

PROVINCIA DI PISA

Integrazioni al Progetto Definitivo
necessarie alla conclusione dei lavori della Conferenza dei Servizi

Relazione di fattibilità geologica
di supporto alla variante urbanistica al POC

Giugno 2020



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERING s.r.l.



CREALINK Srl
INGEGNERIA & CONSULENZA



Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

INDICE

1	PREMESSA	3
2	VARIANTI AL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA	4
2.1	Nodo 1	5
2.2	Nodo 2	5
2.2.1	Nodo 2/a	5
2.2.2	Nodo 2/a - 2/b - 2/c.....	6
2.2.3	Nodo 4	7
2.2.4	Nodo 5	7
2.3	Ottimizzazione delle intersezioni	8
2.4	Opere di consolidamento	8
2.5	Profilo di progetto tra i nodi 1 e 2	9
2.6	Profilo di progetto tra i nodi 3 e 5	9
2.7	Profilo di progetto tra i nodi 10 e 12	9
3	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DELLA VARIANTE AL POC	10
3.1	Pericolosità geologica e carta geomorfologica	10
3.1.1	<i>Interventi di mitigazione della pericolosità geologica.....</i>	<i>15</i>
3.1.2	<i>Contenimento dei cedimenti dei terreni di fondazione dei rilevati stradali</i>	<i>15</i>
3.1.3	<i>Adozione di fondazioni su pali di grande diametro in c.a.....</i>	<i>15</i>
3.1.4	<i>Stabilizzazione a calce del piano di posa dei rilevati</i>	<i>15</i>
3.2	Pericolosità idraulica	16
3.2.1	<i>Impatto sulle acque superficiali.....</i>	<i>16</i>
3.2.2	<i>Confronto tra le misure di mitigazioni previste dal progetto di fattibilità tecnico economica e dal progetto definitivo.....</i>	<i>16</i>
3.2.2.1	<i>Lotto 1-2</i>	<i>19</i>
3.2.2.2	<i>Lotto 2-5</i>	<i>26</i>
3.2.2.3	<i>Lotto 10-12</i>	<i>32</i>

1 PREMESSA

Il presente documento descrive la fattibilità geologica di supporto alla variante urbanistica al Piano Operativo Comunale (POC) del Comune di San Giuliano Terme (PI), resasi necessaria per le modifiche introdotte nella progettazione definitiva della nuova viabilità di raccordo nord tra il nuovo polo ospedaliero, la S.S.12 del Brennero, la S.S.1 Aurelia e la S.P.2 Vicarese (tratta Madonna dell'Acqua-Cisanello), dato che il POC vigente ha recepito il tracciato della viabilità sviluppato nel precedente livello di progettazione (progetto di fattibilità tecnico economica).

In particolare, per l'individuazione degli ambiti a diversa pericolosità geologica, idraulica e sismica, al fine di definire la fattibilità geologica della variante al POC, si è fatto riferimento agli elaborati contenuti nelle *"Indagini geologiche di supporto alla pianificazione del territorio comunale"*, redatti ai sensi del D.P.G.R. 25/10/2011, n. 53/R *"Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche"* e allegati al Piano Operativo Comunale del Comune di San Giuliano Terme (PI), adottato in data 26/7/2018 con delibera di Consiglio Comunale n° 36, approvato in data 30/10/2019 con delibera di Consiglio Comunale n° 54 e diventato efficace a partire dal 6 febbraio 2020.

Nel capitolo 2 della presente relazione vengono descritte, tratto per tratto, le varianti di tracciato del progetto definitivo rispetto al progetto di fattibilità tecnico economica, mentre nel capitolo 3 vengono illustrati i livelli di pericolosità geologica e pericolosità idraulica delle aree ove risultano ubicate tali varianti; vengono quindi descritti gli interventi, introdotti nella progettazione definitiva, finalizzati a non aggravare i relativi livelli di pericolosità.

Si deve osservare in particolare che, per quanto riguarda la pericolosità idraulica, in sede di presentazione del progetto definitivo in Conferenza dei Servizi, sono stati richiesti dagli Enti studi idraulici approfonditi, in base ai quali sono state apportate modifiche e integrazioni al progetto definitivo con l'inserimento di interventi atti a non aggravare la pericolosità idraulica delle aree interessate dalle varianti. Tali interventi costituiscono l'oggetto di specifici elaborati presentati in CdS per la loro approvazione, a seguito della quale tali elaborati verranno emessi in via definitiva.

Sulla base di quanto riportato nella presente relazione, la Variante al Piano Operativo Comunale (POC) risulta quindi fattibile sotto il profilo geologico.

2 VARIANTI AL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

L'intervento in oggetto fa parte del complesso di lavori inerenti il trasferimento delle attività dell'Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana e del Polo Universitario dall'attuale ubicazione di S.Chiera alla località Cisanello nel Comune di Pisa.

Infatti, il Piano Sanitario Regionale per il periodo 2002-2004 individua come prioritario, nell'ambito dell'obiettivo di qualificazione delle aziende ospedaliere, un programma di interventi edilizi finalizzati al completamento del trasferimento presso il presidio ospedaliero di Cisanello di tutte le attività dell'azienda ospedaliera pisana.

Il progetto del Nuovo Polo Ospedaliero ed Universitario di Cisanello si inserisce in un più ampio contesto di riorganizzazione e rilocalizzazione delle funzioni di interesse sovracomunale presenti nella città, per il quale il 21 aprile 2001 è stato sottoscritto un apposito Accordo di Programma presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri che comprende, tra l'altro, il trasferimento dal centro storico delle sedi della Provincia di Pisa, del Diritto allo Studio Universitario, della Caserma della Guardia di Finanza, degli uffici finanziari dello Stato e di tre strutture militari.

Il tracciato di progetto è costituito da un insieme di archi e nodi, quest'ultimi numerati in modo tale da permetterne l'immediata individuazione. Le principali opere d'arte sono invece identificate da lettere.

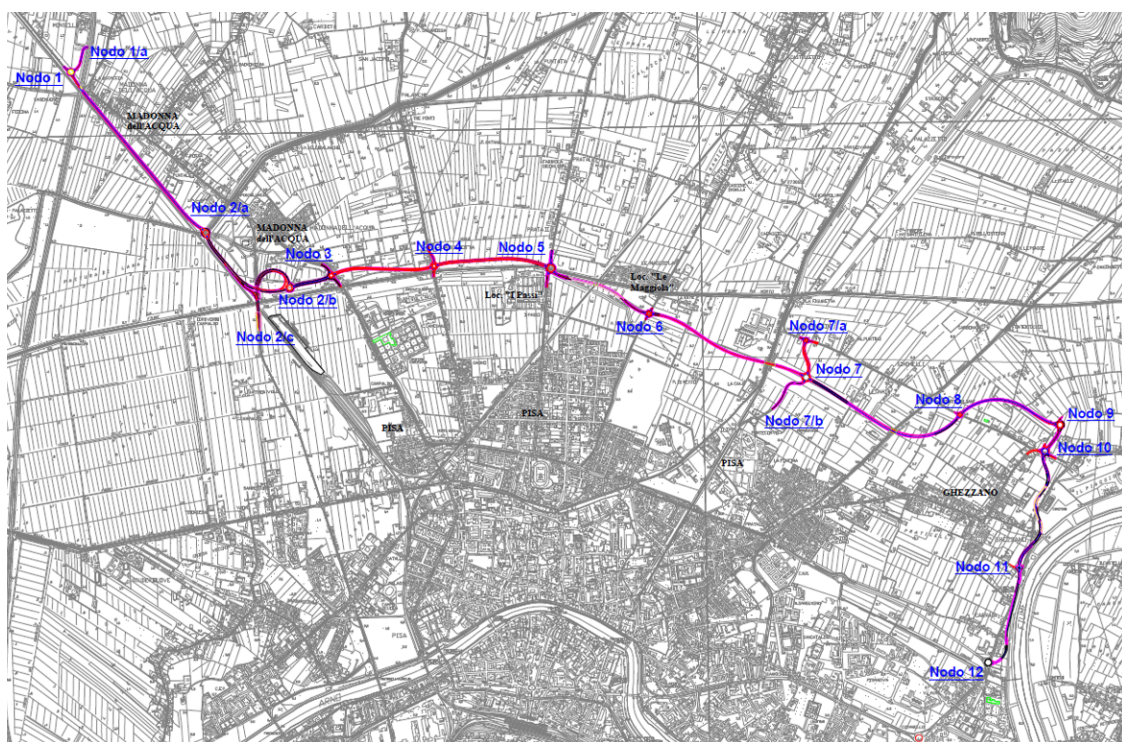


Figura 1 – Planimetria di inquadramento dell'infrastruttura in progetto

La nuova viabilità, che si estende da Madonna dell'Acqua a Cisanello, è stata suddivisa in lotti funzionali.

La progettazione definitiva è stata sviluppata in sostanziale accordo con quanto previsto nel progetto di fattibilità tecnico economica apportando solo alcune lievi modifiche al tracciato. Tali modifiche, concordate e approvate dagli enti interessati, hanno consentito di rendere compatibile l'opera con le variate condizioni al contorno e gli aggiornamenti normativi consentendo al contempo di migliorare il tracciato rendendolo più

sicuro e meno impattante sul territorio. Infine, le ottimizzazioni apportate hanno permesso il contenimento dei costi. Si riportano di seguito, brevemente, le principali modifiche introdotte nel lotto 1-3 e 3-5, sovrapponendo la soluzione del progetto definitivo (in rosso) a quella del progetto di fattibilità tecnico-economica (in verde). Il lotto 10-12 non ha subito sostanziali modifiche rispetto a quanto previsto nel progetto di fattibilità tecnica ed economica.

2.1 Nodo 1

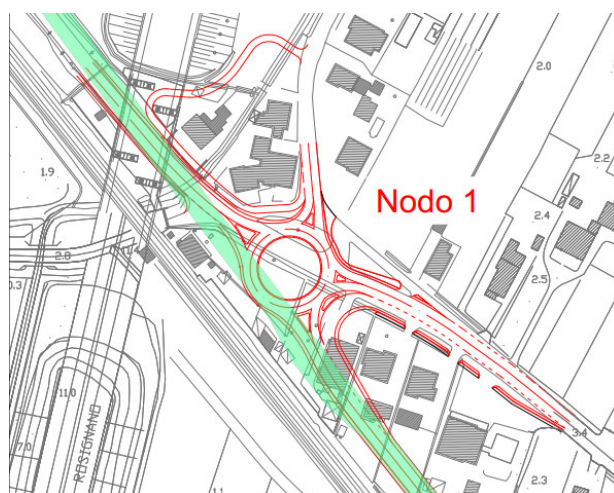


Figura 2 – Planimetria di dettaglio Nodo 1

La modifica del nodo 1 è dovuta sostanzialmente alla richiesta, da parte della Stazione Appaltante, di studiare la realizzazione di un lotto stralcio funzionale per il quale fosse possibile ottenere la piena copertura finanziaria. A tal proposito è stato predisposto un lotto (dal nodo 1 al nodo 2) che potesse funzionare da “variante” al centro abitato di Madonna dell’Acqua. È stata quindi traslata la posizione del nodo 1 portandola a sud dell’autostrada A12, rispetto al progetto di Fattibilità tecnica ed economica che la veda a nord di quest’ultima. A tal fine è stato studiato l’adeguamento dell’intersezione tra la SS1 Aurelia, via di Metato e la nuova tangenziale, mediante la realizzazione di un’intersezione a circolazione rotatoria, facendo quindi iniziare l’opera prevista in progetto proprio da tale nodo.

2.2 Nodo 2

2.2.1 Nodo 2/a

Lo studio di fattibilità tecnico economica prevedeva la realizzazione di una prima rotatoria, posta in adiacenza all’asse ferroviario (Nodo 2/a), alla quale non risulta collegato alcun braccio al di fuori di quelli dell’asse principale in progetto; tale rotatoria sembrerebbe prevista per poter servire, in futuro, nuovi insediamenti commerciali da realizzare nelle aree adiacenti.

Il piano strutturale del Comune di San Giuliano prevede che tali aree possano essere servite direttamente dalla SS1 Aurelia, rendendo superflua la realizzazione della rotatoria nel nodo 2/a; è stato pertanto deciso di eliminare tale intersezione.

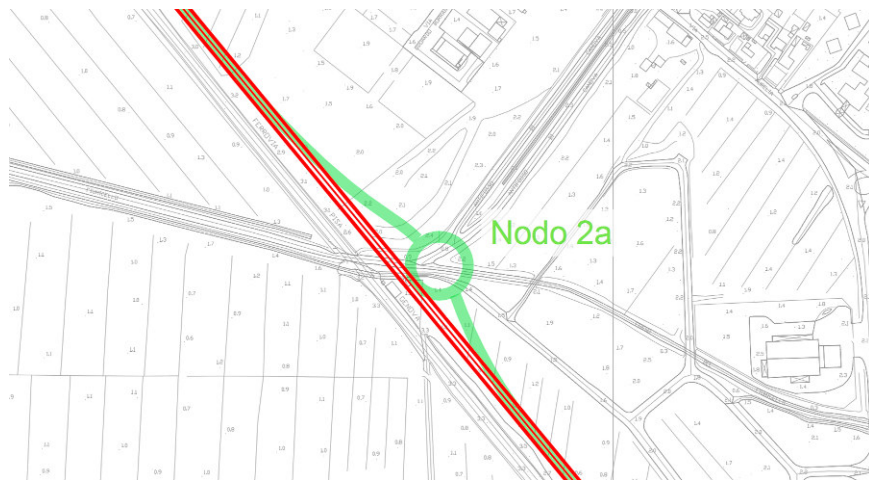


Figura 3 – Planimetria di dettaglio ex Nodo 2a

2.2.2 Nodo 2/a - 2/b - 2/c

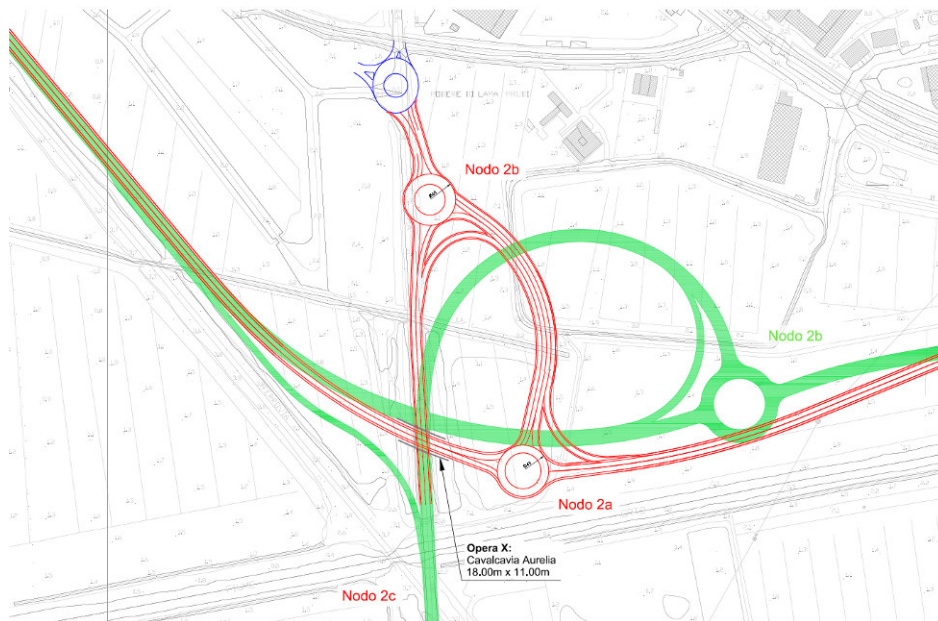


Figura 4 – Planimetria di dettaglio Nodi 2/a, 2/b e 2/c

Il progetto di fattibilità tecnico economica prevedeva, poi, la realizzazione di una seconda rotatoria (Nodo 2/b) nella quale far confluire l'asse principale e l'Aurelia in variante rispetto all'attuale sedime; completa lo svincolo, la rampa di immissione sull'Aurelia in direzione Pisa (Nodo 2/c).

La soluzione proposta in variante prevede invece la realizzazione di uno svincolo più compatto composto da due rotatorie ravvicinate collegate tra loro da apposita rampa dotata di due corsie per senso di marcia (Tratto 2a-2b).

Nella nuova configurazione non risulta più necessario realizzare la rampa di immissione che interessa il ponte esistente sulla linea ferroviaria. Questo aspetto è estremamente rilevante in quanto la soluzione dello

studio di fattibilità comporterebbe la verifica strutturale del viadotto sulla base della nuova normativa NTC2008, con evidenti problematiche progettuali e tecniche per la realizzazione dell'ampliamento, oltre ad evidenti oneri economici particolarmente rilevanti.

Altro aspetto migliorativo riguarda la funzionalità del nodo; grazie all'introduzione della doppia rotatoria, è possibile dare continuità all'Aurelia che, nello studio di fattibilità tecnico economica, veniva interrotta precludendo l'accessibilità alla località Madonna dell'Acqua. Il nodo 2b si adatta inoltre alle previsioni del regolamento urbanistico prevedendo il collegamento con la futura rotatoria di accesso al comparto (rappresentata in blu).

Infine, l'allontanamento del nodo 2 rispetto al nodo 3 evita eventuali fenomeni di congestione nelle ore di punta. Complessivamente è quindi possibile affermare che la soluzione proposta in variante è migliorativa in quanto produce una minore occupazione di suolo pubblico, migliora la funzionalità dal punto di vista viabilistico e riduce i costi di realizzazione.

2.2.3 Nodo 4

Al fine di ottimizzare le fasi realizzative dell'opera, l'intersezione è stata spostata poco più ad est, in modo da non interessare direttamente la strada esistente.

In particolare, l'opera d'arte prevista potrà essere costruita in adiacenza a quella esistente, senza rendere necessario la chiusura al traffico della Via di Gello durante la realizzazione del nuovo ponte sul fiume Morto e quindi senza creare grossi disagi alla circolazione.

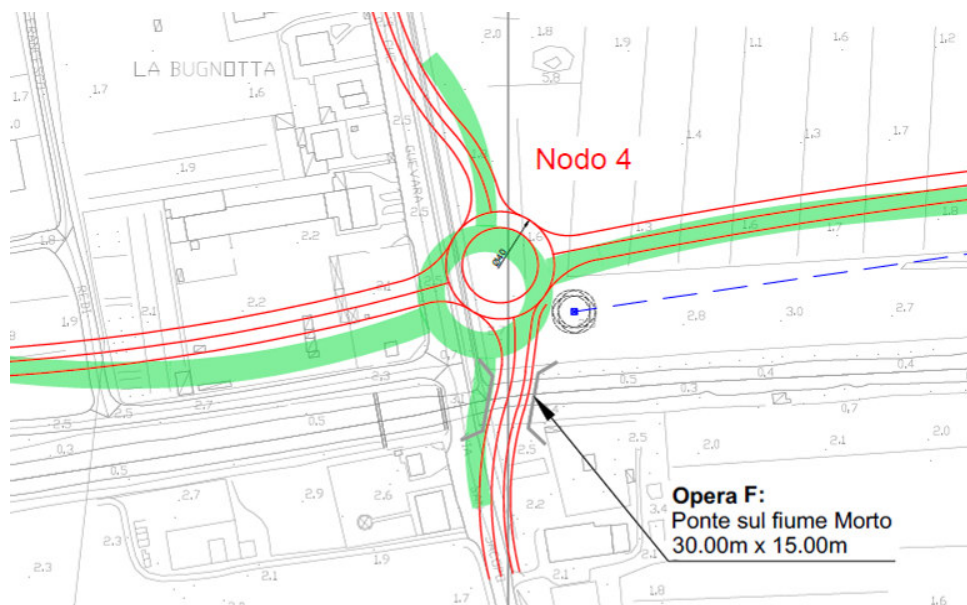


Figura 5 – Planimetria di dettaglio Nodo 4

2.2.4 Nodo 5

Filosofia simile è stata adottata per il nodo 5. In questo caso la soluzione dello studio di fattibilità tecnico economica andava ad interferire fortemente con i corsi d'acqua esistenti, determinando la necessità di realizzare due opere d'arte particolarmente onerose sul Fiume Morto e di un lungo scatolare sul fosso Maltraversino; inoltre, l'isola centrale restava a cielo aperto, destando forti perplessità dal punto di vista della

sicurezza stradale per la difficoltà di contenere un veicolo in svio che impatterebbe sulla barriera di sicurezza quasi ortogonalmente mentre queste sono progettate per impatti con angoli di incidenza pari a 20°.

La configurazione studiata permette invece un'indubbia semplificazione nella realizzazione delle opere d'arte in quanto non risulta più necessaria la costruzione del ponte su via XXIV Maggio e del tombamento del fosso, rimandando al successivo appalto la realizzazione dell'opera sul Fiume Morto.

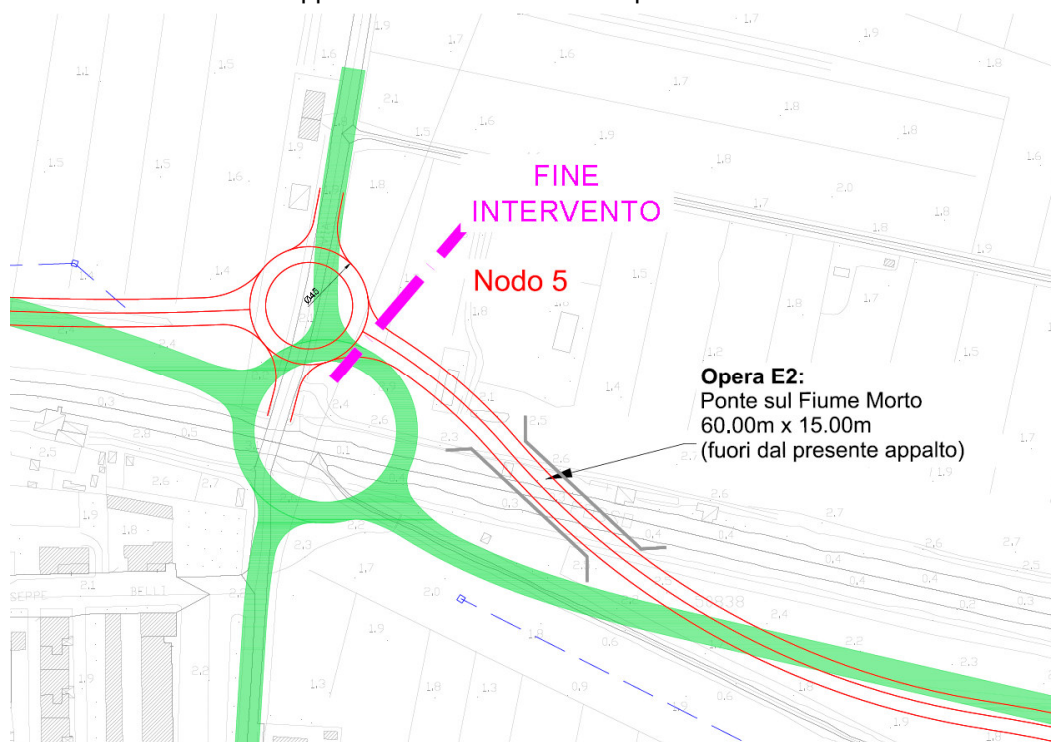


Figura 6 – Planimetria di dettaglio Nodo 5

2.3 Ottimizzazione delle intersezioni

Lo studio di fattibilità tecnico economica prevedeva intersezioni a rotatoria di diametro importante, compreso tra 50m e 70m.

Alla luce delle verifiche effettuate, sulla base dei volumi di traffico attesi e delle possibili ottimizzazioni alle dimensioni e geometrie degli innesti, è stato possibile ridurre il diametro di tutte le intersezioni limitandolo a 40-50m; la modifica introdotta comporta ovviamente un minore consumo di territorio e un risparmio economico.

2.4 Opere di consolidamento

In base agli approfondimenti condotti sul piano geologico e geotecnico è emerso che i terreni in oggetto, per effetto del carico indotto dal rilevato, subiranno cedimenti variabili tra circa 30 cm e 120 cm in funzione dell'altezza del rilevato.

Parte di tale cedimento (circa il 35%) si manifesterà durante la fase di realizzazione dell'opera. Nel progetto è stato quindi tenuto di conto della necessità di approvvigionare materiale per rilevato aggiuntivo (stimato pari al 25% del volume di progetto) necessario per ripristinare le quote di progetto.

La restante quota di cedimento (mediamente pari a 30 cm) si verificherà invece in fase di esercizio della strada e pertanto al fine di conservare nel tempo il franco idraulico rispetto allo scenario di esondazione con TR200 anni, la quota stradale minima è stata incrementata di ulteriori 30 cm.

Al fine di garantire, per tutto lo sviluppo del tracciato, una quota residua di cedimento non superiore al valore stimato (30 cm), nei tratti dove il rilevato è più alto, verranno installati dreni verticali a nastro che consentiranno di accelerare il cedimento durante la fase di realizzazione.

2.5 Profilo di progetto tra i nodi 1 e 2

In merito alle quote del rilevato, la variazione progettuale attuata nella progettazione definitiva ha visto un innalzamento delle quote del rilevato stradale per adempiere alle richieste da normativa di un franco minimo che, al momento dell'affidamento del progetto, deve essere di almeno 1 metro tra il punto minimo dell'intradosso delle strutture di attraversamento ed il punto più alto del pelo libero nell'intorno dello stesso attraversamento.

Le opere di attraversamento hanno tutte quindi franchi da 1 metro ad 1.20 metri.

Per quanto riguarda le soluzioni alternative quali la realizzazione di casse di espansione, si fa notare che le esondazioni in oggetto sono frutto dell'insufficienza dell'alveo del fiume Serchio posto a nord della viabilità in progetto e non frutto dei corsi d'acqua interferenti. Essendo un'esondazione con un volume pari a circa 9-10 milioni di metri cubi per tempo di ritorno 200 anni, l'esondazione è estesa a tutta la piana compresa tra il Serchio e la città di Pisa.

Ne deriva che una cassa di espansione in loco non avrebbe nessun effetto sulle esondazioni, avendo un volume di alcuni ordini di grandezza inferiori al volume dell'onda complessiva di esondazione. Di più, anche se fosse possibile realizzare teoricamente una cassa d'espansione in prossimità delle opere, data la giacitura del terreno, quota media del piano campagna tra i nodi 1 e 2 di circa 1.50 m. s.l.m., una eventuale cassa d'espansione avrebbe delle quote di fondo di molto inferiori allo zero e quindi per far defluire le acque invase sarebbero necessari impianti idraulici tipo pompe idrovore.

2.6 Profilo di progetto tra i nodi 3 e 5

In merito alle quote del rilevato tra i restanti nodi, in linea generale non ci sono state sostanziali variazioni tra quanto previsto nel progetto di fattibilità tecnica ed economica e quanto contenuto nel progetto definitivo. Le uniche variazioni presenti sono dovute alla diversa quota terreno di riferimento dei due progetti. A supporto del progetto definitivo è stato infatti eseguito un rilievo celerimetrico di dettaglio grazie al quale è stato meglio definito il modello del terreno alla base della progettazione. Inoltre, è stata adottata una pendenza longitudinale del profilo minima pari allo 0.5 %, ma comunque superiore rispetto a quanto previsto il progetto di fattibilità tecnica ed economica, che prevedeva pendenze anche inferiori allo 0.1 %.

Le altezze del rilevato del tratto dal nodo 2 al nodo 3 sono mediamente pari a 1.50 m, così come nel progetto di fattibilità tecnica ed economica.

Per il tratto dal nodo 3 al nodo 4 si denota un'altezza del rilevato maggiore (altezza massima di 4.0 m del progetto definitivo contro i 3.3 m del progetto di fattibilità tecnica ed economica) a causa dello scavalco del torrente Fiumicello in corrispondenza dell'opera G.

Per il tratto dal nodo 4 al nodo 5 l'altezza del rilevato prevista dal progetto definitivo è praticamente coincidente con quella del progetto di fattibilità tecnica ed economica, circa 2.0 m, tranne che per il primo tratto in cui è presente un tombino per lo scavalco di un canale.

2.7 Profilo di progetto tra i nodi 10 e 12

Il tratto compreso tra i nodi 10 e 12 del progetto definitivo non presenta particolari criticità in termini di altezza dei rilevati stradali, così come non le presentava il progetto di fattibilità tecnica ed economica. Infatti, le altezze massime risultano di circa 1-1.5 m per il tratto dal nodo 10 al nodo 11; nel tratto compreso tra il nodo 11 e il nodo 12 invece il tracciato di progetto risulta praticamente coincidente con il tracciato stradale esistente.

3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DELLA VARIANTE AL POC

Di seguito viene descritto l'effetto delle modifiche di tracciato apportate con l'attuale progetto definitivo rispetto al tracciato del progetto di fattibilità tecnico economica recepito nel POC vigente.

A questo scopo, il tracciato del progetto di fattibilità tecnico economica ed il tracciato del progetto definitivo sono stati riportati, rispettivamente in colore rosso ed in colore verde, sovrapponendoli ai seguenti elaborati cartografici contenuti nelle "Indagini geologiche di supporto alla pianificazione del territorio comunale", redatti ai sensi del D.P.G.R. 25/10/2011, n. 53/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche" e allegati al Piano Operativo Comunale del Comune di San Giuliano Terme (PI), adottato in data 26/7/2018 con delibera di Consiglio Comunale n° 36, approvato in data 30/10/2019 con delibera di Consiglio Comunale n° 54 e diventato efficace a partire dal 6 febbraio 2020:

- Pericolosità geologica – tavole G1 (quadrante est) e G3 (quadrante ovest)
- Carta geomorfologica – tavole A1 (quadrante sud) e A3 (quadrante ovest)
- Pericolosità idraulica - tavole H1 (quadrante sud) e H3 (quadrante ovest)

3.1 Pericolosità geologica e carta geomorfologica

In questo caso il tracciato del progetto di fattibilità tecnico economica interessa:

- ambiti di *pericolosità geologica elevata* – G.3, corrispondenti ad ambiti di *terreni argillosi organici* e *ambiti di paleoalveo*.
- ambiti di *pericolosità geologica media* – G.2, corrispondenti, da un punto di vista geomorfologico, a *terreni prevalentemente argillosi*

Il tracciato in variante, proposto nel progetto definitivo, risulta pressoché coincidente con quello del progetto di fattibilità tecnico economica, scostandosi da esso solo localmente, in corrispondenza dei nodi di svincolo, per distanze che generalmente sono contenute in alcune decine di metri, rimanendo tuttavia, i due tracciati, sempre nello stesso ambito di pericolosità geologica.

Si deve aggiungere solamente che il Nodo 1, a inizio tracciato, non insiste più in un ambito di pericolosità media ma, spostandosi verso SE di circa 240 m, si va a collocare in un ambito di pericolosità elevata (paleoalveo nella carta geomorfologica). Tuttavia, trattandosi di una rotatoria, quindi di un'opera del tutto superficiale, dove sono previsti solamente scavi di preparazione del terreno di sottofondo di modesta entità e la realizzazione di un rilevato di altezza pari a 1 m circa, si possono escludere ricadute significative, sull'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico, della variante di tracciato proposta nella progettazione definitiva.

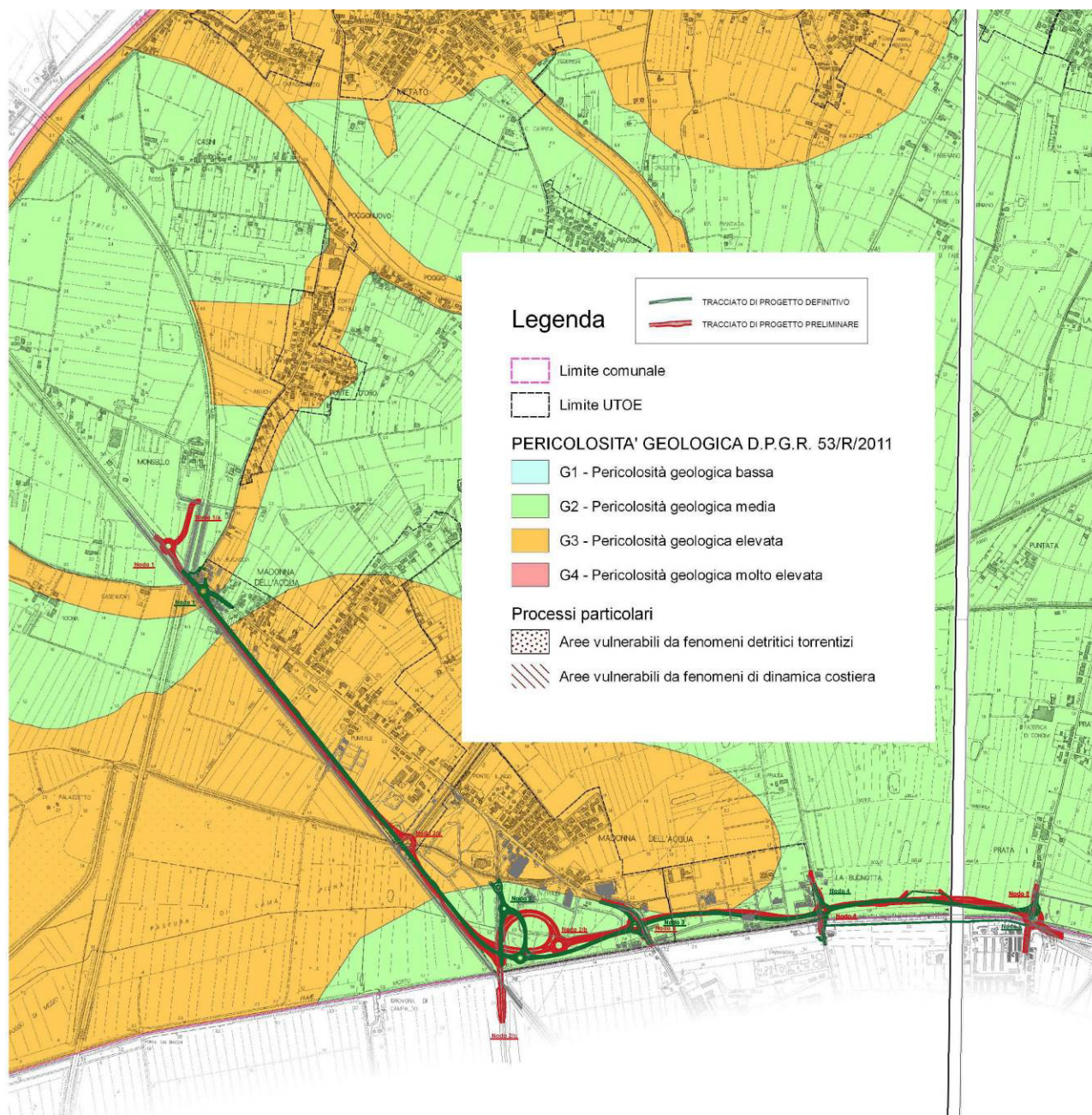


Figura 7 – Sovrapposizione alla Carta della pericolosità geologica (Nodi 1-2-3-4-5)

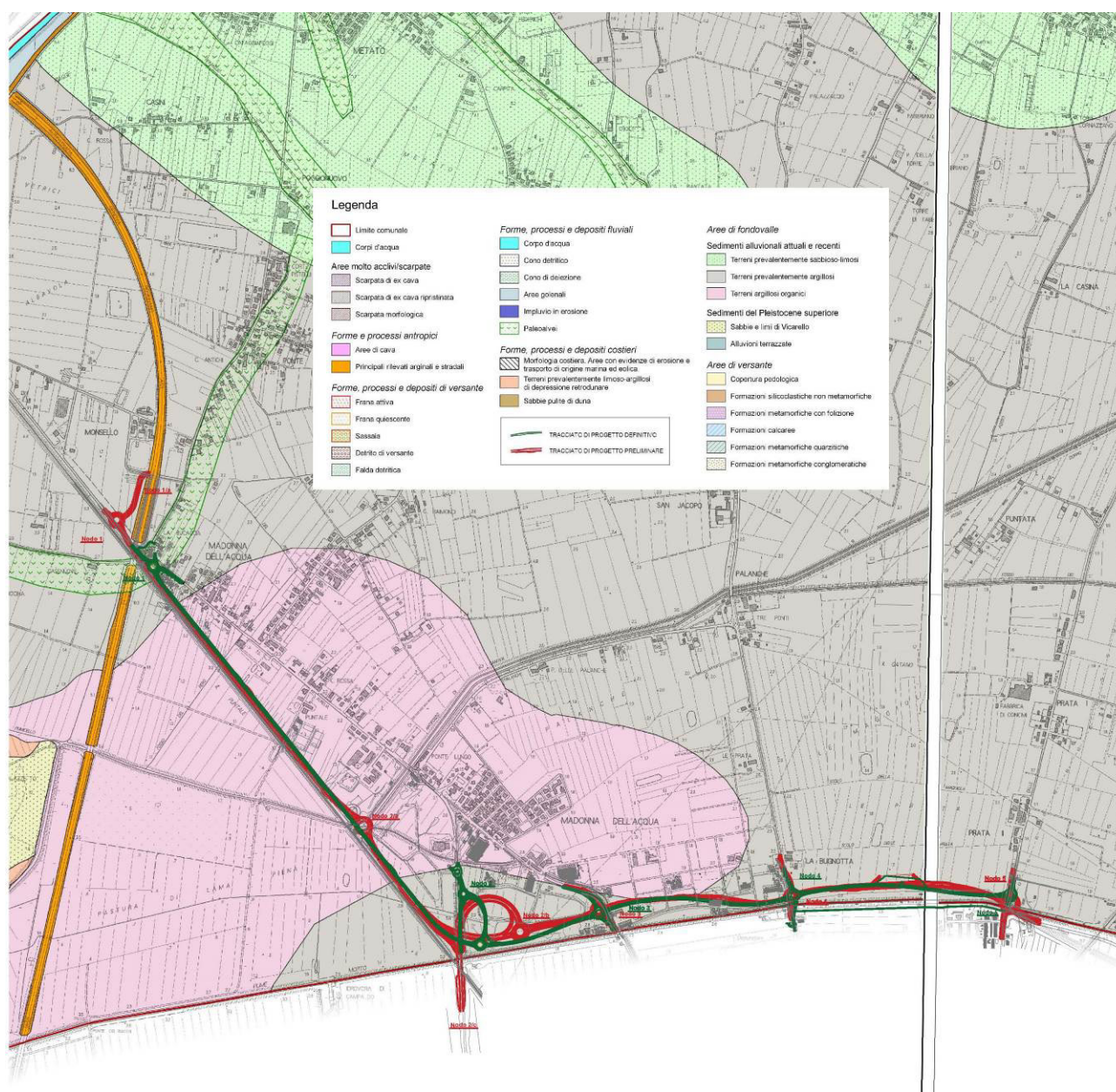


Figura 8 – Sovrapposizione alla Carta geomorfologica (Nodi 1-2-3-4-5)

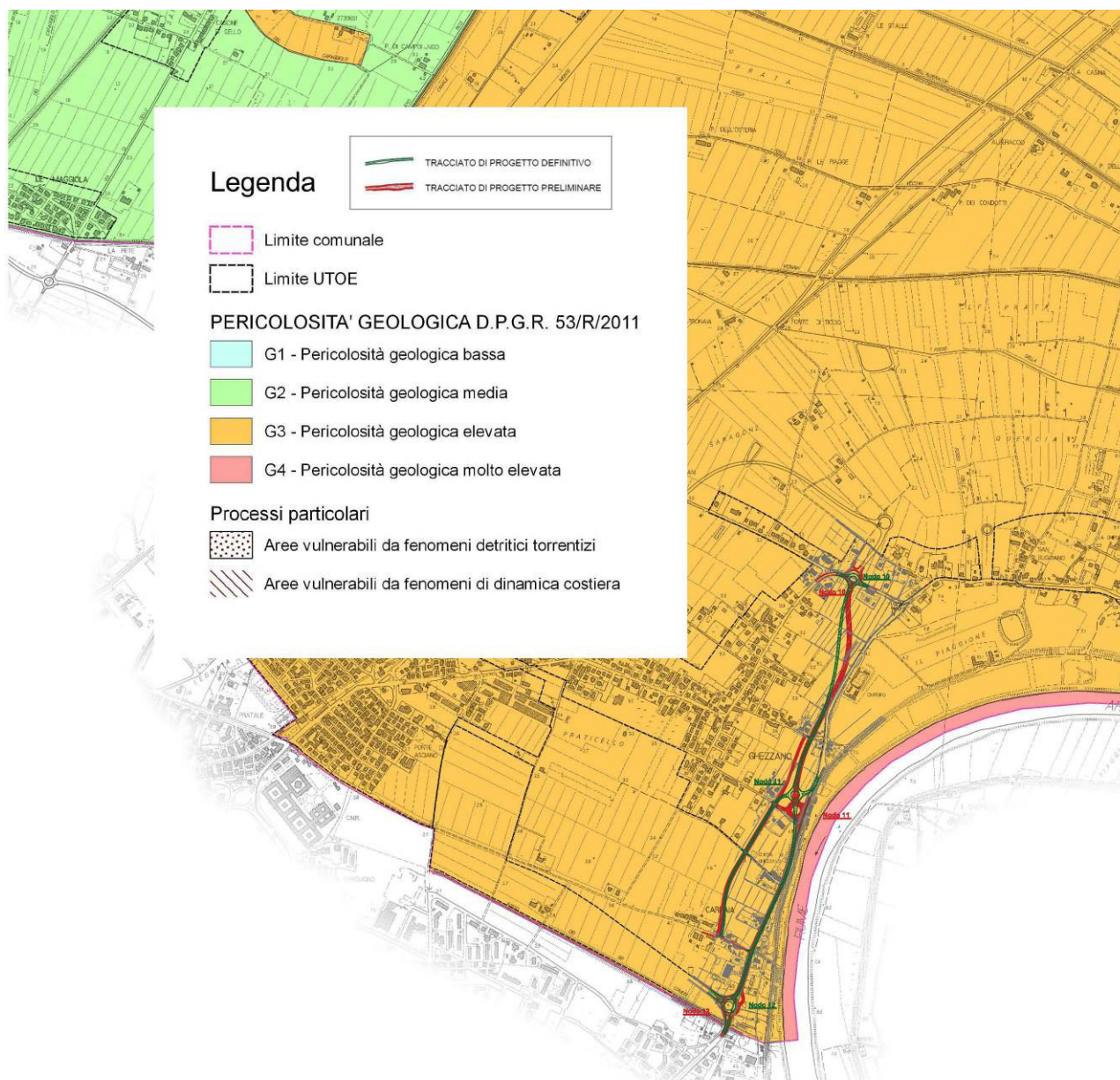


Figura 9 – Sovrapposizione alla Carta della pericolosità geologica (Nodi 10-11-12)

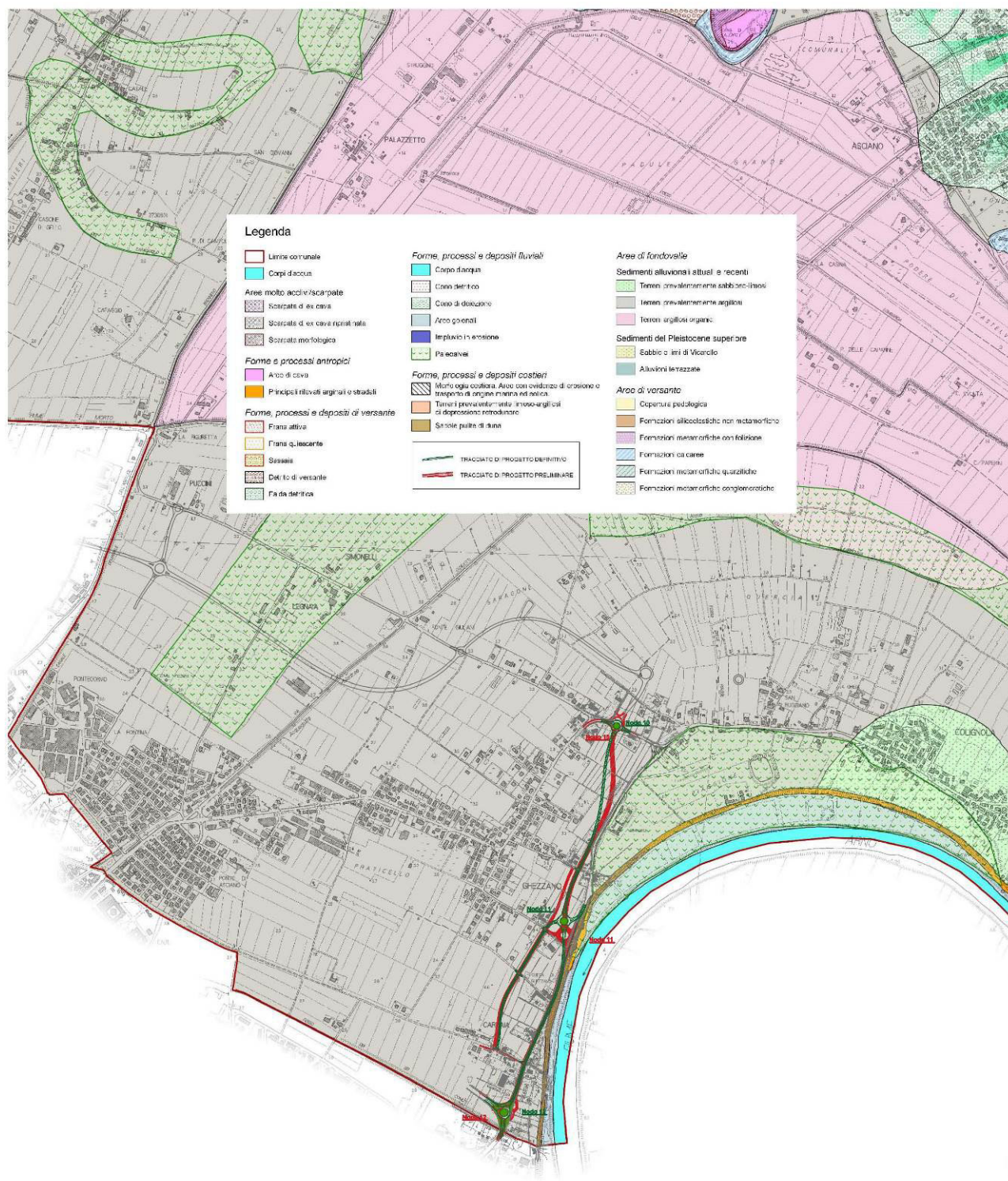


Figura 10 – Sovrapposizione alla Carta della geomorfologica (Nodi 10-11-12)

3.1.1 Interventi di mitigazione della pericolosità geologica

Dato che la pericolosità geologica è legata alla presenza, lungo il tracciato, di terreni argillosi, in parte organici, nella progettazione definitiva sono stati previsti interventi atti a contenere i cedimenti dei terreni fondazione dei rilevati, nella fattispecie costituiti da dreni a nastro, e a trasferire i carichi strutturali dei ponti in progetto sui terreni sabbiosi presenti in profondità, attraverso la realizzazione di fondazioni profonde, nello specifico costituite da pali trivellati ad elica continua diam 1000mm di lunghezza pari a 35 m.

3.1.2 Contenimento dei cedimenti dei terreni di fondazione dei rilevati stradali

In base agli approfondimenti condotti sul piano geologico e geotecnico è emerso che i terreni in oggetto, per effetto del carico indotto dal rilevato, subiranno cedimenti variabili tra circa 30 cm e 120 cm in funzione dell'altezza del rilevato.

Parte di tale cedimento (circa il 35%) si manifesterà durante la fase di realizzazione dell'opera. Nel progetto è stato quindi tenuto di conto della necessità di approvvigionare materiale per rilevato aggiuntivo (stimato pari al 25% del volume di progetto) necessario per ripristinare le quote di progetto.

La restante quota di cedimento (mediamente pari a 30 cm) si verificherà invece in fase di esercizio della strada e pertanto al fine di conservare nel tempo il franco idraulico rispetto allo scenario di esondazione con TR200 anni, la quota stradale minima è stata incrementata di ulteriori 30 cm.

Al fine di garantire, per tutto lo sviluppo del tracciato, una quota residua di cedimento non superiore al valore stimato (30 cm), nei tratti dove il rilevato è più alto, verranno installati dreni verticali prefabbricati a nastro, che consentiranno di accelerare il cedimento durante la fase di realizzazione, previa applicazione di un precarico con un incremento del volume di terreno pari a circa il 25% rispetto al volume di terreno per la realizzazione del rilevato di progetto, calcolato in modo da compensare con una maggiore altezza del rilevato gli abbassamenti del terreno che si manifesteranno a causa dei cedimenti.

3.1.3 Adozione di fondazioni su pali di grande diametro in c.a.

Nel progetto definitivo sono stati previsti per tutte le strutture in progetto fondazioni su pali trivellati ad elica continua diam. 1000mm, di lunghezza pari a 35 m, in modo da consentire il trasferimento dei carichi di progetto al di sotto del terreno argilloso presente mediamente nei primi 20 m di sottosuolo, garantendo un sufficiente ammorsamento nel sottostante terreno sabbioso addensato.

3.1.4 Stabilizzazione a calce del piano di posa dei rilevati

Sui terreni argillosi di sottofondo che costituiscono il piano di posa dei rilevati, da inizio a fine lotto, si prevedono le seguenti operazioni:

- scotico per uno spessore pari a 0,20 m;
- stabilizzazione a calce in sito per uno spessore pari a 0,40 m.

Il trattamento con calce è stato previsto per materiali limoso-argillosi appartenenti ai gruppi A7-6 e A7-5 (CNR UNI 10006).

La terra stabilizzata a calce è una miscela composta da terra, calce viva od idrata e acqua, in quantità tali da modificare le caratteristiche fisico - chimico e meccaniche della terra onde ottenere una miscela idonea per la formazione di strati che, dopo costipamento, risultino di adeguata capacità portante, di adeguata indeformabilità, nonché stabili all'azione dell'acqua e del gelo (CNR 36 - 1973).

3.2 Pericolosità idraulica

Relativamente a questo tema, il tracciato del progetto di fattibilità tecnico economica interessa:

- ambiti di *pericolosità idraulica molto elevata* – I.4, corrispondenti ad *alluvioni frequenti ai sensi della L.R. 41/2018* ovvero aree interessate da allagamenti con $0 < T \leq 30$ anni, ottenute da strumenti sovraordinati (PGRA – PAI Serchio) oppure da studio idraulico eseguito nell'ambito delle "Indagini geologiche di supporto alla pianificazione del territorio comunale";
- ambiti di *pericolosità idraulica elevata* – I.3, corrispondenti ad *alluvioni poco frequenti ai sensi della L.R. 41/2018* ovvero aree interessate da allagamenti con $30 < T \leq 200$ anni, ottenute da strumenti sovraordinati (PGRA – PAI Serchio) oppure da studio idraulico eseguito nell'ambito delle "Indagini geologiche di supporto alla pianificazione del territorio comunale";
- ambiti di *pericolosità idraulica media* I.2, corrispondenti ad aree interessate da allagamenti con $200 < T \leq 500$ anni, ottenute da strumenti sovraordinati (PGRA – PAI Serchio) oppure da studio idraulico eseguito nell'ambito delle "Indagini geologiche di supporto alla pianificazione del territorio comunale".

Nel progetto di fattibilità tecnico economica per il dimensionamento degli attraversamenti stradali della rete idraulica minore, si è fatto riferimento all'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni considerando un franco nullo, in accordo con le Norme di Attuazione del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Per quanto riguarda invece il Fiume Morto, il quale come detto riveste un'elevata importanza per il drenaggio del comprensorio pianeggiante compreso tra i fiumi Arno e Serchio, è stato considerato l'evento duecentennale con un franco almeno pari a 50 cm, ciò per tener conto della maggiore importanza del corso d'acqua.

Per quanto riguarda le tematiche relative ai fossi irrigui, stradali, ricucitura del reticolo irriguo e trasparenza idraulica dell'opera, nel progetto di fattibilità tecnico economica non viene trattato l'argomento.

Per i nodi 10-12 nella progettazione di fattibilità tecnico economica si è data prova della capacità dell'argine del fiume Arno di supportare la piena duecentenaria, senza altre valutazioni di ordine idraulico.

3.2.1 Impatto sulle acque superficiali

Al fine di limitare l'impatto dovuto alla presenza di possibili inquinanti presenti nelle acque di prima pioggia legate al dilavamento del manto stradale è stata prevista la realizzazione di fasce inerbite lungo le scarpate stradali con funzione di biofiltro.

3.2.2 Confronto tra le misure di mitigazioni previste dal progetto di fattibilità tecnico economica e dal progetto definitivo

Il tracciato del progetto definitivo, tranne alcune eccezioni idraulicamente a favore di sicurezza sotto descritte, ricalca più o meno fedelmente quello del progetto di fattibilità tecnico economica.

Le maggiori variazioni risultano risiedere nei punti d'attacco alle viabilità esistenti, con rotatorie meno impattanti dal punto di vista dell'occupazione di suolo e quindi in sostanza meno interferenti col reticolo secondario.

Sono state svolte le integrazioni di modellazione bidimensionale di moto vario per quanto riguarda le interazioni tra piena duecentenaria e progetto stradale tra i nodi 1 e 2, 2 e 5, 10 e 12, nonché un approfondimento sulla zona soggetta a variante urbanistica nel comune di San Giuliano Terme.

Dati i modesti scostamenti del tracciato tra progetto di fattibilità tecnico economica e progetto definitivo, si rimane per lo più nello stesso ambito di pericolosità idraulica, con due sole eccezioni, nelle quali la variante di progetto definitivo migliora sensibilmente il grado di pericolosità idraulica:

- nel tratto iniziale, lo spostamento della rotatoria di svincolo del **Nodo 1** di circa 240 m in direzione SE parallelamente alla linea ferroviaria consente di ubicare la rotatoria in un'area a pericolosità idraulica elevata anziché in un'area a pericolosità idraulica molto elevata;
- in corrispondenza del **nodo 2/a**, ovvero del previsto svincolo a rotatoria sopra il Fosso Fiumicello, la variante di progetto definitivo prevede l'eliminazione della rotatoria e la sua sostituzione con un unico ponte (Opera M2), riducendo sensibilmente in quel punto l'interferenza con l'area di pericolosità idraulica molto elevata.
- per quanto riguarda il tracciato dei **nodi 3-5**, caratterizzati da una pericolosità idraulica I.3 ambiti di *pericolosità idraulica elevata*, in fase di progetto definitivo sono state recepite le indicazioni inerenti l'implementazione di una serie di tombini per la trasparenza idraulica del rilevato stradale, lungo il quale sono presenti circa 90 tombini di diametro 800 mm in cls.

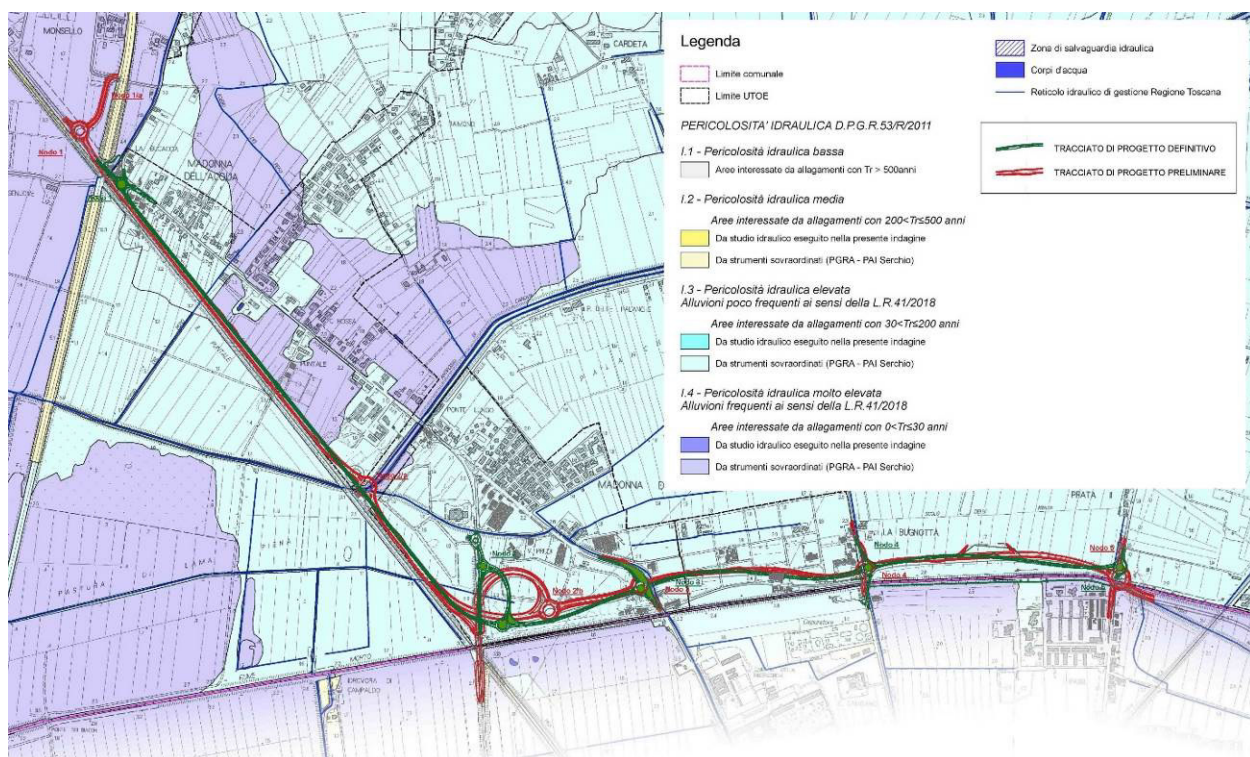


Figura 11 – Sovrapposizione alla Carta della pericolosità idraulica (Nodi 1-2-3-4-5)

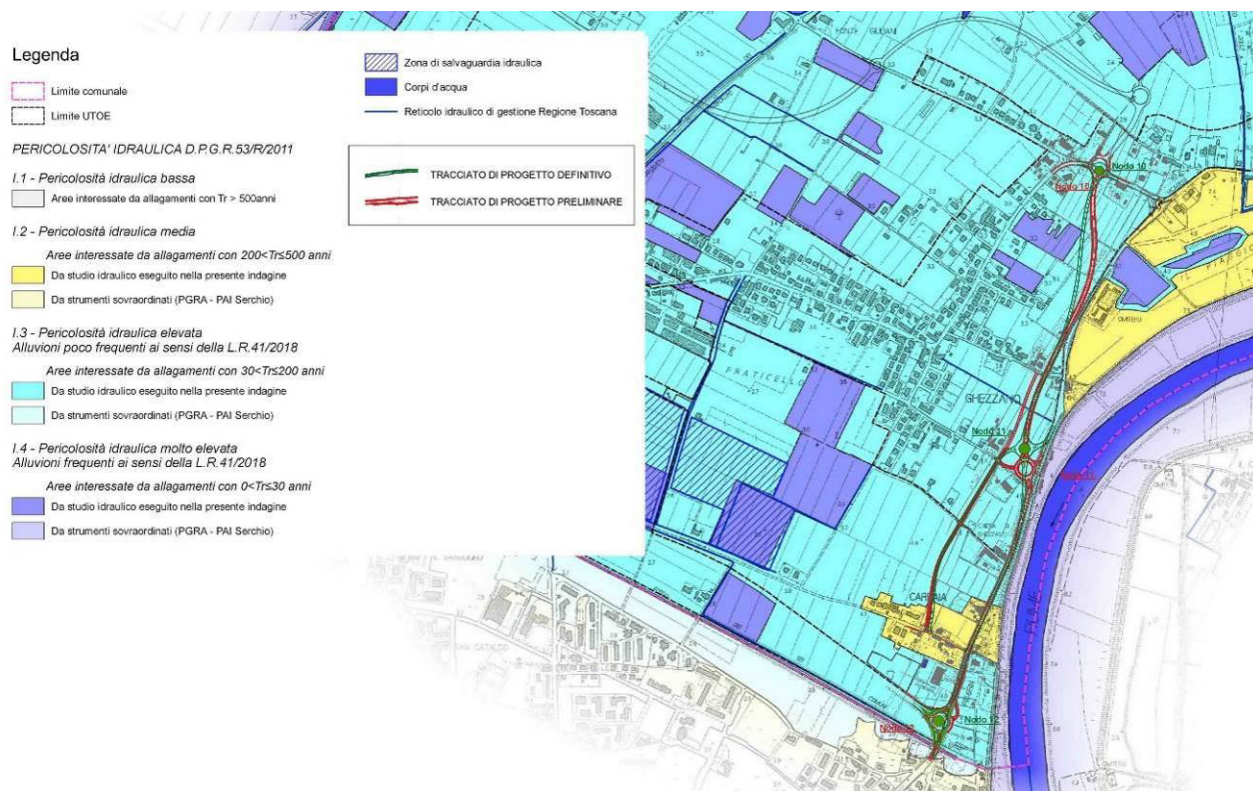


Figura 12 – Sovrapposizione alla Carta della pericolosità idraulica (Nodi 10-11-12)

Le simulazioni **inerenti il lotto 1-2** hanno evidenziato, a differenza del parere espresso nella progettazione di fattibilità tecnico economica dagli Enti competenti, la modifica delle condizioni di deflusso a tergo del rilevato stradale, con aggravio dei tiranti per circa 15 cm nella condizione di piena duecentenaria (prg1).

Da tale evidenza è nata la necessità di **integrare le soluzioni di mitigazione della pericolosità idraulica**. Tali soluzioni riguardano la **realizzazione di una serie di tombini idraulici attraverso i rilevati stradale e ferroviario** necessari a ripristinare il valore dei tiranti a tergo delle opere (prg2).

Tali tombini sono stati definiti in numero di 7 tombini di diametro 1 metro passanti il rilevato stradale, in concomitanza con 4 tombini scatolari 2x2 metri al di sotto del rilevato ferroviario.

Con tali accorgimenti i valori dei tiranti a tergo delle opere risultano inferiori a quelli dello stato attuale, non modificando quindi le classi di pericolosità idraulica.

Per quanto riguarda le ulteriori opere di mitigazione **si è previsto di abbassare l'area interclusa allo svincolo al nodo 2, in modo da recuperare la maggior quantità possibile della sottrazione di volumi causata dalla presenza del rilevato stradale**.

Tale mitigazione è stata prevista mediante l'abbassamento dell'area interclusa con fondo di circa 1.1 metri, recuperando quindi un volume pari a circa 10'000 metri cubi.

Nel progetto definitivo i franchi sono stati imposti pari ad almeno un metro al di sopra del livello di piena duecentenaria e, per i corsi d'acqua minori, un riempimento massimo del 70%, quindi in condizioni di sicurezza idraulica ben maggiori rispetto alla progettazione di fattibilità tecnico economica.

Per quanto riguarda le tematiche relative ai fossi irrigui, stradali, ricucitura del reticolo irriguo e trasparenza idraulica dell'opera, nel progetto di fattibilità tecnico economica non viene trattato l'argomento. Nella progettazione definitiva si è invece tenuto in debite considerazioni non solo il dimensionamento di tutte le

opere di drenaggio stradale, ma si è provveduto alla ricucitura di tutte le canalizzazioni a scopo irriguo per quanto possibile con fossi ed attraversamenti dedicati.

A tali aspetti va aggiunta l'implementazione, nella progettazione definitiva come già esplicitato in questa relazione, dei manufatti di trasparenza idraulica relativi alla tratta tra i nodi 3-5.

Nella progettazione definitiva dei nodi 10-12, vista la situazione di sicurezza idraulica del tracciato, si è curato nel dettaglio la ricucitura del reticolo irriguo.

Nel seguito si riportano i risultati delle simulazioni di moto vario sviluppati per i vari lotti.

3.2.2.1 Lotto 1-2

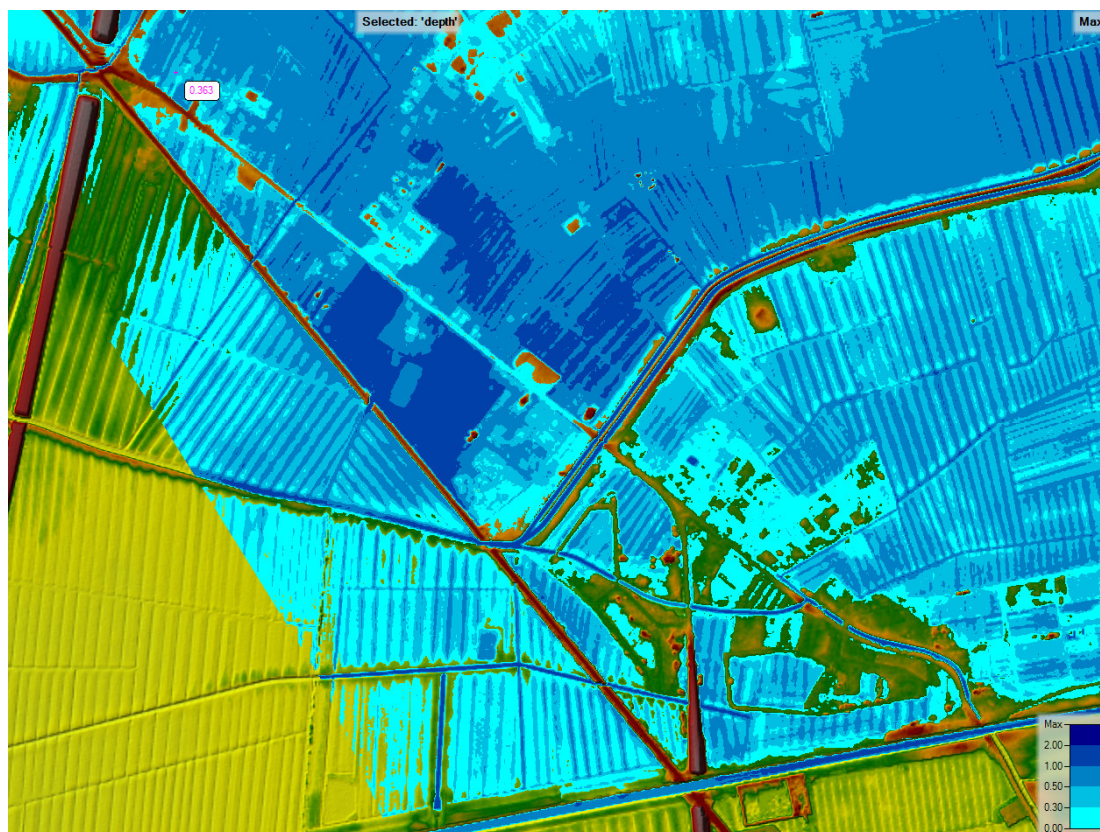


Figura 13 – Particolare delle altezze massime per le esondazioni del F. Serchio e del reticolo minore $Tr=200$ anni e stato attuale



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERINGsrl



CREALINK Srl
INGEGNERIA & CONSULENZA

ARCHEO
SISTEMI

Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

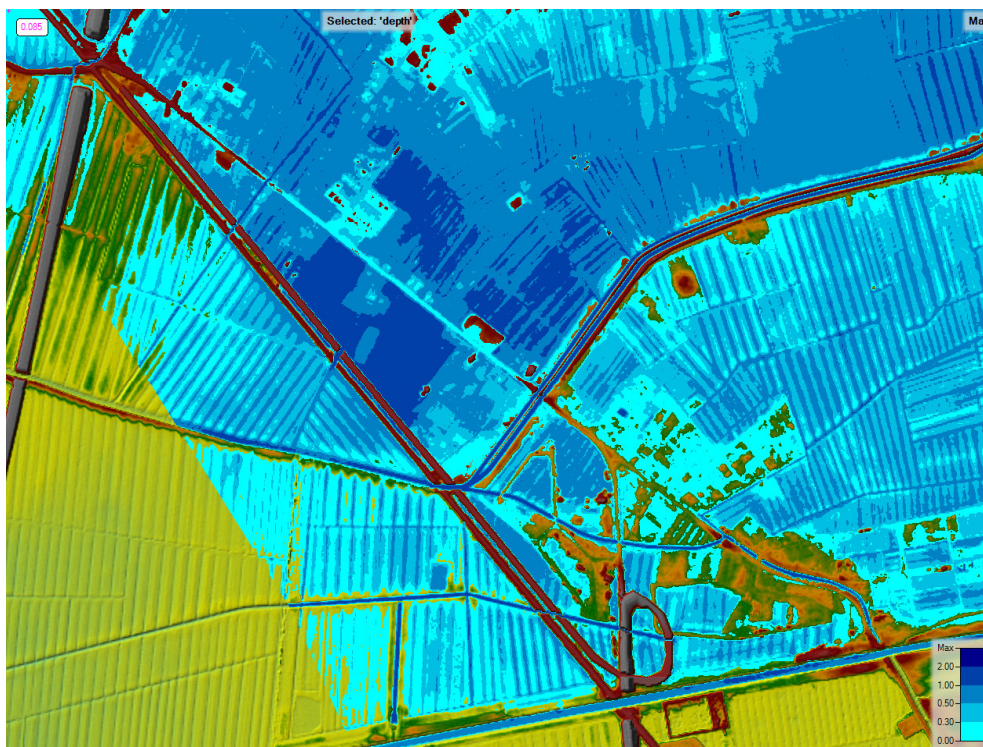


Figura 14 – Particolare delle altezze massime per le esondazioni del F. Serchio e del reticolo minore $Tr=200$ anni e stato di progetto (prg1)

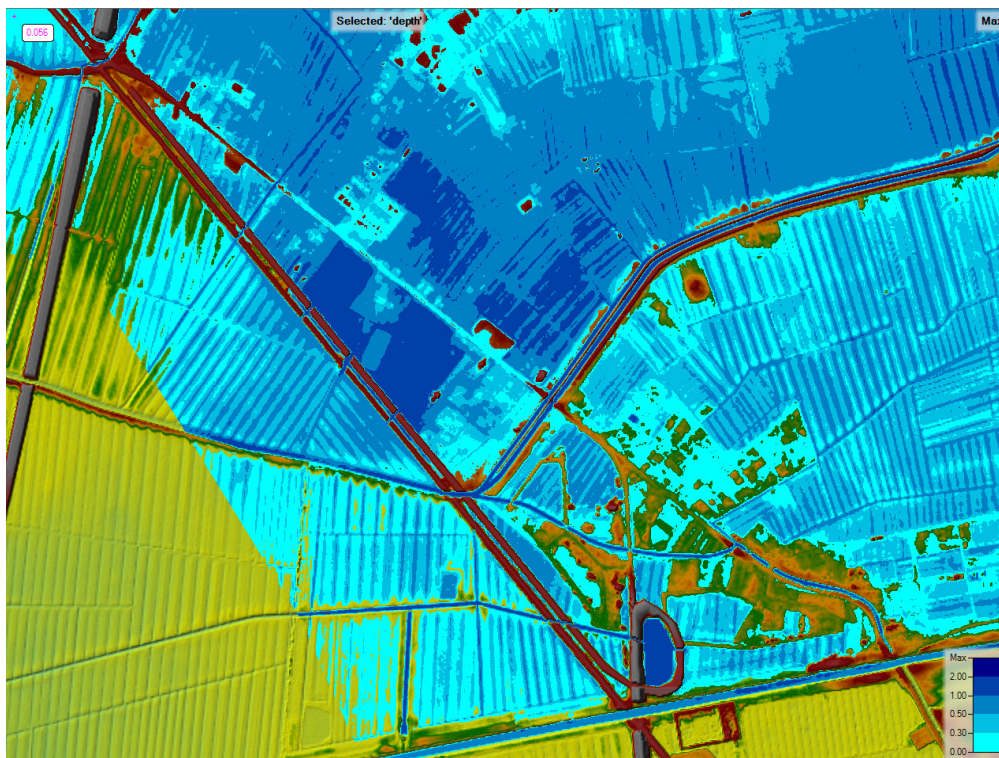


Figura 15 – Particolare delle altezze massime per le esondazioni del F. Serchio e del reticolo minore $Tr=200$ anni e stato di progetto (prg2)

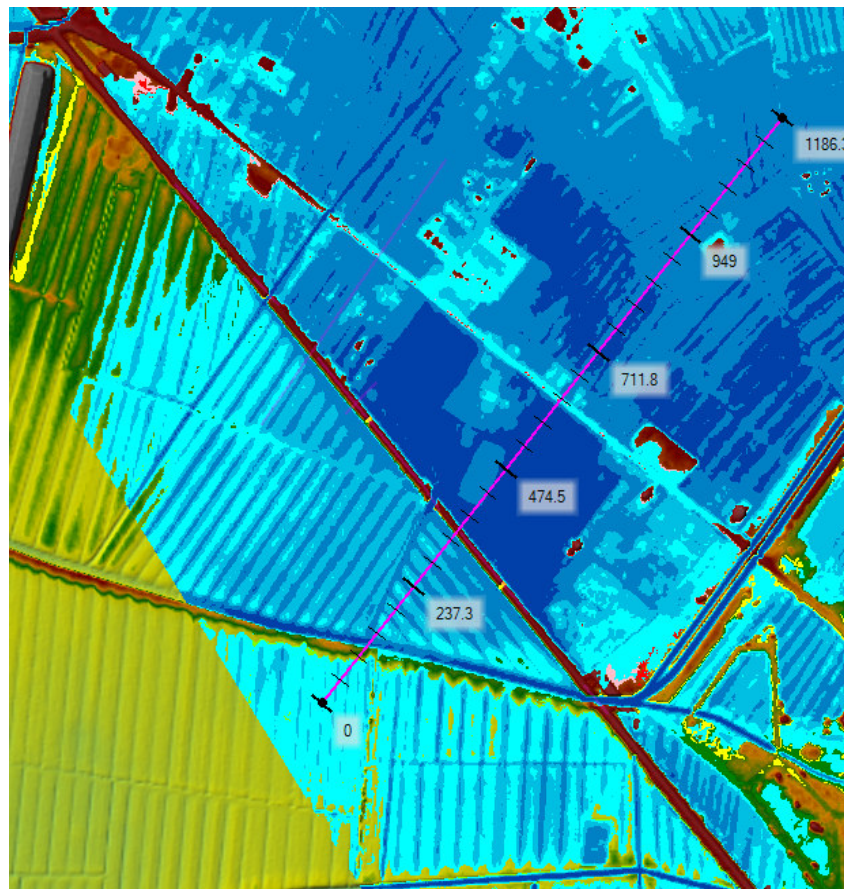


Figura 16 – Posizione del profilo di esondazione “prof2”

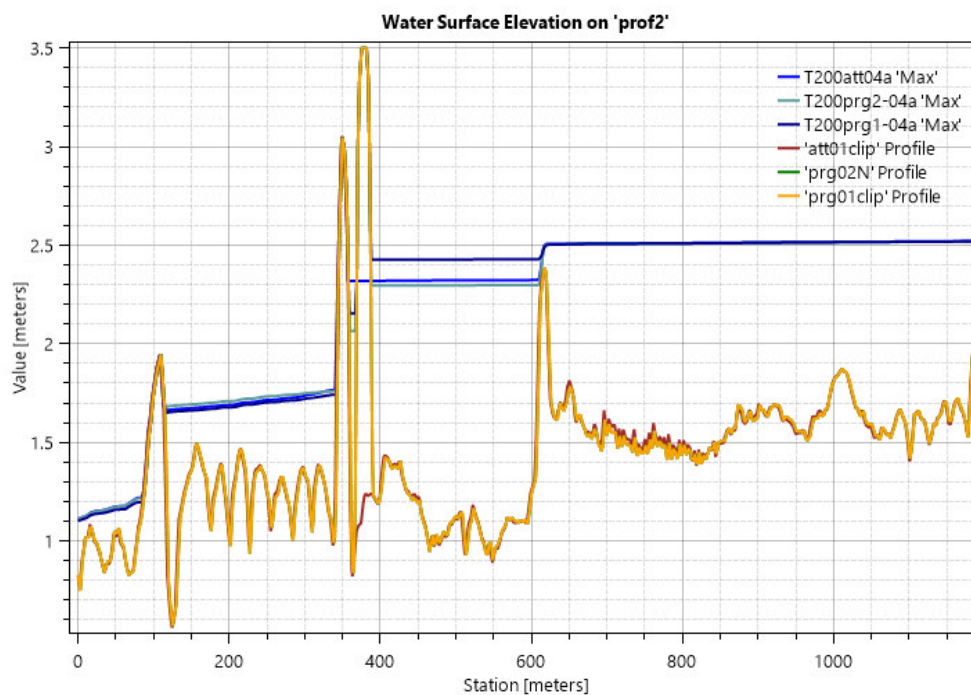


Figura 17 – Profilo di esondazione “prof2”. Confronto fra stato attuale e stati di progetto prg1 e prg2



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERING srl



CREALINK Srl
Ingegneria & Consulenza



Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

Si può notare come la presenza della strada aumenti di circa 15 cm le esondazioni nell'area di interesse e come nella simulazione prg2, mediante le opere di mitigazione si ripristini la condizione iniziale.

Le simulazioni **inerenti il lotto 1-2** hanno evidenziato, a differenza del parere espresso nella progettazione di fattibilità tecnico economica dagli Enti competenti, la modifica delle condizioni di deflusso a tergo del rilevato stradale, con aggravio dei tiranti per circa 15 cm nella condizione di piena duecentenaria.

Le simulazioni seguenti fanno riferimento alla valutazione dell'area che sarà soggetta a variante urbanistica. Allo scopo nel tratto di interesse è stato ipotizzato un culvert come si vede nella figura di seguito riportata.



Figura 18 – Localizzazione del culvert nell'area in oggetto

Di seguito è riportata la carta con l'involuppo delle altezze d'acqua nel caso di progetto (prg3b con tutti i culvert previsti) e la carta dello stato attuale.



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERING s.r.l.



CREALINK Srl
INGEGNERIA & CONSULENZA

ARCHEO
SISTEMI

Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

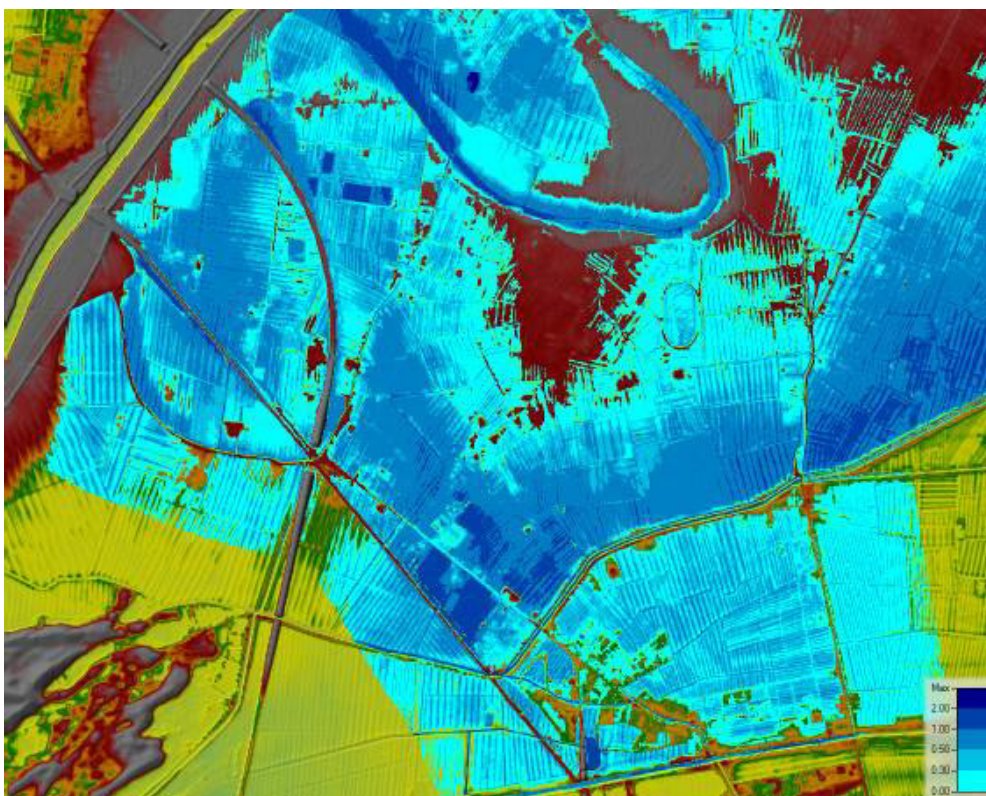


Figura 19 – Carta dell'inviluppo delle altezze d'acqua per TR= 200 anni nello stato di progetto (prg3b)

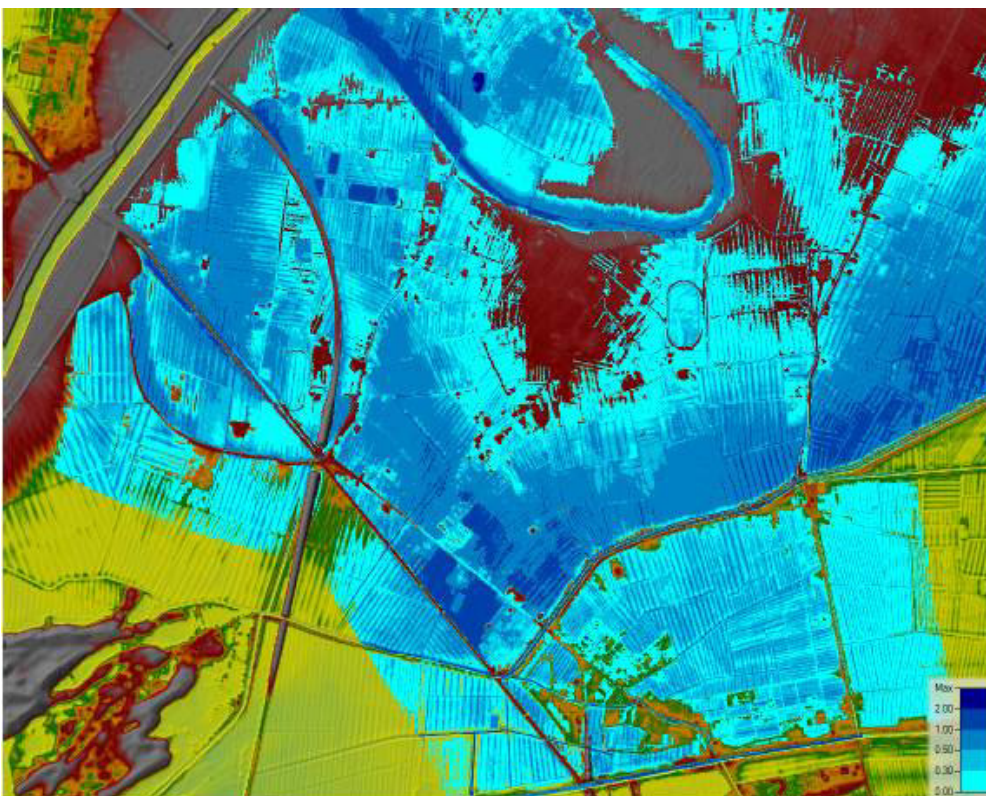


Figura 20 – Carta dell'inviluppo delle altezze d'acqua per TR = 200 anni nello stato attuale (Att4b)

Di seguito è riportato il confronto fra le due situazioni sia in termini di profili che di planimetria, dal quale si evince la sostanziale invarianza dei livelli idrici a monte della strada di progetto.

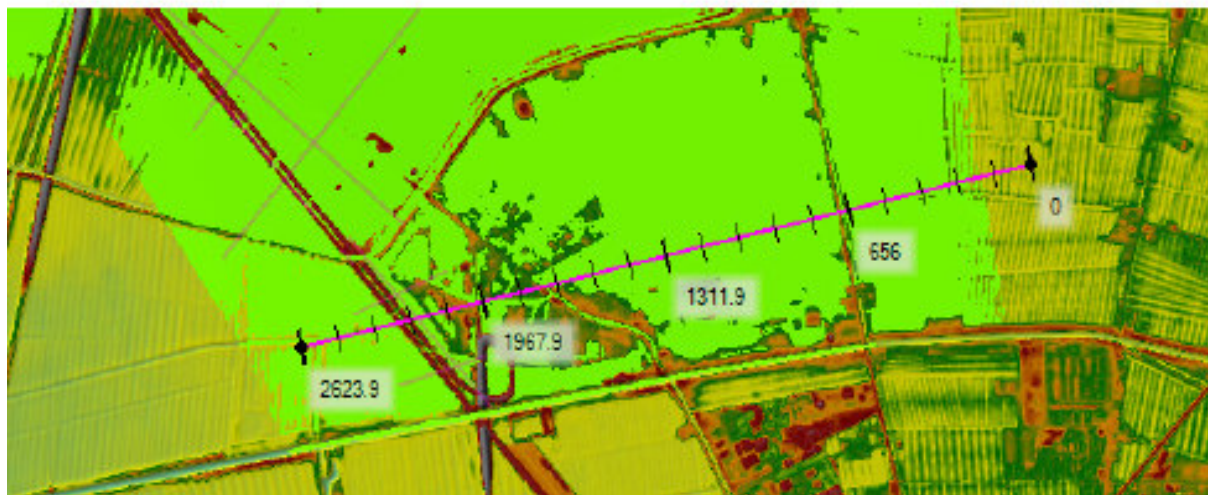
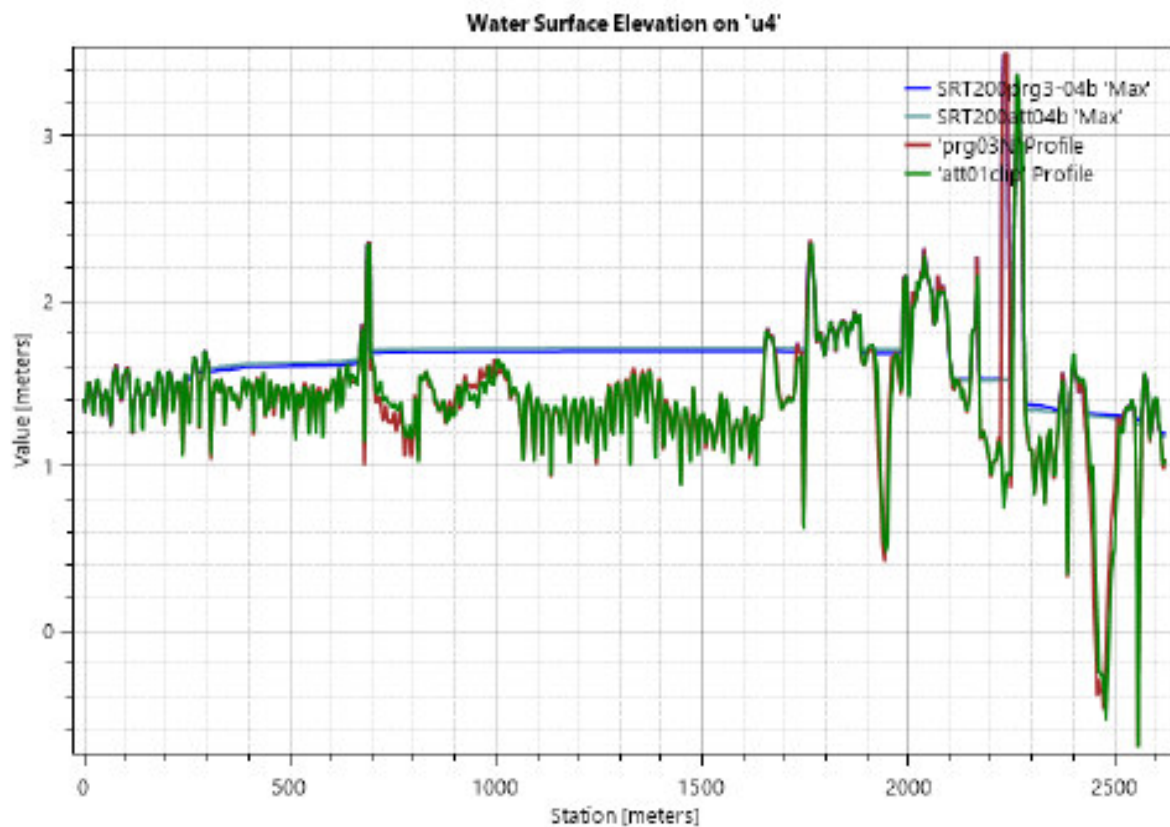


Figura 21 – Profilo u4. Confronto fra WSE (Water Surface Elevation) attuale e di progetto



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERINGsrl



CREALINK Srl
INGEGNERIA & CONSULENZA

ARCHEO
SISTEMI

Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

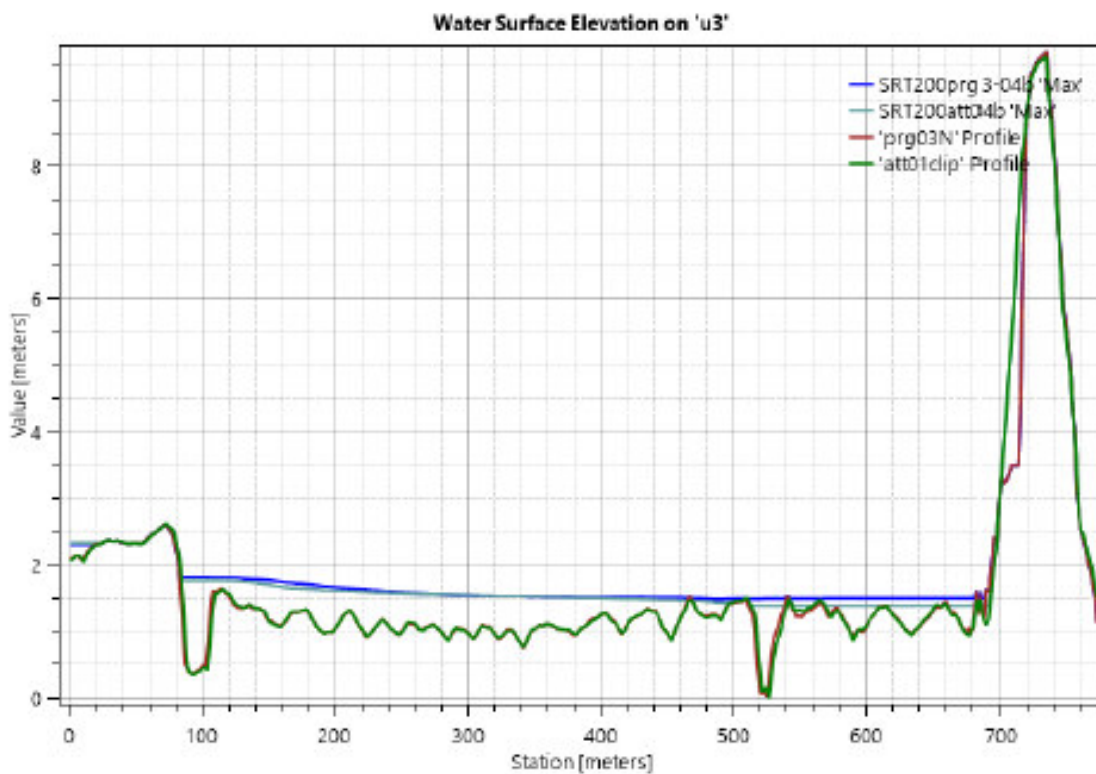


Figura 22 – Profilo u4. Confronto fra WSE (Water Surface Elevation) attuale e di progetto



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERING s.r.l.



CREALINK Srl
INGEGNERIA & CONSULENZA



Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

3.2.2.2 Lotto 2-5

Al fine di valutare l'effetto dell'opera in progetto sono state condotte delle simulazioni mediante l'uso del software HECRAS v5.07.

In particolare, è stata analizzata la situazione attuale, confrontandola con la situazione di progetto nella quale sono stati inseriti i fornicelli di trasparenza idraulica così come già richiesto nel parere allegato al progetto di fattibilità tecnico economica ed implementati nella progettazione definitiva.



Figura 23 – Area interessata dalle opere di progetto nella configurazione di stato attuale



Figura 24 – Area interessata dalle opere di progetto nella configurazione di stato di progetto



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

S M A R T
ENGINEERINGsrl



CREALINK Srl
INGEGNERIA & CONSULENZA

ARCHEO
SISTEMI

Nuova viabilità nord di Pisa
Progetto Definitivo
Variante al Piano Operativo Comunale (POC)

Nel dettaglio, per il modello digitale del terreno per le simulazioni di progetto come sopra esposto sono stati inseriti i fornicelli di trasparenza idraulica, inserendoli in maniera da essere simulati bidimensionalmente secondo il valore della sezione equivalente.

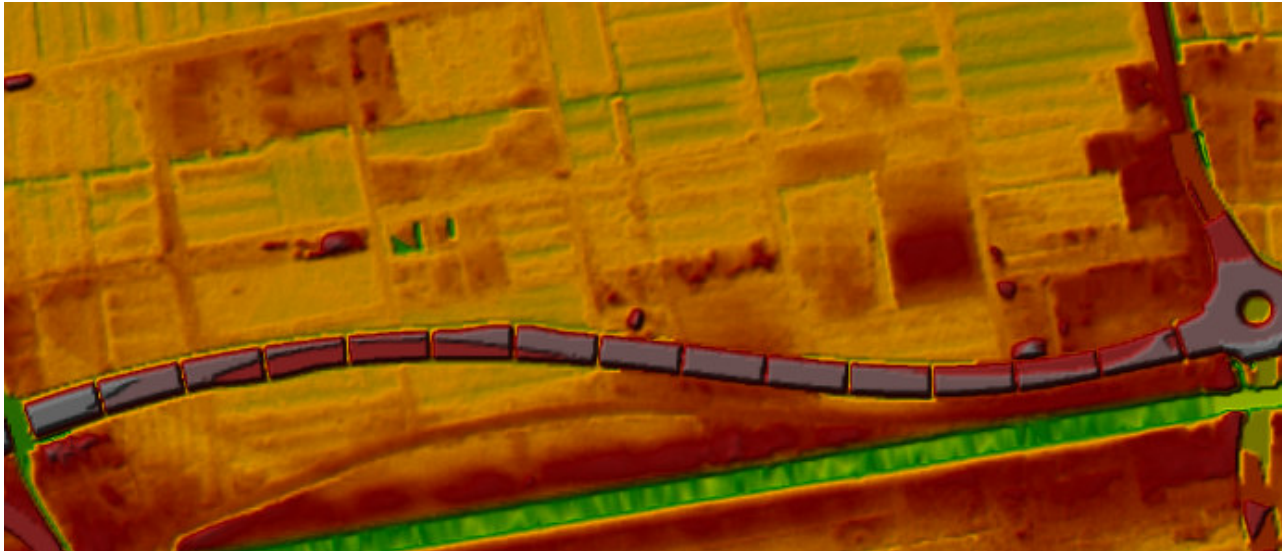


Figura 25 – Dettaglio dei fornicelli inseriti per le simulazioni di progetto

Di seguito sono riportate le altezze di esondazioni massime per le varie condizioni e le mappe dei livelli dell'acqua sul livello del mare per l'area oggetto di approfondimento.

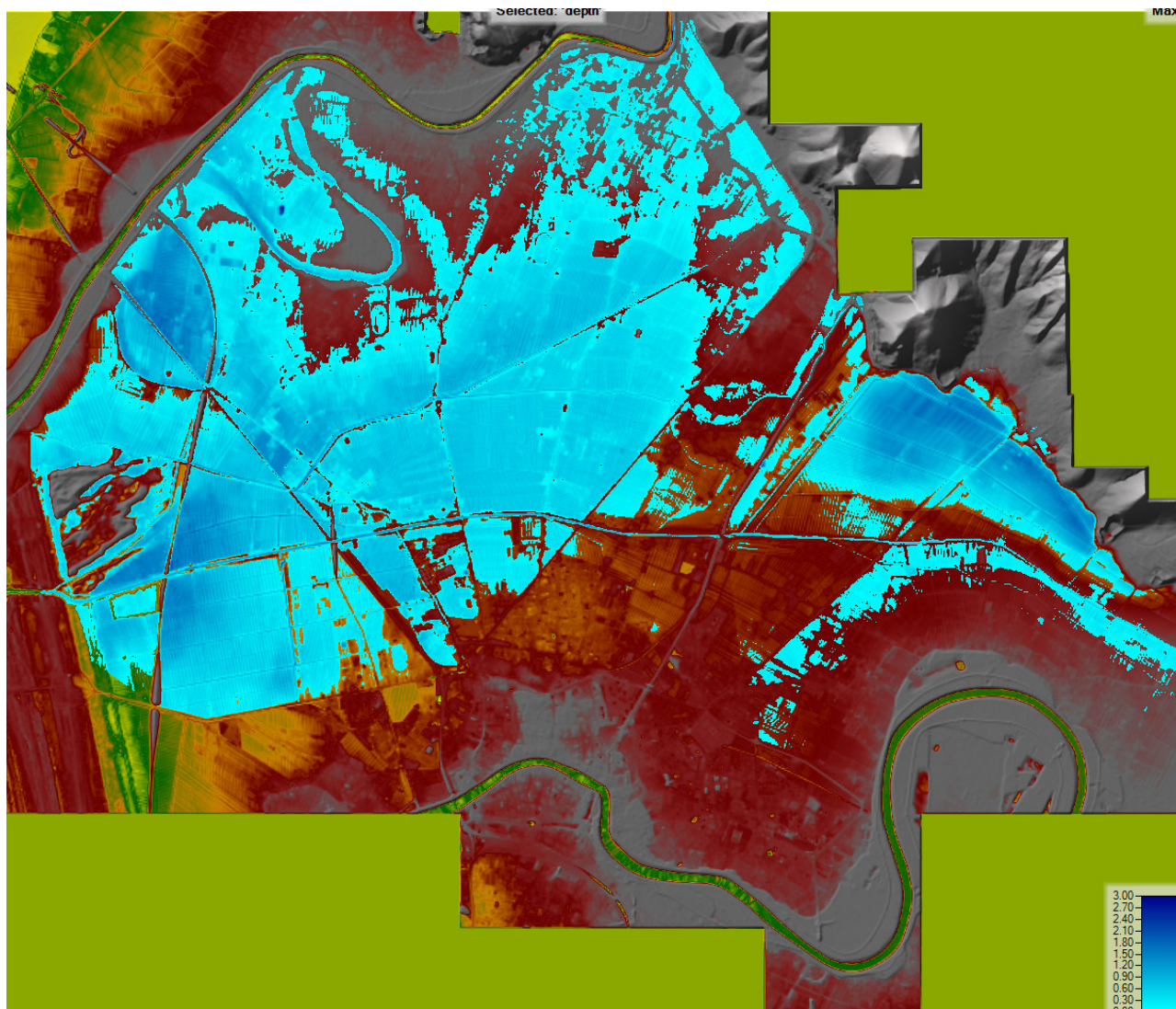


Figura 26 – Tiranti massimi per simulazione Tr 200 anni di stato di fatto

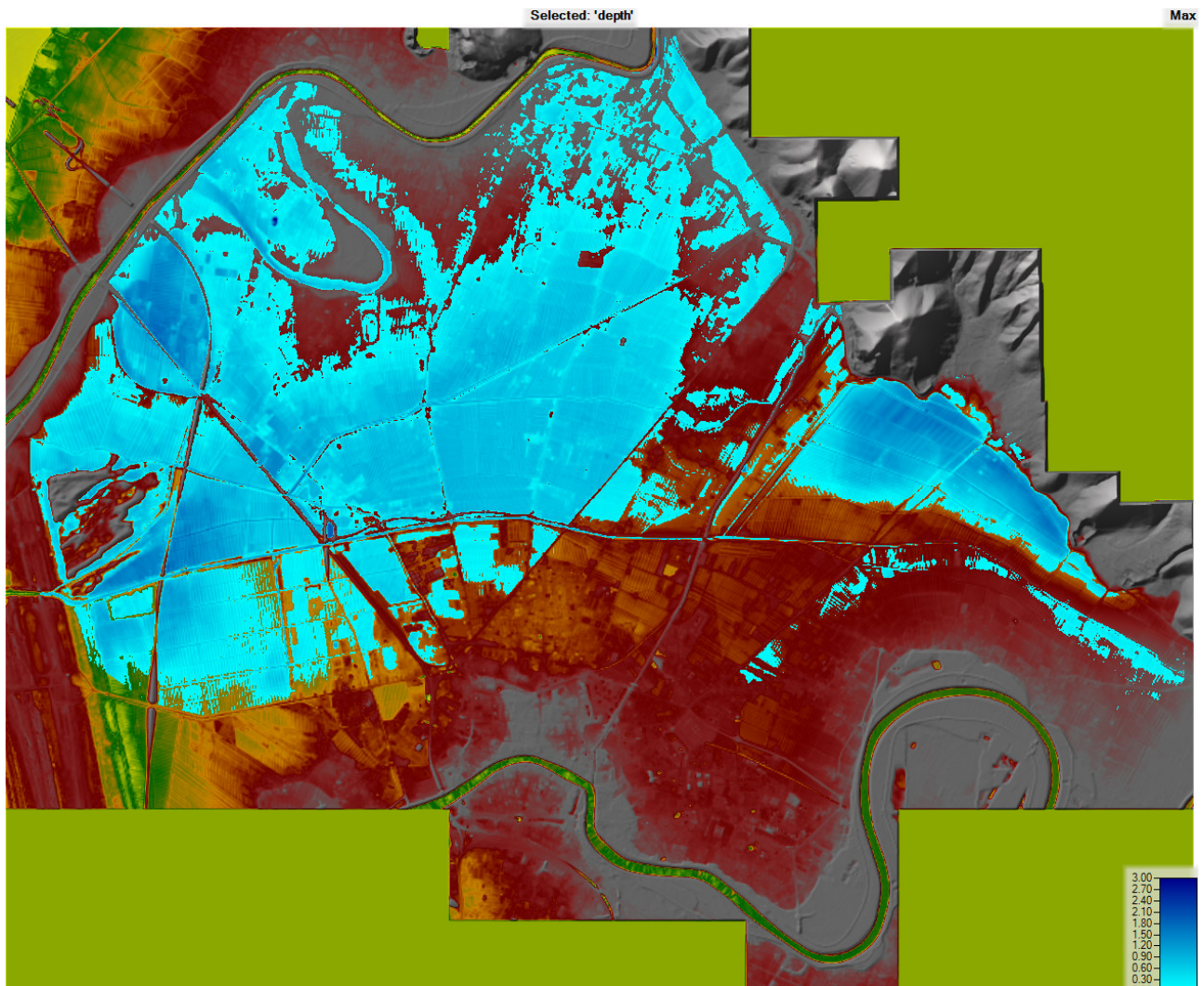


Figura 27 – Simulazione di progetto per Tr 200 anni stato di progetto

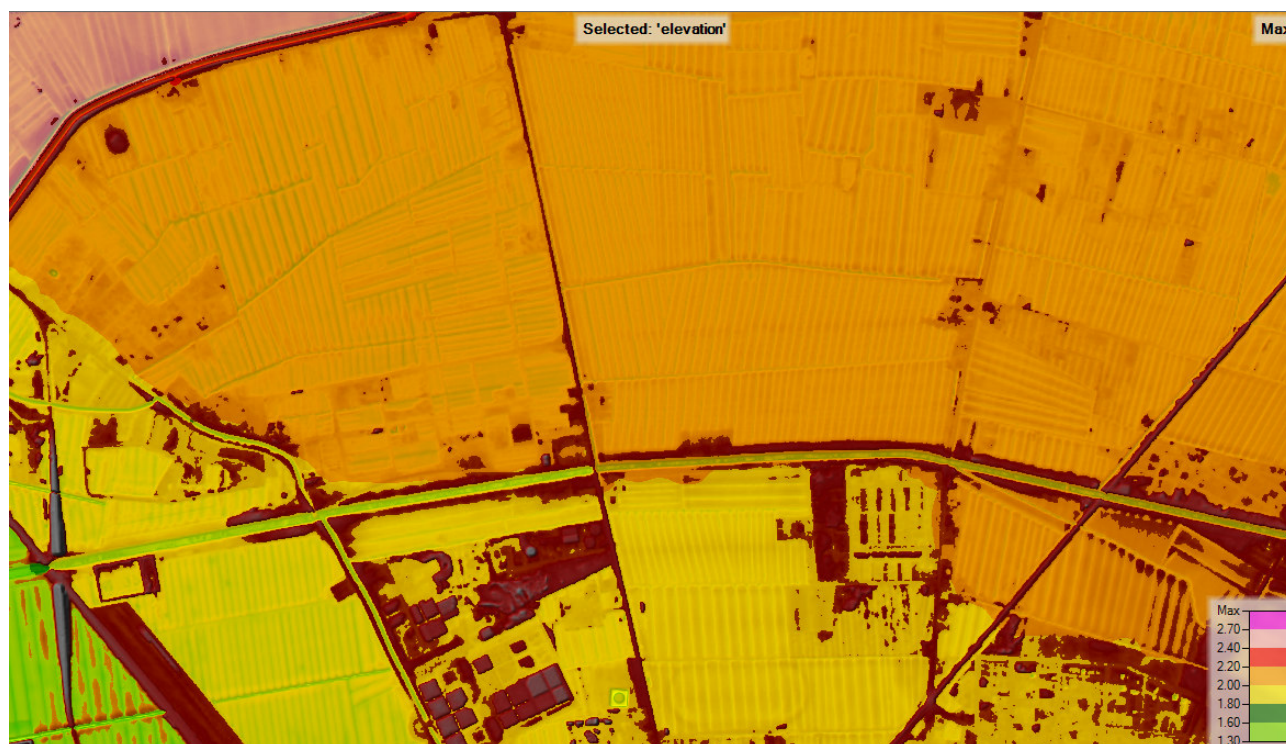


Figura 28 – Involuppo dei massimi delle superfici idriche per stato attuale simulazione Tr 200 anni



Figura 29 – Involuppo dei massimi delle superfici idriche per stato di progetto simulazione Tr 200 anni

Come si evince dal confronto delle figure sopra riportate, la differenza nell'involuppo dei massimi delle superfici idriche a tergo della viabilità in progetto rispetto alla condizione di stato attuale (senza viabilità) è, se non coincidente, molto simile: infatti, i valori di superficie idrica differiscono di alcuni centimetri tra le due simulazioni.

Nell'immagine seguente, per meglio dettagliare il confronto, viene riportato il profilo a tergo della viabilità ove si genera la maggior differenza di superficie idrica, che comunque rimane contenuta tra un minimo di 1 cm e un massimo di 2 cm.

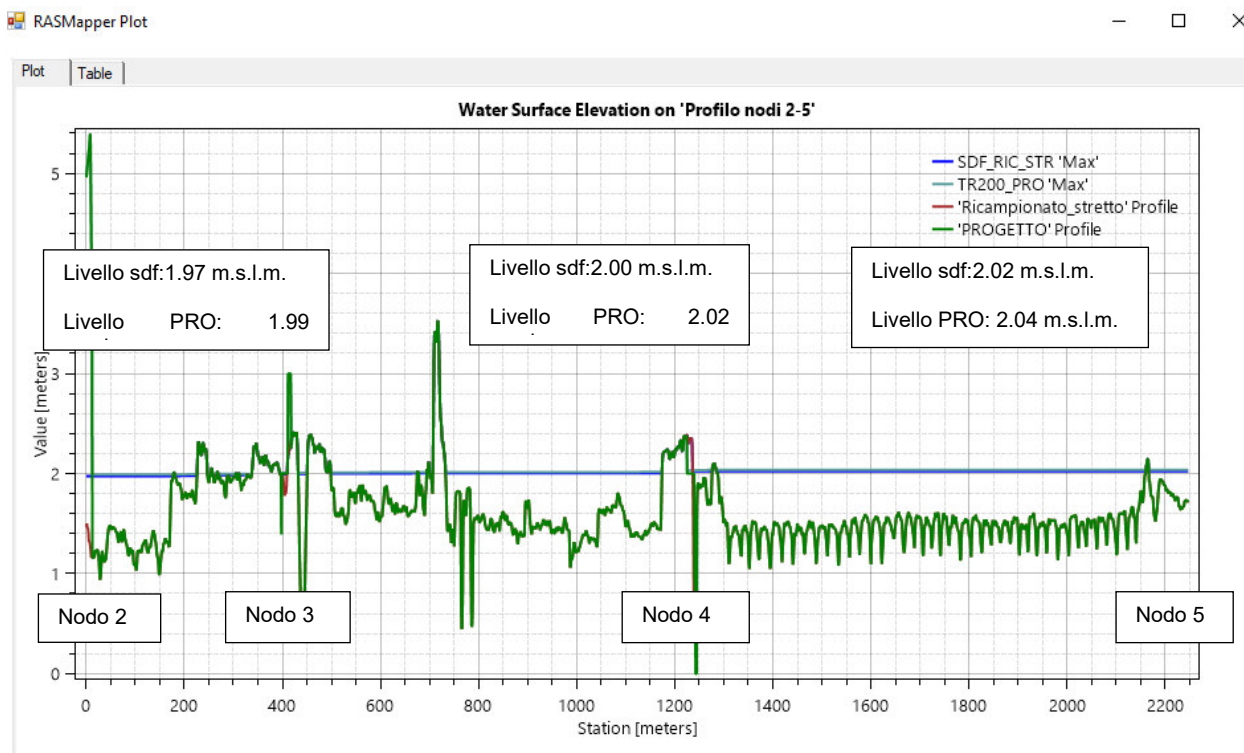


Figura 30 – Confronto tra i profili degli involuppi dei massimi delle superfici idriche a tergo della viabilità in progetto e stato di fatto tra i nodi 2 e 5

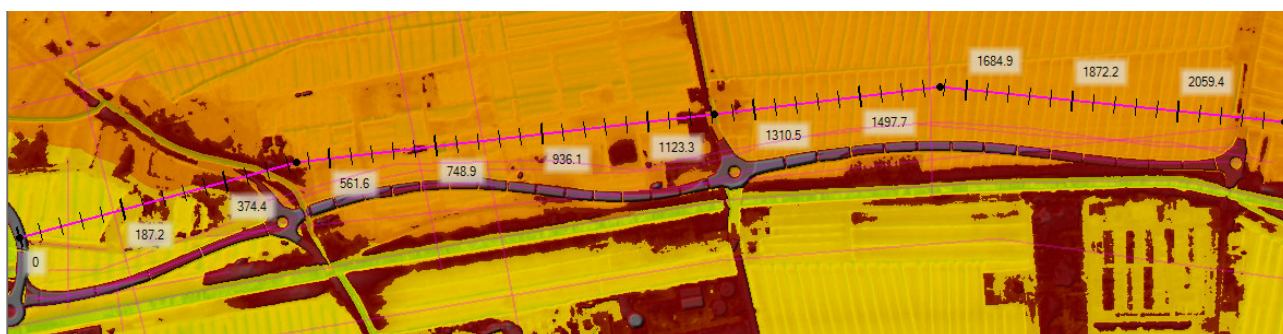


Figura 31 – Posizione del profilo a tergo della viabilità tra i nodi 2 e 5 nella configurazione di stato attuale

Come si evince dai confronti sopra riportati la struttura viaria con l'implementazione dei forni risulta trasparente al propagarsi della piena duecentenaria.

Il confronto con la situazione attuale mostra la sostanziale equivalenza dei tiranti e delle superfici idriche, con un delta massimo contenuto in 2 cm.

3.2.2.3 Lotto 10-12

Qui di seguito è riportata la planimetria delle esondazioni nell'area oggetto d'interesse degli approfondimenti dedicati ai lotti 10-12.

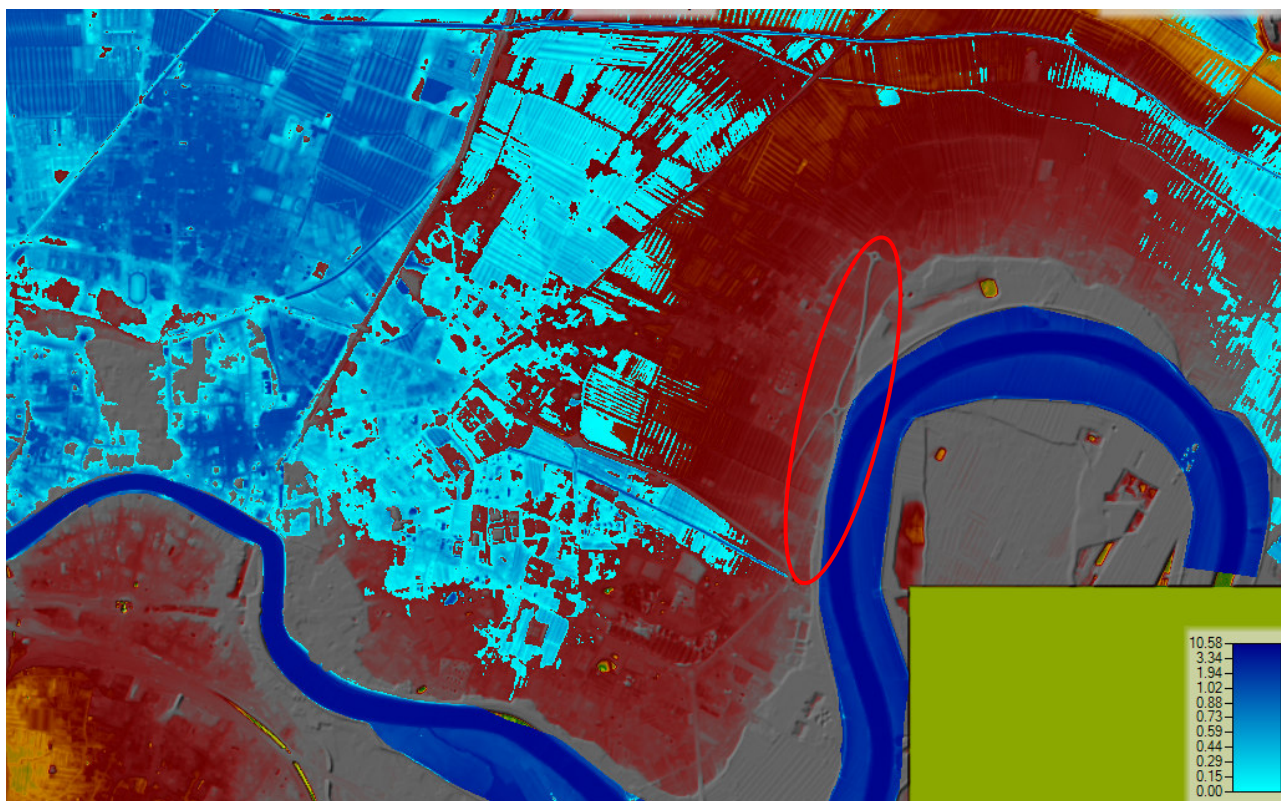


Figura 32 – Esondazioni di Arno e reticolo minore per Tr 200 anni nella zona oggetto d'intervento

Si noti che l'area interessata dalle opere in progetto per i lotti 10-12 non sono in alcun modo interessate dalle esondazioni.

I tiranti massimi generati nell'intorno ad esempio del fosso dei sei comuni valgono da 0 a 50 cm.

La superficie idrica si attesta quindi sul valore di 2.67 m. s.l.m. nell'area suddetta, con valori delle quote di piano campagna mediamente pari a + 2.50 m s.l.m.

Come si può constatare dalle figure di seguito riportate, la giacitura delle opere in progetto è caratterizzata da quote di piano campagna superiori a + 2.80 m s.l.m. quindi in condizioni di sicurezza idraulica rispetto alla piena duecentenaria. Di più, si ricorda che il tracciato è posto a quote mediamente superiori di almeno 1 metro rispetto al piano campagna, con punte altimetriche superiori anche di 2 metri al p.c. e quindi in assoluta condizione di sicurezza idraulica.

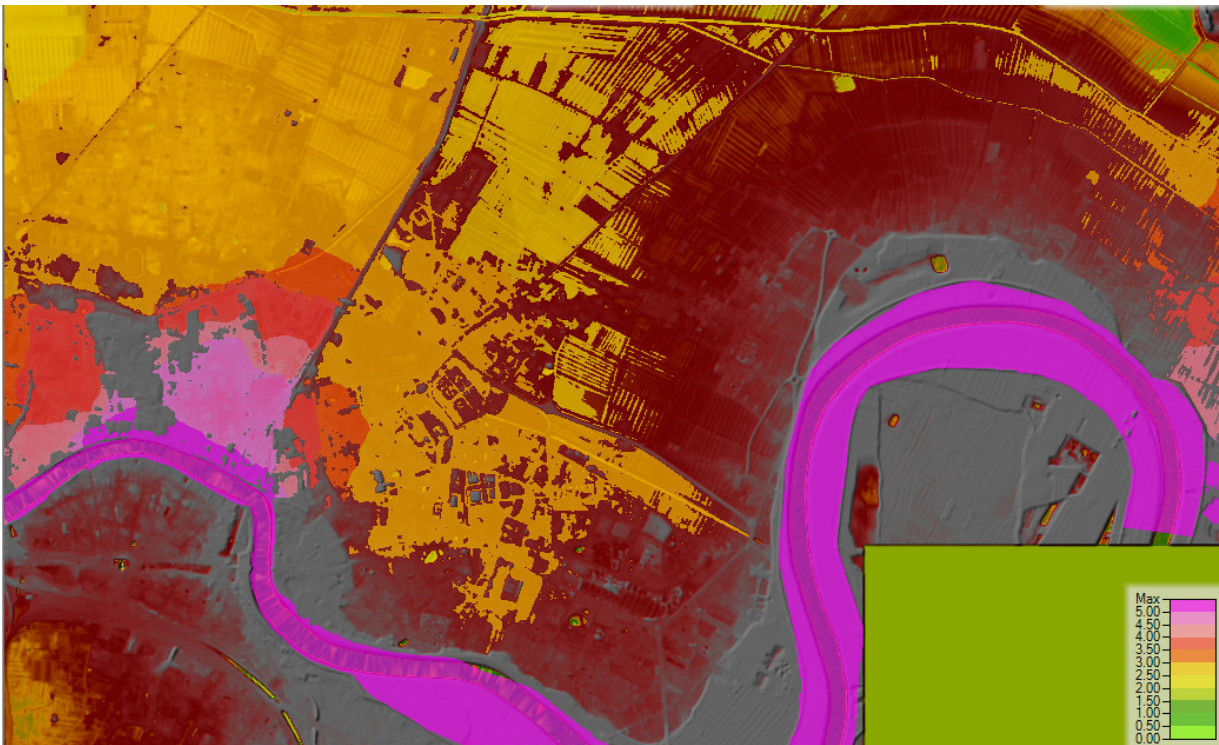


Figura 33 – Andamento della superficie idrica per esondazione dell'Arno e del reticolo minore per TR 200 anni

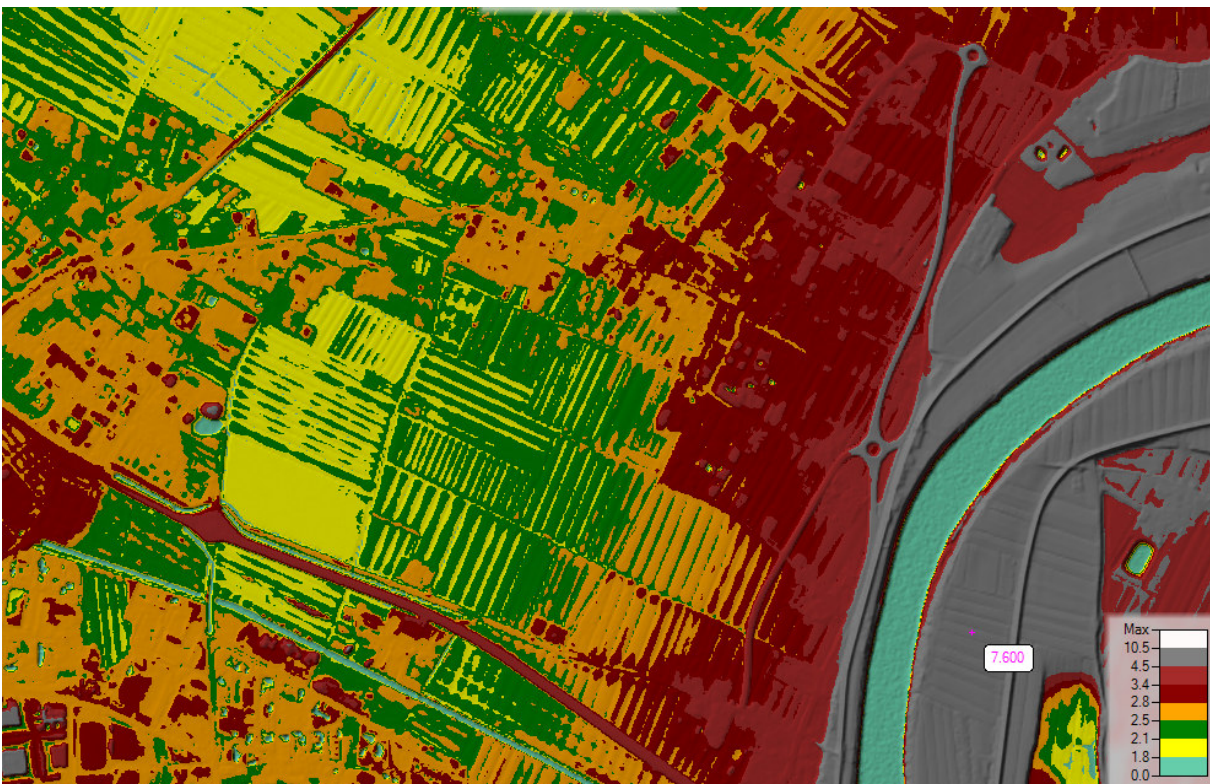


Figura 34 – Quote del terreno nell'intorno delle opere in progetto