

**Progettazione del ponte definitivo e viabilità alternativa in  
sostituzione del ponte storico Buriano**

**Relazione illustrativa  
Primo Grado**

## 1. Abstract

L'intervento del nuovo ponte definitivo e della viabilità alternativa in sostituzione del ponte storico di Buriano si pone come duplice obiettivo quello di instaurare un dialogo linguistico con l'iconico ponte romanico e di inserirsi correttamente nel paesaggio bucolico del manufatto. Per tali ragioni si è optato per una struttura mista in c.a. e acciaio, rivestita nella parte basamentale in calcestruzzo pigmentato e nella parte centrale in cor-ten, due materiali di elevata qualità, sia estetica che in termini di durabilità, che permettono un dialogo costante con le antropizzazioni esistenti.

Il ponte si slancia, dal terreno e verso il terreno, senza soluzione di continuità, attraversando l'Arno senza ricorrere a pile in alveo, lasciando quindi inalterato il letto del fiume, mostrando il confronto ed il legame che si instaura tra artificio e natura. Il metodo costruttivo ipotizzato permette inoltre una notevole facilità di montaggio e di esecuzione, permettendo di intervenire senza mai invadere il letto del fiume.

Il progetto della nuova riorganizzazione generale della viabilità, contestualmente, parte dal presupposto di dover immediatamente intervenire sul bene vincolato con un'opera di restauro e risanamento conservativo, chiudendo al traffico veicolare il Ponte Buriano; contemporaneamente si ipotizza la realizzazione di un guado provvisorio con l'inserimento di un ponte Bailey e di una strada di raccordo alla SP Setteponti, la quale, insieme al ponte provvisorio, verrà eliminata a lavori ultimati, ripristinando il rilevato al suo stato attuale. A nord verrà inoltre adeguato il tratto di strada della SP dello Spicchio dal centro abitato fino all'intersezione "B" (figura 11).

## 2. Concept architettonico e inserimento paesaggistico

L'intervento progettuale necessita di confrontarsi con un contesto estremamente singolare, caratterizzato da una spiccata qualità paesaggistica e dal pregio architettonico dell'esistente Ponte Buriano. Questo ha comportato, fin dalle prime fasi della progettazione, che l'attenzione per il paesaggio fosse l'assioma fondamentale di ogni ragionamento e gesto architettonico, al fine di garantire il minimo impatto ambientale ed il rispetto per il ponte storico, che rimane così elemento primario del contesto e generatore stesso del nuovo ponte.

A questo scopo, partendo dall'analisi della struttura del Ponte Buriano, si è scelto di reinterpretare la misura della campata, con la volontà di slanciarla ed alleggerirla, originando un elemento lineare che supera l'Arno senza intralciarne il corso con pile in alveo; un gesto estremamente semplice che non vuole competere con l'esistente, ma porsi in assoluto rispetto con esso. Si tratta di un elemento sottile, che sembra quasi nascere dall'argine, ancorandosi a due parti basamenti in calcestruzzo pigmentato, che formalmente riprendono sezione e massività degli sproni del Ponte Buriano, ruotandoli e reinterpretandone la forma con un innovativo profilo curvo e rastremato.

I materiali e le tecnologie utilizzate evocano con semplicità la tradizione locale, esprimendo con continuità il tema della naturalità, ricercata tanto nell'uso dei cromatismi e dalla stessa volontà di avere un minimo impatto ambientale. Infatti, gran parte della nuova struttura è stata pensata con un rivestimento in acciaio cor-ten, materiale con cui si ha la possibilità di immaginare superfici continue in grado di instaurare un dialogo visivo con l'ambiente circostante, grazie alla capacità di mutare progressivamente nel tempo il proprio aspetto, proprio come un elemento naturale, a seconda degli agenti atmosferici, delle caratteristiche del contesto e dell'eterogeneità del processo ossidativo, che produce effetti cromatici diversi, in grado di creare una diversa percezione visiva del progetto, a seconda della luce e del passare del tempo.

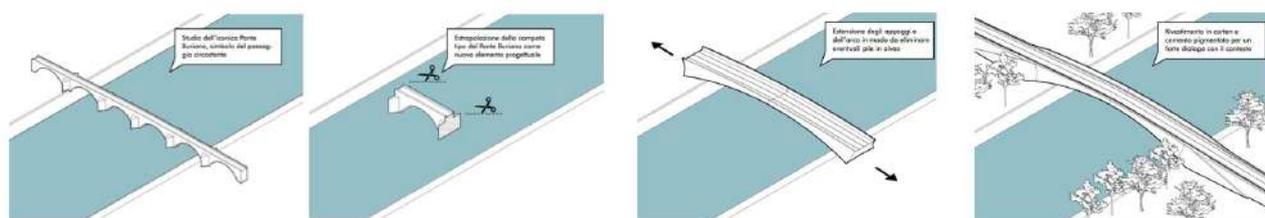


Figura 1: concept di progetto

Anche il cemento della parte basamentale è stato caratterizzato da una pigmentazione con ossidi di ferro al fine di creare un unicum visivamente armonico ed affine alle tonalità della terra, per sottolineare il forte legame che il ponte instaura con il paesaggio collinare del Valdarno Superiore, con il contesto specifico dell'argine, nonché con le tonalità calde dello stesso Ponte Buriano.



Figura 2: Site impression e materiali

## 2.1 Rispondenza della proposta rispetto agli obiettivi del DIP in merito a caratteristiche strutturali e infrastrutturali, approccio metodologico e motivazione delle scelte.

Per la definizione del nuovo tracciato stradale si è partiti dall'analisi della proposta evidenziata dagli studi di prefattibilità preliminari, riportati nel DIP, optando per una soluzione che potesse ottimizzare il percorso suggerito, in particolare per evitare l'intersezione dello stesso con la riserva regionale di Ponte Buriano e Penna, identificata con codice RPAR02 e con codice ministeriale EUAP0398, vincolata ai sensi dell'art. 142, comma 1, lettera f) ("i parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna dei parchi") del D. lgs 42/2004, e compresa nella ZSC Ponte Buriano e Penna.

In generale, l'assetto proposto è stato quasi integralmente mantenuto sia nella collocazione delle intersezioni, sia nello sviluppo del tracciato stradale e del punto di attraversamento, dove si prevede la realizzazione del nuovo ponte, poiché tale proposta consente una drastica riduzione dell'impatto paesaggistico e della visibilità della nuova infrastruttura dall'area di Ponte Buriano che, come già sottolineato, è caratterizzata da un elevato pregio naturalistico e storico. Rispetto al tracciato evidenziato dagli studi di pre-fattibilità, però, le modifiche apportate al tracciato stradale:

- consentono di ridurre lo sviluppo planimetrico della strada;
- vanno a limitare al minimo il numero di particelle catastali interessate dall'intervento;
- presentano il vantaggio di avere un solo punto di curvatura, anziché due;
- permettono di non lambire in alcun modo la riserva regionale grazie alla diversa collocazione della rotatoria (rotatoria A nel masterplan, Figura 11) rispetto a quanto proposto nel DIP;
- comportano, di conseguenza, un risparmio economico nella realizzazione dell'intervento.

Le soluzioni adottate per garantire inserimento intera infrastruttura all'interno dell'ambiente e del paesaggio circostante sono state delineate in seguito allo studio del quadro vincolistico in vigore nell'area di intervento. L'ambito di intervento risulta soggetto in tutto o in parte a vincolo paesaggistico ai sensi del D.Lgs. 42/2004, vincolo idrogeologico-forestale, vincolo idraulico.

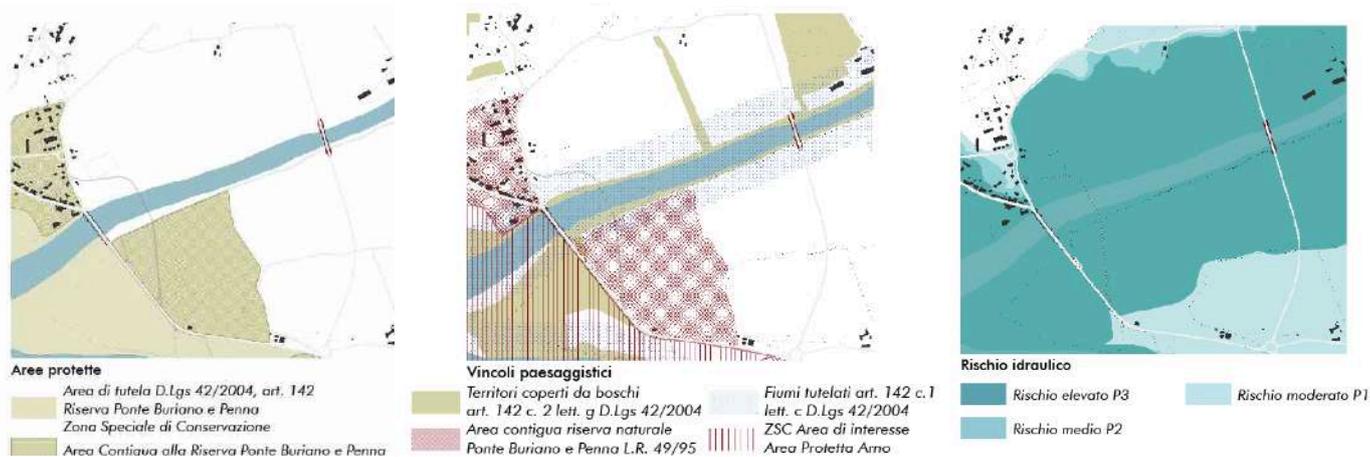


Figura 3: schematizzazione del quadro vincolistico presente nell'area

Lo sviluppo della viabilità, come anticipato, ha tenuto in considerazione la zona vincolata ai sensi dell'art. 142, comma 1, lettera f) ("i parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna dei parchi") del D. lgs 42/2004, e compresa nella ZSC Ponte Buriano e Penna, non andando a lambire neanche l'Area Contigua alla riserva, i Territori coperti da boschi ai sensi dell'art. C.2 lett. g del D.Lgs 42/2004. (schemi 1 e 2, Figura 3).

L'analisi del Rischio idraulico (schema 3, Figura 3), in particolare, ha evidenziato invece l'elevato rischio in cui verte l'intera area oggetto dell'intervento, comportando una riflessione sulla necessità di rialzare la quota dell'asse viario mediante un rilevato stradale che garantisce, anche in caso di esondazione del fiume Arno, che la viabilità della strada (tipo C - Strada Extraurbana Secondaria) non venga compromessa.

Impostando le strutture di fondazione sulle sponde, il nuovo ponte non presenta pile in alveo e non va mai ad intralciare il corso dell'Arno; e per garantire la trasparenza idraulica sono stati previsti sottopassi che consentono il corretto deflusso delle acque in caso di piena. In questo modo, con la moderazione idraulica del progetto, si è potuto valutare il rispetto delle normative prese in esame.

La scelta di sopraelevare l'intervento, inoltre, agevola anche la salvaguardia della strada ciclo pedonale attualmente presente lungo l'argine sud dell'Arno, poiché consente di avere un'altezza libera di 5 m rispetto all'intradosso del ponte, che permette di mantenerne l'assetto attuale.

L'approccio metodologico dell'intero intervento di progettazione del ponte definitivo e della viabilità alternativa in sostituzione del ponte storico Buriano, quindi, sarà articolato in diverse fasi che prevedono:

- Realizzazione della viabilità provvisoria con ponte Bailey che presenta massima affidabilità e velocità d'esecuzione, montaggio e smontaggio, con una carreggiata da percorrere a senso unico alternato, con una portata utile di sette tonnellate. Questo permette di interrompere fin da subito il traffico veicolare sul Ponte Buriano.
- Inizio dei lavori di messa in sicurezza e restauro e risanamento conservativo dell'esistente ponte Buriano.
- Inizio dei lavori di costruzione dei raccordi e del nuovo ponte permanente.
- Adeguamento della strada provinciale SP dello Spicchio verso Ponte Buriano.
- Completamento dei lavori e apertura del nuovo ponte al traffico veicolare.
- Rimozione del ponte provvisorio e ripristino del rilevato iniziale.
- Totale pedonalizzazione del ponte storico, con la contestuale creazione di una zona di sosta di raccordo con il percorso ciclo pedonale esistente, verso la parte a sud del Ponte Buriano.

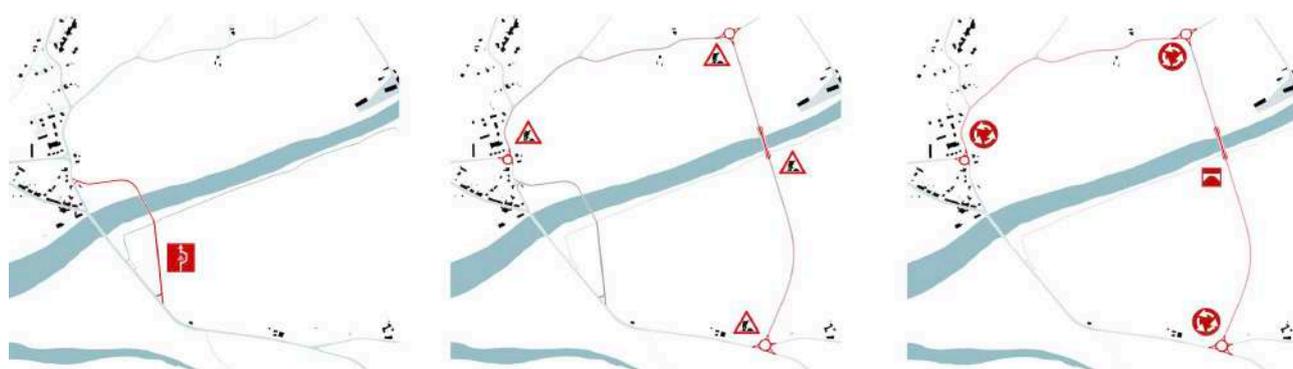


Figura 4: schematizzazione del quadro vincolistico presente nell'area

### 3. Descrizione tecnica dell'intervento

#### 3.1 Aspetti idraulici: PGRA e le mappe di pericolosità idraulica

L'area oggetto di studio è inserita nel bacino idrografico del fiume Arno e appartiene al distretto idrografico Appennino Settentrionale. In questo territorio, il Piano di Assetto idrogeologico (PAI) e le relative aree a pericolosità idrauliche sono stati abrogati e sostituiti integralmente dal Piano di gestione del rischio alluvioni redatto in ottemperanza alla direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') recepita a livello nazionale con il d.lgs. n. 49/2010:

"Il PGRA dell'Arno supera il PAI sia dal punto di vista cartografico che dal punto di vista della disciplina della pericolosità da alluvioni, introducendo una nuova Disciplina di piano con allegati orientata alla gestione del rischio e alla responsabilizzazione degli enti locali in tale gestione, alla tutela e salvaguardia della naturalità dei corsi d'acqua in una visione integrata coerente con le Direttive europee 2000/60/CE e 2007/60/CE. Il PGRA dell'Arno racchiude pertanto in sé sia la parte di regole ed indirizzi (misure di prevenzione) per una gestione del territorio orientata a mitigare e gestire i rischi con particolare riguardo al patrimonio esistente, sia gli interventi (misure di protezione) da attuare per mitigare gli effetti delle alluvioni sugli elementi esposti al rischio. La Disciplina di Piano include inoltre le modalità con cui si preservano e si integrano le aree destinate alla realizzazione degli interventi. Infine il PGRA introduce, con la definizione delle aree di contesto fluviale e delle aree con particolare predisposizione al verificarsi di fenomeni tipo flash flood, particolari indirizzi per il governo del territorio tesi anche questi alla mitigazione degli effetti al suolo."

Il criterio principale su cui si fonda la nuova normativa prevede che nelle aree a pericolosità elevata e media, qualsiasi intervento può eventualmente essere realizzato in maniera tale da non provocare rischi per i beni esistenti e in condizioni tali da poter gestire il rischio a cui è soggetto. Questo vuol dire che:

- qualsiasi nuovo insediamento non deve portare pericolo agli altri, al fine di non peggiorare ulteriormente situazioni esistenti già complicate;
- chi va a pianificare nuovi insediamenti deve avere ben chiara la percezione del rischio a cui questi sono soggetti e deve attuare accorgimenti tali per poterlo "gestire".

Nella Disciplina di PGRA è quindi espressamente previsto che nelle aree a pericolosità "sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico." Si parla appunto di "gestione" del rischio intendendo azioni volte a mitigare i danni conseguenti a fenomeni alluvionali. La gestione può essere attuata attraverso interventi tesi a ridurre la pericolosità e interventi tesi a ridurre la vulnerabilità degli elementi a rischio anche mediante azioni di difesa locale e piani di gestione dell'opera collegati alla pianificazione di protezione civile comunale e sovracomunale, rispettando le condizioni di funzionalità idraulica; in altri termini la gestione del rischio si attua attraverso azioni volte ad abbattere in maniera significativa gli effetti negativi, rispetto ad un evento di riferimento, in particolare su vita umana, insediamenti ed attività, infrastrutture, beni ambientali e culturali.

La proposta di realizzare la nuova viabilità di collegamento in rilevato trova fondamento sulla base di quanto sopra descritto e in seguito alla valutazione della pericolosità idraulica di cui è soggetta la zona di studio. Le aree limitrofe all'intervento, infatti, essendo caratterizzate da quote depresse che fungono da area di espansione delle piene dell'Arno appartengono alla classe di pericolosità elevata P3. Si definiscono convenzionalmente a pericolosità idraulica elevata (P3) le aree che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno (Tr) fino a 30 anni (per tempo di ritorno si intende il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata, nel nostro caso una portata, viene uguagliato o superato almeno una volta).

Qualora la nuova viabilità in progetto venisse realizzata a raso e non in rilevato, la stessa verrebbe allagata anche per eventi meteorici di ridotta entità ed elevata frequenza, compromettendo la funzionalità dell'infrastruttura e impedendo i collegamenti con il centro di Ponte Buriano.

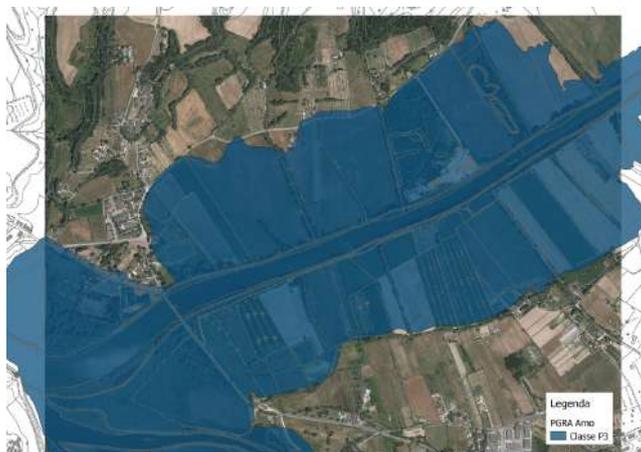


Figura 5 - Perimetrazione classe P3 del PGRA

### 3.1.2 La modellazione idraulica

Per dare fondamento scientifico alla soluzione proposta, è stato sviluppato uno studio idraulico di carattere qualitativo della propagazione degli eventi di piena lungo l'alveo del fiume Arno, in corrispondenza dell'abitato di Ponte Buriano e dell'intervento in oggetto, tramite l'implementazione di un modello numerico accoppiato unidimensionale in moto vario.

Al modello unidimensionale, definito lungo l'asta del fiume, è stato accoppiato un modello bidimensionale delle aree inondabili, definito tramite un opportuno modello digitale del terreno (DTM) delle aree limitrofe interessate dai noti allagamenti, mediante delle particolari strutture (link) che fungono da soglie sfioranti e trasferiscono il flusso che nell'alveo supera la sommità arginale alle celle della mesh del modello bidimensionale.

Descrivendo brevemente i modelli implementati, dapprima è stato sviluppato il modello unidimensionale idrodinamico mediante un avanzato software di calcolo che utilizza uno schema implicito alle differenze finite per il calcolo dei flussi a moto vario nei corsi d'acqua superficiali. A tal fine, è stata ricostruita la geometria dell'alveo e delle sponde lungo la tratta di interesse, di estensione pari a circa 2.5 km, assegnando i parametri di scabrezza e le condizioni al contorno di monte e di valle. Nello specifico, è stato considerato come input di monte un idrogramma di piena con valori di portata al colmo paragonabili a quelli generati da un evento meteorico con tempo di ritorno pari a 30 anni, al fine di ricreare la situazione idrometrica fotografata dalle mappe di pericolosità idraulica del PGRA.

Nella relazione di sintesi del PGRA è riportato lo studio idrologico- idraulico condotto per la redazione delle mappe di pericolosità idraulica e vengono individuati gli eventi di piena di riferimento con le caratteristiche di durata e portata lungo il corso d'acqua alla sezione di chiusura di Subbiano.

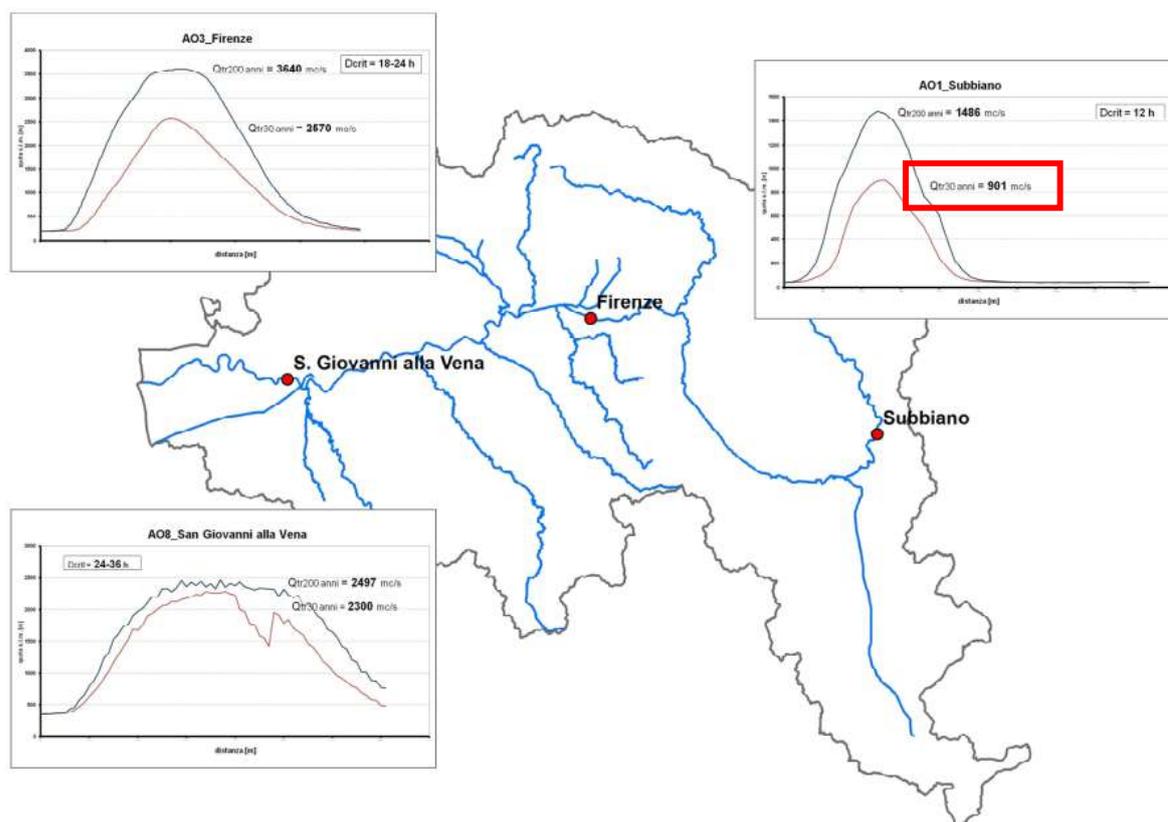


Figura 6 – Estratto da relazione del PGRA – idrogrammi di piena dell'Arno per TR30 e 200 anni

La portata di piena individuata è di circa 900 mc/s.

In secondo luogo, è stato implementato il modello bidimensionale con griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo, definita sulla base del modello digitale del terreno a disposizione e trasformato in una batimetria con passo 10x10 m.

Di seguito si riporta il confronto tra la mappa di pericolosità idraulica del PGRA per TR30 anni e l'involuppo dei tiranti massimi generati con simulazione per lo stesso tempo di ritorno.

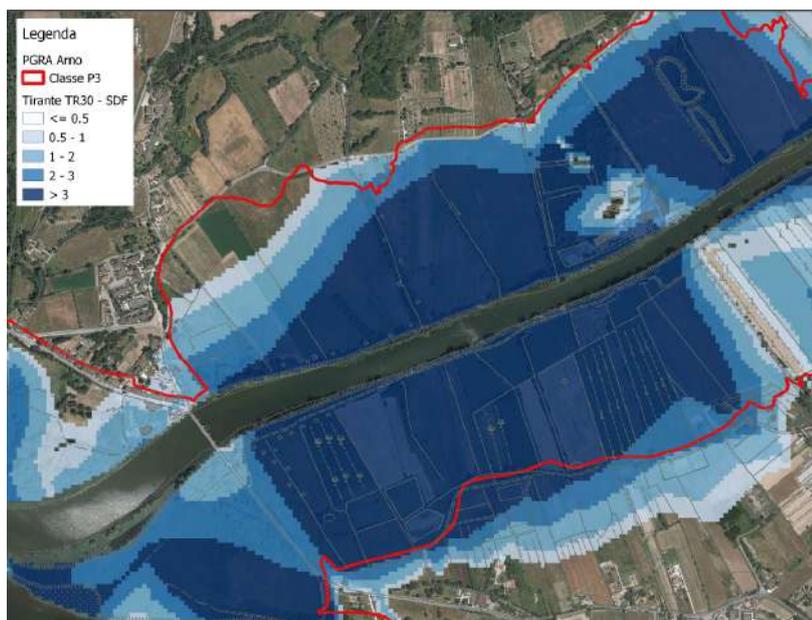
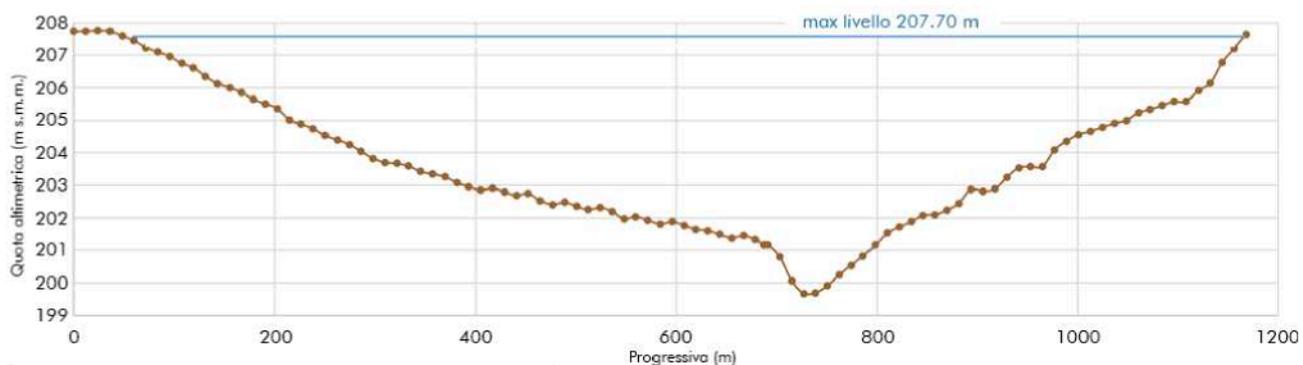


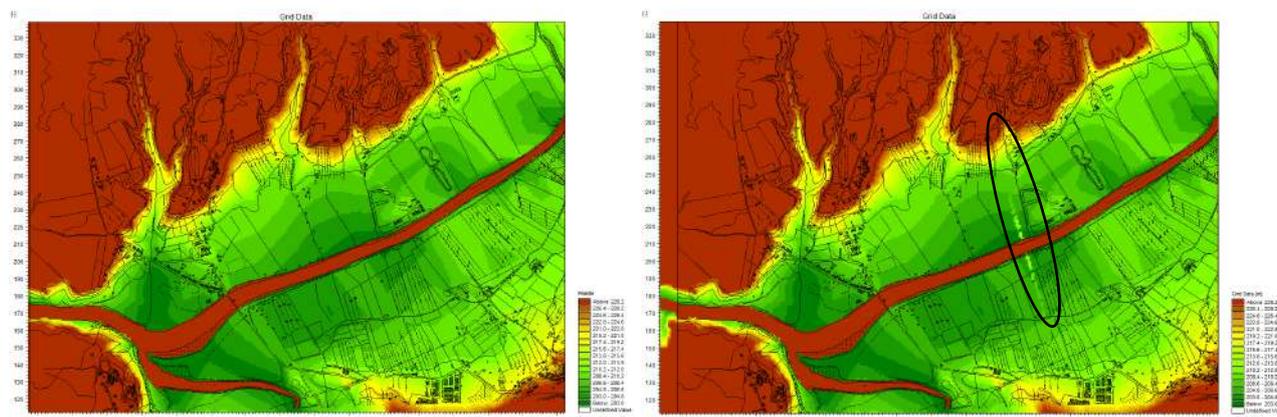
Figura 7 - Involuppo dei tiranti massimi generati per TR30 anni a confronto con perimetrazione classe P3 del PGRA

La sezione seguente inoltre evidenzia il livello dell'acqua sopra l'area oggetto di studio. In caso di eventi intensi anche ad elevata frequenza, una viabilità a raso sarebbe sommersa con diversi metri d'acqua e pertanto non potrebbe essere utilizzata come via di fuga e viabilità di servizio per i mezzi di emergenza e i collegamenti da e per il centro di Ponte Buriano.



### 3.1.3 Configurazione di progetto

Una volta simulata la propagazione della piena per la configurazione attualmente esistente, si è proceduto a ricreare la configurazione di progetto proposta, modificando la batimetria con tecniche di interpolazione automatica ed aggiustamenti manuali, considerando così le caratteristiche plano-altimetriche della nuova viabilità in rilevato.



Per la configurazione di progetto sono state condotte diverse simulazioni: dapprima è stato valutato l'incremento dei tiranti a monte della viabilità di progetto, che di fatto costituirebbe uno sbarramento al normale deflusso delle acque esondate verso valle. Tale incremento si attesta sull'ordine dei 30 cm e comporterebbe un aumento del rischio idraulico delle aree che lambiscono il tratto di Arno a monte del nuovo ponte.

Per ovviare a tale problematica e al fine di rendere l'opera "trasparente" dal punto di vista idraulico, sono stati previsti degli attraversamenti del rilevato, sfruttabili anche come attraversamenti faunistici ed ecologici. In caso di allagamenti tali attraversamenti consentono il collegamento tra monte e valle, senza apportare quindi variazioni al regime idraulico attuale.

Nelle immagini seguenti è riportato il confronto tra le soluzioni senza e con attraversamenti del rilevato. Anche se la scala grafica non consente di apprezzare nel dettaglio le variazioni di tirante nei due casi, l'innalzamento di circa 30 cm registrato a monte del rilevato nella prima ipotesi può provocare effetti significativi a scala locale.

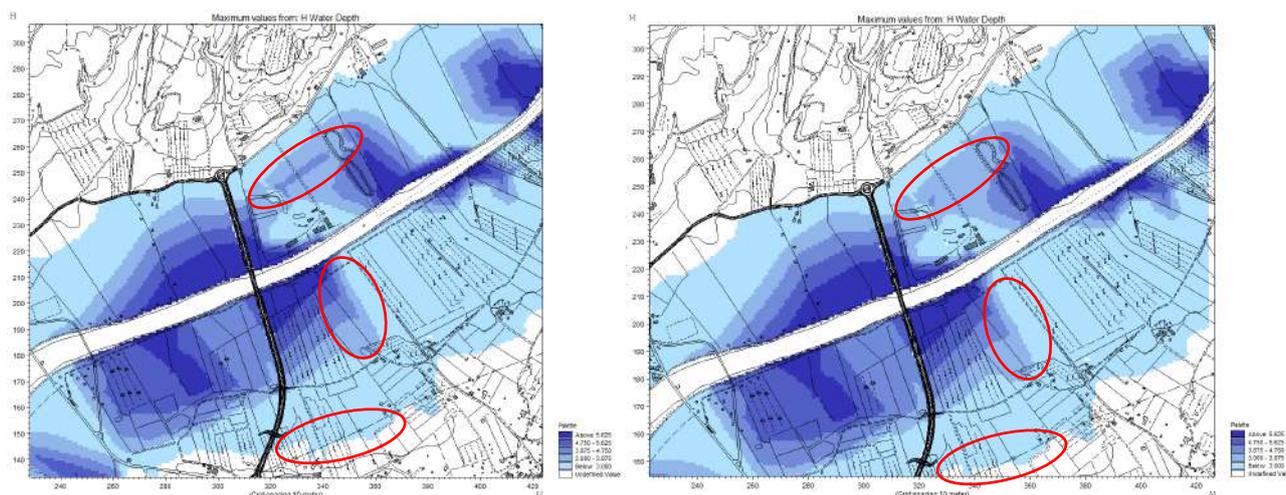


Figura 8 - Involuppo tiranti max - SDP senza attraversamenti e con attraversamenti

Per garantire la permanenza delle medesime condizioni idrauliche dello stato di fatto sarà quindi necessario prevedere un numero e una dimensione degli attraversamenti tali da garantire circa 180 mq di superficie libera per il deflusso.

Infine, sono stati simulati degli eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno inferiori con valori di portata paragonabili ad eventi meteorici pressoché ordinari, ottenendo in ogni caso l'esondatazione nelle aree indagate ed evidenziando quindi la necessità di realizzare la soluzione in rilevato per il collegamento del nuovo ponte alla strada provinciale esistente.



Figura 9 - Involuppo dei tiranti massimi per evento ordinario con portata di picco pari a 500 mc/s (fonte: altro studio idraulico effettuato in zona limitrofa)

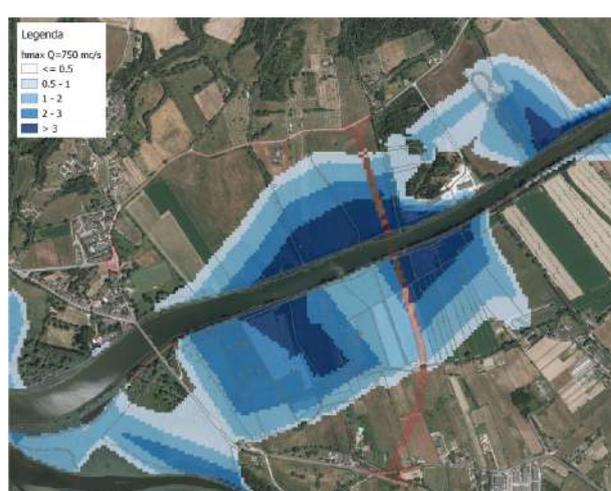


Figura 10 - Involuppo dei tiranti massimi per evento con portata di picco pari a 750 mc/s (fonte: altro studio idraulico effettuato in zona limitrofa)

### 3.2 Valutazione riorganizzazione funzionale complessiva e viabilità

La proposta sviluppata sulla base dei vincoli esistenti nasce da un'analisi generale degli aspetti viabilistici e trasportistici della rete infrastrutturale esistente che collega Arezzo alla zona del Valdarno Superiore, ed arriva a definire un'ipotesi progettuale completa di tracciamento planoaltimetrico, di definizione delle opere necessarie e delle modalità di risoluzione delle interferenze. La nuova infrastruttura, in una visione più ampia, avrà un ruolo strategico anche per l'organizzazione dei percorsi pedonali e ciclabili che interessano l'area del fiume.

La scelta progettuale è tale da garantire il collegamento del nuovo ponte alla via Provinciale n.1 "dei Setteponti", al fine di garantire la salvaguardia e la messa in sicurezza dell'attuale ponte romanico sul fiume Arno. Il tracciato stradale è quello che meglio si inserisce nel contesto paesaggistico esistente sia in termini viabilistici che geometrici, essendo il tracciato tale da soddisfare le verifiche geometriche come da normativa DM 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali."



Figura 11: Soluzione progettuale proposta.

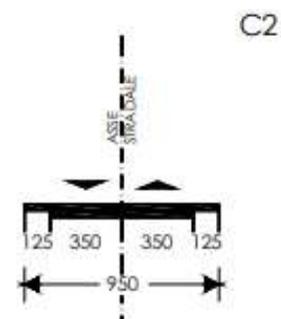
La nuova viabilità sarà quindi composta da un nuovo tronco stradale con nuovo ponte sul fiume Arno, dall'adeguamento di parte del tracciato esistente (parte della SP 56 dello Spicchio) e dalla risoluzione dei n. 3 nodi grazie all'inserimento di rotatorie.

Come stabilito dal DIP la rete viarie esistente a cui fare riferimento quale stato di fatto per la progettazione della viabilità di accesso al nuovo ponte, è di una strada tipo C - Strada Extraurbana Secondaria: strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine tipo C2.

Le specifiche tecniche previste dal DIP sono le seguenti:

- Larghezza corsie 3,50 m
- Larghezza minima complessiva della banchina più eventuale cunetta: 1,25 m in destra e in sinistra;
- Velocità di progetto: minima 60 km/h – massima 100 km/h;
- Pendenza trasversale massima in curva: 7%;
- Raggio planimetrico minimo: 400 m;
- Pendenza longitudinale massima: 7%.

Sulla base della classificazione delle strade prevista dal Codice della Strada e dal DM 05/11/2001, si procede poi alla risoluzione dei nodi. I nodi di una intersezione sono rappresentabili come gli elementi di una matrice ove sono



indicati tutti i possibili nodi di intersezione, distinguendo tra nodi omogenei (che connettono strade dello stesso tipo) e nodi disomogenei (tra strade di caratteristiche geometriche e funzionali diverse) per i quali non è sempre ammessa la connessione tra i flussi. Nei casi possibili il grafo permette di scegliere anche il tipo di intersezione da realizzare, a livelli sfalsati con eventuali manovre di scambio (intersezioni di tipo 1 e 2) oppure a raso (tipo 3).

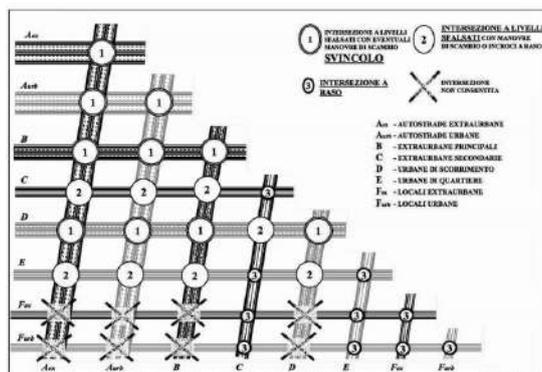


Figura 12: figura 3 DM 19/04/2006.

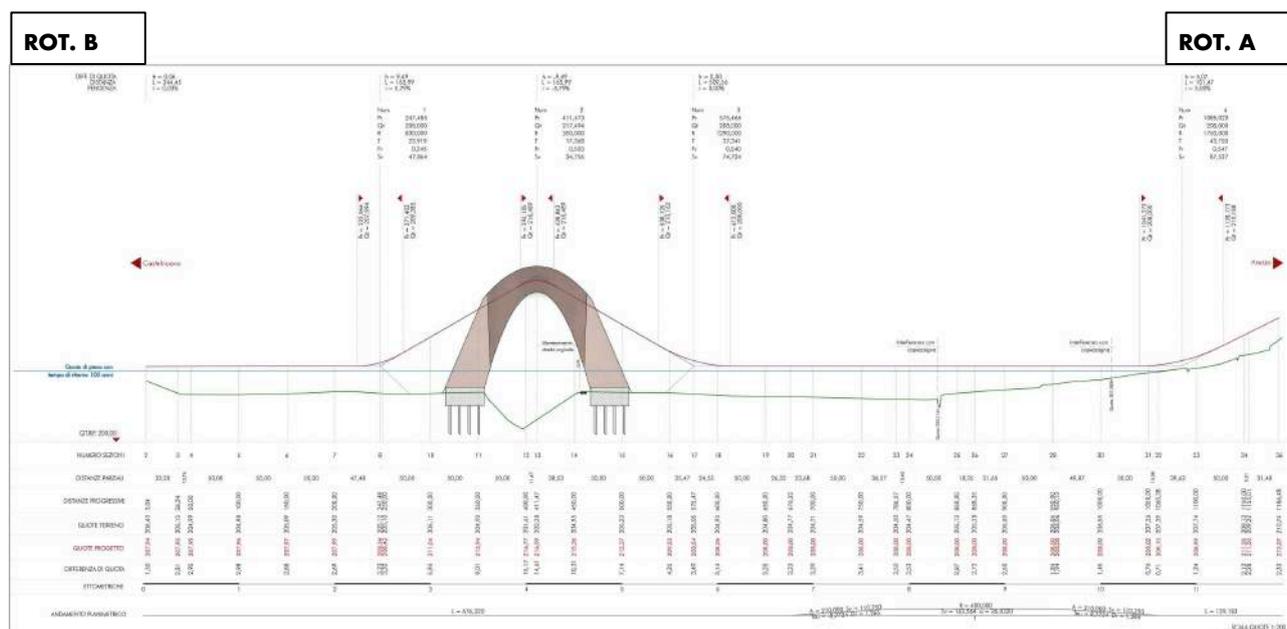
Per il collegamento alla rete esistente sono state introdotte delle rotonde dimensionate come da normativa DM 19/04/2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”. L’inserimento di una rotonda ha molteplici finalità:

- Aumentare la sicurezza alle intersezioni riducendo i punti di conflitto;
- Rendere la circolazione veicolare più fluida, in particolare tra strade dello stesso livello gerarchico;
- Evidenziare la presenza di una intersezione, interrompendo la linearità visiva delle strade rettilinee.

Lo sviluppo complessivo si completa con l’adeguamento della SP dello Spicchio verso Ponte Buriano e l’inserimento di una rotonda di collegamento alla SP 1.

### 3.3 Il nuovo arco viario

Il nuovo arco viario ha origine dalla nuova rotonda (Rotatoria A, Figura 1) posta a sostituzione dell’intersezione tra la SP n.1 “Setteponti” e via Quarata 2, che consente di gestire in maniera organica i flussi confluenti nel nodo di intersezione tra la nuova viabilità e le due viabilità esistenti. Il nuovo asse si sviluppa interamente in area agricola, mantenendosi per l’intera lunghezza in rilevato dove si innesta sulla nuova rotonda (B) che permette di gestire i flussi con la Strada Provinciale dello Spicchio. Al contempo, per dare continuità alla SP 1, una volta raggiunta la SP 56, è necessario adeguare il tratto di strada tra le rotonde B e C. Il nuovo arco è classificato come strada di Categoria C Extraurbana Secondaria C2 ed è destinato al traffico extraurbano. Il tracciato complessivo si compone da due rotonde esterne, da un primo raccordo di rettilineo di circa 610 m, da un ponte che si sviluppa per circa 330 m e da un ultimo rettilineo di circa 245 m. Lo sviluppo complessivo è di circa 1200 m.



Come da Normativa la carreggiata stradale ha una larghezza complessiva di 9,50 m con corsie di 3,50 m e banchina esterna di 1,25 m.

Trattandosi di una strada extraurbana sottoposta ad un traffico che si aggira su un TGM di circa 11.000/12.000 veicoli/giorno, al fine di garantire durabilità, sicurezza e confort di guida si è scelto di predisporre il seguente pacchetto stradale:

- Tappeto di usura con bitume modificato HARD
- Strato di binder con bitume modificato HARD
- Strato di base
- Finitura superficiale in misto granulare stabilizzato
- Fondazione stradale in Tout Venant



Figura 13: Pacchetto stradale.

La scelta di utilizzare conglomerato bituminoso modificato con polimeri (tipo HARD) permette di migliorare le prestazioni del conglomerato in esercizio riducendo i fenomeni di sgranamento e fessurazione.

L'aggiunta di componenti polimeri termoplastici di tipo plastomerico o elastomerico comporta variazioni delle caratteristiche fisiche, chimiche e Geologiche del materiale garantendo, rispetto al bitume tradizionale, un intervallo di elastoplasticità mediamente più elevato. Questo determina:

- minore sensibilità alle escursioni termiche e maggiore reversibilità alle deformazioni sotto l'azione del traffico, limitando la formazione di deformazioni plastiche (ormae);
- il polimero permette al bitume una maggiore resistenza all'accumulo di deformazioni permanenti anche qualora la pavimentazione sia esposta a temperature di esercizio mediamente elevate in corrispondenza di notevoli flussi di traffico veicolare anche del tipo pesante;
- miglior comportamento nei climi freddi, riducendo la fragilità alle basse temperature;
- maggiore resistenza a fatica garantita da un miglior assorbimento delle sollecitazioni cicliche indotte dal traffico veicolare;
- maggiore durabilità all'intera miscela, essendo ridotta la tendenza del materiale all'invecchiamento;
- migliore adesione tra la parte legante e la componente lapidea.

Il rilevato stradale al fine di aumentarne la portanza e la vita utile è previsto stabilizzato a calce. La stabilizzazione permette di migliorare le proprietà meccaniche dello strato di terreno con l'avvio di reazioni di indurimento (date dall'utilizzo della calce) che portano nel tempo ad un aumento della resistenza meccanica del materiale.

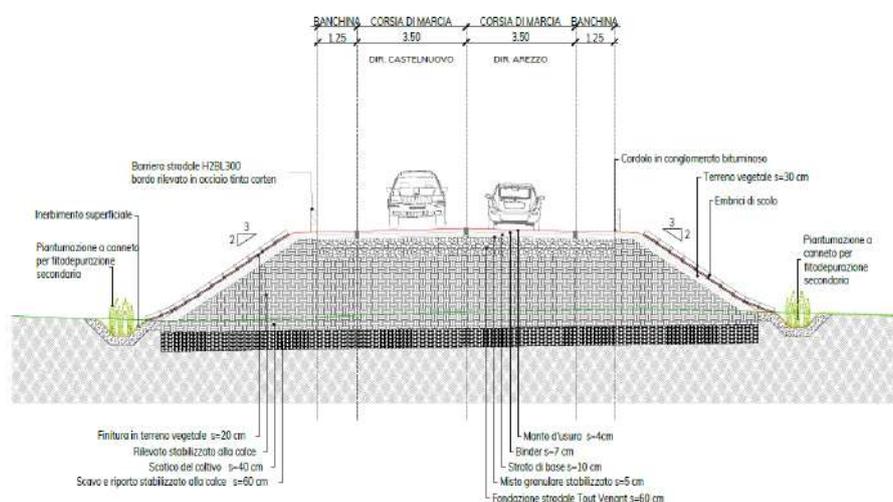


Figura 14: Sezione tipologica.

### 3.4 Dispositivi di ritenuta

In rapporto alla configurazione della strada, al fine di garantire idonee condizioni di sicurezza per gli utenti, si prevede l'inserimento di dispositivi di protezione passiva che, entro certi limiti, consentono il contenimento dei veicoli. Trovandosi la situazione stradale in rilevato, con altezza dell'argine dal piano campagna > 1 m, è necessaria la protezione contro le cadute laterali.

Le classi di contenimento dipendono dal tipo di traffico, in particolare dal volume di traffico (TGM) e dalla prevalenza dei mezzi che lo compongono.

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa > 3,5 t
I	≤ 1000	qualsiasi
I	> 1000	≤ 5
II	> 1000	5 < n ≤ 15
III	> 1000	> 15

Figura 15. individuazione del tipo di traffico.

Tabella A - BARRIERE LONGITUDINALI				
Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte
Autostrade (A) e strade extraurbane principali	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 <sup>(1)</sup>	H2-H3 <sup>(2)</sup>	H3-H4 <sup>(2)</sup>
Strade extraurbane secondarie (C) e strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali (F)	I	H2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

(1) Per ponti o viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al bordo laterale. (2) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista

Figura 16: Scelta classe minima di contenimento.

### 3.5 Raccolta delle acque meteoriche e fitodepurazione

Per la raccolta delle acque meteoriche sono previsti dei fossi di guardia ai piedi delle scarpate che raccolgono le acque meteoriche tramite embrici. L'inerbimento delle sponde e la piantumazione di essenze tipo canneto hanno lo scopo di limitare la velocità di scorrimento delle acque e contemporaneamente favorire la sedimentazione dei solidi sospesi e l'abbattimento delle concentrazioni di sostanze inquinanti prima del drenaggio nel sottosuolo.

Viene proposta l'integrazione delle aree verdi previste in fregio del nuovo tronco stradale con aree a ritenzione vegetata per il miglioramento del trattamento delle acque di deflusso della piattaforma stradale in modo da garantire un ulteriore grado di protezione della falda sottostante.

Un'area di ritenzione vegetata è un'area verde strutturata appositamente al fine di raccogliere e trattare le acque meteoriche drenate, nel caso specifico, dalla sede stradale.

È costituita da:

- una fascia con copertura erbosa disposta tra la superficie drenata e la zona di ristagno;
- un'area avvallata costituita da suolo vegetativo e vegetazione, nella quale si ha il ristagno temporaneo delle acque meteoriche;
- uno strato di materiale organico (foglie, paglia, pezzi di corteccia, ghiaio) a copertura dello spessore di suolo vegetativo;
- un sistema di drenaggio, composto da ghiaia disposto sul fondo per la dispersione nel sottosuolo.

Le acque di runoff sono convogliate tramite deflusso superficiale all'area di ritenzione vegetata tramite embrici posti ad intervalli regolari lungo tutto il tracciato. La depurazione avviene mediante l'azione combinata tra substrato ghiaioso, piante, refluo e microrganismi presenti. In particolare, lo strato di materiale organico favorisce la crescita di microrganismi che provvedono ad una degradazione della materia organica trasportata, mentre la vegetazione fornisce l'ossigeno necessario alle reazioni trasportandolo dall'apparato fogliare a quello radicale, trattenendo gli inquinanti. Il sistema, del tutto "ecocompatibile", funziona solo con determinate specie vegetali in particolare:



Figura 17: Canna Palustre; Giunco Comune; Gynerium argenteum; Lavandula spica

### 3.6 Attraversamenti faunistici e sottopassi agricoli

Il posizionamento della nuova infrastruttura nel territorio ha evidenziato la necessità di inserire dei passaggi faunistici che dal punto di vista ambientale e biologico, rispettano e garantiscono le connessioni della rete ecologica esistente. I passaggi per la fauna selvatica permettono a determinate specie di attraversare le vie di comunicazione, mantenendo e ripristinando la loro libertà di movimento. Gli obiettivi di questi passaggi sono:

- ridurre la frammentazione del territorio e l'isolamento delle popolazioni di animali, attraverso il ripristino degli scambi tra una zona e l'altra;
- ridurre gli incidenti, riducendo il rischio di attraversamento della nuova infrastruttura.

Nel caso specifico verranno posati degli elementi prefabbricati in cls di larghezza 1 m, ogni 140 m ai piedi del rilevato.

Nel primo tronco stradale, compreso tra la rotonda A sulla SP 1 dei "Setteponti" e il nuovo ponte, la fruibilità delle capezzagne esistenti è garantita dall'inserimento di sottopassi agricoli che garantiscono continuità ai tracciati.

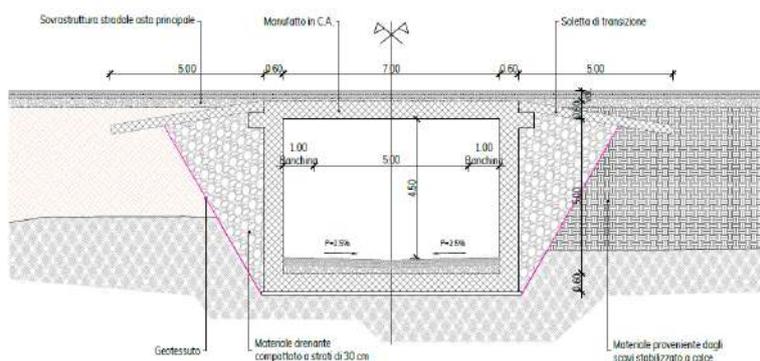


Figura 18: Sottopasso agricolo.

### 3.7 Illuminazione

Il tronco stradale di progetto è dotato di illuminazione solamente per il tratto che interessa il nuovo ponte. La soluzione proposta è l'utilizzo di GuardLight (G-LIGHT), soluzione innovativa rispetto al concetto tradizionale di illuminazione stradale. Si tratta della combinazione di un Guard-Rail, con GuardLED. Quest'ultimo è un rivestimento brevettato e realizzato da FASIPOL srl in poliuretano, appositamente sagomato per garantire la completa copertura anteriore della lamina a tripla onda rivestito da un film autoadesivo in PVC applicato sulla superficie, provvisto di una striscia a LED posta nella parte inferiore del rivestimento stesso.



Figura 19: GuardLED.

Questa tecnologia garantisce un risparmio in termini di manutenzione e installazione oltre ad introdurre delle migliorie in termini di:

- maggiore sicurezza: il poliuretano garantisce maggiore sicurezza in caso di impatto contro le barriere;
- segnalazione di punti o curve pericolose tramite variazione cromatica della luce a Led;
- visibilità dal lato traffico migliorata;
- eliminazione di coni di luce e zone d'ombra essendo il fascio di luce direzionale e longitudinale;
- illuminazione a LED a risparmio energetico continua e uniforme;

- costi di gestione ridotti;
- materiali performanti e di alta durabilità.

Dal punto di vista ambientale ed energetico questa soluzione garantisce una riduzione della dispersione luminosa grazie all'abbassamento del fascio di luce e al suo indirizzamento.

### 3.8 Verifiche normative del tracciato stradale

Il tracciato planimetrico da nord a sud (dalla rotonda B alla rotonda A) è composto da RETTIFILO – CLOTOIDE – CURVA – CLOTOIDE – RETTIFILO, verificati secondo la Normativa stradale del 2001, per una strada tipo C2 avente velocità massima 100 km/h e velocità minima 60 km/h. La normativa stabilisce un intervallo entro il quale deve ricadere la lunghezza del rettifilo per evitare il superamento delle velocità, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e la riduzione dell'abbagliamento durante la guida notturna (Figura 20, 1)

Il valore del raggio è stato determinato al fine di rispettare la relazione, fornita dal DM 5/11/2001,  $R \geq 400$  m per  $L_R \geq 300$  m. Con questi parametri è possibile determinare la lunghezza minima per una corretta percezione della curva stessa. (Figura 20, 3)

Lungo il tracciato tra i rettifili e la curva circolare sono stati inseriti dei raccordi planimetrici a raggio variabile (clotoidi) di cui sono stati verificati i parametri di scala previsti dal DM 05/11/2001 (Figura 20, 2):

- limitazione del contraccolpo;
- limitazione della pendenza longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- la corretta percezione ottica dell'andamento del tracciato.

Dal punto di vista altimetrico il vincolo principale è rappresentato dallo scavalco del fiume Arno che viene superato con livellette del 5,79% in entrambe le direzioni. Questo valore è inferiore al 7% imposto dalla Normativa (DM 05/11/20019 per la tipologia di strada prevista (Figura 20, 5).

Le livellette sono collegate con raccordi parabolici verticali tali da garantire il rispetto delle corrette distanze di visibilità (Figura 20, 8).

✓ 1 Rettifilo - N. 1		Lunghezza: 676,320	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Lunghezza minima		676,320	150,000	100,00
●	Lunghezza massima		676,320	2200,000	100,00

✓ 2 Clotoidi - N. 1		Parametro A: 210,000	Lunghezza: 110,250	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula approssimata			210,000	210,000	100,00
●	Parametro A minimo da limitazione della pendenza longitudinale dei cigli			210,000	145,297	100,00
●	Parametro A minimo da criterio ottico			210,000	133,333	
●	Parametro A massimo da criterio ottico			210,000	400,000	
●	Rapporto parametri A da criterio ottico			1,000	0,667	
●	Parametro A minimo da limitazione del contraccolpo Formula esatta			210,000	181,093	100,00

✓ 3 Raccordo - N. 1		Raggio: 400,000	Lunghezza: 163,564	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Raggio minimo in funzione della velocità			400,000	118,110	60,00
●	Lunghezza minima per una corretta percezione			163,564	66,937	96,39
●	Raggio minimo dal rettifilo precedente			400,000	400,000	
●	Raggio minimo dal rettifilo successivo			400,000	129,183	

✓ 5 Livelletta - N. 3		Pendenza: -5,789%	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Pendenza massima		5,789%	7,000%	

✓ 8 Parabola - N. 4		Raggio: 1750,000 m	Lunghezza: 87,537 m	Elemento	Riferimento	Velocità
●	Raggio minimo per evitare il contatto con la superficie			1750,000 m	40,000 m	
●	Raggio minimo comfort accelerazione verticale			1750,000 m	503,087 m	62,55 km/h
●	Raggio minimo da visibilità ( con Distanza di arresto)			1750,000 m	1625,265 m	62,55 km/h

Figura 20: in ordine

1. Verifica rettifili
2. Verifica clotoide
3. Verifica curva circolare
5. Verifica livellette
8. Verifica raggi verticali

### 3.8 Le nuove rotatorie

Le tipologie di rotatorie sono del tipo convenzionale (diametro esterno compreso tra 40 e 50 m), in particolare le tre rotatorie previste hanno i seguenti diametri: A  $\varnothing$  47 m; B  $\varnothing$  43 m; C  $\varnothing$  40 m.

La loro collocazione va incontro agli obiettivi esplicitati dal DIP per connettere in maniera organica tutti i rami di progetto previsti, garantendone la piena funzionalità.



Figura 21: Rotatoria A.



Figura 22: Rotatoria B.



Figura 23: Rotatoria C.

Tutte le rotatorie hanno corsie di ingresso pari a 3,50 m nel caso di attestamenti a singola corsia, 6 m per quelli organizzati su due corsie. Le corsie di uscita, come prescritto dal DM 2006, sono organizzate sempre a singola corsia di larghezza 4,50 m.

La larghezza dell'anello invece è pari a 9,00 m nel caso di attestamento a 2 corsie (rotatoria C) e pari a 6,00 m nei casi di attestamento a singola corsia (rotatorie A e B). I raggi di raccordo all'anello sono tali da rendere agevole le manovre a tutti i mezzi compresi quelli pesanti.

Per quanto riguarda il sistema del verde, la scelta delle specie è stata dettata dalla volontà di identificare ogni nuova connessione con una sua propria tematica. Per questo motivo, in ordine, sono state previsti disegni del verde realizzati, nell'ordine, con A: graminacee, B: piante di odori e C: sistema Wild Flower.



Figura 24: Sezioni rotatorie.

Per l'illuminazione, invece, saranno utilizzati apparecchi illuminanti con sorgente a LED montati su palo ed installati mediante plinto in calcestruzzo. Gli apparecchi saranno posizionati sul lato esterno della rotatoria con fonti luminose installate a testapalo. Al fine di migliorare l'efficienza e ridurre i consumi l'impianto di illuminazione sarà allacciato e controllato da orologio astronomico, e il singolo apparecchio sarà dotato di regolatore di flusso.

La tecnologia a LED presenta, rispetto ai vecchi impianti con lampade alogene, una serie di vantaggi quali: Risparmio energetico; Minimo sviluppo di calore; Funzionamento in bassa potenza; Maggiore durata di vita; Minori costi di manutenzione; Maggiore robustezza; Resistenza a umidità e vibrazioni; Accensione immediata al freddo.

Dal punto di vista ambientale ed energetico rappresentano quindi una scelta vantaggiosa dettata dal ridotto livello di emissioni, dalla scarsa dispersione di calore, dal fatto che non emettono raggi ultravioletti e a infrarossi e dal basso livello di energia che il LED richiede. Questi aspetti incidono a loro volta sulla durata del prodotto e sulla quantità di rifiuti prodotti.

#### 4. Definizione delle varie fasi realizzative



Figura 25: Schema delle fasi realizzative del ponte.

Nella prima fase realizzativa, del ponte verrà predisposta l'area di cantiere sulle due sponde del Fiume Arno, di conseguenza verranno eseguiti gli scavi di aggotamento, l'inserimento dei diaframmi, e del getto per la platea di fondazione; dopo di che verranno gettati in opera le spalle di destra e di sinistra in c.a. e saranno posate le barre dywidag. Nella successiva fase, grazie all'utilizzo di un castello provvisorio, saranno posate le travi dell'arco in acciaio riempite di cls. Successivamente si provvederà alla posa in opera delle travi in acciaio centrali che andranno a formare un sodalizio con le travi precedentemente posizionate; in questa fase verranno utilizzate due autogru da 500 tonnellate, in modo tale da non dover violare l'alveo del fiume.

Nella successiva ed ultima fase realizzativa verranno posate in opera le travi delle campate laterali, verrà eliminato il castello provvisorio, vi sarà la posa dei predalles e del getto della soletta in c.a. Infine si provvederà alla tesatura delle barre dywidag e al completamento del manufatto con la guaina, la pavimentazione, la pavimentazione stradale e verrà applicato il rivestimento in acciaio cor-ten.

#### 5. Descrizione della soluzione tecnologica e strutturale del ponte

La proposta progettuale del ponte ha riguardato una disamina di tutti gli aspetti che caratterizzano un'opera complessa di questo tipo, primariamente riguardando quelli architettonici e di inserimento paesaggistico, a seguire le modali costruttive, lo studio dell'iterazione del manufatto con il terreno (stratigrafia particolare caratterizzazione da strati alluvionali di medie e scarse resistenze fatta eccezione per i primi 5 m dal piano campagna caratterizzati da materiale ghiaioso), l'utilizzo di materiali durevoli, l'individuazione di uno schema strutturale "iperstatico e robusto" nel rispetto della attuale normativa NTC 2018.

Si evidenzia che la ricerca della soluzione che integrasse le desiderate esigenze formali con le altre esigenze è avvenuta indagando preliminarmente tutte le tipologie di ponte; per seguire il percorso logico che ha portato alla proposta progettuale, dopo una prima scrematura tra le soluzioni possibili, sono state analizzate nel dettaglio le seguenti soluzioni progettuali: ponte ad arco a via inferiore, ponte ad arco a via intermedia, ponte ad arco ribassato a via superiore, ponte strallato.

Ci si è pertanto orientati, alla fine, sulla soluzione ad arco a via superiore, con individuazione ed utilizzo di materiali tecnologicamente moderni, utilizzati nel rispetto delle loro caratteristiche: il calcestruzzo armato per gli elementi che lavorano a compressione (arco), l'acciaio per gli elementi soggetti a trazione o flessione (travi), le barre dywidag per assorbire le trazioni generate dallo schema statico adottato.

Entrando nello specifico, si evidenzia che l'impalcato sarà realizzato in struttura mista acciaio-calcestruzzo e gli archi metallici a sezione scatolare cava, saranno riempiti in calcestruzzo; le caratteristiche dell'opera sono riportate nella seguente tabella:

LUNGHEZZA TOTALE:	110 m
SCHEMA STATICO:	Arco Telaio
NUMERO CAMPATE:	3
NUMERO TRAVI PER CAMPATA:	5
LARGHEZZA IMPALCATO	12,5 m
FONDAZIONI PROFONDE	Diaframma in c.a.

Per quanto riguarda la risposta strutturale a livello globale, lo schema ad arco telaio verrà realizzato incastrando gli archi all'impalcato e trasferendo la spinta all'imposta degli stessi in parte alle spalle in modo diretto e in parte all'impalcato attraverso dei puntoni diagonali di collegamento proprio in corrispondenza delle spalle tra la base degli archi e l'impalcato.



## 7. Esposizione fattibilità tecnica economica dell'intervento: calcolo sommario della spesa

La presente stima sommaria è stata redatta applicando alle quantità rilevabili dai grafici di progetto i costi parametrici determinati per tipologie di lavorazioni simili.

La determinazione dei costi parametrici è stata effettuata computando analiticamente delle strutture tipologiche assimilabili agli interventi di progetto e applicando i prezzi unitari desunti dal prezzario Regionale.

### A IMPORTO DEI LAVORI

A1	.1	Rotatoria A	622.293,00 €
A1	.2	Rotatoria B	428.861,00 €
A1	.3	Rotatoria C	407.917,00 €
A1	.4	Nuova viabilità - Ramo A	2.260.197,00 €
A1	.5	Adeguamento SP56 - via dello Spicchio	938.986,00 €
A1		Totale opere stradali	4.613.254,00 €
A2	.1	Impalcato	1.404.892,00 €
A2	.2	Fondazioni e spalle del ponte	2.242.511,00 €
A2	.3	Rivestimenti	262.758,00 €
A2		Totale opere strutturali	3.910.161,00 €
A3		Oneri per la sicurezza	397.950,50 €
		Totale A	8.921.365,50 €

### B SOMME A DISPOSIZIONE

B1		Stima preliminare delle indennità di esproprio, occupazioni temporanee, danni per occupazioni temporanee e spese di registrazione esproprio	350.000,00 €
B2		Spese tecniche da bando per spese concorsuali, progetto di fattibilità tecnica ed economica, definitiva, esecutiva, DDL, CSE, al netto di oneri previdenziali e IVA	1.095.771,08 €
B3		Valutazione di massima per oneri previdenziali (5% di B2)	54.788,55 €
B4	.1	IVA su lavori (10 % di A)	892.136,55 €
B4	.2	IVA su spese tecniche prog, DL, CSP, CSE... (22% di B2)	241.069,64 €
		Totale B	2.633.765,82 €

SOMMANO (A + B) 11.555.131,30 €