cassero sp. 16 mm nervato metallico per arcate campata centrale	52.771,98 €
	Cassero sp. 5 mm nervato metallico per arcata campate laterali	14.641,66 €
	Cassero metallico per setto di collegamento	13.975,74 €
	Preparazione alla verniciatura di opere metalliche Sgrassaggio di superfici nuove ferrose e non ferrose con impiego di solvente	
	Cassero sp. 16 mm nervato metallico per arcate campata centrale	2.627,50 €
	Cassero sp. 5 mm nervato metallico per arcata campate laterali	1.637,62 €
	Cassero metallico per setto di collegamento	2.765,54 €
	Verniciatura di opere metalliche con pittura di fondo ai fosfati di zinco su superfici già preparate; per ogni strato applicato	
	Cassero sp. 16 mm nervato metallico per arcate campata centrale	4.107,78 €
	Cassero sp. 5 mm nervato metallico per arcata campate laterali	2.560,22 €
	Cassero metallico per setto di collegamento	4.323,60 €
	getto in opera di calcestruzzo ordinario, classe di resistenza caratteristica C40/50 - consistenza S4	
	Archi	364.809,90 €
	Sovrapprezzo per SCC (10%)	
	Archi	18.240,50 €
	sovrapprezzo per calcestruzzo colorato, classe di resistenza caratteristica C40/50 - consistenza S4	
	setto di collegamento impalcato	10.127,35 €
	Fornitura e posa in opera di acciaio per cemento armato secondo le norme UNI in vigore barre presagomate ad aderenza migliorata (solo nell'ambito di progettazione preliminare)	
	Archi	955.500,00 €
	Totale opere in elevazione	1.879.483,24 €

SOLETTA IMPALCATO	Descrizione	Totale
SOLETTA IMPALCATO	getto in opera di calcestruzzo ordinario, classe di resistenza caratteristica C40/50 - consistenza S4	
	Soletta + marciapiedi	111.313,79 €
	Sovrapprezzo per inerte diametro massimo 15 mm	
	Soletta	1.915,90 €
	Fornitura e posa in opera di acciaio per cemento armato secondo le norme UNI in vigore barre presagomate ad aderenza migliorata (solo nell'ambito di progettazione preliminare)	
	Soletta	218.662,50 €
	Casseri per opere in elevazione travi, pilastri, solette, setti e muri	
	Soletta tratto tipo 1	49.759,00 €
	Casseri metallici senza traliccio di irrigidimento	
	Soletta tratto tipo 2	41.514,00 €
	Zincatura di opere in ferro con trattamento a fuoco mediante immersione in vasche contenenti zinco fuso alla temperatura di circa 500 °C previo decappaggio, sciacquaggio e quanto altro necessario per ottenere un prodotto finito: lamiere e tubi di peso superiore a 80 kg	
	Soletta tratto tipo 2	6.177,80 €
	Preparazione alla verniciatura di opere metalliche Sgrassaggio di superfici nuove ferrose e non ferrose con impiego di solvente	
	Soletta tratto tipo 2	1.207,00 €
	Verniciatura di opere metalliche con pittura di fondo ai fosfati di zinco su superfici già preparate; per ogni strato applicato	
	Soletta tratto tipo 2	1.887,00 €
Totale soletta	432.436,99 €	

OPERE COMPLEMENTARI	Descrizione	Totale
Finiture	Applicazione di pittura protettiva epossidica bicomponente a base di resine epossidiche e catrame naturale	20.982,00 €
	Strato di collegamento (binder) in conglomerato bituminoso, steso con vibrofinitrice.... spessore compreso 6 cm	19.214,00 €
	Strato di collegamento (binder) in conglomerato bituminoso, steso con vibrofinitrice.... per ogni cm in più o in meno alla voce precedente	14.950,00 €
	Tappeto di usura in conglomerato bituminoso steso con vibrofinitrice..... Spessore finito compreso 3 cm	11.934,00 €
	Tappeto di usura in conglomerato bituminoso steso con vibrofinitrice..... per ogni cm in più o in meno alla voce precedente	3.445,00 €
	Giunto di dilatazione sottopavimentazione in Neoprene; s<50 mm	5.169,00 €
	Cunette per Smaltimento acque	15.210,00 €
	Parapetto in lamiera	302.225,00 €
Monitoraggio	Sistema di monitoraggio	25.000,00 €
Totale opere complementari		418.129,00 €

Totale lavori - Ponte	4.094.262,84 €
Oneri sicurezza	122.077,89 €
TOTALE PONTE	4.216.340,73 €

Opera viaria – Nuovo Ramo S.P. 1

Opere in terra			Importo
tratto	cod	note	[€]
rotatoria Sud	ade	rilevato tratto Sud	37.800,00
rotatoria Sud	ri3	rilevato tratto Nord-Est	34.485,00
rotatoria Sud	ri3	anello di rotatoria	130.680,00
rotatoria Sud	ade	SP 1 Esistente	34.200,00
rotatoria Sud	mod	aiuola centrale	14.850,00
asse principale tratto a Sud del ponte	ri5	intero tracciato	1.060.988,50
asse principale tratto a Nord del ponte	ri5	intero tracciato	445.588,00
rotatoria Nord	ade	adeguamento ramo Est SP 56 Esistente	19.057,50
rotatoria Nord	ri3	anello di rotatoria	89.842,50
rotatoria Nord	ade	adeguamento ramo Ovest SP 56 Esistente	25.650,00
rotatoria Nord	mod	aiuola centrale	11.137,50
adeguamento ramo attuale Quarata 2	ade	spostamento planimetrico	61.200,00
piazzole di sosta	ri3	intero tracciato	24.200,00
reticolo idrico di superficie	idro	dispositivi idraulici di attraversamento	600.000,00
Totale Lavori movimento terra			€ 2.589.679,00

Pavimentazioni e fondazioni stradali			Importo
tratto	cod	note	[€]
rotatoria Sud	pav3	rilevato tratto Sud	16.934,40
rotatoria Sud	pav3	rilevato tratto Nord-Est	15.321,60
rotatoria Sud	pav3	anello di rotatoria	43.545,60
rotatoria Sud	pav3	SP 1 Esistente	11.491,20
asse principale tratto a Sud del ponte	pav3	intero tracciato	149.577,12
asse principale tratto a Nord del ponte	pav3	intero tracciato	62.818,56
rotatoria Nord	pav3	anello di rotatoria	29.937,60
adeguamento ramo attuale Quarata 2	pav3	spostamento planimetrico	20.563,20
rotatoria Sud	foM	rilevato tratto Sud	11.289,60
rotatoria Sud	foM	rilevato tratto Nord-Est	10.214,40
rotatoria Sud	foM	anello di rotatoria	29.030,40
rotatoria Sud	foM	SP 1 Esistente	7.660,80
asse principale tratto a Sud del ponte	foM	intero tracciato	99.718,08
asse principale tratto a Nord del ponte	foM	intero tracciato	41.879,04
rotatoria Nord	foM	adeguamento ramo Est SP 56 Esistente	4.268,88
rotatoria Nord	foM	anello di rotatoria	19.958,40
rotatoria Nord	foM	adeguamento ramo Ovest SP 56 Esistente	5.745,60
adeguamento ramo attuale Quarata 2	foM	spostamento planimetrico	23.990,40
Totale pavimentazioni e fondazioni stradali			€ 603.944,88

Barriere di sicurezza			Importo
tratto	cod	note	[€]
rotatoria Sud	bar	rilevato tratto Sud	15.840,00
rotatoria Sud	bar	rilevato tratto Nord-Est	15.840,00
rotatoria Sud	bar	anello di rotatoria	-
rotatoria Sud	bar	SP 1 Esistente	11.880,00
asse principale tratto a Sud del ponte	bar	intero tracciato	233.640,00
asse principale tratto a Nord del ponte	bar	intero tracciato	91.080,00
rotatoria Nord	bar	anello di rotatoria	-
rotatoria Nord	bar	adeguamento ramo Ovest SP 56 Esistente	8.910,00
adeguamento ramo attuale Quarata 2	bar	spostamento planimetrico	7.920,00
Totale barriere di sicurezza			€ 385.110,00

Idraulica di piattaforma e segnaletica			Importo
tratto	cod	note	[€]
rotatoria Sud	segO	rilevato tratto Sud	1.056,00
rotatoria Sud	segO	rilevato tratto Nord-Est	1.056,00
rotatoria Sud	segO	anello di rotatoria	3.168,00
rotatoria Sud	segO	SP 1 Esistente	792
asse principale tratto a Sud del ponte	segO	intero tracciato	10.309,20
asse principale tratto a Nord del ponte	segO	intero tracciato	4.329,60
rotatoria Nord	segO	adeguamento ramo Est SP 56 Esistente	399,30
rotatoria Nord	segO	adeguamento ramo Ovest SP 56 Esistente	594,00
adeguamento ramo attuale Quarata 2	segO	spostamento planimetrico	1.584,00
rotatoria Sud	segV	rilevato tratto Sud	1.075,20
rotatoria Sud	segV	rilevato tratto Nord-Est	1.075,20
rotatoria Sud	segV	anello di rotatoria	3.225,60
rotatoria Sud	segV	SP 1 Esistente	806,4
asse principale tratto a Sud del ponte	segV	intero tracciato	10.496,64
asse principale tratto a Nord del ponte	segV	intero tracciato	4.408,32
rotatoria Nord	segV	adeguamento ramo Est SP 56 Esistente	406,56
rotatoria Nord	segV	anello di rotatoria	2.217,60
rotatoria Nord	segV	adeguamento ramo Ovest SP 56 Esistente	604,8
adeguamento ramo attuale Quarata 2	segV	spostamento planimetrico	1.612,80
asse principale tratto a Sud del ponte	idrP	smaltimento acque meteoriche	13.745,60
asse principale tratto a Nord del ponte	idrP	smaltimento acque meteoriche	5.772,80
Totale segnaletica/barriere/illuminazione			€ 68.735,62

Illuminazione			Importo
tratto	cod	note	[€]
Ponte	illP	illuminazione perimetrale	44.000,00
rotatoria Sud	illP	illuminazione perimetrale	38.500,00
rotatoria Nord	illP	illuminazione perimetrale	28.875,00
Totale segnaletica/barriere/illuminazione			€ 111.375,00

Totale lavori opera stradale S.P.1	€ 3.758.844,50
Costi della sicurezza	€ 112.765,34
TOTALE TRACCIATO STRADALE DELLA VARIANTE ALLA S.P. N°1	€ 3.871.609,84

Opera viaria – Adeguamento S.P. 56

Opere in terra			Importo
tratto	cod	note	[€]
asse principale Sp n° 56	ade	adeguamento tratto esistente con allargamento	196.770,00
rotatoria Ovest	ade	adeguamento ramo Ovest	8.100,00
rotatoria Ovest	ade	adeguamento ramo Sud	8.100,00
rotatoria Ovest	ade	anello	19.500,00
rotatoria Ovest	mod	aiuola centrale	2.887,50
Totale Lavori movimento terra			€ 235.357,50

pavimentazioni e fondazioni stradali			Importo
tratto	cod	note	[€]
asse principale Sp n° 56	pav3	adeguamento tratto esistente con allargamento	198.344,16
rotatoria Ovest	pav3	adeguamento ramo Ovest	8.618,40
rotatoria Ovest	pav3	adeguamento ramo Sud	8.164,80
rotatoria Ovest	pav3	anello	12.448,80
rotatoria Ovest	pav3	aiuola centrale	7.257,60
asse principale Sp n° 56	foM	adeguamento tratto esistente con allargamento	44.076,48
rotatoria Ovest	foM	adeguamento ramo Ovest	2.116,80
rotatoria Ovest	foM	adeguamento ramo Est	2.116,80
rotatoria Ovest	foM	anello	4.368,00
Totale pavimentazioni e fondazioni stradali			€287.511,84

Barriere di sicurezza			Importo
tratto	cod	note	[€]
asse principale Sp n° 56	bar	adeguamento tratto esistente con allargamento	102.960,00
Totale barriere di sicurezza			€ 102.960,00

Idraulica di piattaforma, segnaletica			Importo
tratto	cod	note	[€]
asse principale Sp n° 56	segO	adeguamento tratto esistente con allargamento	12.368,40
rotatoria Ovest	segO	adeguamento ramo Ovest	594,00
rotatoria Ovest	segO	adeguamento ramo Sud	594,00
rotatoria Ovest	segO	anello	858,00
asse principale Sp n° 56	segV	adeguamento tratto esistente con allargamento	406,56
rotatoria Ovest	segV	adeguamento ramo Ovest	604,80
rotatoria Ovest	segV	adeguamento ramo Sud	1.612,80
rotatoria Ovest	segV	anello	470,40
asse principale Sp n° 56	idrP	smaltimento acque meteoriche	16.491,20
Totale idraulica/segnaletica/illuminazione			€ 34.000,16

Illuminazione			Importo
tratto	cod	note	[€]
rotatoria Ovest	illP	adeguamento ramo Ovest	6.187,50
rotatoria Ovest	illP	adeguamento ramo Sud	6.187,50
rotatoria Ovest	illP	anello	8.937,50
Totale idraulica/segnaletica/illuminazione			€ 21.312,50

Totale lavori adeguamento S.P. 56	€ 681.142,00
Costi della sicurezza	€ 21.184,27
TOTALE TRACCIATO STRADALE DELLA VARIANTE ALLA S.P. N°1	€ 702.326,27

3. COSTI DI GESTIONE

Il processo di gestione di ogni organismo edilizio e infrastrutturale consiste nell'elaborazione di scelte operative aventi come obiettivo il mantenimento dei livelli prestazionali di ogni singola unità costituente l'intero apparato all'interno di scenari di minimizzazione dei costi e ottima allocazione delle risorse disponibili. Si possono distinguere diverse fasi del processo di gestione ovvero quelle che permettono l'utilizzo quotidiano dell'infrastruttura (esercizio), quelle che permettono il monitoraggio della funzionalità ed efficienza dell'organismo (controllo) e quelle che permettono il mantenimento della prestazioni (manutenzione). Di seguito si esaminano i costi relativi ai controlli ed alla manutenzione

3.1. Costi di controllo

In questa categoria di costi sono state prese in considerazione le attività di controllo e verifica dei livelli di prestazione delle singole unità tecnologiche, effettuate da personale specializzato sia in modo diretto, tramite ispezioni in sito, sia da remoto, mediante i dati raccolti dai sistemi di monitoraggio previsti.

COSTI DI CONTROLLO			
Macro-voci	n. voce	Unità Tecnologiche	Costo annuo
STRUTTURE	1	FONDAZIONI: BASAMENTO Ispezioni a vista: cadenza annuale + 1 evento particolare annuo	320,00 €
	2	PILE, SPALLE Ispezioni a vista: cadenza annuale + 1 evento particolare annuo	320,00 €
	3	OPERE DI PROTEZIONE DELLE PILE IN ALVEO Ispezioni a vista: cadenza annuale + 1 evento particolare annuo	320,00 €
	4	IMPALCATO E CASSERATURA METALLICA DELL'ARCO Ispezioni a vista: cadenza annuale + 1 evento particolare annuo Verifiche strutturali da remoto: cadenza annuale + 1 evento particolare annuo	320,00 € 320,00 €
VIABILITA'	1	RILEVATI Ispezioni a vista: cadenza annuale	320,00 €
	2	CONGLOMERATO BITUMINOSO PER TAPPETI D'USURA Ispezioni a vista: cadenza semestrale	640,00 €
	3	BARRIERE STRADALI DI SICUREZZA Ispezioni a vista: cadenza annuale + In caso di segnalazione (stimati 6 interventi anno)	1.600,00 €
	4	SEGNALETICA STRADALE ORIZZONTALE E VERTICALE Ispezioni a vista: cadenza annuale	320,00 €
	5	PARAPETTO PONTE E VIABILITA' Ispezioni a vista: cadenza annuale	80,00 €
	6	IMPIANTO DI RACCOLTA ACQUE METEORICHE Ispezioni a vista: cadenza annuale	320,00 €
	7	OPERE A VERDE Ispezioni a vista: cadenza annuale	160,00 €
IMPIANTI	1	IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA Ispezioni a vista e controllo da remoto: cadenza annuale + 1 evento particolare	160,00 €
	2	IMPIANTO DI MONITORAGGIO verifica dati raccolti	160,00 €
		COSTI CONTROLLI annuali	5.360,00 €

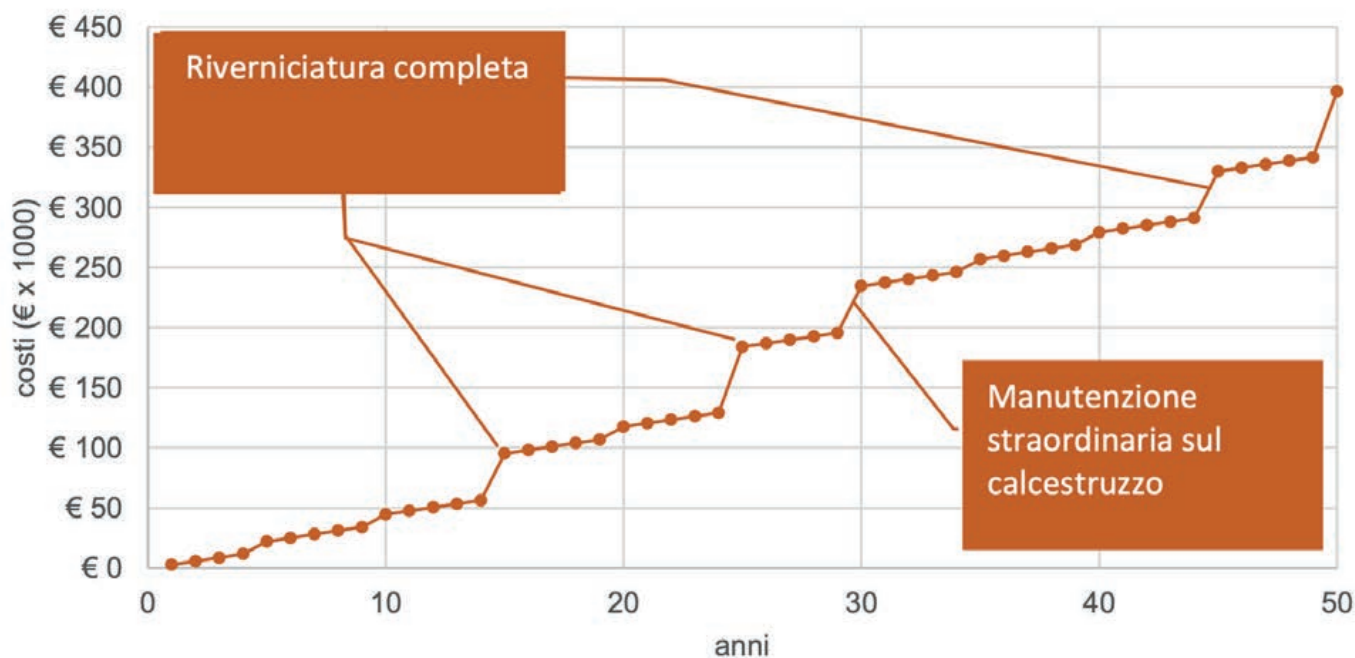
3.2. Costi di manutenzione

Ogni bene edilizio con il passare del tempo, è soggetto inevitabilmente a fenomeni di degrado e obsolescenza funzionale, tecnologica ed economica. Nella tabella seguente si riporta un possibile programma di manutenzione ordinaria integrato con una previsione di eventi particolari e/o eccezionali, non programmabili temporalmente (eventi sismici, eventi meteorologici, incidenti viabilistici, etc). Si sottolinea che tutte le scelte progettuali proposte, relative alla tipologia strutturale, alle soluzioni tecnologiche adottate, alla scelta dei materiali da costruzione, fino all'individuazione delle possibili soluzioni costruttive di dettaglio, sono improntate al perseguimento della riduzione dei costi legati alla manutenzione ordinaria e straordinaria. Relativamente al ponte si segnala come l'adozione della tipologia del "ponte integrale" riduca drasticamente la componentistica del manufatto e di conseguenza i costi legati alla manutenzione che è prevalentemente relativa alla viabilità.

PROGRAMMA DI MANUTENZIONE			
Macro-voci	n. voce	Unità Tecnologiche	Frequenza (anni)
STRUTTURE	1	PILE, SPALLE - Manutenzione straordinaria	25
	2	IMPALCATO E CASSERATURA METALLICA DELL'ARCO - Verniciatura esterna	15
	3	IMPIANTO DI RACCOLTA ACQUE METEORICHE Manutenzione localizzata caditoie e sistema di raccolta Intervento localizzato su vasche trattamento e sistema di raccolta	1 5
VIABILITA'	1	RILEVATI - Manutenzione ordinaria	5
	2	CONGLOMERATO BITUMINOSO PER TAPPETI D'USURA (alto modulo) Sostituzione totale	8
	3	STRATI DI COLLEGAMENTO IN CONGLOMERATO BITUMINOSO Sostituzione totale	16
	4	BARRIERE STRADALI DI SICUREZZA - Interventi localizzati	1
	5	SEGNALETICA STRADALE ORIZZONTALE E VERTICALE Rifacimento localizzato segnaletica orizzontale Rifacimento totale segnaletica orizzontale Interventi localizzati segnaletica verticale	2 6 6
	6	IMPIANTO DI RACCOLTA ACQUE METEORICHE Manutenzione localizzata caditoie e permeabilità idraulica Intervento localizzato	1 5
	7	OPERE A VERDE - sfalcio e sistemazione aiuole e scarpate	1
IMP.	1	IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA - intervento localizzato	1
	2	IMPIANTO DI MONITORAGGIO - intervento localizzato	1

Quanto sopra riportato viene di seguito rappresentato in forma di grafico e suddiviso tra "Ponte" e "Viabilità"

Andamento dei costi di manutenzione nei 50 anni PONTE



Andamento dei costi di manutenzione nei 50 anni VIABILITA'

