

**REGIONE  
TOSCANA**



**COMMISSARIO DELEGATO CALAMITA' IN REGIONE TOSCANA  
A SEGUITO DELL'EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 2012  
L.228/2012 ART. 1 COMMA 548**

**REGIONE TOSCANA  
DIREZIONE: DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE  
SETTORE: GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE  
SEDE DI AREZZO**

**DIR. RESP. ING. LEANDRO RADICCHI**

**TITOLO INTERVENTO: Intervento di adeguamento argine destro Torrente Foenna dalla S.P. 11b alla S.G.C. E78, a seguito dell'evento del 11 e 12 novembre 2012, nel comune di Sinalunga (SI)- codice 2012ESI0002**

**PROGETTO N.: 16DSAR004**

**IMPORTO: € 1'600'000,00**

**IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Lorenzo Conti**

**PROGETTISTI:**

**P.E. Paolo Belardi  
geom. Alessandro Rondinella  
geom. Marco Signorini  
Collaboratore: geom. Cristina Baldi  
Calcoli strutturali: ing. Gianluca Terrosi  
Geologia: dott. geol. Riccardo Dringoli**

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  
Arch. Roberta Meniconi**

**Fase:**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**CODICE ELABORATO:  
REL-RGT**

**NUMERO TAVOLA:  
01**

**SCALA:**

**Contenuto:**

**RELAZIONE GENERALE E TECNICA**

**DATA EMISSIONE:.....**

**DATA VERIFICA: .....**

**REV:.....**

## **SOMMARIO**

<b>1. Premessa.....</b>	<b>3</b>
<b>2. L'evento di piena sul Foenna del 12 Novembre 2012.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Il sistema idraulico nella pianura di Sinalunga.....</b>	<b>6</b>
<b>4. La criticità del sistema idraulico.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Interventi di mitigazione del rischio idraulico e le scelte prioritarie.....</b>	<b>8</b>
<b>6. L'argine destro nel tratto di intervento.....</b>	<b>10</b>
<b>7. Descrizione intervento di adeguamento dell'argine.....</b>	<b>12</b>
<b>8. Le interferenze la linea ferroviaria RFT e con altre infrastrutture.....</b>	<b>16</b>
<b>9. Le ipotesi di calcolo e di dimensionamento dell'intervento.....</b>	<b>17</b>
<b>10. Le fasi esecutive dell'intervento.....</b>	<b>19</b>
<b>11. Modalità esecutive dell'argine e gestione del cantiere.....</b>	<b>20</b>
<b>12. Il confronto con l'intervento di adeguamento eseguito nel tratto di valle.....</b>	<b>22</b>
<b>13. Conclusioni.....</b>	<b>25</b>

## **1. Premessa**

A seguito delle eccezionali precipitazioni meteoriche che hanno interessato la regione Toscana nei giorni 11-12 novembre 2012, dando luogo a fenomeni di dissesto ed esondazione, il Presidente della Giunta Regionale con Decreto n.166 del 13.11.2012 e con Decreto n.199 del 15.11.2012, ha dichiarato lo stato di calamità regionale su alcune province tra cui quella di Siena, colpita in modo particolare nell'area sud della Val di Chiana, Val d'Orcia e Val di Paglia.

Con L.R. 66/2012 la regione ha stanziato 100 milioni di euro per l'esecuzione di interventi urgenti ed indifferibili sul territorio toscano.

Con Decreto del Presidente della Regione n. 201 del 27.11.2012 è stato approvato il "*Piano straordinario degli interventi pubblici urgenti e indifferibili di ripristino e di messa in sicurezza idrogeologica*", finanziato con fondi regionali, allo scopo di superare condizioni di rischio evidenti, fissando alla data del 07 dicembre 2012 il termine per la redazione dei progetti ricompresi nel piano. Sulla Provincia di Siena sono stati finanziati n. 9 interventi per complessivi 8 milioni di euro.

L'amministrazione provinciale è stata individuata come ente attuatore di n. 4 interventi, due dei quali per la realizzazione di opere a salvaguardia del rischio idraulico.

L'intervento oggetto del presente progetto è stato inserito nel piano degli interventi al fine di ridurre il rischio idraulico in un'area particolarmente critica quale quella di Sinalunga e finanziato per € 1.600.000 alla Provincia di Siena e € 1.400.000 alla Provincia di Arezzo.

Con protocollo n. 194979 del 17.12.2012 è stata convocata la conferenza di servizi ai sensi della L. 241/1990 per l'acquisizione da parte degli Enti ed Amministrazioni competenti delle autorizzazioni per la realizzazione dell'opera. Nel corso della prima riunione del 10 gennaio 2013, sono stati acquisiti i pareri degli enti attraverso i quali sono state espresse una serie di osservazioni e richieste di integrazioni al progetto.

Sempre nel corso del gennaio 2013, si è preso atto della difficoltà di addivenire ad un accordo bonario per l'esproprio dei terreni su cui verrà realizzato l'intervento per cui, su richiesta della Provincia, il Comune di Sinalunga ha provveduto a variare lo Strumento Urbanistico ed apporre il Vincolo Preordinato all'esproprio ai sensi del D.P.R. 327/2001, il cui provvedimento ha trovato piena efficacia con la pubblicazione sul BURT nel mese di gennaio 2014 dell'avvenuta approvazione della variante urbanistica.

Con Decreto del Presidente della Giunta Regionale n. 78 del 24.04.2013 e successiva Ordinanza n.5 del 24.04.2013 sono state ridefinite le risorse finanziarie a copertura del Piano degli interventi

approvato DPGR 201/2012, tra cui quelle destinate al lavoro in oggetto, e le relative procedure di attuazione dell'opera.

Sulla base dei pareri e richieste di integrazioni rilasciate nel corso della riunione del gennaio 2013 è stato quindi aggiornato ed integrato il progetto definitivo dell'opera (REV.1) e, potendo procedere ai sensi del D.P.R. 327/2001 alle procedure espropriative dei terreni, viene riavviato il procedimento della conferenza di servizi ai sensi della L. 241/1990.

Con Determina Dirigenziale n. 1780 del 30/06/2014 viene approvata la determinazione conclusiva della conferenza di servizi conclusasi in data 23/05/2013, con l'acquisizione dei pareri e delle autorizzazioni necessarie alla realizzazione dell'opera.

Con Delibera di Giunta Provinciale n. 160 del 24/06/2014 viene approvato il progetto definitivo dell'intervento, dichiarandone la pubblica utilità.

Con Determina Dirigenziale n.1864 del 12/08/2015, l'Amministrazione Provinciale ha approvato il progetto esecutivo dell'opera.

Le modifiche al quadro legislativo che ha coinvolto gli assetti istituzionali e degli Enti Locali nel corso del 2014 e 2015, ha portato la Regione Toscana a legiferare, prevedendo il trasferimento di competenze in materia di Difesa del Suolo dalle Provincie alla stessa Regione a partire dal 01 gennaio 2016.

Con il passaggio di competenze, il Commissario Delegato ai sensi dell'art. 1, comma 548, della L. 228 del 24.12.2012, Enrico Rossi con Ordinanza n.8 del 10/03/2016 ha quindi disposto il trasferimento della competenza dell'attuazione dell'intervento in oggetto dalla Provincia di Siena alla stessa Regione, attribuendone l'attuazione al Genio Civile Valdarno Superiore e avvalendosi della stessa Provincia di Siena per il completamento delle procedure espropriative.

Contemporaneamente il mutato quadro legislativo in materia di Lavori Pubblici, con l'entrata in vigore del D.lgs. 50/2016 e il correttivo nel Luglio 2017, ha reso necessario dover procedere ad un aggiornamento della progettazione esecutiva e alla sua nuova approvazione da parte del nuovo soggetto attuatore ai fini di poter dare seguito alle procedure di gara.

Alla luce dell'entrata in vigore della L.116/2014 con cui viene riformulata la definizione delle opere idrauliche assoggettabili a VIA o a verifica di assoggettabilità e in considerazione della DGR n.142

del 19/02/2018, il Genio Civile Valdarno Superiore, con nota del 18/05/2018 prot.267476, ha richiesto al competente Settore VIA regionale un parere sull'assoggettabilità o meno dell'opera, fatte salve le caratteristiche principali e le finalità della stessa rimaste invariate nel corso della rielaborazione del progetto esecutivo rispetto alle versioni approvate dalla Provincia di Siena.

Con nota del 23/05/2018 prot.275314, il Settore VIA confermava che l'intervento proposto non rientrava tra quelli da sottoporre a verifica di assoggettabilità ai sensi del D.lgs. 152/2006 e L.R. 10/2010.

Il progetto esecutivo predisposto dalla Regione Toscana, introduce alcune modifiche al progetto definitivo e al successivo progetto esecutivo approvato dalla provincia di Siena che non variano le caratteristiche principali e finalità dell'opera, ma che costituiscono aggiornamenti di particolari esecutivi, computazionali, di analisi ai fini del rispetto dei sopravvenuti aggiornamenti alle NTC 2008 e ai nuovi disposti del Codice degli Appalti.

In particolare rispetto al definitivo approvato dalla Provincia, è stato utilizzato un rilievo topografico di maggior dettaglio per avere una maggiore accuratezza nei computi, sono state introdotte scogliere di protezione dall'erosione della sponda interna destra, sono state adattate le geometrie del rilievo e agli scavi di fondazione, modificati i computi e i contenuti del capitolato.

## **2. L'evento di piena sul Foenna del 12 Novembre 2012**

Le forti precipitazioni hanno della giornata di domenica 11 novembre e di lunedì 12, hanno provocato una situazione generale di piene nei corsi d'acqua dell'area sud della Provincia di Siena ed in particolare della Val di Chiana, dando luogo a numerose rotte arginali incontrollate dei principali corsi d'acqua che hanno provocato allagamenti di infrastrutture viarie, ferroviarie e centri abitati ed industriali.

Sul Torrente Foenna presso l'abitato di Sinalunga è defluita un'importante piena che ha impegnato le strutture arginali per molte ore con picchi di livello di circa 1.50-2.00 m dalle sommità dei rilevati. Durante l'evento di piena la diga del Calcione, a chiusura di un bacino di circa 25 Km<sup>2</sup> sul tratto di monte del Foenna, risultava avere una capacità di invaso residua di circa 700.000 mc che hanno permesso di intercettare tutti gli apporti del sottobacino di monte.

Nel corso della tarda mattinata di lunedì si è verificato nell'argine destro del Foenna a valle della S.P. 11/B di Poggio Gialli, presso via delle Persie, una rottura dell'argine per sifonamento.

Il varco ha assunto in breve tempo dimensioni importanti, demolendo completamente l'argine fino al piano campagna ed allargandosi fino a assumere una dimensione di circa 30-40 metri in larghezza, portando a sfiorare le acque al di sopra della banca golenale del corso d'acqua.

Tale rotta arginale ha dato luogo all'esondazione nelle aree agricole comprese tra la s.p. 11B, via delle Persie ed il rilevato ferroviario a valle, nelle quali erano però presenti abitazioni ed attività produttive.

L'esondazione ha quindi interessato anche le aree poste a valle del rilevato ferroviario e quelle ancora più a sud a valle della SGC Grosseto Fano, allagando l'abitato in loc. Le Prata con battenti di modesta entità, ma significativi per i piani bassi degli edifici, ed interrati delle abitazioni e delle attività produttive.

I tecnici della Provincia di Arezzo, competente ai sensi del R.D. 2669/1937 nella gestione del tratto in seconda categoria, ed i tecnici della provincia di Siena come supporto, oltre all'intero sistema di protezione civile, hanno proceduto ad intraprendere alcune azioni per contrastare l'evolversi dell'evento e ridurre le portate esondate verso l'abitato. In primo luogo sono state provocate delle rotte artificiali sul Foenna e sul Fosso Stagno, al fine di laminare le portate del torrente in un'ampia area agricola esistente a monte della S.P. 11/B, confinata tra l'argine destro del Foenna ed il sinistro del fosso Stagno, riducendo il carico idraulico sulla rotta avvenuta a valle.

Nell'immediatezza di tali interventi sono stati quindi inviati escavatori sulla rotta artificiale che utilizzando terra reperibile dai contigui argini e blocchi di cls fatti pervenire per l'esigenza hanno provveduto nell'immediato a contenere e ridurre le dimensioni della rotta, riducendo conseguentemente anche le portate esondate e nel giro di 24 ore procedere alla definitiva chiusura del varco.

Contemporaneamente sul sistema delle acque basse venivano installati impianti idrovori mobili per agevolare l'allontanamento delle acque di esondazione dal centro abitato.

A partire dal giorno 13 la Provincia di Arezzo ha provveduto al ripristino del corpo arginale danneggiato dalla rotta e rimaneggiato durante l'intervento di chiusura della falle, attraverso la messa in opera di terreni provenienti da cava di prestito.

### **3. Il sistema idraulico nella pianura di Sinalunga**

Il Torrente Foenna, per dimensioni del bacino idrografico, circa 104 Km<sup>2</sup> a valle del Fosso Casalta è il torrente più importante della Val di Chiana, con portata duecentennale stimata in precedenti studi idrologici (Al.To, Studio Ing. Bavecchi) di circa 244 mc/s e 231 mc/s (Pro.Geo. Analisi Strumenti Urbanistici)

All'interno del comune di Sinalunga scorre arginato con rilevati alti 3-5 metri sul piano campagna, ed è caratterizzato da una sezione trapezoidale con banche golenali interne, paramenti arginali esterni con pendenza piuttosto accentuata superiore a 1:1.50 e sommità arginali di larghezza di circa 3.00 m.

Il corso d'acqua è intersecato nel tratto di interesse da importanti infrastrutture quali, da monte verso valle, la SP n.11B di Poggio Gialli o dei Procacci, la ferrovia Sinalunga Arezzo, la SP n.13 Sinalunga Foiano, la SGC Grosseto Fano, la SP n. 63 di Sinalunga.

Gli impalcati degli attraversamenti della SP 11B, della ferrovia e della SP 13 hanno estradossato a quote all'incirca pari alle sommità arginali ed intradossi al di sotto delle sommità.

A monte della SP 11B, il Foenna riceve in destra idrografica il Torrente Varniano ed il Fosso Stagno, ed in sinistra il Fosso le Prata, a valle della SGC riceve ancora in sinistra il fosso Casalta.

Le aree di pianura in destra idraulica sono drenate da fossi che confluiscono nel canale Formone delle Prata che sottopassa il Foenna per confluire a valle dell'abitato nel Fosso Baregno, collettore delle acque basse in sponda sinistra.

Nelle aree di fondovalle in destra idraulica si trova l'abitato delle Prata, in continuità con l'abitato di Sinalunga, caratterizzato da insediamenti produttivi, commerciali residenziali.

In sinistra idraulica il fondovalle è invece caratterizzato dalla presenza di nuclei sparsi, mentre i centri abitati si trovano sui rilievi collinari.

#### **4. La criticità del sistema idraulico**

Il sistema dei corsi d'acqua nella Val di Chiana nei pressi dell'abitato di Sinalunga, caratterizzato da estesi tratti arginati e da un sistema di scolo delle acque basse strutturato per compresori agricoli di bonifica, non è in grado di contenere piene eccezionali con un adeguato franco di sicurezza

La capacità di deflusso del corso d'acqua tra la SP 11B e la SP 13 è di circa 135 mc/s senza franco di sicurezza (Provincia di Arezzo – progetto argini tratto SGC E78-SP 63), mentre la capacità di deflusso nel tratto a valle della SGC E78 è di circa 208 mc/s, senza franco di sicurezza e con argini adeguati come previsto dal progetto dalla Provincia di Arezzo e parzialmente realizzato.

La sezione idraulica non dimensionata per il deflusso di piene eccezionali ha inoltre portato ad ipotizzare nel corso di vari studi la realizzazione di un sistema di casse di espansione in grado di laminare le portate defluite nel tratto prospiciente l'abitato, in modo da ridurre i picchi di piena nel tratto a circa 150 mc/s.

I fossi sono dimensionati con sezioni calibrate per deflusso di portate ricorrenti tipici dei sistemi agricoli della bonifica e non risultano quindi adeguati allo smaltimento di portate eccezionali, tanto meno se conseguenti ad eventi di rottura degli argini pensili.

Indipendentemente dal rischio di sormonto, il sistema presenta una vulnerabilità intrinseca dovuta alla struttura degli stessi rilevati.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni costituenti il corpo arginale, quelle dei terreni di fondazione, i processi naturali di degrado delle terre, dovute all'azione di animali e della vegetazione nel tempo, costituiscono le principali incognite sull'integrità e la capacità di resistenza di un argine all'azione delle acque.

Gli eventi accaduti negli ultimi anni hanno mostrato una complessiva fragilità del sistema delle arginature dei corsi d'acqua della Valdichiana con ripetute rotture per sifonamento sui principali torrenti.

In particolare l'area delle Prata dell'abitato di Sinalunga è stato alluvionato per due volte negli ultimi sei anni a causa del crollo per sifonamento dell'argine destro: un primo evento il 1 gennaio 2006 con una stima di danni a privati superiore a 6 milioni di euro, il secondo evento il 12 novembre con danni minori ma sempre significativi.

Il principale fattore di rischio idraulico è quindi correlato alle problematiche strutturali dei rilevati arginali, ferme restando le criticità conseguenti a deflussi di piene eccezionali che non possono essere contenute in alveo.

### **5. Interventi di mitigazione del rischio idraulico e le scelte prioritarie**

Le aree di fondovalle in cui scorrono corsi d'acqua arginati, possiedono per loro natura un'inevitabile rischio intrinseco di allagamento, che nessun intervento potrà mai azzerare.

Ciononostante è possibile individuare interventi ed opere che possono ridurre in modo significativo le condizioni di pericolosità ed i danni che possono derivare da una piena, ad esempio attraverso la riduzione delle portate, l'aumento della capacità di deflusso in un tratto, l'aumento dei franchi di sicurezza ed il miglioramento strutturale delle stesse opere.

Durante gli eventi di piena, anche il taglio delle arginature in aree agricole costituisce uno dei sistemi per cercare di controllare le condizioni di rischio nelle aree più vulnerabili, così come previsto anche dall'art. 51 del R.D. 2669/1937 nell'ambito della gestione del servizio di piena da parte dell'autorità competente, in questo caso la Provincia di Arezzo.

Sono tra i principali interventi strutturali per la messa in sicurezza di Sinalunga:

- La realizzazione di una o più casse di espansione sul Foenna a monte della s.p. 11B di Poggi gialli e della confluenza con il fosso Stagno, nelle aree dove attualmente sono provocate le rotture arginali controllate.
- L'adeguamento strutturale degli argini in corrispondenza dei tratti più a rischio.
- L'adeguamento geometrico degli argini e delle sezioni per aumentare la capacità di deflusso in alveo ed i franchi di sicurezza.
- L'adeguamento delle luci degli attraversamenti esistenti.

Interventi estesi e completi di riduzione del rischio su tutta l'area richiedono risorse economiche ingenti, per cui si rendono necessarie delle scelte di priorità con il fine di massimizzare la riduzione del rischio in considerazione delle risorse economiche disponibili.

Tra i possibili interventi, è ritenuto prioritario l'adeguamento strutturale degli argini esistenti nei tratti più vulnerabili ed a rischio.

L'adeguamento strutturale dei rilevati arginali è funzionale alla riduzione del rischio di rottura per sifonamento, principale causa degli allagamenti dell'area, senza di cui nemmeno le opere di laminazione sono in grado di fornire sufficienti garanzie di sicurezza idraulica, essendo i dissesti per sifonamento in genere indipendenti dall'entità dei picchi di una piena, ma piuttosto aggravati dall'aumento della durata degli eventi.

Anche nel contesto della scelta prioritaria di adeguare le strutture arginali si è reso necessario individuare su quali tratti fosse prioritario intervenire, al fine di proteggere le aree ritenute più vulnerabili, ossia quelle densamente urbanizzate in destra idraulica del Foenna, dove il danno complessivamente atteso in caso di allagamento è senza dubbio elevato.

Come Genio Civile della Regione Toscana, dal 01 gennaio 2016 diventato competente e Autorità Idraulica ai sensi del R.D. 523/1904, viene confermata l'impostazione indicata dalla provincia di Siena e a suo tempo concordata con la Provincia di Arezzo e la stessa Regione Toscana, ritenendo necessario intervenire prioritariamente sull'argine in destra idraulica tra la S.P. 11B di Poggi gialli ed il Ponte di Guazzino della S.P. 63. Infatti, a monte della prima le aree sono prevalentemente agricole, con alcune abitazioni sparse, e confinate tra l'argine destro del Foenna, il fosso Stagno e l'argine sinistro del torrente Varniano. A valle della S.P. 63 l'argine destro è protetto da un muro di sostegno al piede e dalla carreggiata stradale che riduce in modo importante il rischio di sifonamento della struttura.

In sinistra idraulica, le aree si presentano prevalentemente agricole con alcuni nuclei sparsi.

L'adeguamento interessa quindi l'argine destro del Foenna per un tratto di circa 2.650 m, di cui circa 350 m di argini adeguati dalla provincia di Arezzo successivamente alla rotta del 2006.

I lavori a seguito dell'evento del 2012 sono stati quindi suddivisi in due lotti, di cui uno oggetto del presente progetto per 1.600 m tra la S.P. 11B a monte e la SGC E78 e la S.P. 13, ed uno, a valle, attuato e realizzato dalla Provincia di Arezzo a valle della SGC, per circa 700 m fino a raccordarsi con l'intervento già effettuato successivamente al 2006.

### **6. L'argine destro nel tratto di intervento**

Il tratto di intervento oggetto del presente intervento è suddiviso in due dalla linea ferrovia che costituisce una discontinuità al transito dei mezzi sulla sommità arginale.

Nel tratto di valle l'accesso è possibile direttamente dalla S.P. n.13, nel tratto di monte da una rampa nei pressi del rilevato ferroviario e dalla SP 11B attraverso l'argine destro del Torrente Varniano. Nel tratto di valle a partire dalla S.P. 13 è presente una pista che percorre l'argine al piede, di proprietà demaniale ed utilizzata anche per l'accesso ai terreni agricoli.

L'argine del Torrente Foenna nel tratto di intervento ha un'altezza variabile di circa 3-4 m sul piano campagna, con pendenze del paramento esterno di circa 1:1.35 ed è privo di una banca esterna. La sezione del corso d'acqua è trapezoidale con banca golenale interna, la larghezza in sommità è di circa 3.00 m.

La condotta irrigua del 600 dell'Ente Acque Umbre Toscane, a servizio del comprensorio irriguo di Sinalunga, che un tempo scorreva parallela al piede dell'argine lungo il tratto di intervento, è stata dismessa nel corso del 2013. Lungo la condotta dismessa sono presenti alcuni pozzetti con opere meccaniche di controllo. Nel tratto a valle della linea RFI, si staccano dalla condotta impianti irrigui al servizio degli appezzamenti confinanti con l'argine con irrigatori posti nelle vicinanze del piede del rilevato.

Le indagini geognostiche e le analisi geologiche eseguite dalla Provincia di Arezzo sul tratto di valle, sono state integrate con specifiche campagne geognostiche conoscitive che hanno permesso di caratterizzare il rilevato arginale ed i terreni di fondazione, come descritto nelle relazioni geologiche e geotecniche redatte in una prima fase immediatamente dopo la prima riunione della conferenza di servizi ed integrate con ulteriori analisi e valutazioni a fine 2013.

L'analisi del comportamento del rilevato alla filtrazione è fondamentale per capire le dinamiche che si instaurano nel corpo arginale durante gli eventi di piena, e quindi le cause che hanno portato ai crolli per sifonamento.

Come evidenziato nelle relazioni geologiche e geotecniche, le caratteristiche dei terreni delle arginature, la loro permeabilità dell'ordine di  $10^{-6}$  cm/s ( $10^{-8}$  m/s), pur essendo stato adottato nelle verifiche geotecniche per il rilevato un  $k=10^{-6}$  m/s, le relativamente brevi durate delle piene del Foenna, inferiori alle 24 ore tenendo conto anche della coda di esaurimento, permettono di affermare che durante gli eventi la linea di saturazione interessa solo uno strato più esterno del rilevato, discostandosi in modo netto dal profilo di regime moto permanente.

Che la linea di saturazione durante le piene all'interno dei rilevati omogenei sia estremamente contenuta, è stato possibile osservarlo durante gli stessi eventi e durante i lavori di riparazione.

Nel corso dell'intervento notturno durante l'evento di piena del 2012 sull'argine del Foenna, nonostante l'incessante pioggia battente, i terreni smossi dall'escavatore dalle arginature circostanti per chiudere la rotta si presentavano tutt'altro che saturi, anzi in prevalenza asciutti.

Anche per le altre rotte arginali avvenute in genere nella valdichiana è stato possibile verificare la sostanziale impermeabilità dei rilevati, con il nucleo che si presentava sostanzialmente asciutto anche in corrispondenza delle rotte.

Ciò è indice che, coerentemente con le valutazioni ed analisi numeriche allegate, la linea di filtrazione non riesca a propagarsi significativamente all'interno del corpo arginale.

I processi di sifonamento e crollo per erosione interna dell'argine sono quindi correlati a moti di filtrazione lungo vie preferenziali nei rilevati. In modo diverso non si spiegherebbero processi di filtrazione e fontanazzi sui paramenti esterni ed al piede, che in genere si manifestano dopo poche ore dalla risalita dell'onda di piena.

Le causa di queste vie preferenziali al moto possono essere molteplici: la presenza di lenti ghiaiose e sabbiose altamente permeabili nel rilevato ed alla base di fondazione, oppure il degrado dei terreni dovuti all'azione della vegetazione e degli animali.

Tali considerazioni portano ad affermare che i fenomeni di filtrazione nel rilevato sono trascurabili ed i processi di sifonamento sono innescati probabilmente dalla presenza di vie di filtrazioni preferenziali, riconducibili o al degrado del rilevato per cause naturali o alla presenza di strati ghiaiosi ad alta permeabilità.

## **7. Descrizione intervento di adeguamento dell'argine**

L'intervento si propone quindi l'adeguamento strutturale dell'argine per fornire prioritariamente alla struttura un grado di affidabilità e resistenza al sifonamento ben superiore a quello attuale.

In questa fase non è affrontata la problematica della capacità di deflusso delle piene eccezionali in alveo ed il rischio di sormonto che dovranno essere affrontate in altri contesti ed analisi più complete ed estese all'interno dei processi di formazione degli Strumenti di Urbanistici e dei Piani di Bacino, e che non possono prescindere dall'individuazione di casse di espansione per la laminazione controllata delle piene a monte dell'abitato, come emerso da precedenti studi sul Torrente Foenna ed accennato nei paragrafi precedenti.

A questo si deve aggiungere la problematica dei ponti della ferrovia e della S.P. n.13 che presentano estradossi sotto le sommità arginali e quindi già ad oggi potenzialmente con funzionamento in pressione nel caso di piene eccezionali. Elementi da non trascurare per interventi di aumento delle quote di sommità delle arginature.

La prevenzione dei fenomeni di dissesto per sifonamento può essere conseguita adottando varie soluzioni tecniche, quali setti in c.a., palancole, muri di sostegno, iniezioni in jet grouting, adeguamento geometrico dei rilevati, protezione ed impermeabilizzazione delle sponde.

La scelta progettuale della metodologia di intervento deve tenere di conto di molteplici elementi, tra cui:

- costi delle opere in relazione al beneficio raggiunto
- caratteristiche geometriche delle arginature esistenti
- contesto territoriale circostante l'intervento
- presenza di vincoli, infrastrutture ed edifici nelle aree limitrofe

La soluzione progettuale adottata è quella dell'adeguamento geometrico della struttura arginale, mediante rinfianco lato campagna del rilevato e della fondazione, in modo da aumentarne la massa dell'opera con terreni idonei e sufficientemente impermeabili e quindi aumentare la resistenza alla permeazione ed al sifonamento.

La scelta della soluzione è dettata da varie valutazioni, tra cui:

- la necessità di adeguare la geometria del rilevato in alcuni dei tratti di intervento, al fine di allargare la sommità arginale per renderla idonea e sicura al passaggio dei mezzi e degli operatori, e contemporaneamente ridurre la pendenza dei paramenti esterni;
- l'assenza di vincoli o strutture nelle aree agricole che possono impedire o rendere difficoltoso l'ampliamento dell'argine;

- il costo relativamente contenuto dei rilevati in terra anche se con materiali reperiti sul mercato ordinario;
- la possibilità di fornire una nuova geometria che consenta in futuro anche di effettuare un adeguamento in altezza della sommità arginale al fine di aumentarne i franchi di sicurezza;

La scelta progettuale è ricaduta sulla realizzazione di un rinfiacco esterno dell'argine con banca intermedia ed una sistemazione al piede, avente le seguenti caratteristiche:

- larghezza della banca intermedia di circa 5.00 m
- altezza massima della banca intermedia di 3.00 m dal piano campagna
- sommità della banca intermedia a circa 1.50 m dalla sommità arginale
- pendenza del paramento di sponda di 1:2.00
- larghezza alla base rispetto al piede dell'argine esistente di circa 8.00-9.00 m
- cassonetto di fondazione profondo 80 cm rispetto al piano campagna
- taglione di ammorsamento sotto il cassonetto di fondazione largo 0,80 m e profondo 1,50 m rispetto al piano di fondazione
- adeguamento della larghezza della sommità arginale a 5.00 m
- realizzazione di una fossetta di scolo per la regimazione delle acque al piede dell'argine

Le nuove dimensioni e caratteristiche del rilevato arginale permetteranno di:

- ✓ realizzare una barriera ai processi di filtrazione, utilizzando materiale scelto a bassa permeabilità;
- ✓ aumentare eventuali percorsi di filtrazione e sifonamento di non meno di 7 metri in sommità e di circa 11 metri in fondazione, tenendo conto del taglione, aumentando la perdita di carico e quindi riducendo la cadente piezometrica e la forza di filtrazione che può innescare il sifonamento;
- ✓ aumentare in modo consistente la massa e la quantità dei terreni che dovessero essere soggetti a degrado naturale, fornendo maggiori garanzie di resistenza ed inerzia ad eventuali processi di sifonamento che dovessero innescarsi;
- ✓ adeguare le larghezze delle piste di percorrenza sull'argine in modo da migliorare l'accessibilità in sicurezza per operazioni di manutenzione ordinaria, straordinaria o addirittura di operatività durante gli eventi ed in caso di dissesti;
- ✓ consentire nel futuro un eventuale sovrizzo della sommità arginale che, nel caso sia di 0.75 m per un aumento dei franchi di sicurezza, garantisca comunque la possibilità di mantenere una larghezza di circa 4.00 m sia della sommità che della banca intermedia;

Rispetto alla progettazione definitiva approvata dalla Provincia è stato utilizzato un rilievo topografico di maggior dettaglio dell'arginatura attraverso GPS, aggiornando quello eseguito post intervento.

Il rilievo ha riguardato la destra idraulica, comprensiva di argine, la banca, la sponda incisa e una fascia esterna all'argine non inferiore a 10.00 m. Sono state eseguite 34 sezioni, distanti circa 50 m ciascuna, oltre a manufatti di attraversamento e singolarità interferenti con l'argine o nelle immediate vicinanze.

Il nuovo rilievo ha consentito di garantire una maggiore precisione nel calcolo dei volumi di terreno scavato e movimentato.

Il volume di terreno da mettere in opera per l'adeguamento arginale è stimato in circa 40.000 mc, di cui circa 18.500 mc provenienti dallo stesso cantiere e 21.500 da acquisire sul mercato ordinario, vista anche la presenza sul territorio di varie cave con materiali idonei alla formazione degli argini, come indicato anche nella relazione geologica e nel relativo allegato 8.

La possibilità di ipotizzare i punti di approvvigionamento dal mercato ordinario, ha permesso di effettuare una specifica analisi prezzi dei costi di approvvigionamento del materiale, assumendo nel calcolo indicazioni del costo del materiale franco cava fornite dai produttori e le effettive distanze tra le cave e l'area di cantiere.

Saranno utilizzati terreni limosi con componenti argillose, secondo quanto indicato nella relazione geologica e nel capitolato, con permeabilità non superiori a  $10^{-6}$  cm/s e caratteristiche meccaniche adeguate per la funzione attribuita, ricadenti nelle seguenti classificazioni AASHO UNI 10006:

- classe A6 argille poco compressibili con contenuto minimo in sabbia pari al 15%;
- classe A4 limi poco compressibili con contenuto in sabbia compreso tra 15% e 50%
- classe A4, A6 E A7-6 con contenuto minimo in sabbia pari al 15% e con indice di plasticità inferiore a 25.

I terreni verranno messi in opera per strati con altezza non eccedente i 20-30 cm, compattati attraverso rulli con piedi costipanti, con eventuale aggiunta di acqua, regolando il numero dei passaggi e l'eventuale utilizzo di rulli lisci per la finitura superficiale, ottenendo una densità pari al 85% di quella ottenuta in laboratorio alla Proctor Modificata.

I lavori non prevedono un esubero dei terreni di scavo e scotico, potendoli riallocare sia come terreno vegetale sui paramenti e nelle aree rimaneggiate dal cantiere (scotico), sia come terreno riutilizzato per il ringrosso arginale (scavi).

L'intervento sarà completato con la messa in opera di scogliera sulla sponda interna della banca golenale, con funzione di protezione dall'erosione e stabilizzazione del piede interno dell'argine, dando continuità all'intervento della Provincia di Arezzo nel tratto di valle.

La scogliera avrà un'altezza di circa 2.00 m ed una profondità di 1.00 e non avrà una specifica funzione di sostegno della sponda, ma esclusivamente di difesa radente.

In corrispondenza dell'attraversamento ferroviario la scogliera verrà estesa ed adattata in modo da aumentare la protezione dall'erosione al contatto tra argine in terra e struttura ferroviaria.

Per quanto riguarda gli aspetti di carattere ambientale, la descrizione dell'opera eseguita nella presente relazione, mette in evidenza che l'intervento non va a modificare le matrici ambientali del territorio, ma a anzi è finalizzato a preservare condizioni e funzionalità delle attuali destinazioni del fondovalle, in parte agricolo ed in parte urbanizzato, riducendo il rischio di allagamento, il rischio di danni e di pregiudizio dell'esistente.

L'opera, per proprie caratteristiche (ringrosso arginale) e per il contesto su cui viene realizzata (argine esistente ed area agricola), non comporta alcuna modifica ed impatto sulle matrici ambientali, vegetazionali e faunistiche del contesto, oltre a non implicare impatti sulla salute delle persone.

Sia in fase di esecuzione lavori, sia in fase di esercizio, l'opera non interferisce sulle dinamiche idrologiche di subalveo e sotterranee, andando ad incidere esclusivamente sulle dinamiche di filtrazione in transitorio correlate al passaggio delle piene nel Torrente Foenna.

L'impatto delle lavorazioni sulla qualità delle acque sotterranee e superficiali è nullo, a meno degli usuali rischi di sversamenti correlati all'operatività dei mezzi che, se avvenissero, saranno fronteggiati e bonificati.

Il rischio di intorpidimento delle acque del Foenna per dilavamento è in pratica assente, in quanto le lavorazioni di movimentazione delle terre e messa in opera dei rilevati avviene lato campagna, per cui anche il possibile dilavamento dovuto a precipitazioni meteoriche intense, andrà a depositarsi e sedimentarsi all'interno dei fossi di scolo delle aree agricole che, in caso di eventi tali da provocare la parziale occlusione delle sezioni, verranno ripristinate nel corso dei lavori.

Elementi di rischio sono correlati alla fase di cantierazione dell'opera, in relazione alla movimentazione ed operatività dei mezzi di cantiere e di approvvigionamento dei materiali che, ai sensi del D.lgs. 81/2008, verranno inseriti ed analizzati nel Piano di Sicurezza e Coordinamento.

Per quanto riguarda il rispetto della normativa ambientale in materia di terre e rocce da scavo ai sensi del D.lgs. 152/2016, il D.P.R. 120/2017 per interventi come questo, con movimentazione di terreno per un volume maggiore di 6.000 mc (cantieri di grandi dimensioni non sottoposti a VIA o

AIA), prevede che prima dell'inizio dei lavori sia verificata la qualifica dei terreni movimentati come sottoprodotti secondo le modalità indicate dall'art. 22.

### **8. Le interferenze la linea ferroviaria RFT e con altre infrastrutture**

La realizzazione dell'argine, pur se in un ambito agricolo essenzialmente privo di particolari vincoli, interferisce con alcune strutture e reti di servizi esistenti.

In primo luogo viene affrontato il problema dell'interferenza con la linea ferroviaria Sinalunga Arezzo gestita da Rete Ferroviaria Toscana.

Come richiesto nella conferenza di servizi del gennaio 2013, è stata sviluppata una tavola che esplicita il tipo di interferenza e lavorazioni tra nuova banca arginale e rilevato ferroviario.

Il nuovo argine si andrà a poggiare sul rilevato ferroviario su entrambi i lati nord e sud. L'appoggio verrà eseguito mediante scotico di 30 cm della superficie del rilevato ferroviario, in modo da costipare per strati la nuova banca arginale fino al contatto con i terreni non vegetali del rilevato ferroviario.

La regimazione delle acque al piede del rilevato ferroviario non subirà modifiche, raccordando quelle esistenti con le nuove fosse che verranno realizzate al piede dell'argine. Rimarrà inalterato il sottopasso esistente di scolo da nord verso sud.

La condotta in c.a. dell'Ente Irriguo dismessa al piede dell'argine attuale verrà in parte rimossa e in parte intasata in relazione al suo tracciato effettivo rispetto allo scavo del cassonetto di fondazione e del taglione di impermeabilizzazione.

Qualora sia mantenuta, il suo andamento parallelo ed al di sotto della nuova banca esterna non andrà a favorire i processi di filtrazione e sifonamento, fenomeni che avvengono su vie preferenziali perpendicolari alle arginature, ma avrà una funzione di barriera ed ostacolo ai processi stessi di filtrazione.

L'opera di attraversamento della condotta irrigua al di sotto del rilevato ferroviario, tuttora utilizzata, verrà protetta con gabbioni o terre a sostegno della nuova banca golenale.

I manufatti e pozzetti in c.a. dismessi verranno demoliti e rimossi.

Come accesso all'argine dalle strade provinciali n. 11B e n. 13, verranno utilizzati e semplicemente adattati gli accessi esistenti.

Nel tratto a valle della linea ferroviaria, il nuovo ringrosso arginale andrà ad interferire con una pista poderale a servizio delle aree agricole verso monte, in parte ricadente su proprietà demaniale, che parte dalla S.P. 13.

La percorrenza e collegamento ai terreni, come ad oggi, verrà garantito consentendo l'utilizzo ai proprietari della banca di accesso e la percorrenza al piede dell'argine, ripristinando di fatto la pista esistente.

La parte dell'impianto irriguo esistente a valle della linea ferroviaria, che andrà ad interferire con le opere, sarà oggetto di specifica sistemazione, ripristino e adattamento alla nuova sagoma dell'argine, in relazione alle effettive caratteristiche dell'impianto. Tale intervento rimarrà al di fuori dell'appalto principale ma eseguibile attraverso le somme a disposizione, anche in ragione di un possibile diverso accordo con la proprietà nell'ambito del procedimento di esproprio.

In prossimità della s.p. 13 sono presenti alcune condotte Telecom che attraversano il Foenna a monte del ponte della strada e che si dirigono verso valle attraversando la stessa strada e la SGC E78. Le reti Telecom verranno salvaguardate durante i lavori ed eventualmente spostate nel caso interferissero con le lavorazioni di raccordo tra la banca arginale e il rilevato della s.p. 13.

### **9. Le ipotesi di calcolo e di dimensionamento dell'intervento**

Nelle relazioni specialistiche geologiche e geotecniche sono affrontati gli aspetti strutturali del rilevato sia nelle condizioni attuali che di quelle di progetto, con particolare riguardo alle problematiche della stabilità, della filtrazione e del sifonamento, tenendo conto delle modifiche introdotte alle NTC 2008 a gennaio 2018.

Si procede ad illustrare sinteticamente le problematiche ed i relativi approcci metodologici.

Come descritto in precedenza, le fasi transitorie in moto vario sarebbero senza dubbio le più significative per comprendere l'andamento delle reali superfici piezometriche e di saturazione durante la piena all'interno di un rilevato a bassa permeabilità. Si ritiene però che una schematizzazione semplificata dell'andamento della falda nel corpo arginale sia adeguata e cautelativa per le scelte progettuali adottate, in ragione delle basse permeabilità delle terre e della poco significativa propagazione della linea di filtrazione durante gli eventi di piena reali.

Le analisi geotecniche e di stabilità delle arginature allo stato attuale e di progetto assumono un profilo di filtrazione all'interno del corpo arginale schematizzato con un profilo di moto permanente a regime, con livello di monte all'incirca alla quota della sommità arginale.

Tale condizione, dove l'argine non presenta percorsi di filtrazione preferenziali, è da ritenersi cautelativa. Dove invece si instaurano processi di sifonamento, localmente la linea di saturazione del rilevato può assimilarsi più verosimilmente a quella di moto permanente, ossia più alta rispetto al piano campagna. Le sollecitazioni ed i moti filtrazione che riducono la stabilità complessiva del rilevato e dei paramenti sono però locali e confinati sulla linea longitudinale dell'argine, per cui l'ammasso nel suo complesso ha maggiori capacità di resistenza all'instabilità locale dei paramenti ed al crollo di quanto possa descrivere una verifica di stabilità bidimensionale. I fenomeni di rotta per sifonamento, quali quelli avvenuti sul Foenna, sono infatti processi di flusso interno al paramento che portano ad un'erosione ed asportazione progressiva del materiale interno e quindi al crollo del corpo sovrastante.

Anche le verifiche di stabilità della geometria di progetto assumono linee di filtrazioni in moto permanente e quindi cautelative, a maggior ragione tenendo conto della miglior capacità di creare una barriera alla filtrazione da parte del nuovo rilevato.

Sempre in via cautelativa i parametri geotecnici del nuovo ringrosso arginale nelle verifiche di stabilità sono assunti uguali a quelle dell'argine esistente, mentre si prevedono specifiche progettuali mirate ad avere migliori caratteristiche meccaniche e di impermeabilità di quelle esistenti.

### **10. Le fasi esecutive dell'intervento**

L'intervento verrà eseguito aprendo distintamente due fronti di cantiere: il primo tra la linea ferroviaria e la EGC E78, il secondo tra la S.P. 11B e la linea ferroviaria. La necessità di separare nettamente i due cantieri e le relative lavorazioni, sono dettate dal fatto che la linea ferroviaria costituisce una soluzione di continuità netta tra l'argine e le aree agricole circostanti di monte e quelle di valle, permettendo di limitare l'estensione dei fronti di lavorazione. Il PSC tiene conto della separazione fisica tra i due tratti d'intervento e lascia la possibilità all'impresa appaltatrice di eseguire contemporaneamente e in parallelo i due tratti.

L'esecuzione dell'intervento, da eseguire per tratti limitati, come descritto nel paragrafo successivo, avverrà secondo le seguenti fasi:

- Taglio della vegetazione arbustiva, ed arborea a raso con rimozione, allontanamento o abbruciamento dei residui vegetali dell'argine destro del Foenna e dell'area di cantiere.
- Messa in opera della scogliera di protezione al piede interno dell'alveo.

- Scotico di 30 cm della superficie di intervento (paramento esterno dell'argine, area al piede dell'argine), rimozione delle radici, riduzione di eventuali tane di animali, accantonamento dello strato vegetale.
- Realizzazione del cassonetto di fondazione della banca arginale per uno spessore di circa 0.80 m.
- Scavo del taglione in trincea di fondazione, con eventuale rimozione e allontanamento della condotta dismessa dell'EAUT, ovvero riempimento della stessa per i tratti non rimossi, demolizione e rimozione dei manufatti pertinenti della condotta.
- Riempimento del taglione in trincea con miscele impermeabilizzanti.
- Rinterro e rullatura del terreno di fondazione.
- Esecuzione del rinterro della banca esterna con terreni scelti e messi in opera per strati secondo le prescrizioni di progetto e capitolato, fino ad un'altezza di 1.50 m al di sotto della sommità arginale, e per un'altezza massima di 3.00 m dal piano campagna, mediante gradonatura di ammorsamento a parete verticale nel corpo arginale esistente, per un'altezza massima di 20-60 cm pari a 1-2 volte lo strato di terreno di 20-30 cm da stendere e rullare per la compattazione del rilevato.
- Esecuzione del rinterro e adeguamento geometrico della parte sommitale dell'argine oltre la quota della banca esterna, mediante gradonatura di ammorsamento nel rilevato esistente per la profondità e l'altezza necessaria all'esecuzione della rullatura in elevazione al di sopra della banca esterna, fino alla quota della sommità arginale. Per limitare la gradonatura interna all'argine, a discrezione e su ordine della Direzione Lavori, il rinterro potrà essere realizzato ottenendo una sagoma più larga di quella prevista dal progetto, procedendo successivamente alla riduzione e sagomatura del paramento arginale costituito.
- Profilatura della sagoma delle scarpate dell'argine.
- Realizzazione delle rampe di accesso, delle piste e fossette al piede della banca esterna.
- Riutilizzo del materiale vegetale proveniente dallo scotico per inerbimento delle arginature, rinterri e risagomature delle pertinenze dell'opera arginale e delle aree di cantiere.
- Messa in opera dello stabilizzato della pista in sommità arginale
- Semina dei paramenti arginali

In corrispondenza delle viabilità, la nuova banca arginale verrà ammorsata ai rilevati stradali attraverso un gradonatura dei paramenti. In corrispondenza del rilevato ferroviario, si procederà invece al semplice appoggio dei terreni al rilevato ferroviario, secondo le modalità precedentemente indicate.

## **11. Modalità esecutive dell'argine e gestione del cantiere**

Con la finalità di garantire l'integrità, la funzionalità e la sicurezza del corpo arginale durante i lavori in caso di piene del Foenna, sono fornite prescrizioni sull'organizzazione del cantiere e sulle modalità esecutive degli scavi e dei rinterri.

Lo scavo del cassonetto di fondazione e lo scavo della trincea del taglione, una volta eseguiti, dovranno essere immediatamente rinterrati almeno fino al piano campagna, dando continuità alla lavorazione di scavo e rinterro.

Ciò per evitare che lo scavo aperto possa favorire processi di imbibimento, allagamento per filtrazione dalla falda o dall'alveo e soprattutto per evitare il rischio che in caso di piena lo sbancamento favorisca fenomeni di sifonamento dell'argine indotti dall'innalzamento del carico idrostatico in alveo.

Per questo motivo dovranno valersi le seguenti prescrizioni:

- x Il fronte massimo di scavo del cassonetto in fondazione e della trincea, non potrà estendersi per una lunghezza superiore a 200 metri.
- x Lo scotico del paramento arginale esterno e della fondazione non dovrà estendersi oltre la lunghezza dello scavo di fondazione in esecuzione.
- x Allo scavo dovrà seguire senza soluzione di continuità la fase di rinterro fino almeno alla quota del piano campagna.
- x In caso di previsioni meteorologiche avverse o per emissioni di stati di allerta per rischio idrogeologico sul reticolo idrografico principale o secondario del Centro Funzionale della Regione Toscana (codici allerta giallo/arancione/rosso), l'impresa dovrà procedere all'immediato rinterro degli scavi a regola d'arte secondo le modalità di capitolato o, in mancanza di tempi e condizioni, con la maggior accuratezza e diligenza per ottenere la miglior compattazione possibile a prevenire fenomeni di filtrazione, ferma restando la necessità di proceder successivamente alla nuova esecuzione del rinterro secondo le modalità prestabilite dal capitolato.

Per quanto riguarda la realizzazione del rinterro del rilevato fino alla quota della banca esterna, i gradoni di ammorsamento degli strati dovranno essere realizzati di altezza limitata a 20-60 cm, pari al massimo a una o due volte lo spessore dello strato da rullare (20-30 cm), in modo da minimizzare le dimensioni dello scavo all'interno dell'argine esistente, mantenendone così l'integrità strutturale e la sicurezza dell'opera in caso di piena.

Per questo motivo dovranno valersi le seguenti prescrizioni:

- x L'altezza del gradone di ammorsamento non dovrà superare le dimensioni indicate.

- x Il fronte di scavo della gradonatura non potrà superare la lunghezza di 200 metri.
- x All'esecuzione della gradonatura dovrà seguire senza soluzione di continuità la fase di rinterro a strati della banca arginale fino al ricoprimento del taglio nell'argine.
- x In caso di previsioni meteorologiche avverse o per emissioni di stati di allerta per rischio idrogeologico sul reticolo idrografico principale o secondario del Centro Funzionale della Regione Toscana (codici allerta giallo/arancione/rosso), l'impresa dovrà procedere all'immediato rinterro a strati della banca fino al ricoprimento del gradone a regola d'arte secondo le modalità di capitolato o, in mancanza di tempi e condizioni, con la maggior accuratezza e diligenza per ottenere la miglior compattazione possibile per ricostituire la sagoma del paramento arginale originario, ferma restando la necessità di proceder successivamente alla nuova esecuzione del rinterro secondo le modalità prestabilite dal capitolato.

Per quanto riguarda la realizzazione del rinterro della parte sommitale del rilevato arginale al di sopra della quota della banca esterna, i gradoni di ammorsamento degli strati dovranno essere realizzati cercando di minimizzare l'altezza del gradone e quindi lo scavo all'interno del rilevato esistente, mantenendone così l'integrità strutturale e la sicurezza dell'opera in caso di piena, limitandosi a quanto necessario per poter ottenere una larghezza di lavorazione che consenta l'operatività del rullo meccanico. Per limitare la gradonatura interna all'argine, a discrezione e su ordine della Direzione Lavori, il rinterro potrà essere realizzato ottenendo una sagoma più larga di quella prevista dal progetto, procedendo successivamente alla riduzione e sagomatura del paramento arginale costituito.

Per questo motivo dovranno valersi le seguenti prescrizioni:

- x L'altezza del gradone di ammorsamento dovrà avere dimensioni per quanto possibile limitate.
- x Il fronte di scavo della gradonatura non potrà superare la lunghezza di 30 metri.
- x All'esecuzione della gradonatura dovrà seguire senza soluzione di continuità la fase di rinterro a strati del rilevato arginale fino al ricoprimento del taglio nell'argine.
- x In caso di previsioni meteorologiche avverse o per emissioni di stati di allerta per rischio idrogeologico sul reticolo idrografico principale o secondario del Centro Funzionale della Regione Toscana (codici allerta giallo/arancione/rosso), l'impresa dovrà:
  - procedere all'immediato rinterro a strati della banca fino al ricoprimento del gradone a regola d'arte secondo le modalità di capitolato o, in mancanza di tempi e condizioni, con la maggior accuratezza e diligenza per ottenere la miglior compattazione possibile per ricostituire la sagoma del paramento arginale originario,

ferma restando la necessità di proceder successivamente alla nuova esecuzione del rinterro secondo le modalità prestabilite dal capitolato;

- mettere in opera sul paramento interno dell'argine teloni in PVC forniti dall'amministrazione, secondo le modalità indicate dalla Direzione Lavori, per una lunghezza pari a quella dell'eventuale fronte di scavo rimasto aperto o non interrato secondo le modalità del capitolato, al fine di ridurre la filtrazione e garantire la funzione di contenimento idraulico della parte sommitale dell'argine;

## **12. Il confronto con l'intervento di adeguamento eseguito nel tratto di valle**

Sia il Comune di Sinalunga che l'Autorità di Bacino in sede di conferenza di servizi, hanno posto l'attenzione sui diversi approcci e metodologie d'intervento tra il tratto di monte, oggetto del presente lavoro, ed il tratto di valle, attuato dalla Provincia di Arezzo, chiedendo una verifica ed un coordinamento delle soluzioni progettuali.

Le richieste di chiarimenti nella sostanza riguardano due aspetti:

- l'utilizzo di una soluzione con ringrosso arginale nel tratto di monte, anziché una soluzione con jet grouting come nel tratto di valle;
- l'adozione di una geometria arginale più ampia nel tratto di monte rispetto a quello di valle a suo tempo eseguito dalla Provincia di Arezzo;

Per quanto riguarda il primo punto, l'adozione da parte della Provincia di Arezzo di una soluzione di consolidamento e barriera alla filtrazione in jet-grouting e muri di sostegno in prossimità dei resedi degli edifici, è stata dettata dalla necessità di ridurre gli spazi d'intervento e di esproprio delle pertinenze delle abitazioni e nel tratto di raccordo con l'intervento eseguito successivamente all'evento del 2006.

Negli altri tratti, analogamente all'attuale scelta, dove ci sia stata la possibilità di occupare superfici agricole, anche la Provincia di Arezzo ha scelto come soluzione progettuale l'adeguamento geometrico dell'argine con sagomatura e rinfianco di quello esistente.

Per quanto riguarda il secondo punto, possono compararsi le geometrie dei rilevati arginali di monte e di valle.

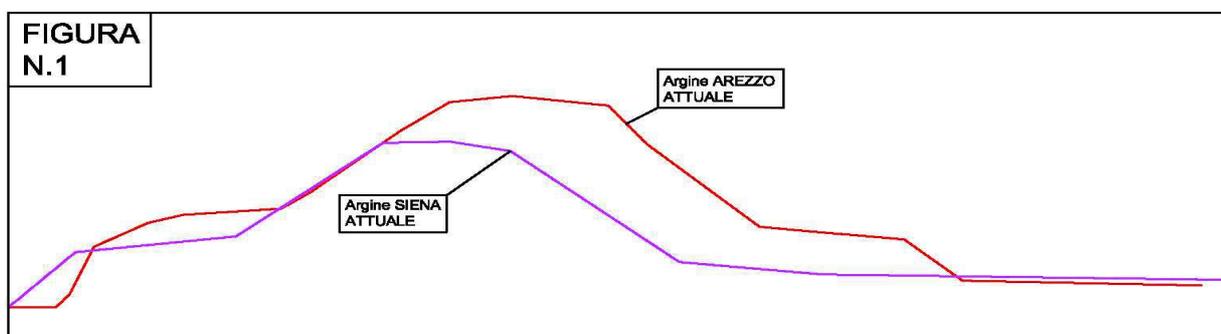
Entrambi i tratti sono potenzialmente interessati al deflusso delle stesse portate idrologiche stimate nell'ordine di 208 mc/s, con l'immissione del Torrente Casalta in sinistra idraulica a valle dell'intervento eseguito dalla Provincia di Arezzo. In via del tutto teorica sarebbe stato lecito

aspettarsi che entrambi i tratti abbiano le stesse caratteristiche dimensionali e quindi approssimativamente le stesse geometrie di sezione e le stesse geometrie delle opere arginali.

In realtà il tratto dell'attuale intervento, come mostrato negli studi idraulici esistenti, ha una capacità di deflusso ben inferiore a quello di valle su cui è intervenuta la Provincia di Arezzo: circa 135 mc/s del primo contro 208 mc/s del secondo.

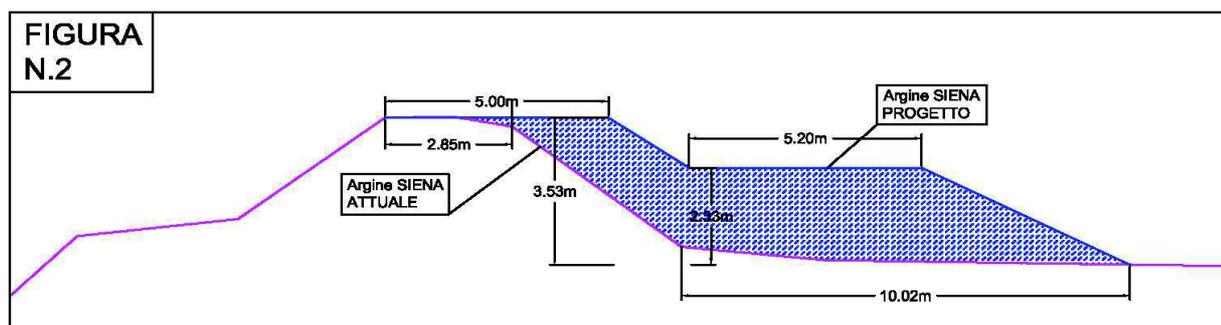
Sono state quindi verificate le geometrie degli argini nei tratti d'intervento mediante adeguamento geometrico del rilevato, prendendo una sezione arginale tipo ricadente sul tratto oggetto del presente progetto ed una sezione arginale tipo ricadente sul tratto di valle su cui è intervenuta la Provincia di Arezzo.

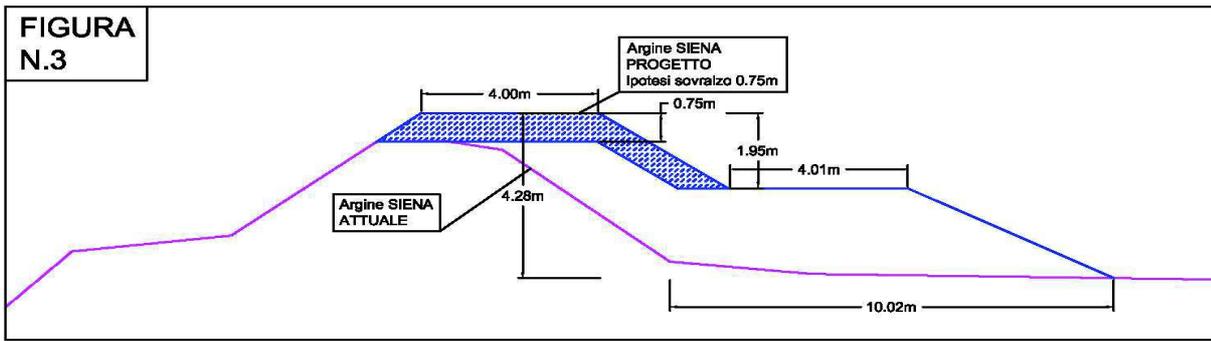
I profili, riportati nella figura seguente, sono sovrapposti prendendo come riferimento altimetrico il piano campagna e riferimento trasversale l'alveo inciso di magra.



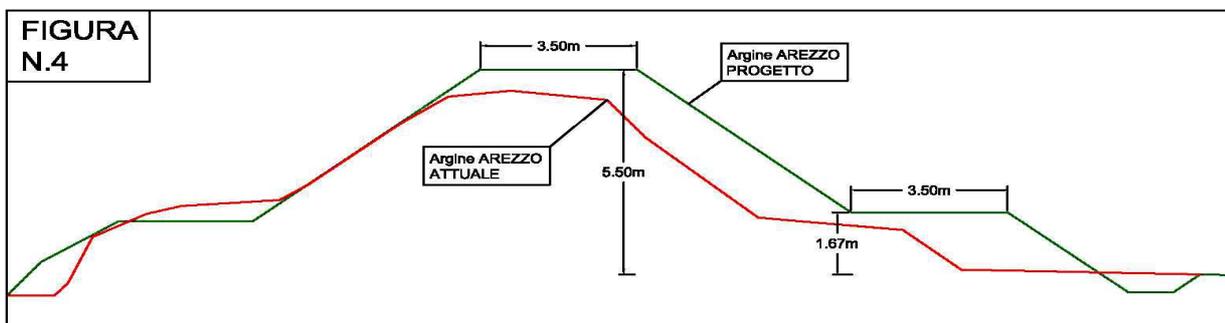
Come si osserva le dimensioni dell'argine di monte (Siena) sono complessivamente inferiori rispetto a quello di valle (Arezzo), circa 20.80 mq/m contro 41.40 mq/m.

Nelle figure successive 2 e 3, si riportano i profili e le dimensioni dell'adeguamento arginale nel tratto in progetto sia nella versione prevista dal presente progetto, che nella versione di un possibile adeguamento futuro del franco di sicurezza arginale.

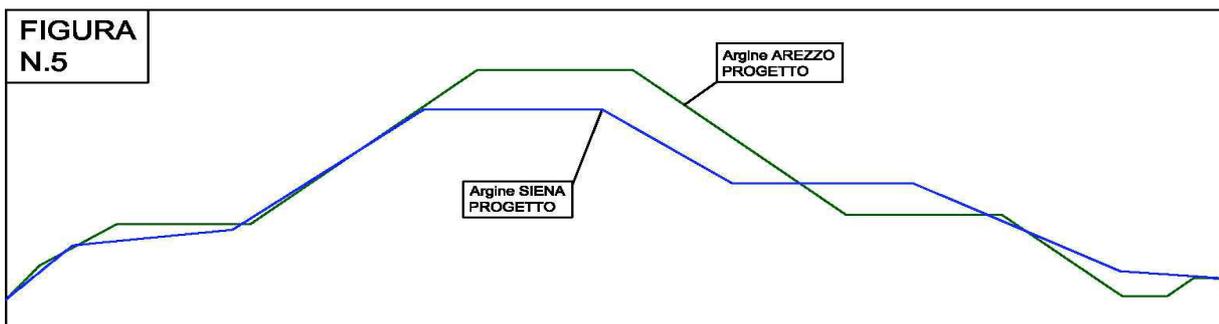




Nella figura 4 è riportato il profilo dell'argine su cui è intervenuta la Provincia di Arezzo, sovrapponendo lo stato attuale e quello di progetto.



Il confronto tra le dimensioni arginali è a questo punto corretto eseguirlo in relazione ai due stati di progetto, figura 5, di cui quello sul tratto di intervento di Siena rappresenta uno scenario che potrà essere previsto in una seconda fase di adeguamento.



Come si osserva le dimensioni dei due argini nello stato finale sono del tutto comparabili, per complessivi circa 48 mq/m sul tratto di intervento di monte e 59 mq/m su quello di valle, caratterizzato da una maggiore altezza e, come visto in precedenza, da una maggiore capacità di deflusso nel tratto, che a monte è limitata dalla presenza degli attraversamenti stradali e ferroviario.

In definitiva con una puntuale analisi delle geometrie si è mostrato che le soluzioni progettuali tra monte e valle sono del tutto coerenti e comparabili tra loro e che l'apparente sovradimensionamento sul tratto di intervento in oggetto è conseguente al fatto che attualmente l'argine presenta dimensioni ridotte rispetto a quello a valle della SGC E78 e che le larghezze previste della banca golenale e della sommità arginale, sono di dimensioni più ampie dell'usuale, 5.00 m anziché 4.00 m, tali da rendere possibile nel futuro l'adeguamento del franco di sicurezza dell'argine"

### **13. Conclusioni**

Gli eventi di piena per rottura arginale che nel corso degli ultimi anni hanno provocato allagamenti a Sinalunga, come del resto in molte altre parti della Val di Chiana, hanno mostrato la criticità delle strutture arginali, un tempo destinate a proteggere zone prevalentemente agricole ed oggi destinate a proteggere aree industriali e centri abitati particolarmente vulnerabili.

L'adeguamento delle strutture arginali che hanno la funzione di proteggere le aree maggiormente a rischio danni, unitamente ad una assidua ed efficiente manutenzione e controllo delle opere, diventa una delle priorità per il territorio senese della Val di Chiana, rendendo altrimenti vano qualsiasi intervento di laminazione delle piene attraverso sistemi di casse di espansione.

L'intervento progettato, complementare a quello eseguito dalla Provincia di Arezzo nel 2006 e nel 2014, costituisce quindi la risposta indispensabile e prioritaria a prevenire fenomeni di esondazione per rottura arginale che hanno colpito Sinalunga negli ultimi anni, che dovrà essere seguita nel tempo dalla realizzazione di nuovi interventi finalizzati alla regimazione delle piene nelle aree agricole a monte della confluenza con il Torrente Varniano.