

**CONSORZIO DI BONIFICA DI SECONDO GRADO
PER IL CANALE EMILIANO ROMAGNOLO**

Via Ernesto Masi, 8 - 40137 Bologna

**OPERE DI STABILIZZAZIONE
E DI RIPRISTINO DELL'EFFICIENZA
DEL PRIMO TRONCO DELL'ADDUTTORE
PRINCIPALE**

Tratto Reno (pr. 3,310 km) - Crevenzosa (pr. 6,050 km)

PROGETTO ESECUTIVO

IL PRESIDENTE (dott. Massimiliano Pederzoli)

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO (dott. ing. Marco Menetti)

**STRALCIO
RELAZIONE GENERALE**

IL PROGETTISTA
(dott. ing. Michele Marini)

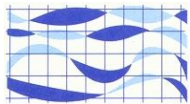
IL CO - PROGETTISTA
(dott. ing. Veronica Toschi)

data: 19 novembre 2019



INDICE

1. PREMESSA	1
1.1. Il sistema del Canale Emiliano Romagnolo	1
1.2. Lo stato delle opere	8
2. IL TRATTO DI CANALE OGGETTO DELL'INTERVENTO	9
2.1. L'attuale stato di conservazione	9
2.1.1. Le frane	9
2.1.2. Il degrado dei rivestimenti	10
2.1.3. I ponti	10
2.2. Effetti negativi della situazione sulla gestione del sistema idrico	10
2.2.1. Instabilità delle sponde	10
2.2.2. Diminuzione del rendimento idraulico del canale	10
2.2.3. Perdita energetica e stress dei macchinari	11
2.2.4. Difficoltà di manutenzione	11
3. IL PROGETTO DI STABILIZZAZIONE E DI RIPRISTINO DELL'EFFICIENZA DEL PRIMO TRONCO DELL'ADDUTTORE PRINCIPALE: TRATTO RENO - CREVENZOSA	12
3.1. Descrizione sintetica delle opere	12
3.2. Gli aspetti idraulici	13
3.3. Gli aspetti tecnologici	14
3.4. I parametri geologici-geotecnici	16
3.5. I movimenti di terra	17
4. I TEMPI DI ESECUZIONE	19
5. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE E TERRITORIALE DELL'INTERVENTO	21
5.1. Aspetti ambientali	21
5.2. Aspetti archeologici	22



1. PREMESSA

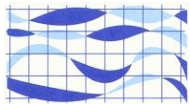
1.1. Il sistema del Canale Emiliano Romagnolo

Il Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo è nato nel 1939 come ente istituzionalmente preposto allo studio, alla realizzazione e all'esercizio delle opere irrigue di interesse comune dei consorzi di bonifica emiliano-romagnoli operanti nella pianura sud-orientale della regione, ad est del Panaro e a sud del Reno, sino al mare Adriatico. Il territorio interessato dal sistema CER ha una superficie di circa 336.000 ettari ricompresi nelle province di Ferrara, Bologna, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini.

Le dotazioni idriche di cui il Consorzio dispone trovano il loro supporto nelle concessioni di derivazione:

- dal fiume Po, di una portata di 68 m³/s nel periodo 16 maggio - 15 settembre e di 25 m³/s nel restante periodo (assentita con decreto interministeriale lavori pubblici - finanze 26 luglio 1967);
- dal fiume Reno, a monte dello sbarramento mobile realizzato dal Consorzio in località Volta Scirocco di Mandriole, nei pressi di S. Alberto (Ravenna), di 1,5 m³/s nel periodo aprile-settembre, per l'irrigazione dei territori del comprensorio posti in destra del fiume e di più bassa giacitura (0,5 m³/s) e per l'alimentazione dei complessi industriali del ravennate (1,0 m³/s); nel periodo ottobre-marzo, di 2 m³/s, per l'alimentazione dei complessi industriali del ravennate (assentita con decreto interministeriale lavori pubblici - finanze 17 aprile 1975 e variata successivamente con determinazione della Regione Emilia Romagna n. 5056 in data 1 aprile 2016).

La configurazione progettuale del sistema del Canale Emiliano Romagnolo trova il suo fondamento nel "Progetto di massima per l'irrigazione della bassa pianura emiliano romagnola a sud di Reno da Panaro a mare, utilizzando il Cavo napoleonico sistemato ad attenuatore delle piene del Reno" (Giandotti II), redatto nel settembre 1947, successivamente integrato e ampliato in data 18 dicembre 1952, infine ripreso ed aggiornato nel progetto generale datato 1° agosto 1964. Quest'ultimo, approvato dal Consiglio Superiore dell'agricoltura con voto n. 329 del 27 febbraio 1969 e dal Consiglio Superiore dei lavori pubblici con voto n. 784 del 25 luglio 1969, ha avuto la definitiva sanzione dal Ministero dell'agricoltura e delle foreste con decreto n. 738 del 23 aprile 1971.



Le caratteristiche generali del sistema, così come delineate dal progetto di massima 1947-52 e successivamente aggiornate con l'elaborato del 1964, vengono di seguito descritte con riferimento alla corografia 1:200.000 allegata al progetto e allo schema del profilo longitudinale riportato alla pagina seguente.

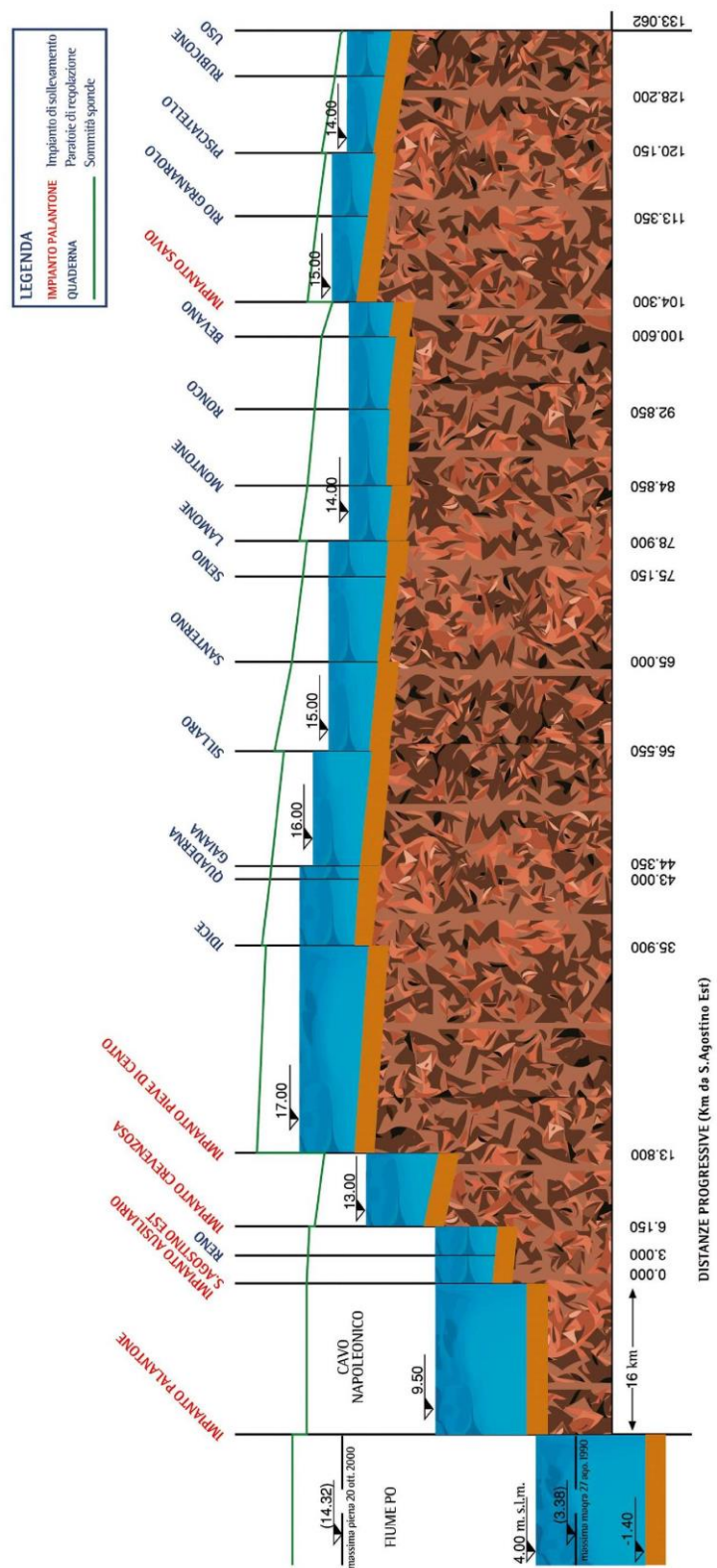
Come si evince dal profilo longitudinale, il Canale Emiliano Romagnolo può essere considerato, a tutti gli effetti, come un fiume in salita. In effetti il Po, da cui il CER si alimenta, presenta – accanto al decisivo pregio della disponibilità perenne della risorsa¹ – il non lieve difetto di trovarsi nel compluvio, ossia nel punto più basso, della pianura: in estate, il livello idrometrico medio alla sezione di derivazione è nell'intorno dei 4 metri sul livello del mare. Per arrivare in Romagna, l'acqua deve salire di quota in ragione di 13÷14 metri.

La derivazione dal Po avviene sulla sponda destra, in località Salvatonica di Bondeno (Ferrara), in prossimità dell'opera di scarico nel fiume dell'Attenuatore delle piene del Reno, opera di competenza regionale realizzata negli anni 1951-73 sul tracciato del Cavo Napoleonico (progetto concepito all'inizio del XIX secolo con l'ambizioso intendimento di ristabilire organicamente la confluenza del Reno nel Po). L'Attenuatore è preposto alla duplice funzione di scolmatore di piena del Reno (in direzione sud-nord) e di primo vettore del sistema del Canale Emiliano Romagnolo (in direzione nord-sud), grazie all'andamento orizzontale mantenuto dal fondo nel tratto di circa 16 chilometri compreso tra il Po e l'abitato di Sant'Agostino (Ferrara), nei pressi del quale partono i due adduttori del sistema CER.

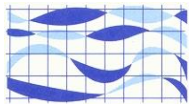
L'immissione nell'Attenuatore delle acque derivate dal Po avviene mediante l'impianto di sollevamento del Palantone, progettato per la portata massima assentita di 68 m³/s, ed attualmente dotato di una portata installata pari a circa 50 m³/s. Le acque derivate dal Po defluiscono verso sud lungo l'Attenuatore a quota 9,50 m s.l.m. A Sant'Agostino, sulla sponda occidentale dell'Attenuatore, un impianto di sollevamento alimenta, con una portata di 7 m³/s, il canale a servizio dei comprensori dei Consorzi associati (Consorzio di bonifica della Pianura di Ferrara e Consorzio della bonifica Burana). Tale adduttore, della lunghezza di 16,5 km, attraversa dapprima l'alta pianura ferrarese; successivamente nelle vicinanze di Cento, un secondo impianto solleva la residua portata di 4,5 m³/s destinata ai territori bolognesi posti in sinistra del Reno.



Profilo longitudinale del Canale Emiliano Romagnolo



¹ 210 m³/s l'eccezionale portata minima registrata alla sezione di presa del sistema CER il 21 luglio 2006, corrispondente all'evento più sfavorevole degli ultimi cinquanta anni.



Sempre a Sant'Agostino ha inizio il canale principale (CER), preposto – con uno sviluppo complessivo attuale di 135 km, dal Cavo Napoleonico al fiume Uso – all'approvvigionamento idrico dei territori ubicati in destra del fiume Reno. Il canale si stacca dalla sponda orientale dell'Attenuatore con un'opera di derivazione a gravità dimensionata per una portata iniziale di 60 m³/s.

Dopo avere sottopassato il Reno, il canale prosegue con andamento nord-sud sino in prossimità dell'abitato di Galliera (Bologna) ove, a mezzo dell'impianto di partizione e sollevamento della Crevenzosa, la portata viene suddivisa in due frazioni. L'una, sino ad un massimo di 13 m³/s, defluisce per i canali Riolo e della Botte del Consorzio della Bonifica Renana e si immette nel Reno, in località Bastia, attraverso la chiavica Beccara Nuova; la restante (47 m³/s), prosegue il suo corso lungo il Canale Emiliano Romagnolo.

Le fluenze immesse nei canali Riolo e della Botte e, successivamente, in Reno servono, con attingimenti dai medesimi canali e dal fiume, i terreni a giacitura più bassa dei Consorzi della Bonifica Renana e della Romagna Occidentale. La derivazione dal Reno è resa possibile da uno sbarramento mobile, da tempo costruito sul fiume a Volta Scirocco di Mandriole, nei pressi di Sant'Alberto (Ravenna), a una distanza di circa 5 km dalla foce, che consente di trattenere e derivare per gravità le acque addotte e le fluenze naturali, di evitare le risalite saline e, quindi, di effettuare i prelievi in condizioni idonee. Immediatamente a monte dello sbarramento sono ubicate le opere di derivazione che alimentano gli acquedotti (urbano e industriale) di Ravenna e lo stabilimento petrolchimico RSI Ravenna Servizi Industriali.

La portata principale, pari a 47 m³/s, proseguendo il suo corso lungo il CER viene sollevata una prima volta alla quota 13,00 m s.l.m. a mezzo del già ricordato impianto della Crevenzosa e, dopo un percorso di 8 km, da un secondo impianto posto ad est di Pieve di Cento, che ne innalza ulteriormente la quota a 17,00 m s.l.m.

Dall'impianto di Pieve di Cento il canale principale si sviluppa per circa 90 km, con deflusso a gravità e con portata via via decrescente, mantenendo un andamento nord ovest - sud est parallelo alla via Emilia, sino a raggiungere il fiume Savio circa 10 km a nord di Cesena, "spendendo" (alle portate di progetto) in termini energetici appena 5 cm/km (pendenza inferiore di 20 volte a quella ordinaria dei corsi d'acqua di pianura). Sulla sponda sinistra del Savio, in località Mensa di Ravenna, un ultimo impianto provvede



al sollevamento finale, da quota 14,00 a quota 15,00 m s.l.m., della portata residua (9 m³/s) destinata al tronco terminale, che si spinge con un percorso di 29 km sino alla sponda destra del torrente Uso, soglia del territorio riminese.

La progressiva espansione dell'esercizio idrico, in termini non soltanto di volumi annui ma anche di distribuzione stagionale, ha richiesto a partire dagli anni '80 del secolo decorso (1984-92) un adeguamento del sistema in ordine all'utilizzazione invernale della risorsa. A tal fine è stato istituito in corrispondenza dell'origine del canale principale, presso la chiavica di derivazione di Sant'Agostino, un impianto di sollevamento ausiliario destinato a consentire l'alimentazione dell'adduttore anche in presenza dell'invaso ridotto (7,00 m s.l.m. in luogo dei 9,50 estivi) imposto all'Attenuatore delle piene del Reno, nel periodo che va dal 16 settembre al 15 maggio, in relazione alla sua funzione di scolmatore. Tale impianto, denominato Sant'Agostino Est, dispone di una dotazione impiantistica di 7,5 m³/s, adeguata a coprire, nel medio periodo, i fabbisogni invernali dei territori in destra del fiume Reno.

Le portate erogabili a regime dal sistema CER (caratterizzato da un andamento "a cannocchiale", con sezioni decrescenti da monte verso valle) sono le seguenti:

CER in sinistra Reno: 7 m³/s;

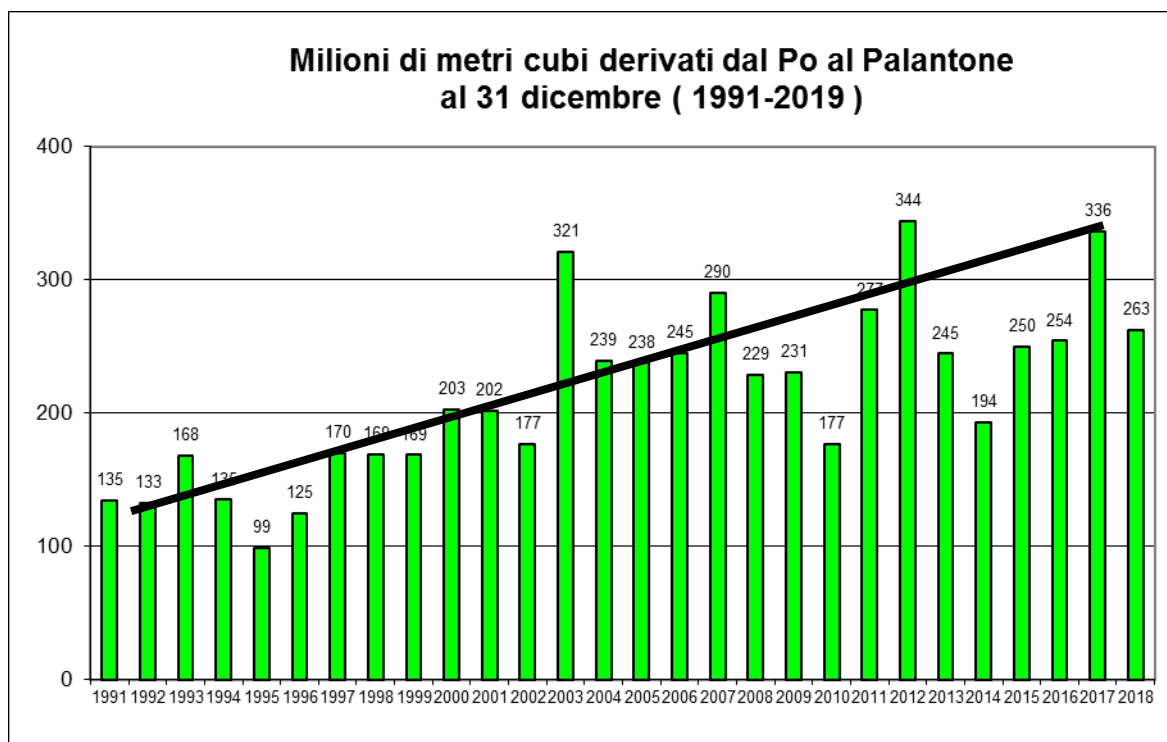
CER in destra Reno:

- invernale: 7,5 m³/s;
- estiva: 60 m³/s a Sant'Agostino di Ferrara;
 - 30 m³/s a Imola;
 - 23 m³/s a Faenza;
 - 17 m³/s a Forlì;
 - 9 m³/s a Cesena;
 - 4 m³/s a Rimini.

Da quando (1984) l'asta del CER è entrata in Romagna e l'esercizio del sistema idrico ha assunto una dimensione organica, il volume derivato annualmente dal Po è in



costante crescita, come appare dalla serie storica delle derivazioni in appresso riportata:



A partire dal 1990, l'esercizio ha raggiunto e superato stabilmente i 100 milioni di metri cubi all'anno. Consolidata dal 2000 la soglia dei 200 milioni di metri cubi, nell'anno 2012 il sistema ha derivato dal Po e distribuito nel territorio il suo massimo storico pari ad un volume di 344 milioni di metri cubi. Ma, anche indipendentemente dai volumi annui derivati, è un fatto che si assiste ad un aumento consistente delle portate transitanti e quindi, necessariamente, dei livelli piezometrici da mantenere all'interno del canale.

Occorre ricordare che il territorio romagnolo è stato interessato, specie negli ultimi anni, da una marcata riduzione delle precipitazioni atmosferiche che, sia nel 2007, sia nel 2011, ha determinato una drastica contrazione della risorsa locale di superficie, con gravi ripercussioni nel settore idropotabile, tra cui l'esaurimento autunnale dell'invaso di Ridracoli, che alimenta l'acquedotto di Romagna. In entrambe le circostanze sono stati adottati provvedimenti straordinari (dichiarazione di stato di emergenza e, rispettivamente, di stato di crisi regionale) che hanno portato, fra l'altro, all'attivazione di impianti di potabilizzazione in corrispondenza o in prossimità di intersezioni dell'acquedotto gestito da Romagna Acque Società delle Fonti con l'asta del Canale Emiliano Romagnolo:



- 2007: due potabilizzatori della capacità di 40 l/s cadauno nelle località Granarolo Faentino e Macerone di Cesena;
- 2011: un impianto della capacità di 200 l/s nei pressi di Forlimpopoli.

Quindi il CER, tipico sistema ad acque fluenti, si presenta come risorsa fondamentale anche per il settore potabile, avendo in generale come unico limite la portata di concessione (68 m³/s nel periodo estivo) e l'idrometria del Po, che conosce tipicamente nel mese di luglio i suoi minimi stagionali (peraltro storicamente sempre sufficienti a garantire la derivazione, anche nelle annate critiche recenti: 2003, 2005, 2006). A conferma di quanto affermato, Il Consorzio, con accordo sottoscritto il 29 ottobre 2012 con Romagna Acque Società delle Fonti, si è impegnato, con il proprio sistema idrico, a sollevare e addurre a destinazione fino al potabilizzatore "NIP 2" in comune di Ravenna una ulteriore portata pari 2,3 m³/s.

L'impegno del Consorzio nel potabile è reso possibile anche dalla qualità delle acque vettorate che è nettamente superiore rispetto a quella del Po. Infatti, la scelta di far muovere al CER i suoi primi passi nel Cavo Napoleonico – scelta guidata all'epoca da considerazioni di carattere squisitamente tecnico-idraulico – si è rivelata, a distanza di qualche decennio, inconsapevolmente provvidenziale proprio sotto il profilo della qualità delle acque vettorate.

Il Cavo, con i suoi 100 metri di larghezza e 16 chilometri di lunghezza, con la ricchezza di vegetazione naturale delle sue sponde, con la lentezza a cui costringe le acque che vi defluiscono verso sud (mediamente 4-5 giorni nelle condizioni attuali), si comporta come un imponente impianto di depurazione naturale², svolgendo un'azione di abbattimento dei carichi trofici ed inquinanti valutabile prudenzialmente nell'ordine del 50 per cento. Inoltre, grazie ad una serie di circostanze ed effetti favorevoli, come l'isolamento idraulico, un'enorme superficie a contatto con l'atmosfera e le velocità non elevate di transito, consentono di migliorarne ulteriormente la qualità proseguendo lungo l'asta.

Quindi, nonostante lo scomodo legame parentale con il fiume Po (la cui situazione, in un paese che va prendendo coscienza dei problemi di tutela del proprio ambiente³, è migliorata negli ultimi anni e non potrà verosimilmente che migliorare ulteriormente in

² l'effetto è dovuto, in buona parte, alla vegetazione acquatica che riveste le sponde del Cavo (*fitodepurazione*).

³ ad esempio, la città di Milano dal 2005 si è finalmente dotata di un proprio sistema di depurazione.



futuro), l'acqua del CER costituisce dal punto di vista della qualità una buona fonte di approvvigionamento, non solo per l'agricoltura, ma anche per gli usi civili, industriali e turistici.

1.2. Lo stato delle opere

Le opere del sistema idrico del Canale Emiliano Romagnolo, come illustrato nella corografia 1:200.000 allegata al progetto, presentano, nella fase attuale, il seguente assetto.

Sono da tempo in esercizio, e completi in ogni parte:

- il canale a servizio dei territori in sinistra del fiume Reno (16,5 km), compresi gli impianti di sollevamento di Sant'Agostino Ovest e di Cento;
- lo sbarramento mobile sul Reno di Volta Scirocco (Ravenna);
- il tronco dell'adduttore principale (CER) che, con un percorso di circa 135 km a partire dalla derivazione dal Cavo Napoleonico, raggiunge le campagne a nord-ovest del comune di Rimini nei pressi del fiume Uso.

Sono ugualmente in esercizio da tempo, anche se con dotazioni elettroidrauliche parziali, gli impianti di sollevamento:

- Palantone, in località San Biagio-Salvatonica del comune di Bondeno (FE), portata installata 50 m³/s;
- Sant'Agostino est (invernale), nell'omonimo comune, portata installata 7,5 m³/s.

Sono invece completate le rimanenti stazioni:

- Crevenzosa e Pieve di Cento, ubicate nella bassa pianura bolognese (nei territori comunali di Galliera e Castello d'Argile) e provviste ciascuna di 3 elettropompe tradizionali da 10 m³/s e 4 sommerse da 5 m³/s;
- Savio, ubicata al km 104 dell'adduttore in località Mensa del comune di Ravenna, e destinata ad alimentare – con una dotazione impiantistica di 9 m³/s (più una pompa da 1,5 m³/s di riserva) – i comprensori di Cesena e di Rimini.

Il costo complessivo delle opere del sistema (realizzate a partire dal 1956) ammonta a circa 190 milioni di euro in valore storico, e a circa 1.000 milioni di euro in valore attualizzato.



2. IL TRATTO DI CANALE OGGETTO DELL'INTERVENTO

2.1. L'attuale stato di conservazione

2.1.1. Le frane

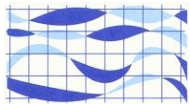
In tempi recenti il Consorzio ha dovuto far fronte a criticità locali, sotto forma di movimenti franosi verificatisi a più riprese tra il 1997 e il 2016 sulla sponda destra del canale, nell'intorno dell'attraversamento del Reno, con la sequenza in appresso riportata:

- gennaio 1997, progressiva km 2,7, località Panfilia del comune di S. Agostino (FE);
- dicembre 1997, progressiva km 4,8, località Cucco del comune di Galliera (BO);
- marzo 2006, progressive km 4,6 e 4,9, località Cucco del comune di Galliera (BO);
- gennaio 2011, progressiva km 4,55, località Cucco del comune di Galliera (BO);
- novembre 2016, progressiva km 0,2, località abitato Sant'Agostino.

I sei dissesti, simili nella configurazione geometrica e geolitologica (sponde interne di grande sviluppo ricavate su terreni argillosi di difficile stabilità), nelle manifestazioni (distacchi dalla sponda di enormi masse di forma sub-sferica, fenomeno noto in geotecnica come "circoli di Patterson") e nelle cause (essenzialmente riconducibili alla liquefazione degli strati argillosi imbibiti di acqua di falda in occasione di copiose precipitazioni e a funzionamenti "di bonifica" del canale, messi in atto ripetutamente nei periodi antecedenti e responsabili di frequenti escursioni di livello), sono stati curati solo parzialmente, con campagne di lavori di primo soccorso, finalizzate al semplice ripristino di un'officiosità provvisoria dell'adduttore.

I lavori di primo soccorso, stralciati da perizie di ripristino completo redatte dal Consorzio, hanno comportato essenzialmente:

- l'asportazione del corpo arginale emergente sul piano di campagna, così come effettuato già all'epoca della costruzione nei tre tratti sopra descritti con l'arretramento del ciglio superiore della sponda per alleggerire la spinta del terreno al piede della scarpata;
- l'infissione di palancole metalliche sino ad una quota intermedia tra il fondo e la sommità spondale, con funzioni di difesa dall'erosione, di primo sostegno e di intercettazione di eventuali deflussi filtranti;
- l'asportazione del terreno franato all'interno dell'alveo del canale.



2.1.2. Il degrado dei rivestimenti

A 50 anni dalla loro realizzazione i rivestimenti del tratto di canale in esame si presentano in gran parte disgregati o dissolti (si veda la documentazione fotografica allegata al progetto) a causa delle acque di falda solfatiche, ma non solamente.

In realtà, il diffuso degrado a “macchia di leopardo” delle lastre è dovuto anche alle tecniche esecutive dell'epoca, che indubbiamente risentivano di una cultura ancora rudimentale in materia di durabilità e di *mix design*.

2.1.3. I ponti

I ponti non destano particolari preoccupazioni in quanto, trattandosi di opere in conglomerato cementizio armato strutturale, essenziali per la pubblica incolumità, sono stati fatti oggetto in tempi recenti di importanti interventi manutentori.

2.2. Effetti negativi della situazione sulla gestione del sistema idrico

La geometria spondale del tratto in esame, con la sommità a quota 16,50 m s.l.m. prevista nel progetto di aggiornamento generale 1° agosto 1964, emergente in media di 2 metri rispetto al piano di campagna, e il degrado delle lastre di rivestimento, determinano sull'esercizio molteplici effetti negativi, che in appresso si sintetizzano.

2.2.1. Instabilità delle sponde

Come già riferito si sono verificate, negli ultimi venti anni, ben sei frane per un costo di primo intervento urgente pari a circa 1.000.000 €; il costo per la definitiva sistemazione si stima ammonti ad ulteriori 900.000 €, col che la spesa totale sale a 1.900.000 €. Occorre per di più considerare che il riproporsi in futuro di fenomeni simili potrebbe causare danni ancora maggiori in termini di **possibile interruzione del funzionamento dell'adduttore**. Se infatti una frana dovesse manifestarsi durante il periodo irriguo, la rimozione dell'ostruzione richiederebbe almeno una ventina di giorni, con la sospensione totale dell'esercizio e le conseguenti, gravissime ripercussioni sull'agricoltura della regione.

2.2.2. Diminuzione del rendimento idraulico del canale

La portata di progetto del canale nel tratto tra il Cavo Napoleonico e il primo impianto di sollevamento (Crevenzosa), pari a circa 60 m³/s, fa affidamento su un coefficiente di scabrezza molto basso ($\gamma = 0,36$), teoricamente reso possibile dal previsto rivestimento cementizio delle sponde. Attualmente, a causa del pessimo stato di



conservazione delle lastre, il valore medio del coefficiente risulta in realtà intermedio tra quello di un canale rivestito e quello di un canale con sponde in terra; la conseguente riduzione delle portate transitanti può stimarsi intorno al 20%⁴.

2.2.3. Perdita energetica e stress dei macchinari

Con le portate attualmente transitanti nel sistema (30-40 m³/s), seppur ancora ridotte rispetto ai valori massimi progettuali in forza dell'ancora parziale trasformazione irrigua del territorio servito, si evidenziano perdite di quota piezometrica tra la chiavica di S. Agostino e l'impianto Crevenzosa di gran lunga superiori rispetto al valore di calcolo progettuale (che, si ricorda, dovrebbe essere di 87 cm per una portata di circa 60 m³/s). Queste perdite di energia potenziale si traducono evidentemente in una maggiore prevalenza di sollevamento a danno del sistema di pompaggio dell'impianto Crevenzosa, sottoposto ad un lavoro supplementare con elevato dispendio di energia elettrica, per un aumento di costo valutabile nell'ordine di alcune decine di migliaia di euro all'anno.

2.2.4. Difficoltà di manutenzione

L'attuale situazione di degrado delle lastre ha creato le condizioni ideali per l'attecchimento di piante ed arbusti, che a loro volta disgregano con le loro radici le lastre adiacenti. D'altra parte le geometrie spondali caratterizzate da elevate profondità (10 m), totale assenza di banche intermedie di larghezza sufficiente per il transito dei mezzi meccanici, rarissima dotazione di rampe di accesso al fondo (3 sull'intero tratto Cavo-Crevenzosa, una delle quali distrutta da una delle frane già occorse), rendono rischioso l'aggottamento del canale per l'alta probabilità di innesco di ulteriori smottamenti, ed estremamente difficile ed oneroso il controllo vegetazionale delle sponde.

⁴ Se si assume l'ipotesi ottimistica che le lastre siano disgregate o dissolte per un'estensione pari al 35% del totale, e che valga per queste superfici un altrettanto ottimistico indice di scabrezza $\gamma = 1,75$ (valore in realtà attendibile per sponde in terra in perfetta manutenzione), si ottiene un valore medio ponderale pari a $\gamma = 0,36 \times 0,65 + 1,75 \times 0,35 = 0,85$, da cui discende per la formula di Bazin un coefficiente di scabrezza $\chi = 87 / (1 + \gamma / R^{1/2}) = 56,09 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ ed infine per la formula di Chézy una portata $Q = \Omega * \chi * (R * i)^{1/2} = 58,75 * 56,09 * (2,38 * 0,0001)^{1/2} = \mathbf{50,8 \text{ m}^3/\text{s}}$ (con Ω area della sezione, R raggio idraulico e i cadente piezometrica). Se le sponde fossero integre gli stessi calcoli darebbero una portata $Q = 64 \text{ m}^3/\text{s}$ (valore maggiore di quello di progetto, pari a $58 \text{ m}^3/\text{s}$).



3. IL PROGETTO DI STABILIZZAZIONE E DI RIPRISTINO DELL'EFFICIENZA DEL PRIMO TRONCO DELL'ADDUTTORE PRINCIPALE: TRATTO RENO - CREVENZOSA

3.1. Descrizione sintetica delle opere

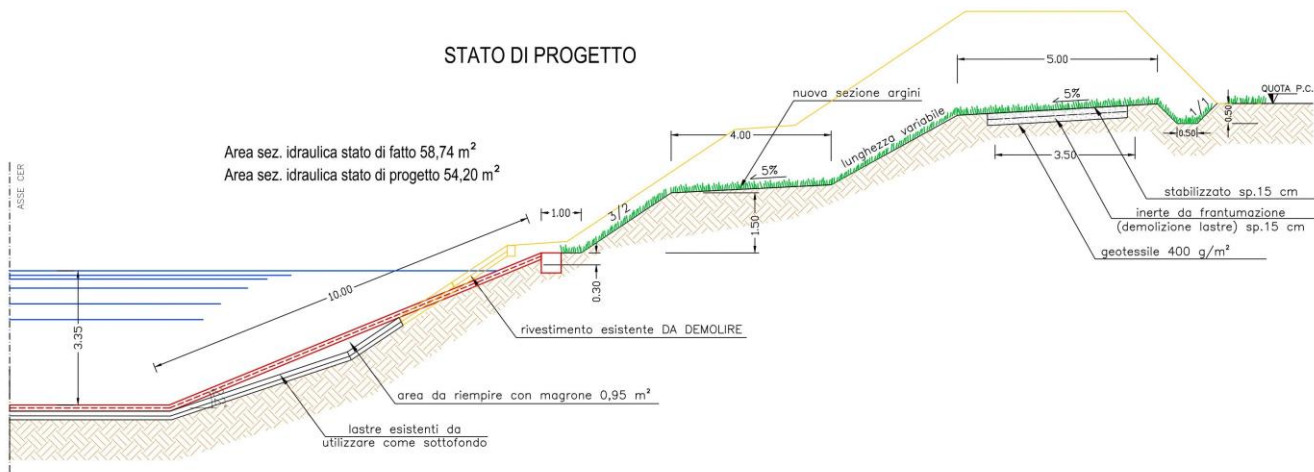
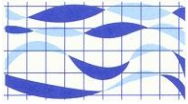
I lavori di cui al presente progetto hanno lo scopo di avviare a risoluzione i problemi più sopra segnalati (instabilità delle sponde, riduzione di portata, dispendio di energia, difficoltà manutentive): problemi che, se non affrontati, possono portare all'interruzione dell'esercizio dell'intero sistema con pesantissimi danni su un'importante porzione del territorio regionale.

La necessità di stabilizzare e proteggere le sponde con nuovi rivestimenti interessa l'intero sviluppo del canale realizzato nell'ambito del III lotto, dall'Attenuatore delle piene di Reno all'impianto Crevenzosa (circa 6.100 m); tuttavia gli ingenti costi dell'intervento, e le conseguenti difficoltà di reperire le risorse finanziarie necessarie, suggeriscono l'opportunità di un approccio progettuale a stralci.

Il presente progetto si rivolge pertanto a quel tratto di canale che è stato maggiormente colpito dalle frane (4 sul totale di 6), tra lo sbocco del sottopasso del fiume Reno (progr. 3,310 km) e la strada provinciale via Coronella in comune di Galliera (progr. 6,050 km), in adiacenza all'impianto di sollevamento "Crevenzosa"; tratto ricadente nella sua interezza nel territorio del comune di Galliera, in provincia di Bologna.

L'intervento contempla in particolare:

- l'abbassamento fino al piano di campagna e la riprofilatura delle sponde comprese tra le progressive sopra indicate (lunghezza totale 2.740 m);
- il rifacimento completo delle lastre di rivestimento lungo lo stesso sviluppo, con una nuova geometria spondale comportante un'unica inclinazione intermedia tra le due attualmente esistenti (3:2 e 3:1), in modo da permettere la realizzazione delle lastre mediante una macchina pavimentatrice per canali che garantisce qualità del getto, accurata finitura superficiale e soprattutto velocità di realizzazione;
- la ricostruzione delle sponde franate secondo la nuova geometria e la realizzazione di una nuova rampa di accesso all'interno del canale per una più facile manutenzione.



Sezione schematica del nuovo profilo di progetto

3.2. Gli aspetti idraulici

Dal punto di vista idraulico si deve osservare che la soluzione proposta, utilizzando come sottofondo buona parte delle lastre esistenti al fine di evitare la lievitazione dei costi e soprattutto dei tempi che il rifacimento della sezione originaria comporterebbe, implica, a parità di livello dell'acqua comandato dall'impianto Palantone, una lieve diminuzione della sezione liquida Ω (che passa da $58,75 \text{ m}^2$ a $54,58 \text{ m}^2$) e del raggio idraulico R (che passa da $2,38 \text{ m}$ a $2,11 \text{ m}$). Con un indice di scabrezza $\gamma = 0,36$, la formula di Chézy, a parità di cadente piezometrica $i = 0,0001$, espone una portata teorica di $55 \text{ m}^3/\text{s}$, contro i $64 \text{ m}^3/\text{s}$ dell'attuale sezione se avesse il rivestimento integro.

In realtà, con l'utilizzo delle odierne macchine pavimentatrici per canali di cui viene riferito al paragrafo successivo (macchine che assicurano una finitura liscia a rullo metallico e un'estrema limitazione del numero di giunti), è realistico assumere un indice di scabrezza $\gamma = 0,10$, che consente il transito della stessa portata di $64 \text{ m}^3/\text{s}$ assicurata dalla sezione originaria a doppia pendenza ma con $\gamma = 0,36$. Si osserva comunque che basta un leggero aumento del livello dell'acqua attraverso l'impianto Palantone (circa 15 cm) per ottenere la stessa sezione liquida e quindi le stesse portate transitanti del progetto originario, anche con indice di scabrezza invariato $\gamma = 0,36$, estremamente cautelativo per lastre lisce a rullo.



3.3. Gli aspetti tecnologici

Il primo problema che si pone agli effetti del rifacimento dei rivestimenti è la scelta del sistema di formazione delle lastre (getto in opera o, in alternativa, prefabbricazione).

Non c'è dubbio che la prefabbricazione consente di ottimizzare il controllo della qualità del conglomerato cementizio e i tempi di posa delle lastre.

Tuttavia un manufatto prefabbricato, da costruire in un cantiere centralizzato dotato di appropriate apparecchiature, deve avere dimensioni e peso tali da permetterne il trasporto sul luogo di installazione con mezzi normali. Questa circostanza, indipendentemente dal peso di ogni elemento, limita una delle due dimensioni del manufatto a 2,50 m per permetterne il trasporto in sagoma. Il rivestimento, in quanto così costituito da tanti brevi elementi, richiederebbe quindi un elevato numero di giunti, che sono da sempre il punto debole dei canali rivestiti a causa della maggiore vulnerabilità all'attacco della vegetazione e della maggiore facilità degli spostamenti relativi tra lastra e lastra. Inoltre la collocazione in opera è fortemente condizionata dall'agibilità delle piste di cantiere e dalla necessità di un'accurata preparazione del supporto di base.

Si è optato quindi per la realizzazione in opera, considerando che anche in questo caso è possibile ottenere un buon risultato qualitativo ed un contenimento dei tempi di costruzione attraverso lo studio accurato del mix design del calcestruzzo, la razionale organizzazione del cantiere e l'utilizzo di appropriate attrezzature, in particolare di speciali macchine pavimentatrici studiate appositamente per le sponde inclinate dei canali.

In cantiere verrà provveduto dapprima alla preparazione del sottofondo in magrone con le operazioni seguenti:

- demolizione delle due fasce superiori di lastre con pendenza 3:2 interferenti con la nuova geometria (tra l'altro sono queste le fasce a cui corrispondono i conglomerati più deteriorati);
- impostazione della nuova sagoma spondale mantenendo come base la parte restante delle lastre originarie (lastre di fondo, lastre di sponda con pendenza 3:1 e la fascia inferiore di lastre con pendenza 3:2) e provvedendo ai necessari riempimenti;
- rifacimento delle porzioni franate con la tecnologia delle terre rinforzate.

Posizionate le armature (in forma di rete elettrosaldata) si farà luogo, attraverso la citata macchina pavimentatrice per canali dotata di un appropriato sistema di posa



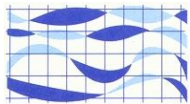
(coclea, vibrazione, compattazione e finitura con rullo metallico), alla posa in opera del conglomerato. Questo avrà classe di esposizione XA1 (opere in ambiente chimico debolmente aggressivo).

I riscontri eseguiti all'epoca della costruzione evidenziarono nella zona delle vie Cucco e Bisana la presenza di tenori significativi di solfati e di magnesio, responsabili della rilevata aggressività delle acque di falda nei confronti dei conglomerati cementizi. Anche se le più recenti analisi chimiche effettuate su campioni di acqua di falda e di canale nel febbraio 2014 e nel febbraio 2017 (allegate al progetto) non hanno confermato tale presenza nella zona dell'attraversamento del Reno, probabilmente per l'influenza delle acque del fiume, si è scelto di utilizzare come legante il cemento pozzolanico, che presenta rispetto al Portland i seguenti pregi:

- minore sviluppo di calore, dovuto alla minore presenza di clinker di Portland e quindi al più ridotto tenore di alluminato tricalcico e di silicato tricalcico, che sono i componenti del clinker che producono maggiore calore di idratazione (per questo motivo il cemento pozzolanico è molto utilizzato nei getti massivi come le platee di fondazione);
- maggiore resistenza all'attacco solfatico, dovuto, ancora, al minore quantitativo di clinker di Portland e quindi al minor tenore di alluminato tricalcico che è l'elemento del cemento più sensibile all'azione dei solfati (con i quali forma l'ettringite);
- maggiore resistenza al dilavamento, parimenti riconducibile al minore quantitativo di clinker di Portland e quindi al tenore inferiore di calce; inoltre la reazione della pozzolana con la calce assicura un'ulteriore riduzione di quantità di idrossido di calcio libero, che in presenza di acque aggressive viene dilavato creando una struttura porosa e pertanto più accessibile agli agenti esterni (in sostanza un minor tenore di calce determina una matrice cementizia più compatta e un calcestruzzo più durevole).

Infine, per assicurare una buona maturazione dei getti, ne verrà effettuata la protezione, allorché necessario, con teli di protezione dagli agenti atmosferici, all'interno dei quali si manterrà un ambiente umido.

Il prodotto finito potrà avere in questo modo caratteristiche non molto dissimili da quelle degli elementi prefabbricati, offrendo in compenso il fondamentale vantaggio di una



drastica riduzione dei giunti al numero effettivamente necessario per il corretto comportamento dell'opera agli effetti delle variazioni termiche e dei cedimenti differenziali.

3.4. I parametri geologici-geotecnici

Un'apprezzabile conoscenza della natura dei terreni interessati dalle opere di stabilizzazione e di protezione delle sponde del canale è stata acquisita attraverso una campagna di indagini geognostiche, i cui risultati sono riportati nella relazione geologica-tecnica e sismica allegata al progetto, a firma della dott.ssa geol. Linda Collina.

Le prove penetrometriche, in numero di 3, sono state localizzate in argine destro tra il ponte della Bisana e quello del Cucco (profondità indagata: n. 2 prove fino a 15 metri dal piano di campagna e una prova fino a 30 metri dal piano di campagna).

Nel rinviare a quanto contenuto nella relazione per gli aspetti di dettaglio, ci si limita qui ad osservare che le indagini effettuate pongono in evidenza una successione litostratigrafica caratterizzata da una alternanza limo argilloso / argillo-sabbioso e argilla limosa con sabbia argillo-limosa / limo.

Il livello della falda rilevato durante le prove (febbraio 2013) si collocava in forte profondità (- 5,50 e - 3,75 m dal piano di campagna) per l'azione di drenaggio esercitata dall'alveo del canale.

Si riportano le note conclusive della professionista:

*“Attualmente la scarpata dell'argine destro del Canale Emiliano Romagnolo, in località Galliera (Bo), presenta un profilo dell'arginatura soggetto ad instabilità. Le innumerevoli frane che hanno interessato tale porzione del canale rendono indispensabile procedere alla riprofilatura con conseguente alleggerimento dell'argine stesso. Pertanto è stato condotto uno studio sulla stabilità della scarpata utilizzando sia il profilo attuale, per analizzare l'instabilità dell'argine nello stato di fatto, sia il profilo di progetto, per verificarne la stabilità. I valori di coesione non drenata C_u attribuiti alle litologie argillose e argilloso-limose costituenti le sponde del canale in esame sono stati opportunamente e cautelativamente ridotti per tenere in debita considerazione l'effetto della sottospinta dell'acqua (dovuto al fatto che la falda è risultata essere in pressione poiché ospitata da un acquifero sabbioso confinato) e la conseguente forte imbibizione del terreno. **Dalle elaborazioni effettuate si può concludere che la scarpata nello stato attuale risulta***



instabile, con un fattore di sicurezza inferiore a 1. La stabilità della scarpata secondo il profilo di progetto è invece verificata.

3.5. I movimenti di terra

Il complesso degli scavi necessari per la riprofilatura delle sponde del canale tra Reno e Crevenzosa ammonta complessivamente, come da computo metrico allegato al progetto, a 118.000 metri cubi. Una parte del terreno di scavo verrà reimpiegata *in situ* a formazione delle scarpate franate con la tecnica delle terre rinforzate.

Il terreno in esubero dovrà essere conferito in discarica autorizzata, salvo facoltà dell'impresa esecutrice di distribuire il terreno vegetale sulle proprietà limitrofe al canale previo assenso dei proprietari e in conformità alle norme di legge; in particolare:

- D.M. n. 161 del 10 agosto 2012, "Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo";
- legge n. 98 del 9 agosto 2013, di conversione, con modifiche, del decreto legge n. 69 del 21 giugno 2013 in vigore dal 21 agosto 2013 (che ha introdotto, con gli articoli 41 e 41-bis, rilevanti modifiche in tema di riutilizzo delle terre e rocce da scavo);
- D.P.R. n. 120 del 13 giugno 2017, "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164".

Nell'eventualità che l'impresa eserciti effettivamente tale facoltà, onde evitare inutili trasporti su gomma con le relative problematiche legate all'inquinamento e alla manutenzione della viabilità pubblica, il Consorzio ha riscontrato in via preventiva un certo interesse da parte di alcune aziende agricole locali ad accogliere, dietro compenso, una parte del terreno eccedente, a rialzo del terreno vegetale esistente o a sistemazione di "basse", che in ogni caso dovrebbe avere un effetto finale impercettibile nell'altimetria globale risultante.

Gli scavi spondali sono stati progettati con il presupposto di ottenere un alleggerimento generale della spinta sul piede della scarpata, responsabile delle numerose frane. Si verranno così a determinare due piste di servizio di larghezza minima 4 m e pendenza 5%, posizionate l'una in sommità alla quota del piano di campagna e

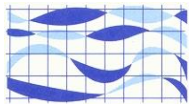


l'altra (al momento del tutto mancante) ad un livello inferiore, intermedio tra la sommità del rivestimento e del piano di campagna, appena al di sopra del livello medio della falda: posizione particolarmente utile per le manutenzioni della parte inferiore dell'alveo (si veda il Piano di manutenzione allegato al progetto).

La nuova sezione risulta verificata alla stabilità dei pendii, secondo il metodo di Bishop, con un coefficiente di sicurezza pari a 1,165⁵ (si veda la relazione geologica allegata al progetto).

È evidente che in sede esecutiva, in funzione della natura dei terreni di volta in volta interessati, della presenza della falda, delle quote del piano di campagna, le pendenze delle scarpate tra le due piste potranno subire leggere variazioni in più od in meno.

⁵ Nella situazione attuale il coefficiente si abbassa a $0,693 < 1$ e quindi la stabilità risulta non verificata (come d'altronde testimoniano, purtroppo, i numerosi episodi di frana).



4. I TEMPI DI ESECUZIONE

La durata dei lavori in appalto, a causa dei vincoli di natura funzionale gravanti sull'esecuzione, è stata quantificata nella misura "lorda" di 1010 giorni (pari a circa 33 mesi), con due periodi di interruzione programmati pari a complessivi 12 mesi. Il tempo effettivo a disposizione per i lavori è quindi di 21 mesi.

In effetti, al di là della composizione e consistenza delle operazioni in sé, risulta estremamente delicata la collocazione dell'ambiente di lavoro nel primo tratto del sistema idrico del Canale Emiliano Romagnolo, preposto all'approvvigionamento idrico di una subregione dall'inestimabile valenza agricola, ed oggi anche all'alimentazione di nevralgici centri di produzione potabile ed industriale, che ne estendono le necessità di esercizio alla massima parte dell'anno.

In particolare, gli interventi in progetto, di ricostruzione e protezione delle sponde con il nuovo rivestimento, possono essere effettuati solo all'interno del periodo autunno-invernale, durante il quale la richiesta idrica è limitata all'uso potabile (si veda il cronoprogramma **allegato G**).

L'impresa appaltatrice deve quindi essere messa a conoscenza che lo svaso completo del canale sarà possibile soltanto entro un limite massimo di quattro mesi (da novembre a febbraio compresi). A questo intervallo di tempo si potrà aggiungere uno svaso parziale durante il mese di ottobre, con livelli d'acqua compatibili con le operazioni di demolizione delle due fasce superiori del rivestimento esistente a preparazione del sottofondo delle nuove lastre. Tale avvertenza viene riportata sia nello schema di contratto, sia nel capitolato speciale d'appalto.

Durante il limitato periodo operativo a disposizione dell'appaltatore il Consorzio opererà le manovre idrauliche necessarie per mantenere il canale in condizioni di svaso totale o parziale, fatte salve eventuali **emergenze idriche legate all'uso idropotabile o a scarichi di bonifica**, al momento non prevedibili. In particolare, in caso di necessità, ed al fine di contenere al minimo i disagi per l'esecutore, all'interno del periodo 23 dicembre - 10 gennaio il Consorzio si riserva la facoltà di far luogo ad operazioni di invaso e svaso del canale, al fine di ripristinare il volume d'acqua (circa 3.000.000 di metri cubi) accumulabile nell'adduttore a valle del cantiere. Per tali operazioni l'appaltatore, che dovrà completare



celermente i getti di rivestimento in corso e liberare il cantiere da materiali e macchinari deperibili per immersione, non potrà pretendere riconoscimenti o indennizzi particolari, se non la dovuta dilatazione dei tempi contrattuali con protrazione dello svaso del canale nel mese di marzo.

Sarà inoltre a cura dell'impresa esecutrice, e compensato coi prezzi di contratto, l'aggottamento continuo del canale svasato dalle acque piovane e di falda, come pure dalle perdite delle paratoie di sezionamento poste lungo il canale.

Il tempo utile per l'ultimazione dei lavori, determinato come già detto in circa 33 mesi totali comprendenti al loro interno i due periodi di interruzione lavori e i tre periodi di 4 mesi ciascuno di fuori esercizio completo dell'adduttore idrico (da novembre a febbraio compresi), tiene conto anche delle soste e dei rallentamenti per avversità meteorologiche. Soltanto in presenza di eventi a carattere eccezionale (gelo persistente, piogge prolungate) potrà essere concessa una dilatazione equipollente dei tempi a disposizione dell'appaltatore, se possibile mediante prolungamento dello svaso nel mese di marzo, ovvero, al limite, mediante proroga di un anno con messa a disposizione di un ulteriore periodo autunno-invernale (novembre-febbraio) in aggiunta ai tre previsti contrattualmente.



5. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE E TERRITORIALE DELL'INTERVENTO

5.1. Aspetti ambientali

Si dà in questa sede per assodata quella che può definirsi come missione ambientale “intrinseca” del Canale Emiliano Romagnolo, ossia la sostituzione, negli usi agricoli, industriali e produttivi in genere (per tacere dei nuovi usi emergenti in campo civile e terziario), delle acque sotterranee con acque di superficie: missione da tempo ampiamente riconosciuta dalla pianificazione regionale come fondamentale agli effetti del contenimento del grave fenomeno ambientale della subsidenza, e comunque propria del sistema idrico nel suo complesso. Ci si sofferma, pertanto, sulle implicazioni ambientali specifiche del presente progetto.

Nell'anno 2009 il Consorzio ha conseguito la certificazione di qualità secondo la norma ISO 14001:2004 in relazione agli scopi istituzionali dell'ente:

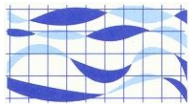
- progettazione, gestione e manutenzione del sistema idrico del Canale Emiliano Romagnolo per il vettoriamento e la distribuzione di acque grezze di origine superficiale;
- ricerca e divulgazione irrigua finalizzata alla promozione dell'impiego ottimale della risorsa idrica nell'ambito dello sviluppo ecosostenibile.

Tale riconoscimento non ha mancato di riflettersi sull'attività progettuale dell'ente, improntando ai temi della salvaguardia ambientale il capitolato speciale d'appalto e generando un elaborato specifico all'interno del presente progetto in materia di gestione ambientale del cantiere d'appalto.

Trattandosi di intervento di manutenzione, non si rende necessaria alcuna procedura di VIA, neppure in termini di screening, e non ricorre necessità di espropri essendo tutte le aree di intervento (ivi compresi gli spazi di sommità spondale necessari per l'allestimento del cantiere) di proprietà demaniale.

Si precisa che il progetto non va ad interessare alcuna area soggetta a vincoli. In particolare l'intervento non tocca l'area SIC IT4060009 del bosco della Panfilia e si ferma al limite della fascia di interesse paesaggistico di corsi d'acqua (ai sensi dell'art. 142 del D.lgs. 42/2004), nello specifico del fiume Reno.

Inoltre l'intervento, in quanto afferente ad opera pubblica già localizzata su area del demanio statale, non è ovviamente soggetto a titolo abilitativo da parte degli enti locali territoriali.



Quanto ai movimenti di materie, i lavori in progetto comprendono consistenti operazioni di scavo per la riprofilatura spondale. Una parte consistente del terreno sarà reimpiegata *in situ* per il ripristino delle sponde franate. Per quanto riguarda le discariche autorizzate sono presenti, nell'Albo nazionale dei gestori ambientali, diversi siti con le caratteristiche richieste, ad un raggio di distanza dal luogo di esecuzione dei lavori di 15-20 km.

Le cave utilizzabili per il reperimento di inerti sono diverse e localizzate a breve distanza dal cantiere.

5.2. Aspetti archeologici

Anche sotto questo profilo, pur non riconducibile alle finalità istituzionali dell'ente, il Consorzio può vantare una pluridecennale tradizione di attenzione, nella propria attività costruttiva, ai valori storici del territorio, e di collaborazione con le istituzioni preposte alla relativa tutela (in particolare la Soprintendenza per i beni archeologici dell'Emilia-Romagna, organo periferico del Ministero per i beni e le attività culturali).

In fase di progettazione il Consorzio ha interessato la Soprintendenza, anche agli effetti dell'articolo 25 del D.lgs. 18 aprile 2016 n. 50, in materia di verifica preventiva dell'interesse archeologico, ed ha incaricato a tal fine la cooperativa archeologica Athena di Casalecchio di Reno (Bologna). Si veda la relazione archeologica preliminare, redatta da quest'ultima in data 28 marzo 2014 e allegata al progetto.

La Soprintendenza, con nota n. 5538 in data 15 maggio 2014 e poi con nota n. 8583 in data 26 ottobre 2016, ha espresso il proprio assenso al progetto con la prescrizione del costante controllo archeologico dei lavori di scavo – peraltro sempre posto in atto dal Consorzio, con importanti risultati, in tutti i lavori precedenti – da parte di operatori specializzati sotto la direzione scientifica della Soprintendenza stessa.

Bologna, 19 novembre 2019

IL PROGETTISTA
(dott. ing. Michele Marini)