



AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
UFFICIO OPERATIVO DI CREMONA

area Po lombardo - sub area Lombardia orientale
opere idrauliche di 3^ categoria - fiume Adda
(D.P.C.S. 21 aprile 1947 n. 261)

(CR-E-814)

OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA/REALIZZAZIONE ARGINE
IN SINISTRA ADDA, IN COMUNE DI RIVOLTA D'ADDA (CR)
CUP B43 B12 000 030 001

IMPORTO COMPLESSIVO DI PERIZIA: Euro=1.100.000,00=

PROGETTO ESECUTIVO

elab.n. (rif. CR-E-814)		titolo della tavola		data	
1.1		RELAZIONE ILLUSTRATIVA/TECNICA		11.12.2014	
				perizia n.	
				637/CR	
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA			
A	13.07.2015				
B					
C					
D					

COLLABORATORI PROGETTISTI

CAPO PROGETTO
(dott. ing. Marco LA VEGLIA)

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(dott. ing. Luigi MILLE)

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO ESPROPRIATIVO
(dott. arch. Lorella TOGLIANI)

(dott. ing. Isabella BOTTA)

(geom. Fernando ALTOBELLO)

(geom. Gianluigi SCARPINI)

(arch. Giuliano BERNI)

(geom. Angelo ZERRBINI)

AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
Ufficio Operativo di Cremona

**(CR – E – 814) Opere di regimazione idraulica/realizzazione argine
in sinistra Adda, in comune di Rivolta d’Adda (CR).**

CUP B43B12000030001

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GENERALE

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1 Generalità	3
2. SCELTA PROGETTUALE DEFINITIVA	5
2.1 Introduzione	5
2.2 La soluzione selezionata	7
2.3 Aspetti economici e finanziari	9
3. APPROFONDIMENTI TECNICO-SPECIALISTICI	11
3.1. Idraulica	11
3.2. Geologia e Strutture	20
3.3. Espropri ed Interferenze	22
3.4. Territorio, Paesaggio ed Ambiente, Archeologia	23
3.5. Strutture	26
3.6. Piano di Sicurezza e Coordinamento	27
BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI	29

1. INTRODUZIONE

1.1 Generalità

La presente Relazione Generale è redatta ai sensi del Titolo II, Capo I, Sezione IV, art. 34 del Regolamento sui LL.PP., D.P.R. 207/10, ed in rispetto del D.P.P. redatto dal RUP in data 20/02/2012.

In particolare, essa ribadisce in parte quanto già riportato nella analoga Relazione sul Progetto Definitivo, completandola per quegli aspetti tipicamente esecutivi che non erano stati ancora sviluppati. Comunque, per ogni dettaglio, si fa opportuno rimando alle singole Relazioni Specialistiche ed ai loro allegati elaborati tecnico-descrittivi.

Le une e gli altri illustrano con dovizia di particolari tutti gli approfondimenti – sia di carattere documentale che concernenti attività di campo – che si sono intrapresi per assumere tutte le informazioni necessarie a rendere esecutivi le previsioni progettuali precedentemente definiti.

Come si dà conto nei successivi paragrafi, e più cospicuamente nelle già citate relazioni ed elaborati specialistiche, il presente Progetto Esecutivo ha ribadito le analisi già effettuate sulle diverse componenti territoriali, ambientali ed ecologiche, geologiche storico – artistiche ed archeologiche, completando la trattazione progettuale, che risulta così composta:

- 1 – Studio idraulico;
- 2 – Modello geologico-geotecnico del terreno;
- 3 – Analisi topografica e catastale;
- 4 – Analisi archeologica preliminare;
- 5 – Analisi paesaggistico-ambientale;
- 6 – Dimensionamenti delle strutture;
- 7 – Progettazione della Sicurezza nel cantiere

di cui si darà un resoconto riassuntivo nei prossimi paragrafi.

Oltre a ciò, si sono svolte delle attività di progettazione ed approfondimento conoscitivo del territorio, essenzialmente votate all'analisi dello sviluppo del cantiere, allo studio della viabilità di accesso alle zone di lavoro, all'approvvigionamento dei materiali da costruzione, all'analisi delle interferenze.

2. SCELTA PROGETTUALE DEFINITIVA

2.1 Introduzione

I lavori oggetto sono finalizzati alla protezione idraulica dell'abitato di Rivolta d'Adda e della S.P. n. 4 "Rivoltana" e consistono nella realizzazione di un'arginatura in sinistra Adda che materializza un tratto di "fascia B di progetto" prevista nel P.A.I. e nello Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda dell'Autorità di Bacino del fiume Po. Si tratta della realizzazione di un'opera di difesa dell'abitato di Rivolta d'Adda dalle esondazioni del fiume Adda, secondo le evidenze che emersero in seguito al disastroso evento del 26 novembre 2002, durante il quale – a causa della rottura per sormonto e tracimazione dell'argine privato della cascina Faccendina – le acque di piena giunsero in paese da nord, dopo aver superato la strada provinciale.

Questa circostanza portò al successivo aggiornamento del tracciato della fascia "B di progetto" prevista dal P.A.I. vigente secondo quanto segnalato dall'Ufficio A.I.Po di Cremona all'Autorità di bacino ed agli estensori dello *Studio di fattibilità di sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza del Po* dell'Autorità di bacino del fiume Po, di cui in figura seguente si riporta estratto esplicativo (figura 1).



figura 1 –estratto dello Studio di fattibilità: fascia B di progetto a Rivolta

Le diverse alternative progettuali esaminate per l'opera sono state descritte nella relazione sul Progetto Preliminare, a cui si rimanda ovviamente per ogni dettaglio in merito. Esse differivano fra loro per le diverse implicazioni sugli insediamenti presenti; infatti, le configurazioni planimetriche considerate realizzavano in modo diverso non tanto la protezione idraulica dell'abitato di Rivolta d'Adda, quanto la delimitazione dell'area golenale sinistra del fiume Adda a monte del ponte della S.P. 4 "Rivoltana".



figura 2— andamento arginale previsto nello Studio di fattibilità

A partire da quanto previsto nello Studio di Fattibilità (figura 2) è apparso logico che la plausibile traslazione verso nord della linea di difesa dovesse essere determinata usando il criterio di scelta di assicurare la massima possibile inclusione degli insediamenti abitativi ed agricoli, opportunamente intersecato sia con la invarianza idraulica degli andamenti di piena 200-ennale per i territori limitrofi e per quelli di valle, sia con l'ottenimento del miglior rendimento economico dell'intervento, intendendo con ciò non solo la mera riduzione dell'estensione lineare dell'arginatura, ma anche la semplicità di realizzazione delle opere complementari, la loro facilità d'uso e manutenzione, la riduzione degli impatti del cantiere sul tessuto viabilistico e produttivo dell'ambito di intervento.

Grazie agli approfondimenti idraulici, la prospettata soluzione di Progetto Preliminare è stata, negli immediati sviluppi successivi, messa a confronto con un'altra ipotesi, che permette lo sfruttamento di porzioni di argini esistenti, ed opera l'inclusione di altri due importanti insediamenti, la Cascina Faccendina e la Cascina Bruciata, all'interno di quella che diventerà la fascia C.

Verificatane la invarianza idraulica, il tracciato è stato ulteriormente corretto onde minimizzarne la compatibilità con l'idrografia minore e con la componente ambientale.

In tal modo si sono potute prevedere delle opere di intercettazione dei coli e preservazione della continuità arginale non troppo complesse, si è sfruttato in parte un tracciato arginale esistente, mantenendo praticamente inalterato un particolare paesaggistico già presente, e si è evitato l'eccessivo avvicinamento alla Faccendina, laddove si sarebbe dovuto intervenire su rilevati con presenza di filari arborei di pregio.

2.2 La soluzione selezionata

Considerato dunque che le diverse configurazioni esaminate, dal punto di vista idraulico, non generano differenze apprezzabili nello sviluppo della piena di riferimento (T_R 200 anni), la scelta è ricaduta su quella di massima tutela. La soluzione di progetto preliminare si è evoluta in quella riportata in figura 3, derivata non solo dalle risultanze delle analisi tecniche condotte, ma anche dal contributo fornito dalle Amministrazioni interessate e dal confronto avuto con i cittadini coinvolti in prima persona.

Al di là del diverso sviluppo planimetrico, le assunzioni basilari di progetto e le modalità costruttive sono rimaste invariate rispetto a quelle di Progetto Preliminare. Infatti, si prevede ancora che la difesa si dipartirà dal rilevato stradale della SP 4 (Rivoltana) e si innesterà sulla strada comunale per Cassano d'Adda, con un percorso di circa 1.500 m. L'arginatura in progetto è alta dai 1,90 ai 3,50 m sul piano campagna con quota di sommità pari a 102,80 m s.l.m.; l'andamento planimetrico del tracciato cercherà di seguire i limiti di proprietà, evitando la divisione di mappali.

L'opera di contenimento in progetto sarà realizzata con la soluzione tecnica rappresentata dai rilevati in terra.



figura 3– andamento arginale di Progetto Definitivo

Di semplice e veloce esecuzione, i rilevati arginali saranno realizzati con sommità che raggiunge la quota di progetto (h piena + franco), sufficientemente larga (3,50 m) da ospitare una comoda pista di servizio che, oltre a consentire la sorveglianza in caso di piena ed il transito dei mezzi per la manutenzione ordinaria, potrà adibirsi a percorso ciclo-pedonale pubblico.

Il materiale geotecnicamente idoneo sarà reperito in cava privata, secondo quanto potrà derivare dai necessari approfondimenti progettuali ed amministrativi da eseguirsi in sede di progettazione esecutiva. Tipicamente, il rilevato arginale verrà eseguito con le tecniche costruttive abituali, delle quali l'Ufficio è esperto per tradizione storica. Per essere costituito da terra rivestita da un cotico erboso da mantenersi a prato stabile in ossequio ai dettami della buona norme idraulica e di quanto stabilito dal Capo VII del R.D. 25/7/1904, n. 523, nessun ricorso a tecniche di ingegneria naturalistica può essere validamente condotto, tanto più che – nella Pianura Padana – tale tipo di manufatto fa diffusamente parte del paesaggio rurale e costituisce importante elemento di fruizione delle aree perfluviali per il fatto di possedere una viabilità di servizio utilizzabile con

successo per scopi ricreativi plurimi di turismo sostenibile.

I manufatti che costituiscono le chiaviche sono realizzati in calcestruzzo armato gettato in opera, ed avranno canne di sezione quadrata di larghezza variabile da 1,00 a 2,00 m in dipendenza delle dimensioni del colo intercettato. In sede di Progetto Esecutivo verranno svolti i dimensionamenti ai sensi delle vigenti norme tecniche sulle costruzioni, e verificati alle azioni sismiche della zona in cui ricade la città di Rivolta d'Adda, con l'uso dei parametri determinati a seguito della svolta campagna geognostica di cui si tratta sommariamente in questa stessa relazione (vedi infra, § 3.2)

2.3 Aspetti economici e finanziari

Le opere previste in comune di Rivolta d'Adda (CR) sono oggetto della Convenzione n. 15985/RU del 22.12.2011 tra Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio e Urbanistica, e l'Agenzia Interregionale per il fiume Po, in attuazione dell'Accordo di Programma tra Regione Lombardia e il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare del 04.11.2010.

Il finanziamento dell'opera avviene sulla base del succitato Accordo di Programma del 04.11.2010 finalizzato alla programmazione ed al finanziamento di interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico, sottoscritto fra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Lombardia, nel quale l'intervento in oggetto è stato ricompreso per la somma di €. 900.000,00. L'Agenzia Interregionale per il fiume Po è stata individuata come Ente Attuatore, per cui – in data 21 dicembre 2011 – è stata stipulata un'apposita Convenzione regolante i rapporti con la Regione Lombardia.

In conseguenza delle risultanze della attività progettuale preliminare qui descritta, è stato possibile valutare che le opere richiedono un incremento della somma fino alla cifra di 1.100.000 Euro. Tale aumento è essenzialmente da attribuirsi alla spesa per esproprio non essendo più possibile ricorrere alla indennità per terreni agricoli basata nel Valore Agricolo Medio, e all'aliquota I.V.A.

Verificato che, con le somme accantonate non è possibile eseguire opere funzionali, si è

provveduto a richiedere, con nota n. 21780 del 18/6/2012 l'adeguamento degli importi al competente Ufficio di Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio e Urbanistica – Tutela e Valorizzazione del Territorio – Pianificazione e Programmazione di Bacino e Locale. Quest'ultimo, nelle more del recepimento della proposta di rimodulazione del finanziamento e, sentito il Commissario straordinario, con nota n. Z1.2012.0020127 del 03.08.2012, ha invitato a procedere alla predisposizione del progetto definitivo.

3. APPROFONDIMENTI TECNICO-SPECIALISTICI

3.1. Idraulica

Nel capitolo precedente si è fatto riferimento alle linee conduttrici delle scelte progettuali, citando spesso le risultanze dello studio idraulico condotto. Nel seguito si fornirà un breve riassunto delle operazioni svolte, delle simulazioni effettuate e delle indicazioni principali che dalle modellazioni matematiche si sono potute desumere.

Allo scopo di ottenere informazioni sufficientemente precise e veritiere sui tiranti e volumi idrici in gioco nel campo di moto di interesse, e sulle loro variazioni relative in dipendenza delle configurazioni planimetriche esaminate, è stato sviluppato un modello matematico idraulico bidimensionale in moto vario, che ha fornito tutti i valori delle grandezze fisiche in gioco per l'individuazione della migliore soluzione possibile.

La sua implementazione è stata preceduta da un'accurata analisi topografica, che ha riguardato un tratto fluviale della lunghezza di circa 8 km e dell'estensione di 17 Km², realizzata per mezzo della tecnologia LIDAR, attraverso un rilevamento aereo svolto nei primi mesi del 2013, allo scopo di diminuire le interferenze delle coperture vegetazionali, che comunque sono state poi opportunamente filtrate attraverso l'elaborazione dei risultati. Ciò ha consentito di la restituzione di un modello digitale del terreno (DTM) a maglia regolare pari a 1x1 m, che ha riguardato il tratto di Adda considerato fino all'estensione di tutta la fascia fluviale B. Per simulare con maggiore precisione il tratto, è stata implementata la parte batimetrica, non presente nel DTM utilizzato, tramite l'interpolazione lineare planoaltimetrica delle sezioni trasversali più recenti rilevate da AdBPo nell'ambito dello Studio di Fattibilità citato.

Il supporto topografico ha determinato un intorno della zona di interesse sufficientemente ampio da minimizzare le influenze dei bordi del dominio di calcolo, dove sono state imposte condizioni al contorno idraulicamente consistenti.

Il valore di riferimento della portata con tempo di ritorno 200 anni nella condizione al contorno di monte assunto per la valutazione del confronto delle condizioni progettuali è pari a 1.948,8 m³/sec, e l'idrogramma di progetto ha la forma riportata in blu nella seguente figura 4.

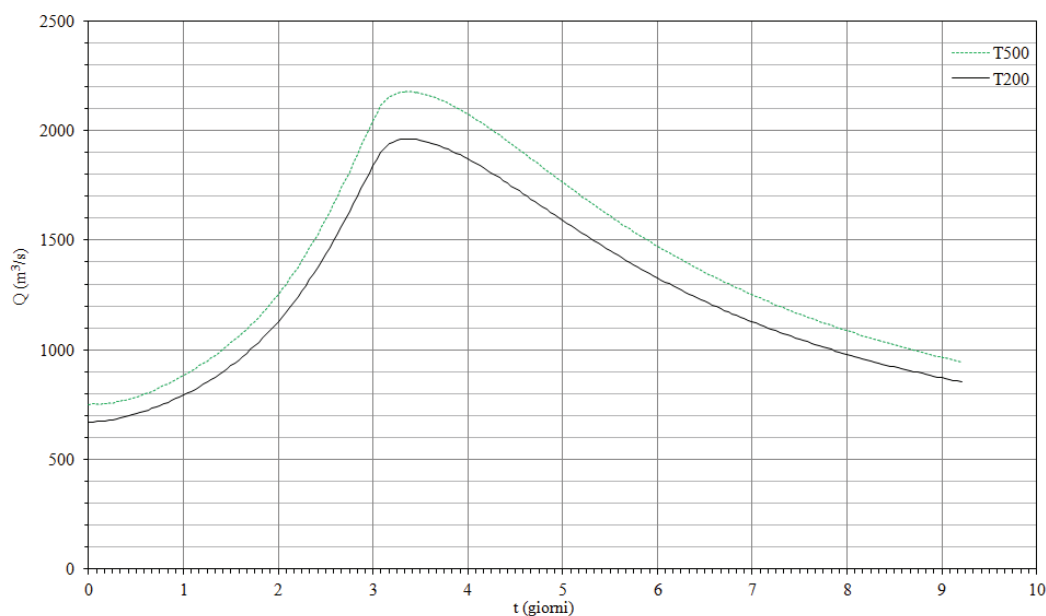


Figura 4 – Idrogramma di piena di progetto immessa nel modello

Lo studio del tratto di fiume Adda è stato condotto con l'uso del modello di calcolo bidimensionale ai volumi finiti implementato nel software Basement (versione 2.0). Tale software è stato sviluppato dal Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) dell'Università di Zurigo (ETH).

La taratura del modello è stata fatta sulla base dello Studio di Fattibilità; definendo così i coefficienti di scabrezza per l'alveo inciso, la golena, e la viabilità.

I calcoli idraulici sono stati condotti in diverse condizioni di riferimento:

- a) Stato di fatto: assenza dell'opera, ovvero condizioni attuali;
- b) Stato con "Fascia B di progetto" da Studio di Fattibilità;
- c) Stato di progetto: configurazione "1";
- d) Stato di progetto: configurazione "2";
- e) Stato di progetto: configurazione "3".

Dal punto di vista idraulico, lo stato di fatto prevede la simulazione con l'attuale configurazione planoaltimetrica; lo stato di progetto (configurazioni "1", "2" e "3") prevede l'utilizzo del Modello Digitale del Terreno modificato con l'inserimento del nuovo rilevato arginale in sponda sinistra a protezione dell'abitato di Rivolta d'Adda nelle tre

configurazioni; nella simulazione condotta con la Fascia B di progetto da Studio di Fattibilità è stato introdotto un limite di esondazione in corrispondenza della suddetta fascia.

È ovvio che la valutazione delle configurazioni progettuali esaminate è avvenuta per confronto con lo Stato con “Fascia B di progetto” da Studio di Fattibilità di cui al punto b), che rappresenta la soluzione di fattibilità, appunto, della barriera idraulica in progetto; non ha infatti alcun senso operare tali confronto con lo stato attuale, di certo inammissibile per le ovvie conseguenze sul centro abitato. Lo svolgimento della routine di calcolo ha mostrato una buona aderenza con quanto verificatosi nella piena 2002, che peraltro fu di entità lievemente inferiore a quella usata nella modellazione.

Per completezza di esposizione, si evidenzia che – rispetto allo stato attuale, ovvero quello con l’esondazione a Rivolta – lo studio condotto ha dimostrato che vi è l’ovvia concentrazione dei deflussi nella zona dell’attraversamento, a causa del fatto che parte della piena non può più transitare attraverso Rivolta, con un incremento della portata al colmo di circa $123 \text{ m}^3/\text{sec}$ (pari all’8% del colmo dello stato attuale), pressoché costante per tutte le configurazioni “con argine” esaminate; conseguentemente si verifica un innalzamento dei livelli idrici in corrispondenza del ponte di 15 cm.

La portata al colmo alla sezione terminale del modello è invece uguale per tutte le condizioni esaminate, il che fornisce l’indicazione che l’effetto dell’opera non ha conseguenze nel tratto vallivo del corso d’acqua a distanze superiori di 3-4 km, come si mostra nella figura 5, dove sono riportate, per la porzione di dominio di calcolo immediatamente contigua all’arginatura, le differenze fra i tiranti idrici massimi che si instaurano nel caso di opera realizzata secondo la configurazione Stato con “Fascia B di progetto” da Studio di Fattibilità e la configurazione “2”.

Dall’analisi della figura riportata emerge chiaramente che le simulazioni condotte non presentano differenze significative se non nelle aree che vengono direttamente protette dalle stesse arginature.

La Configurazione “3” risulta essere del tutto equivalente alla Configurazione “2”, data la sua modesta variazione rispetto ad essa.



Figura 5 – Differenza dei tiranti fra Stato di “Fascia B di progetto” di SF e soluzione 2

Rispetto allo Stato con “Fascia B di progetto” da Studio di Fattibilità, dunque, non vi sono differenze fra le configurazioni planimetriche esaminate, per cui ciascuna di esse risulta perfettamente plausibile e del medesimo impatto di quanto ipotizzato nei documenti pianificatori.

L’effetto dell’opera è stato però studiato anche rispetto allo stato attuale, al fine di valutare quali conseguenze sullo sviluppo della piena possono essere attese, soprattutto nei territori circostanti il rilevato. Le figure 6 e 7 mostrano rispettivamente gli incrementi e i decrementi di tirante determinati dalla realizzazione dell’argine nella configurazione di Progetto Definitivo. Da esse si evincono in maniera immediata gli effetti di protezione esercitati dall’arginatura nei confronti dell’abitato di Rivolta, con conseguente “effetto ombra” del rilevato anche leggermente a valle, sponda sinistra idraulica a valle del ponte, con differenze di quote idriche che man mano vanno scemando con la distanza dalla zona di intervento. I corrispondenti incrementi in sponda destra a valle del ponte sono di entità limitata, molto circoscritti (l’effetto si esaurisce naturalmente all’interno dello stesso dominio di calcolo), e di valore compreso fra i 10 e 30 cm, senza conseguenza sugli insediamenti e senza ampliamento della fascia B di esondazione di PAI.

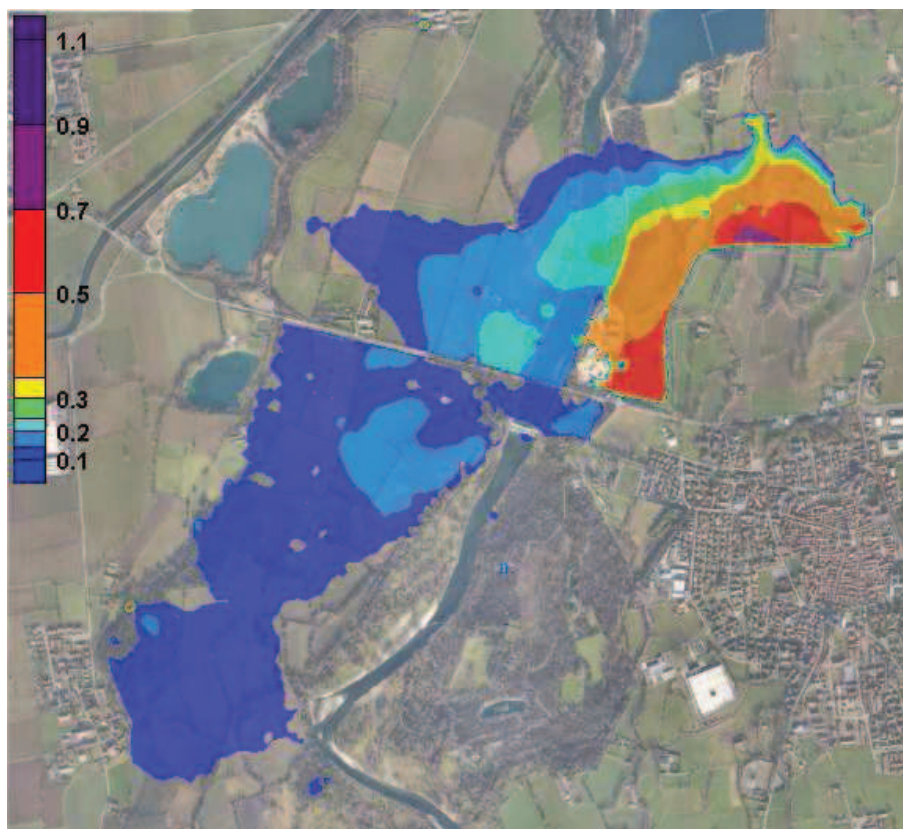


Figura 6 – Zone di incremento dei tiranti fra stato attuale e soluzione di progetto definitivo (“3”)

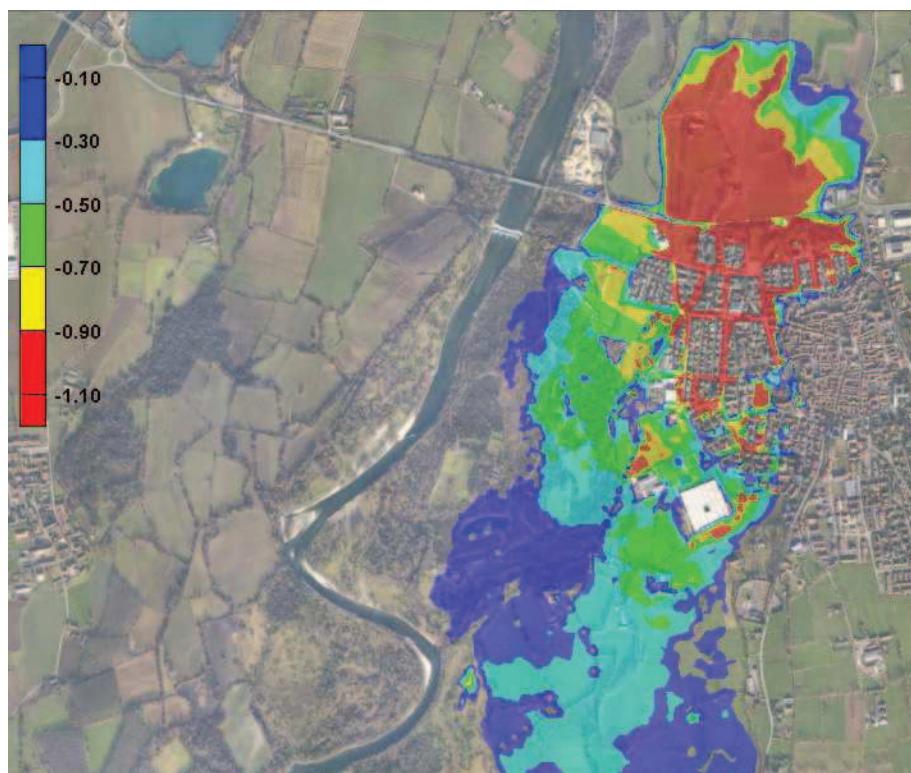


Figura 7 – Zone di decremento dei tiranti fra stato attuale e soluzione di progetto definitivo (“3”)

Come detto in precedenza, la realizzazione della protezione dell'abitato di Rivolta d'Adda, con qualunque delle configurazioni arginali esaminate, comporta il lieve incremento della portata che transita al di sotto del ponte della S.P. 4 – da 1613 a 1736 m³/sec – e conseguenziale aumento delle velocità e dei tiranti in detta sezione.

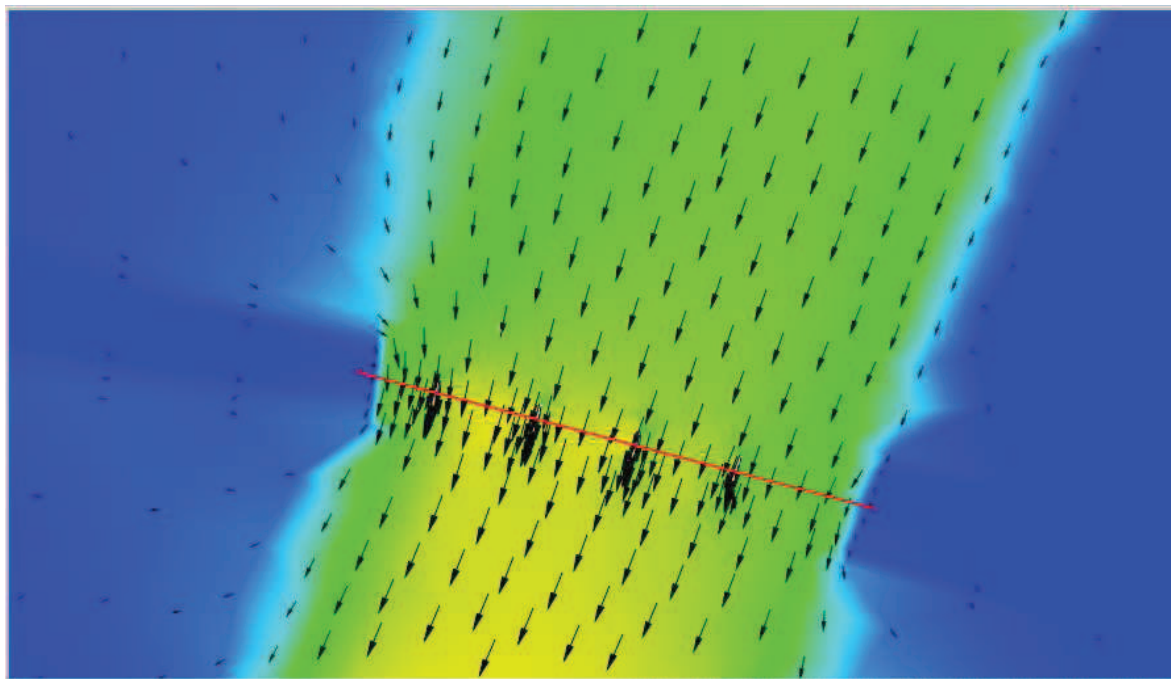
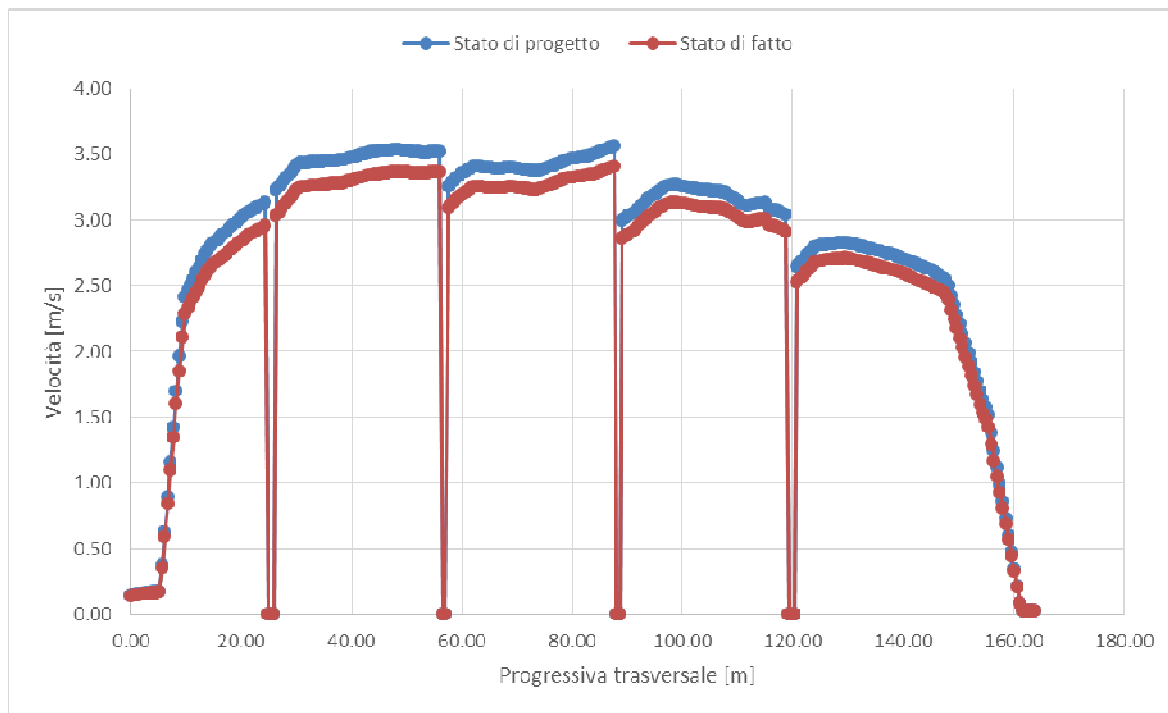


Figura 8 – Variazioni delle velocità al di sotto del ponte fra stato attuale e progetto definitivo ("3")

La variazione delle velocità nella sezione, fra stato attuale (con esondazione di Rivolta) e stato di progetto definitivo (configurazione 3), è mostrata in figura 8. Le differenze sono poco significative e variano nel campo 0-0,19 m/sec.

La velocità massima all'interno della sezione passa da 3,41 a 3,56 m/sec e si verifica nell'intorno della pila 4.

Anche i tiranti idrici variano in maniera assai modesta, subendo un incremento assoluto di 0,15 m; conseguentemente la massima altezze di lama d'acqua sul fondo allo stato attuale in corrispondenza della pila 3 varia da 4,62 a 4,77 m.

L'effetto di questa modesta variazione produce conseguenze di analoga grandezza sia sui diametri delle particelle plausibili di trasporto, che sulle dimensioni delle buche di scalzamento transitorio rapido, come si mostra in dettaglio nel seguito.

Per il calcolo della pezzatura del materiale che può essere preso in carico dalla corrente si è fatto uso delle formule relative al moto incipiente di una particella di diametro d assegnato, sulla delle base formulazioni teorico-sperimentali di *Shields*, derivanti dall'imposizione dell'equilibrio fra le forze di trascinamento e quelle resistenti.

Una particella sul fondo è sottoposta all'azione della forza peso, a quella dell'attrito e a quelle della portanza e della resistenza idrodinamiche.

Dall'imposizione della condizione di equilibrio discende che esiste una relazione fra un parametro θ , detto parametro di mobilità di *Shields*, ed un parametro adimensionale, detto numero di *Reynolds* del grano:

$$Re^* = \frac{u^* d}{\nu},$$

dove ν è la viscosità cinematica dell'acqua (pari a $1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$, alla temperatura di 10°C).

Tale relazione può essere espressa come segue:

$$\theta = \frac{u^{*2}}{gd\Delta} = f(Re^*);$$

posto τ_0 lo sforzo tangenziale al fondo, che vale γRi , il parametro θ dipende:

- dalla velocità di attrito, pari a:

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}};$$

- dal diametro della particella d ;
- dal peso del materiale immerso, che vale:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}.$$

La funzione f è stata determinata sperimentalmente da *Shields*, ed è riportata nel diagramma di figura seguente, nel quale il campo di valori al di sotto della curva rappresenta la condizione di stabilità.

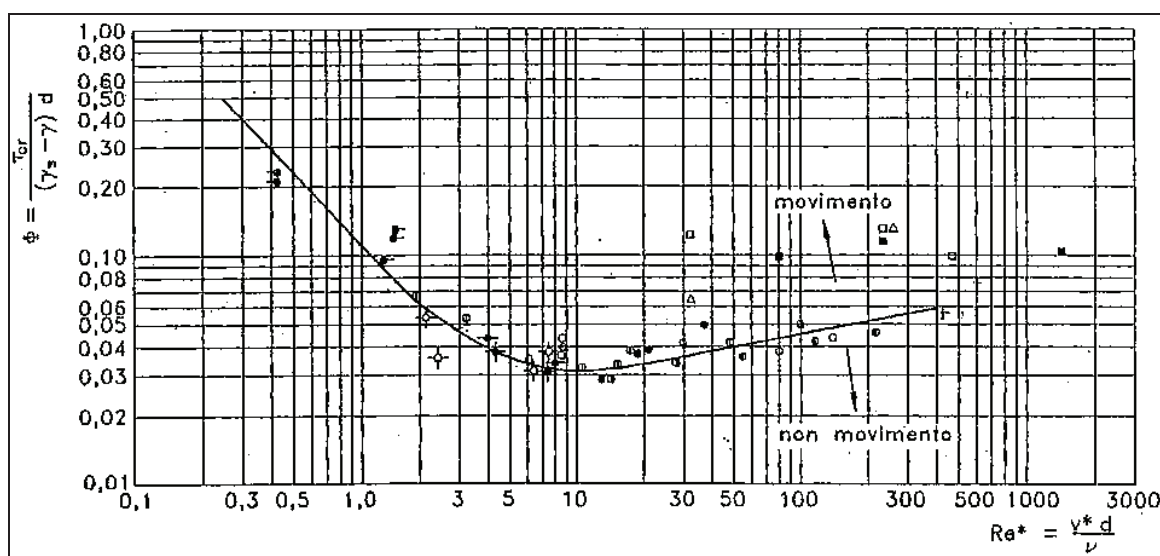


Figura 9 – abaco sperimentale di Shields

Si osserva, con riferimento al detto campo di stabilità, che il diagramma può essere diviso in tre parti:

- la prima, per $Re^* < 2$, valida per condizioni di moto viscoso;
- la seconda, per $2 < Re^* < 200$, in cui la mobilità dipende sia dalla dimensione del grano che dalla viscosità del fluido, valida per un regime di moto intermedio;
- la terza, per $Re^* > 200$, valida per condizioni di moto turbolento.

In questo ultimo caso il parametro θ è pressoché costante e vale circa 0,057.

Introducendo dei fattori correttivi al parametro θ si possono considerare vari effetti di tipo fisico che comportano delle variazioni di schematizzazione del fenomeno:

- l'effetto della pendenza del fondo;
- l'effetto dell'inclinazione delle sponde;
- l'effetto della bassa sommergenza, che si ha quando il diametro del materiale assume dei valori confrontabili con quelli del tirante idrico;
- l'effetto della variazione di direzione dei filetti fluidi e delle circolazioni secondarie in curva

Il primo di tali effetti viene tenuto in conto moltiplicando il valore di θ per il fattore:

$$\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \phi},$$

in cui α è l'angolo formato fra il fondo e l'orizzontale, e ϕ è l'angolo di attrito interno del materiale che lo costituisce.

Per il secondo effetto, Lane (1953) ha proposto l'introduzione di un fattore correttivo, k , che vale:

$$k = \cos \beta \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\operatorname{tg}^2 \phi}},$$

in cui β rappresenta l'angolo di inclinazione delle sponde.

Anche l'effetto della bassa sommergenza, che si ha quando il diametro del materiale assume dei valori confrontabili con quelli del tirante idrico, viene tenuto in conto attraverso l'uso di un coefficiente correttivo, esprimibile attraverso la relazione (Armanini, 1990):

$$1 + 0,67 \sqrt{\frac{d}{h}}.$$

Come è facilmente verificabile, il primo fattore correttivo risulta essere molto prossimo all'unità per valori trascurabili della pendenza del fondo, mentre l'impiego del secondo fattore va sempre in favore di sicurezza.

Nel caso presente, in cui ci interessa principalmente l'erosione al fondo, i fattori correttivi possono essere tutti assunti pari all'unità.

Considerato poi che la pendenza media i del fondo vale circa il 2‰, posto R circa pari ad h , si ottiene che il diametro minimo stabile passa da 0,0982 m a 0,1014 m, ben al di sotto della pezzatura del pietrame attualmente presente all'intorno delle fondazioni delle pile, anche se non ordinatamente disposto.

Per quanto riguarda la profondità della buca di erosione transitoria in corrispondenza delle pile, la stima è stata effettuata con le principali formule di letteratura: Breusers aggiornata da Eliot e Baker, CSU, Coleman, Hancu I e II, Jain-Fisher (allegato 1)

I valori maggiori si verificano con la CSU, e sono pari a 5,69 m e 5,86 m (differenza del 3%), rispettivamente per la situazione di stato attuale con esondazione a Rivolta e stato di progetto. Tali valori sono inferiori a quelli assunti per le verifiche statiche condotte dal Prof. Malerba nella Relazione Tecnica Strutturale eseguita a corredo delle opere (CR-E-251), nella quale sono stati assunti valori variabili da 6,20 m a 6,56 m.

Nei riguardi di tale studio bisogna infatti ricordare che le sollecitazioni idrauliche applicate al ponte per le verifiche strutturali sono state quelle ricavate per piena duecentennale stimata in 2000 m³/sec e che lo studio idraulico monodimensionale condotto in tal caso costringeva l'intera portata a transitare nella sezione del ponte. In definitiva, può senz'altro affermarsi che le variazioni imposte dalla realizzazione dell'argine a protezione di Rivolta non comportano sostanziali differenze rispetto allo stato attuale e rientrano ampiamente nelle valutazioni statiche già eseguite dal Prof. Malerba.

3.2. Geologia e Strutture

Per il corretto dimensionamento delle opere, sia dal punto di vista geotecnico che strutturale, è stata condotta un'opportuna campagna geologica, di cui si rendiconta dettagliatamente nell'apposita Relazione Specialistica.

L'analisi geologica è stata svolta nei primi mesi dell'anno, ed ha compreso carotaggi fino a -30 m dal p.c., con l'esecuzione di SPT in foro; 2 acquisizioni sismiche per la caratterizzazione del sottosuolo; analisi di laboratorio sui campioni prelevati e prove di

permeabilità di tipo Lefranc. Ad essa sono state affiancate tutte le altre conoscenze geologiche in possesso dell'Ufficio e derivate dalla progettazione/esecuzione di altre opere in zone limitrofe.

Inoltre, nel mese di settembre, sono state condotte delle indagini aggiuntive, che hanno compreso l'esecuzione di 15 pozzetti esplorativi, eseguiti per mezzo di un escavatore meccanico, lungo il tracciato arginale di progetto. Quest'analisi ha portato alla luce 4 differenti condizioni dei suoli fondali, dipendentemente dalla loro granulometria e tessitura, come mostrato in figura 10.

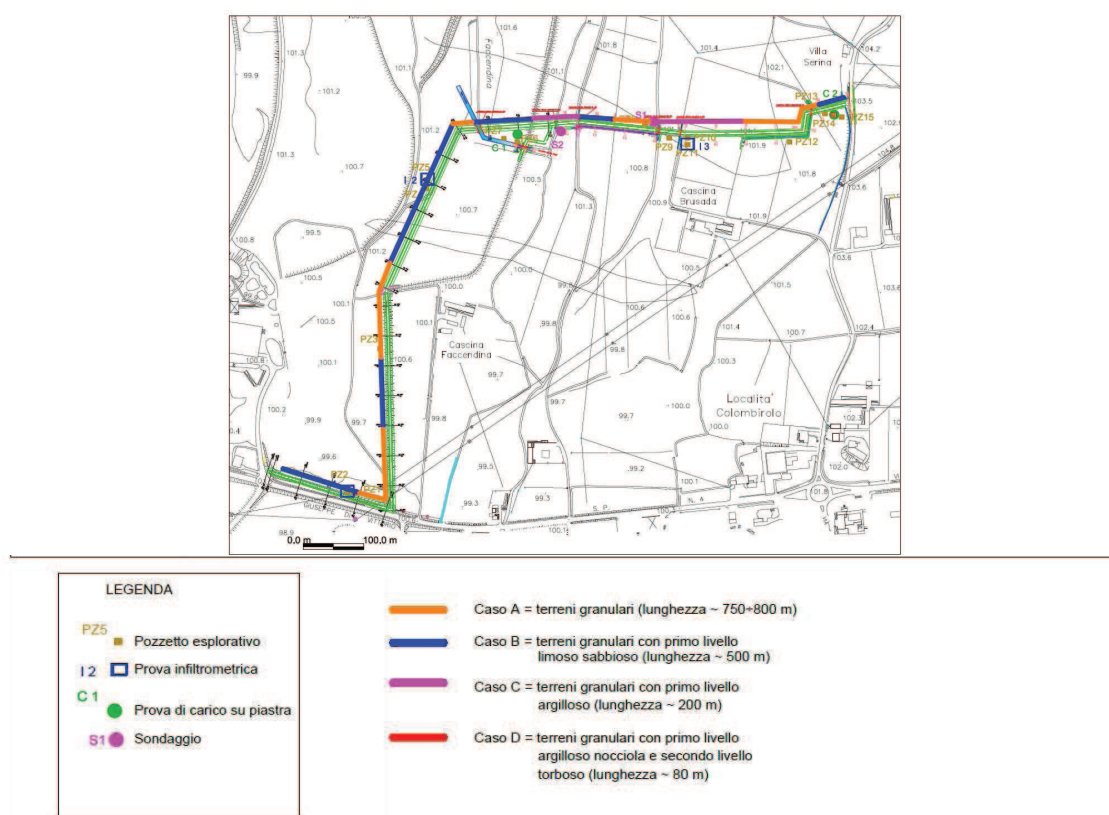


Figura 10 – differenti condizioni dei suoli di fondazione: gruppi A, B C e D (da sinistra a destra)

La presenza di formazioni a diverso tipo di compressibilità determinerà la necessità di seguire gli assestamenti naturali del rilevato costruito per compensare eventuali cedimenti differenziali. In particolare, nella zona di innesto con la "Cassanese", verificata la presenza di uno strato profondo e discretamente potente (da circa -1,60 m dal p.c., potenza 0,80 m – gruppo D) di argilla torbosa, consiglia di prevedere un addolcimento della rampa di collegamento al rilevato stradale, in pratica prevedendo già un tratto arginale leggermente rialzato rispetto alle quote di progetto, allo scopo di contenere l'eventuale calo naturale per compressione delle torbe.

L'intervento ricade in Zona 3 della classificazione sismica del territorio nazionale (DGR X/2129 del 16/7/2014) e presenta opere in calcestruzzo armato effettivamente molto modeste; i dimensionamenti statici verranno eseguiti sulla base dei parametri sismici ricavati dalle apposite analisi. Nel nostro caso, si sono delineati due scenari di pericolosità sismica, suoli di classe B e C, con possibili effetti di sito trascurabili data la natura lineare del manufatto in progetto e la modestia delle opere in c.a.; in ogni caso il calcolatore statico dovrà prevedere eventuali accorgimenti tecnici per le evidenziate differenze dei suoli fondali nel sito di intervento.

3.3. Espropri ed Interferenze

Il Progetto Definitivo è corredato di tutti gli elaborati che individuano le proprietà private interessate dalla realizzazione dell'opera, quali il Piano Particellare d'esproprio l'Elenco delle Ditte.

Preliminarmente all'invio degli avvisi ufficiali di avvio del procedimento ai sensi della normativa di settore, trasmessi alle ditte interessate in questi giorni, è stata tenuta una riunione propedeutica presso il Comune di Rivolta d'Adda, che ha preso parte attiva in questa delicata questione.

I proprietari invitati hanno tutti presenziato, ricevendo non solo le indicazioni generali procedurali e tecniche sull'opera e sul procedimento amministrativo, ma anche tutti i chiarimenti ai dubbi e alle perplessità che sono venuti alla luce nel corso dell'incontro. Questa procedura informale ha consentito non solo la maggiore informazione degli

espropriandi sul successivo sviluppo dell'iter amministrativo, ma anche un costruttivo confronto preliminare dal quale sono scaturite delle buone indicazioni per la costruzione dell'opera nel rispetto di quelle esigenze facilmente soddisfacibili senza alterare in alcun modo valenza e finalità del progetto, e che possono condurre ad una fase di esecuzione dei lavori scevra di resistenze ideologiche magari determinatesi da presupposti atteggiamenti di arroganza da parte della P.A. procedente.

La trasparenza dell'Amministrazione Pubblica – nel delicato ambito dell'acquisizione forzata della proprietà – è sempre da perseguire per il raggiungimento della efficacia realizzativa dell'intervento, ed il prezzo che può pagarsi in termini temporali nelle fasi iniziali è senz'altro scontato da una certa speditezza della costruzione vera e propria, momento in cui la presenza del terzo esecutore – l'Impresa affidataria dei lavori – può appesantire di molto, sia economicamente che giudizialmente, qualsiasi tipo di intoppo verificabile. In tale ottica, anche l'analisi delle interferenze, di cui si rendiconta in apposito allegato al Progetto Definitivo, è stata condotta sia sulle infrastrutture ed opere già esistenti, che su quelle in stretto procinto di realizzazione, raggiungendo un coordinamento che contiene in sé anche la futura compatibilità con l'arginatura qui in progetto.

3.4. Territorio, Paesaggio ed Ambiente, Archeologia

La compatibilità territoriale dell'intervento è stata verificata sin dal Progetto Preliminare; gli inserimenti nelle Pianificazioni Territoriali/Urbanistiche sono state ribadite negli elaborati dedicati all'analisi del contesto paesaggistico ed ambientale allegati alle apposite relazioni redatte per l'ottenimento dei pareri di esclusione dalla V.I.A. e paesaggistico e facenti parte del presente Progetto Definitivo. Dal punto di vista paesaggistico, l'intervento si sostanzia nella realizzazione di uno dei tanti rilevati in terra largamente presenti nell'alta Pianura Padana.

Di modeste dimensioni fuori terra (l'altezza massima dell'argine di 3,50 m circa si ha solo nella sua parte terminale, a contatto col rilevato della S.P. 4), l'unica differenza con le altre analoghe strutture presenti nelle immediate vicinanze consiste nella necessità, a scopo di garanzia della sua efficienza idraulica, del mantenimento della copertura

vegetale dei suoi paramenti a prato stabile, non essendo consentibile lo sviluppo arboreo-arbustivo su di essi per le evidenti conseguenze negative riconducibili alla creazione di vie di infiltrazione preferenziale lungo gli apparati radicali.

Per questo motivo, la riqualificazione funzionale a scopi di tutela idraulica della parte di arginatura costituita dai rilevati storici esistenti dovrà avvenire con rimozione della vegetazione attualmente su di essa allignante. Il conseguente impoverimento paesaggistico così determinatosi verrà controbilanciato dalla proposta compensazione ambientale, che consiste nella dislocazione della fascia vegetata ad una consona distanza dal piede dell'argine da condursi attraverso la ripiantumazione di una fascia arborea a sviluppo prevalentemente lineare, in accordo con le attuali caratteristiche paesaggistiche dell'ambito di intervento, nel quale i filari rappresentano il tipico elemento di suddivisione delle proprietà fondiarie.

Per ogni ulteriore precisazione a riguardo, si rimanda al dettaglio riportato nell'allegato progetto di compensazione ambientale, peraltro redatto con la preliminare consultazione dei tecnici del Parco dell'Adda Sud. Operando, infatti, in stretta sinergia con il Parco si sono definite sia la strategia di impianto delle compensazioni che quella di manutenzione periodica degli esemplari messi a dimora, almeno per i primi tre anni dalla fine lavori.

Gli impatti generati dallo sviluppo delle lavorazioni di cantiere, oltre a quanto appena detto, sono diffusamente trattati nella apposita relazione specialistica, da cui, per comodità, si è estratta la matrice riassuntiva che si riporta nel seguito.

Si precisa che si tratta della matrice riferibile alle fasi di cantiere, ovvero alla situazione peggiore dal punto di vista dell'impatto dell'intervento sulle componenti ambientali. Rimandando per ogni ulteriore notizia alla relazione specialistica, si precisa che, una volta ultimati i lavori, gli impatti dell'opera saranno media entità solo per quanto concerne la modifica morfologica del territorio, mentre di bassa per la modifica degli scambi idrici dell'idrografia superficiale (le chiaviche) e dell'ostruzione e dell'intrusione visuale, peraltro limitata alle sole cascate difese.

In definitiva, le opere genereranno i soli inevitabili impatti realizzativi che, in un breve lasso di tempo dall'ultimazione, verranno riassorbiti paesaggisticamente, funzionalmente,

e fruitivamente nel contesto territoriale.

COMPONENTE AMBIENTALE	IMPATTO	GIUDIZIO DI IMPATTO	GIUDIZIO DI IMPATTO SINTETICO PER COMPONENTE
CLIMA	NON SONO PREVISTI IMPATTI SIGNIFICATIVI		impatto nullo o negativo trascurabile
ATMOSFERA	PRODUZIONE DI POLVERI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
	EMISSIONE DI GAS INQUINANTI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	
ACQUE SUPERFICIALI	SVERSAMENTI ACCIDENTALI/SCARICHI IDRICI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
ACQUE SOTTERRANEE	SVERSAMENTI ACCIDENTALI/SCARICHI IDRICI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
SUOLO	SOTTRAZIONE DI SUOLO AGRARIO	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
SOTTOSUOLO	SOTTRAZIONE DI MATERIALE LITOIDE	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
VEGETAZIONE, FLORA	SOTTRAZIONE DIRETTA DI SUPERFICIE VEGETATA	<i>impatto negativo di media entità</i>	impatto negativo di media entità
	DANNI DIRETTI E INDIRETTI ALLA VEGETAZIONE	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	
FAUNA	SOTTRAZIONE DIRETTA DI HABITAT FAUNISTICI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di media entità
	DANNI DIRETTI E INDIRETTI ALLA FAUNA	<i>impatto negativo di media entità</i>	
ECOSISTEMI	ALTERAZIONE DELLA STRUTTURA SPAZIALE DEGLI ECOSISTEMI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
RUMORE	PRODUZIONE DI EMISSIONI ACUSTICHE	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
VIBRAZIONI	PRODUZIONE DI VIBRAZIONI	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità
PAESAGGIO E PATRIMONIO STORICO CULTURALE	ALTERAZIONE DEL CONTESTO PAESAGGISTICO LOCALE	<i>impatto negativo di bassa entità</i>	impatto negativo di bassa entità

Tabella I – Matrice degli impatti in fase di cantiere

L'analisi dell'ambito in cui si dovranno eseguire le opere ha compreso anche la valutazione preliminare dell'interesse storico-archeologico delle aree di intervento, reperibile in dettaglio nella relazione specialistica allegata al presente progetto.

La seguente figura 10, che ne offre estrema sintesi, è la rappresentazione della Carta del rischio archeologico relativo, da cui si desume agevolmente che la localizzazione dell'opera ricade in una zona a basso rischio di rinvenimenti di una certa rilevanza.

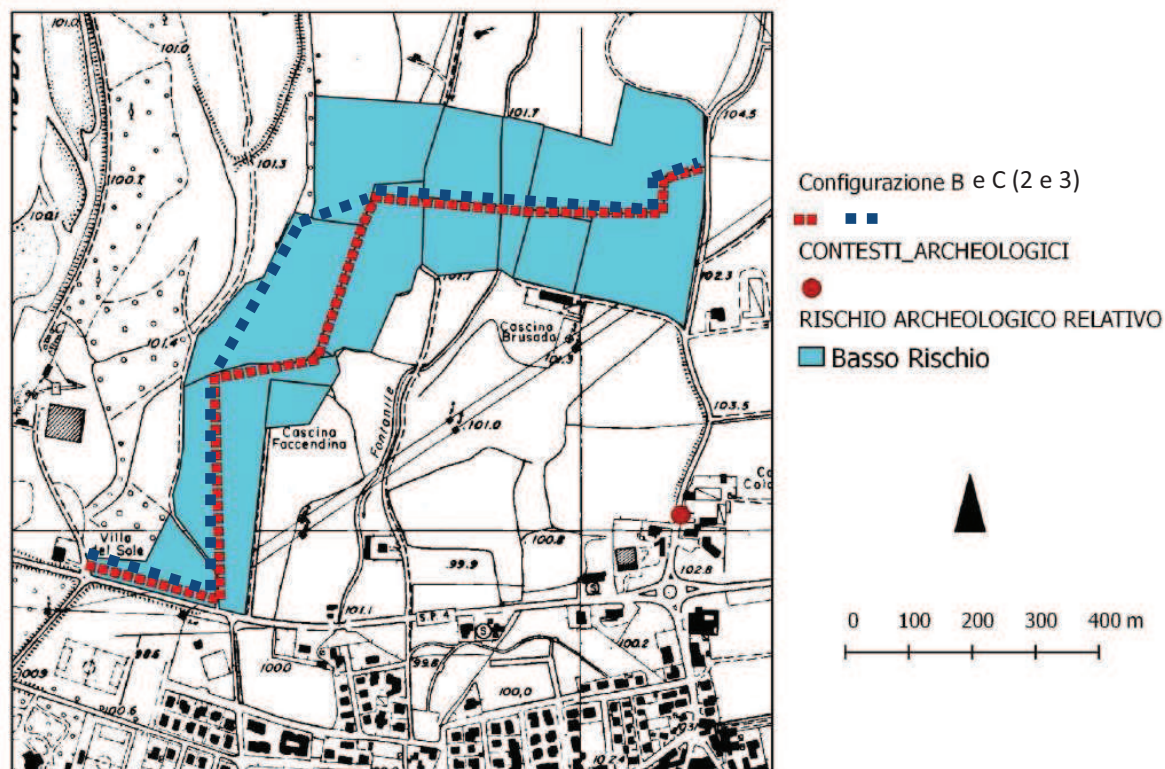


Figura 11 – Carta del rischio archeologico relativo modificata con l'indicazione del tracciato di PD

3.5. Strutture

Le strutture in cemento armato sono state dimensionate ai sensi del D.M. 14/6/2008, e sottoposte a verifica sismica per quanto dovuto alla riclassificazione del territorio comunale avvenuto con la DGR X/2129 del 16/7/2014, entrata in vigore il 16 ottobre scorso.

Verranno usati, per la costruzione dei manufatti, del calcestruzzo classe di esposizione XC2, rapporto A/C < 0,55, e classe di resistenza 28/35, adottando un copriferro minimo di 4 cm; le barre saranno in acciaio del tipo B450C.

Per il terreno di fondazione si è adottato il seguente profilo geotecnico di progetto, ricavato dalla relazione geologica allegata, per il terreno di posa del manufatto (ghiaia sabbiosa):

UNITA'	PROFONDITA' da p.c. (m)	P. SP. t/mc	P. IM. t/mc	φ gradi
1	1 ÷ 10-25	1.900	0.900	39.0

Oltre alle verifiche nelle sezioni maggiormente sollecitate dalle azioni di sforzo normale, Taglio e Momento flettente, si è eseguita la verifica globale del manufatto allo scorrimento e al ribaltamento, ottenendo i risultati di garanzia illustrati nell'apposita Relazione di Calcolo Statico. Rispetto alle previsioni di stima del Progetto definitivo, non vi sono state variazioni economiche di rilievo.

3.6. Piano di Sicurezza e Coordinamento

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento è stato redatto ai sensi del D.lgs. 81/08, ed ha riguardato l'analisi delle lavorazioni dal punto di vista del loro svolgimento in rispetto della sicurezza dei lavoratori che opereranno nel cantiere.



Figura 12 – Individuazione dell'area di cantiere all'interno del sistema viabilistico principale

Pur trattandosi di lavorazioni standardizzate e, tutto sommato, abbastanza semplici, i rischi di incidente dovuti alla movimentazione dei mezzi nel cantiere, ad errate manovre,

a sprofondamenti e a seppellimenti sono pur sempre esistenti, in cantieri a preponderante movimento terra.

In particolare, poi, il PSC ha analizzato la componente viabilistica, soprattutto in riferimento alle interazioni del cantiere con l'ambito esterno ad esso, laddove la presenza di arterie importanti e trafficate del tipo la SP n. 4 "Rivoltana" costituiscono elemento di cui correttamente tener conto.

Nella apposita tavola del Layout di cantiere viene appunto schematizzata l'idea di sviluppo del cantiere allo scopo di far avvenire tutti i transiti e le interferenze viabilistiche in maniera ordinata e – in definitiva – più sicura.

Cremona,

IL CAPO PROGETTO
(Ing. Marco La Veglia)

BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI

- [1] Autorità di bacino del fiume Po: *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po*– (2003);
- [2] Autorità di bacino del fiume Po: *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica* – Allegato al P.A.I. – (2001);
- [3] Regione Emilia-Romagna e Regione del Veneto: *Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica* – (1993);
- [4] Ferro V., Pagliara S.: *Contributo al dimensionamento idraulico delle rampe in pietrame* – Rivista di Ingegneria Agraria – (2003)
- [5] Ferro V., Dalla Fontana G., Pagliara S., Puglisi S., Scotton P.: *Opere di sistemazione idraulico-forestale a basso impatto ambientale* – Mc Graw-Hill – (aprile 2004);
- [6] Ferro V.: *La sistemazione dei bacini idrografici* – seconda edizione – Mc Graw-Hill – (marzo 2006);
- [7] Da Deppo, Datei, Salandin: *Sistemazione dei corsi d'acqua* – Libreria Cortina, Padova (1997);
- [8] International Centre for Mechanical Sciences – Monografie CISM: *Rischio idraulico: interventi per la protezione del territorio le casse d'espansione a cura di Paris E., Università di Firenze* – CISM – Udine (2004);
- [9] Settin T., Gasparetto D., Mazzarini M., Marani M., Rinaldo A.: *Studio di fattibilità di casse d'espansione disposte lungo il corso del fiume Tanaro* – Agenzia Interregionale per il fiume Po (2006);
- [10] Armanini, Scotton: *Criteri di dimensionamento e di verifica delle stabilizzazioni di alveo e di sponda con massi sciolti e massi legati*;
- [11] D. Citrini, G. Nosedà – *Idraulica* – Casa Editrice Ambrosiana, Milano (1992)
- [12] Innocenti I., Manfredi M., Paoletti A., Passoni C., Peduzzi G.B., Sanfilippo U.: *Criteri progettuali per interventi di protezione idraulica lungo il torrente Lura con creazione di idropaesaggi* – Acqua e Città '09 – 3° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana –

Milano 6-9 ottobre 2009;

- [13] Maione U.: Le piene fluviali – seconda edizione – La Goliardica Pavese – Milano (1995);
- [14] Atti del corso di aggiornamento: Sistemazione dei corsi d'acqua – Metodi avanzati nella progettazione di interventi di ingegneria naturalistica, a cura di Maione U., Brath A., Mignosa P. – Editoriale Bios – Cosenza (2000);
- [15] Atti del corso di aggiornamento: La progettazione della difesa idraulica – Interventi di laminazione controllata delle piene fluviali, a cura di Maione U., Brath A., Mignosa P. – Editoriale Bios – Cosenza (2001);
- [16] Regione Lombardia: Piano Territoriale Regionale pubblicazione sul BURL so n. 48 del 1 dicembre 2011;
- [17] Provincia di Cremona: Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale Variante ai sensi della L.R.12/2005 approvata con CDP n. 66 dell'8/4/2009 e pubblicata sul BURL n. 20 del 20/5/2009;
- [18] Comune di Rivolta d'Adda: Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) approvato con Delibera di Consiglio Comunale n° 9 del 21/02/2011 pubblicata sul B.U.R.L. della Regione Lombardia in data 25/05/2011 al n° 2;
- [19] Parco regionale dell'Adda sud: Variante generale del Piano Territoriale di coordinamento del Parco Adda deliberazione n. 3 del 28.02.2011.