

## FIUME PANARO (PROVINCIA DI MODENA)

AVVIO ADEGUAMENTO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL SISTEMA ARGINALE ALLA PORTATA PROGETTUALE DI RIFERIMENTO, TRAMITE INTERVENTI DI SISTEMAZIONE MORFOLOGICA DELL'ALVEO, ADEGUAMENTO IN QUOTA E IN SAGOMA, A VALLE DELLA CASSA AL CONFINE PROVINCIALE. INTERVENTO REALIZZABILE PER STRALCI FUNZIONALI.

(Ordinanza n. 8 del 23/06/2015, allegato 1, codice intervento n. 11784, come modificata Ordinanza n. 2 del 23/02/2016)  
(MO-E-1346)

### PROGETTO ESECUTIVO

NOVEMBRE 2018

ELABORATO:

### RELAZIONE IDROLOGICA

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
00	PRIMA EMISSIONE	NOVEMBRE 2018	S. Croci	A. Paoletti

RUP *Dott. Ing. FEDERICA PELLEGRINI*

Supporto al RUP *Dott. Geol. STEFANO PARODI  
Dott. Ing. STEFANO BALDINI*

ATI:

MANDATARIA



20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel. 0226681264  
fax 0226681553 - E-Mail: etatec@etatec.it

*Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI  
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI  
Dott. Ing. STEFANO CROCI  
Dott. Ing. FILIPPO MALINGENGO*

MANDANTI

**STUDIO PAOLETTI**  
INGEGNERI ASSOCIATI

20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel. 0226681264  
fax 0226681553 - E-Mail: studiopaletti@etatec.it

*Dott. Ing. CRISTINA GIUSEPPINA PASSONI*

 **Ing. Claudio Marcello S.r.l.**

20122 MILANO - via Visconti di Modrone, 18  
tel. 0276020695-0276391291, fax 0276023532  
E-Mail: info@studiomarcello.it

*Dott. Ing. CARLO CLAUDIO MARCELLO  
Dott. Ing. PAOLO MEDA  
Dott. Ing. MARIA CRISTINA SOMASCHI*

*Studio Associato di Geologia Spada*



24020 RANICA (BG) - via Donizetti, 17  
tel. 035516090-035513738  
E-Mail: info@studiogeospada.it

*Dott. Geol. MARIO SPADA  
Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI  
Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI*

 **ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO**  
architettura e paesaggio

43123 PARMA - via Archimede, 2  
tel. 0521491914, fax 0521243969  
E-Mail: info@assarch.it

*Dott. Arch. PAOLA CAVALLINI  
Dott. Arch. MICHELE MUSIARI*



28047 Oleggio (NO) - viale Paganini, 9  
tel. 032194885, fax 0321961008  
PEC atuttoprogetto@pec.it, E-Mail info@atuttoprogetto.com

*Geom. PAOLO MASSARA  
Geom. FILIPPO BELLONI  
Geom. VALENTINA MANTOAN*

 **SAP**  
Societa' Archeologica S.r.l.

46020 QUINGENTOLE (MN) - Strada Fienili, 39/a  
tel. 038642287, fax 038642591  
E-Mail: mail@archeologica.it

*Dott. ALBERTO MANICARDI  
Dott.ssa ELISA LERCO*

TIPOLOGIA

PE

COMMESSA

250-28

DOCUMENTO

AT

NUMERO

A.3.1

## INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL FIUME PANARO DESUNTE DA STUDI PREGRESSI .....	3
2.1 PREMESSA .....	3
2.2 EVENTI DI PIENA RECENTI ED ANALISI DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO .....	7
2.3 ANALISI DELLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ E DIAGNOSI DI CRITICITÀ.....	9
2.4 ANALISI IDROLOGICO-IDRAULICHE SVOLTE DA UNIMORE.....	11
2.4.1 Sintesi dei risultati delle analisi svolte da UNIMORE .....	13

## 1. PREMESSA

La presente relazione espone le principali caratteristiche idrologiche-idrauliche del fiume Panaro desunte in particolare dallo studio condotto dall'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (UNIMORE) svolto nell'ambito della *“ricerca per lo studio delle interazioni tra grandi opere di sbarramento fluviale, correnti idriche superficiali e sotterranee, con riferimento ai manufatti regolatori ed alle arginature di contenimento: sviluppo di modelli matematici di comportamento della cassa di espansione del fiume Panaro nel Comune di San Cesario sul Panaro (MO), del bacino idrografico di monte e del sistema fluviale di valle (MO-E-1255) (O.P.C.M. 3850/2010 – decreto n. 140/2010 “Piano degli interventi urgenti” della Regione Emilia-Romagna)”, ed in particolare alla “Relazione tecnica sulla verifica funzionale delle arginature del fiume Panaro”*. Inoltre, si è fatto riferimento anche a quanto contenuto nel PAI e nel PGRA dell'Autorità di bacino del fiume Po, ed in particolare nel documento denominato *“Area a rischio significativo di alluvione - ARS Distrettuali – Scheda monografica Fiume Panaro dalla cassa di espansione alla confluenza in Po”*.

Ad integrazione di quanto contenuto nella presente relazione, si rimanda anche alle valutazioni riportate all'interno della relazione A.2.2. *“Analisi multicriteria”* allegata al presente progetto.

## 2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL FIUME PANARO DESUNTE DA STUDI PREGRESSI

### 2.1 PREMESSA

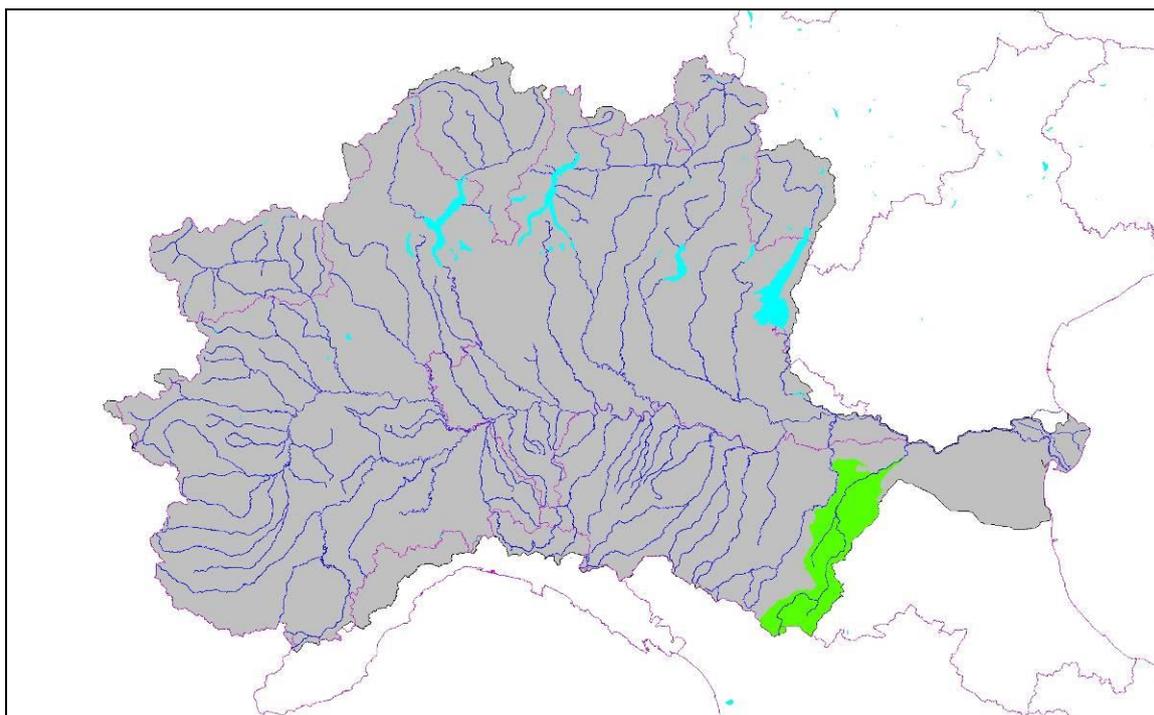
Il bacino del fiume Panaro occupa buona parte della Provincia di Modena, parte della Provincia di Bologna e limitatamente, le Province di Pistoia (Abetone), Ferrara (Bondeno) e Mantova (Oltrepò mantovano).

Il bacino ha una superficie complessiva di 1'775 kmq, in cui 45% ricade in ambito montano. E' delimitato a sud-ovest dal crinale appenninico tosco-emiliano e si estende con andamento sud-ovest – nord-est fino all'asse della pianura padana rappresentato dal fiume Po.

Il Panaro nasce dal Monte Cimone (2'165 m s.m.) e confluisce nel Po, presso Bondeno, dopo aver percorso circa 165 km; prende il nome di Panaro a valle di Montespecchio dopo la confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna, che costituiscono la parte alta del reticolo idrografico, prendendo origine dal crinale appenninico, alle quote di 1500-1700 m s.m. e confluendo alla quota di circa 300 m s.m. per formare l'asta principale.

Dalla confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna il corso d'acqua scorre in una valle ampia con andamento generalmente sinuoso ricevendo numerosi affluenti; in particolare in sinistra il torrente Lerna e il rio Torto, in destra i rii S. Martino e Missano. Da Marano alla via Emilia il corso d'acqua scorre nell'alta pianura con andamento meandriforme e struttura pluricursale. A valle dell'area di laminazione di Sant'Anna, gli affluenti sono tutti in sinistra, in particolare il torrente Tiepido e il Canale Naviglio.

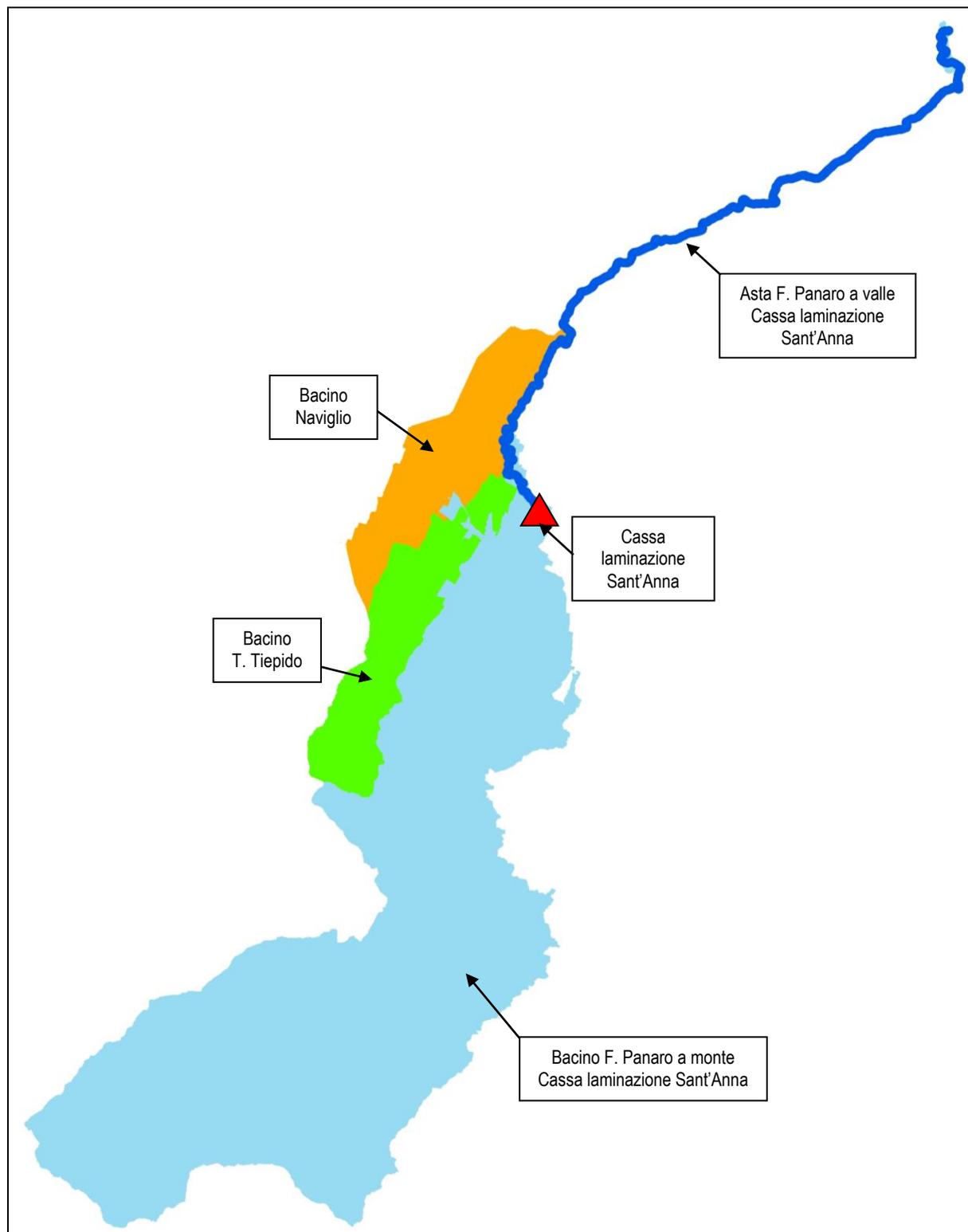
Le sorgenti del T. Tiepido sono situate sulle pendici dei monti Cornazzano, Ravaglia, Pizzicano, Monfestino e Serramazzone. Il corso d'acqua ha andamento pressoché rettilineo in direzione sud-ovest – nord-est. Il T. Tiepido ha un'estensione di circa 35 km e il suo bacino imbrifero è pari a circa 107 kmq.



**Figura 1 – Inquadramento bacino**

Più in dettaglio, il sistema fluviale del F. Panaro risulta costituito principalmente da tre unità, di seguito elencate e rappresentate in Figura 2:

- 1) il bacino idrografico di monte (poligono azzurro);
- 2) la cassa di espansione in località Sant'Anna (triangolo rosso);
- 3) il sistema a valle della cassa di Sant'Anna, a sua volta costituito da:
  - a. l'asta di valle del fiume Panaro, dalla cassa fino al Po (colore blu);
  - b. il bacino del T. Tiepido (poligono verde);
  - c. il bacino del Naviglio (poligono arancione).



**Figura 2 - Sistema fluviale del Fiume Panaro - bacino fiume Panaro: colore azzurro; bacino T. Tiepido: colore verde; bacino Naviglio: colore arancione; asta Panaro a valle della cassa di Sant'Anna: blu.**

Il bacino idrografico di monte del fiume Panaro, chiuso alla traversa fluviale in ingresso alla cassa di espansione posta in località Sant'Anna subito a valle del ponte dell'autostrada A1, ha un'estensione totale di 880 kmq.

La cassa di espansione è situata in località Sant'Anna a San Cesario sul Panaro ed è costituita da un manufatto principale in calcestruzzo che funge da sbarramento del corso d'acqua, un corpo di arginature maestre che sottende un invaso in linea ed uno sfioratore laterale interno all'invaso in linea che regola il deflusso verso un invaso sussidiario fuori linea. L'invaso fuori linea è interno alle arginature maestre dell'invaso in linea, ma risulta protetto da un argine interno secondario sormontabile.

Il manufatto regolatore principale è dotato di 5 scarichi di fondo principali munite di paratoie regolabili e 4 scarichi di fondo laterali di servizio. Tale manufatto è sormontabile e presenta una quota di sfioro tale da non provocare la crisi dell'opera per gli eventi di piena rari.

L'invaso sussidiario fuori linea è stato ideato per attivarsi poco prima che si raggiunga la quota di sfioro del manufatto regolatore principale in modo da incrementare il volume di laminazione della cassa di espansione.

L'asta fluviale a valle della cassa di espansione è sottesa da un corpo arginale continuo in destra e sinistra idraulica che accompagnano il corso d'acqua lungo tutto il suo sviluppo di circa 68 km fino alla confluenza con il fiume Po.

Lungo il corso fluviale, il fiume Panaro riceve in sinistra idraulica le acque di due affluenti: il torrente Tiepido in località Fossalta ed il Naviglio a Bomporto.

Per il T. Tiepido, come dichiarato nello studio condotto da UNIMORE, *“i meccanismi di crisi del sistema fluviale considerati sono stati determinati esclusivamente dall'asta principale del Fiume Panaro, per cui la confluenza del Torrente Tiepido non è stata valutata come fonte di criticità idraulica. Tale scelta è motivata dal fatto che i bacini idrografici del Fiume Panaro e del Torrente Tiepido hanno caratteristiche geomorfologiche differenti per cui il tempo di corrivazione del bacino del Panaro risulta di circa tre volte superiore a quello del Tiepido. La contemporanea e sinergica composizione delle due piene fluviali risulta possibile, ma con bassa probabilità per cui si è proceduto all'analisi delle sole criticità date dalla forzante del Fiume Panaro. Nel caso in cui il contributo del Torrente Tiepido non si ritenga trascurabile, per mantenere il rischio idraulico del sistema fluviale coerente con quanto presentato nel presente studio, per la cassa di espansione di Sant'Anna sarà necessario fare riferimento a portate soglia minori”*.

Per quanto riguarda il Naviglio (bacino idrografico di colore arancione in Figura 2), il suo apporto non viene considerato in quanto il Naviglio risulta regolato da porte Vinciane che impediscono il reflusso delle acque del Panaro durante le fasi di piena e quindi impediscono anche l'afflusso delle portate provenienti dal Naviglio nel Panaro.

In relazione a quanto sopra, si ha che il bacino idrografico considerato nella stima delle portate di piena da porre alla base della progettazione delle arginature del Panaro è costituito solo dal bacino a monte dell'area di laminazione di Sant'Anna.

Il tratto oggetto del presente progetto appartiene solo alla terza unità, in particolare all'asta di valle del F. Panaro a valle della cassa, esteso fino al confine tra le province di Modena e Ferrara.

In tale tratto il sistema arginale maestro del fiume Panaro si sviluppa con continuità su entrambe le sponde poco a valle della cassa di espansione. In particolare, in destra idraulica ha origine circa 350 m a valle del manufatto moderatore, dopo l'immissione del diversivo Muzza, mentre in sinistra ha origine alla confluenza del torrente Tiepido, risalendo lungo di esso fino al ponte della via Emilia in località Fossalta di Modena.

Tra la cassa di espansione e la confluenza del torrente Tiepido vi è pertanto un'area "polmone" di espansione delle piene, delimitata in parte da scarpate naturali, in parte da rilevati stradali, in parte da rilevati arginali "secondari". Gli argini maestri si sviluppano poi con continuità giungendo fino al Po, ove si raccordano con le sue arginature maestre.

All'interno degli argini maestri il fiume Panaro è sostanzialmente privo di significative aree golenali, se si eccettuano i primi 8 e gli ultimi 5 chilometri di asta arginata.

## 2.2 EVENTI DI PIENA RECENTI ED ANALISI DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

Quanto di seguito riportato è stato ricavato dal documento *"Area a rischio significativo di alluvione - ARS Distrettuali – Scheda monografica Fiume Panaro dalla cassa di espansione alla confluenza in Po"*.

Gli eventi alluvionali storici di riferimento per l'asta del fiume Panaro sono quelli verificatisi nel 1940 e del 1973. In occasione di quest'ultimo si verificarono 5 rotte arginali con tracimazioni estese complessivamente lungo 8,35 km di cui 4,60 in destra e 3,75 in sinistra, con l'allagamento di estese porzioni della pianura retrostante, tra cui i centri abitati di Bastiglia e Bomporto e il quartiere di Modena Est. L'evento del 1973 fu anche quello in cui fu stimata la massima portata al colmo in prossimità della via Emilia, con valore di circa 1400

m<sup>3</sup>/s a Spilamberto.

A seguito di tali eventi venne realizzata la cassa di espansione, in funzione dal 1982, più volte modificata con ampliamento dei volumi di invaso grazie sia all'ampliamento della superficie che all'innalzamento della quota di sfioro superficiale del manufatto moderatore, tanto che nelle ultime principali piene occorse dal 2008 ad oggi, che hanno messo a dura prova il sistema arginale di valle, non si è mai completamente invasata, mostrando anzi ancora un buon margine di volume di invaso.

Storicamente, gli argini del Panaro, nel tempo ed in seguito agli eventi di piena più rilevanti, sono stati progressivamente rialzati e ringrossati, fino a diventare delle vere e proprie dighe in terra pensili sul piano di campagna, di altezza massima anche di 10 metri e ad oggi non più significativamente adeguabili in quota per raggiunte condizioni limite strutturali. Oltre al rischio di tracimazione, essi sono quindi soggetti ad altre due tipologie di rischio: il rischio di sifonamento e sfiancamento e il rischio di erosione (in molti tratti, sono praticamente in frodo).

Proprio recentemente nel corso dell'evento di piena del 17-19 gennaio 2014, si sono verificati segnali di fragilità (ad es. filtrazioni) che, in assenza di un pronto intervento, avrebbero potuto causare rotte arginali.

Per tali ragioni le proposte di adeguamento del sistema difensivo contenute nel PAI, prevedono soltanto limitati adeguamenti delle quote arginali e puntano sul miglioramento della capacità di deflusso dell'alveo arginato e sul miglioramento della stabilità e resistenza strutturale del sistema arginale maestro.

Le portate di piena di riferimento sono indicate nella tabella 31 dell'apposita Direttiva del PAI, riportata nella Tabella 1.

**Tabella 1 – Portate di piena di riferimento del F. Panaro indicate nel PAI**

Tabella 31: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino del Panaro (Panaro, Tiepido)										
Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km <sup>2</sup>	Q20 m <sup>3</sup> /s	Q100 m <sup>3</sup> /s	Q200 m <sup>3</sup> /s	Q500 m <sup>3</sup> /s	Idrometro Denominazione
		Progr.( km)	Cod.	Denomin.						
Panaro	Panaro	84.029	175	Marano sul P.	696	960	1180	1380	1550	
Panaro	Panaro	104.273	136	San Cesario	759	1030	1270	1480	1660	
Panaro	Panaro	113.283	117	Saliceto P.	1043	780	880	940	-	
Panaro	Panaro	174.940	3	Confl. in Po	1070	780	880	940	-	
Panaro	Tiepido	12.643	31	Gorzano	44	100	155	175	210	
Panaro	Tiepido	25.965	11	San Damaso	67	120	180	200	240	

A valle della cassa di espansione di Sant'Anna, nel PAI è indicato un valore di portata al colmo di riferimento valido per tutto il tratto arginato. Tale valore, assunto pari a 940 m<sup>3</sup>/s, è un valore obiettivo, relativo all'assetto di progetto del corso d'acqua definito nel Piano, sostenibile solo in condizioni di buona manutenzione. Tale valore necessita oggi di attenta verifica, poiché l'attuale capacità del tratto arginato, fortemente condizionata dallo stato di manutenzione della vegetazione dell'alveo e dalla sedimentazione sui piani golenali, risulta complessivamente inferiore.

### 2.3 ANALISI DELLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ E DIAGNOSI DI CRITICITÀ

Quanto di seguito riportato è stato ricavato dal documento “*Area a rischio significativo di alluvione - ARS Distrettuali – Scheda monografica Fiume Panaro dalla cassa di espansione alla confluenza in Po*”.

La mappatura delle aree inondabili è stata effettuata tenendo conto degli eventi di piena storici, delle risultanze dei più recenti studi e delle conoscenze locali fornite dal Servizio Tecnico di Bacino della Regione Emilia Romagna e dall'AIPO.

In linea generale, per lo scenario di piena di elevata e media probabilità, il limite delle aree inondabili è delimitato in corrispondenza del tracciato delle opere arginali esistenti e degli altri elementi di contenimento che costituiscono il sistema difensivo, mentre per lo scenario di piena di scarsa probabilità o di evento estremo, la delimitazione contiene nel suo perimetro tutte le aree allagate nel corso delle rotte storiche.

Più in particolare, il sistema difensivo è composto come segue.

In sinistra idraulica:

- dal sistema delle arginature perimetrali della cassa di espansione e dai suoi manufatti di regolazione,
- dal sistema di rilevati arginali secondari compreso tra la cassa e il Tiepido,
- dal rilevato arginale del torrente Tiepido nel tratto a valle del ponte della via Emilia in località Fossalta, che costituisce argine di rigurgito del Panaro,
- dall'argine maestro sinistro del Panaro che si estende con continuità fino alla confluenza in Po,
- dai manufatti idraulici che regolano l'ingresso in Panaro delle acque dei canali del reticolo secondario naturale e artificiale di pianura.

In destra idraulica:

- dal sistema delle arginature perimetrali della cassa di espansione e dai suoi manufatti di regolazione,
- dall'argine maestro destro del Panaro, che si origina a valle dell'immissione del Diversivo Muzza circa 350 metri a valle del manufatto moderatore della cassa e si estende con continuità fino alla confluenza in Po,
- dai manufatti idraulici che regolano l'ingresso in Panaro delle acque dei canali del reticolo secondario naturale e artificiale di pianura.

Il limite delle aree inondabili per gli scenari di piena di elevata e media probabilità coincide con i rilevati arginali che costituiscono tale sistema e con il limite morfologico di contenimento dei livelli di piena nei brevi tratti privi di rilevati arginali.

In base alle valutazioni a supporto del PAI, tale sistema è adeguato, in quota, rispetto allo scenario di piena di media probabilità, salvo alcuni brevi tratti, in particolare nei pressi di Bondeno. Il sistema risulta invece critico rispetto alla stabilità e resistenza strutturale, per la presenza, in tratti significativi, di froldi, lenti sabbiose sulla fondazione dei rilevati, sagome arginali insufficienti. In relazione a tali inadeguatezze, non sono ancora stati realizzati tutti gli interventi di adeguamento, pertanto permangono attualmente condizioni di criticità, da gestire, in caso di evento, mediante provvedimenti di protezione civile.

Va inoltre tenuto in adeguata considerazione il fatto che l'idoneità in quota del sistema arginale è connessa, nel PAI, a condizioni di buona manutenzione, nelle quali il tratto arginato, è ritenuto adeguato al transito della portata al colmo di  $940 \text{ m}^3/\text{s}$ . Poiché tale valore necessita oggi di attenta verifica, essendo l'attuale capacità del tratto arginato fortemente condizionata dallo stato di manutenzione della vegetazione dell'alveo e dalla sedimentazione sui piani golenali, la possibilità di controllare la portata massima rilasciabile dalla cassa di espansione del Panaro mediante la regolazione con paratoie mobili delle luci di fondo del manufatto moderatore, garantisce notevole flessibilità gestionale rispetto a tale situazione. A tal fine è necessario tuttavia completare le verifiche in corso per definire l'attuale capacità di deflusso del tratto arginato e quindi la portata compatibile a valle della cassa e, di conseguenza, i criteri di regolazione delle luci di fondo del manufatto moderatore, per la laminazione più efficace delle piene di media probabilità.

A completamento del quadro, si evidenzia l'insufficiente protezione idraulica della città di Modena rispetto al reticolo secondario scolante in Panaro. Il canale Naviglio di Modena, che raccoglie le acque di drenaggio urbano di buona parte della città di Modena e le recapita al

Panaro in sinistra idraulica presso Bomporto, è dotato di un sistema arginale alquanto inferiore in quota e pertanto è regolato alla confluenza da porte vinciane che, in caso di alti livelli di Panaro, evitano la risalita delle sue acque nel canale Naviglio, impedendo però allo stesso di scaricare. Non vi sono infatti, né sono in progetto, sistemi alternativi di scarico per pompaggio. E' invece prevista la realizzazione di una cassa di espansione del canale Naviglio nell'area compresa tra il cavo Minutara e il cavo Argine in località Prati di San Clemente.

La possibilità di regolare le luci di fondo del manufatto moderatore della cassa di espansione del Panaro mediante paratoie mobili, garantisce notevole flessibilità gestionale sia rispetto alle condizioni di piena del Tiepido, sia rispetto all'immissione del Naviglio di Modena, sia anche in relazione all'eventuale concomitanza di condizioni critiche del reticolo secondario compreso tra il Secchia e il Panaro a valle di Modena. Tuttavia manca, ad oggi, un protocollo di gestione di tali organi mobili. La questione, ai sensi della normativa vigente dovrà essere esaminata nel Piano di laminazione di competenza regionale.

In relazione all'evento estremo, lo scenario di riferimento è quello che considera la possibile rottura dei rilevati arginali, con o senza tracimazione e il limite delle aree inondabili per tale scenario comprende un'area molto ampia, di circa 1250 km<sup>2</sup>, e include anche tutte le aree allagate nelle rotte storiche.

#### **2.4 ANALISI IDROLOGICO-IDRAULICHE SVOLTE DA UNIMORE**

Lo studio condotto dall'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (UNIMORE) svolto nell'ambito della *“ricerca per lo studio delle interazioni tra grandi opere di sbarramento fluviale, correnti idriche superficiali e sotterranee, con riferimento ai manufatti regolatori ed alle arginature di contenimento: sviluppo di modelli matematici di comportamento della cassa di espansione del fiume Panaro nel Comune di San Cesario sul Panaro (MO), del bacino idrografico di monte e del sistema fluviale di valle (MO-E-1255) (O.P.C.M. 3850/2010 – decreto n. 140/2010 “Piano degli interventi urgenti” della Regione Emilia-Romagna)”, descritto nella “Relazione tecnica sulla verifica funzionale delle arginature del fiume Panaro” (2016), si è occupato delle tre suddette unità di cui si compone il sistema fluviale del Panaro: 1) bacino idrografico di monte, 2) cassa di espansione di Sant'Anna, e 3) asta fluviale di valle per la propagazione dell'onda di piena.*

La prima fase di analisi ha riguardato la definizione della forzante idrologica e la predisposizione del modello idrologico relativo al bacino idrografico di monte, finalizzato a

definire gli idrogrammi di piena con cui verificare il funzionamento idraulico del sistema costituito dalla cassa di espansione e dall'asta fluviale di valle.

Gli idrogrammi ottenuti dall'analisi idrologica del bacino di monte, sono stati propagati all'interno della cassa di espansione di Sant'Anna in modo da descriverne il funzionamento a seguito della sollecitazione con diverse forzanti e di definire i rispettivi idrogrammi rilasciati nel tratto fluviale di valle. Per ciascuno degli idrogrammi in uscita dalla cassa è stata effettuata la propagazione lungo l'asta fluviale di valle in modo da ottenere per ogni sezione considerata l'andamento del livello idrico. La seconda fase dello studio è consistita nell'analisi della sicurezza idraulica della cassa di espansione e dell'asta fluviale di valle considerando sia lo stato attuale di rischio che gli effetti prodotti da una regolazione attiva della cassa di espansione al fine di mitigare il rischio idraulico del sistema fluviale e sfruttare tutte le potenzialità della cassa di espansione. Il funzionamento della cassa di espansione è stato studiato in modo da garantire sempre la sicurezza e l'integrità dell'opera in termini di franco di sicurezza per qualsiasi evento considerato secondo quanto stabilito dalla normativa vigente. Sono state definite portate critiche massime compatibili con l'asta di valle che sono rilasciabili in uscita dal manufatto di sbarramento ed in base ad esse è stata condotta un'analisi di fallanza della cassa di espansione.

In tale fase sono state anche definiti i valori delle portate associate al periodo di ritorno di 50, 100 e 200 anni nel caso in cui si attui una regolazione attiva ottimale delle paratoie nel corso dell'evento di piena. La terza fase dello studio ha considerato la modellazione della filtrazione all'interno del corpo arginale dell'asta fluviale di valle al fine di verificare le condizioni di sicurezza dell'argine in seguito alla propagazione dell'onda di piena. Tale studio ha considerato un livello di piena variabile (condizioni di moto vario) secondo quanto simulato dai codici di calcolo per la propagazione dell'onda di piena lungo l'asta fluviale.

Rimandando alla relazione A.2.2 – “Analisi multicriteria delle soluzioni alternative”, allegata al presente progetto, le ulteriori analisi condotte dagli scriventi in merito al funzionamento della cassa di espansione di Sant'Anna, di seguito si riportano gli idrogrammi di piena e le relative portate al colmo, definite nello studio suddetto, che, in accordo con quanto definito da AIPo nel disciplinare di gara del presente progetto, sono state utilizzate dagli scriventi come portate di riferimento per le analisi idrauliche del fiume Panaro nel tratto a valle della cassa di espansione di Sant'Anna, oggetto del presente progetto. Per maggiori dettagli si rimanda ai contenuti della relazione dello studio svolta da UNIMORE.

## 2.4.1 Sintesi dei risultati delle analisi svolte da UNIMORE

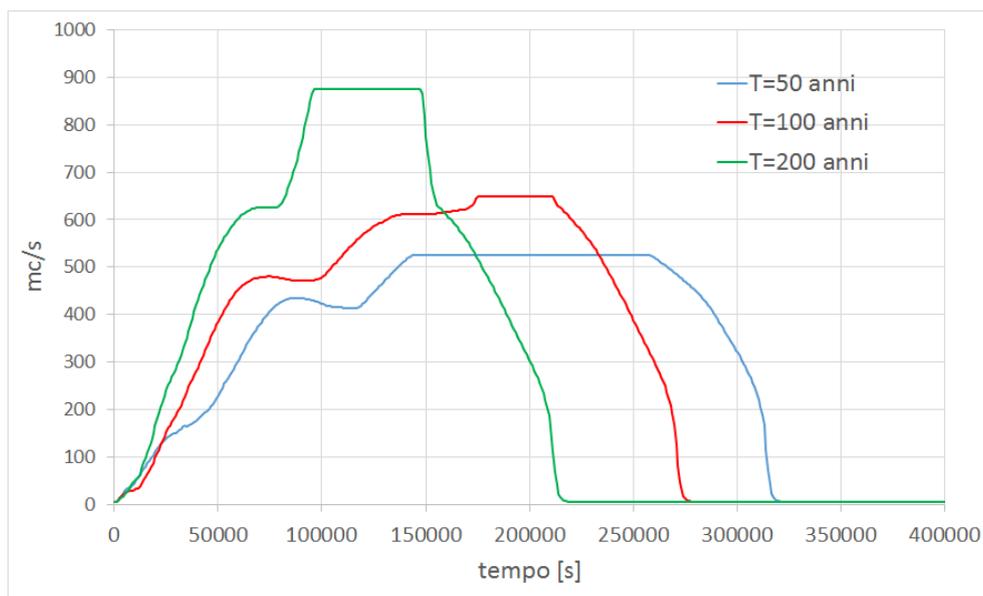
L'UNIMORE ha effettuato la stima delle portate massime che devono essere smaltite dall'asta fluviale di valle con il controllo stazionario e non stazionario degli organi di scarico della cassa di espansione di Sant'Anna, tali per cui il sistema soddisfi un periodo di ritorno di 50, 90, 100, e 200 anni. I valori di portata al colmo calcolati costituiscono la portata di riferimento a cui adeguare l'asta fluviale di valle per garantire condizioni di sicurezza idraulica ad un determinato periodo di ritorno.

I risultati ottenuti da UNIMORE, espressi in termini di portate al colmo per diversi valori del tempo di ritorno, sono riassunti nella successiva Tabella 2, mentre nella successiva Figura 3 sono riportati gli idrogrammi di piena in uscita dalla cassa di laminazione di Sant'Anna, nella configurazione a controllo non stazionario. Tali idrogrammi sono stati utilizzati nell'ambito delle analisi idrauliche svolte dagli scriventi e descritte nel successivo capitolo 0 per dimensionare le opere di adeguamento arginale.

**Tabella 2 – Sintesi dei risultati dello studio UNIMORE**

*Tabella 8. Portata massima rilasciata dalla cassa di espansione di Sant'Anna nell'asta fluviale di valle per assicurare il rispetto di un dato periodo di ritorno del sistema con un controllo stazionario e non stazionario delle paratoie. È stata considerata la configurazione con 5 scarichi di fondo operativi.*

Periodo di ritorno, $T$ (a)	Portata massima gestibile dal sistema fluviale ( $m^3 s^{-1}$ )	
	Controllo stazionario	Controllo non stazionario
50	675	525
90	875	600
100	900	650
200	1100	875



**Figura 3 – Portate di piena in uscita dalla cassa di espansione di Sant’Anna calcolate da UNIMORE**

Dall’analisi dei risultati riportati in Tabella 2 si può osservare che il rischio di eventuale non operatività del controllo non stazionario della cassa di espansione di Sant’Anna è tutt’altro che trascurabile in termini di tempo di ritorno di riferimento delle portate che possono proseguire a valle della stessa verso il tratto arginato; infatti, la mancata operatività del controllo non stazionario equivale al rischio di incrementare il tempo di ritorno da 50 a 100 anni o da 100 a 200 anni.

Si osserva, inoltre, che la portata di piena definita nel PAI, pari a  $940 \text{ m}^3/\text{s}$ , risulta essere compresa tra i valori definiti da UNIMORE per il medesimo valore del tempo di ritorno (200 anni), a seconda della modalità di controllo dell’organo di scarico della cassa.

Attraverso la modellazione idraulica monodimensionale, UNIMORE ha ottenuto i seguenti risultati, di seguito sinteticamente elencati:

- la portata smaltibile dall’asta fluviale a valle della cassa di espansione di Sant’Anna è pari a  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  a meno di tre criticità in sinistra idraulica in prossimità della via Emilia e della confluenza del Tiepido nel Panaro;
- i livelli idrici critici si raggiungono nelle sezioni di monte, per stanti inferiori a 180 (sia in destra che sinistra);
- con la portata di  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  non è soddisfatto il franco di sicurezza minimo di 1 m per molte sezioni nel tratto di monte dell’asta fluviale compreso tra la cassa di espansione di Sant’Anna e l’abitato di Camposanto;

- i livelli di piena raggiunti con le altre portate soglia di regolazione con controllo non stazionario sono maggiori e comportano un incremento del numero di sezioni e della lunghezza dell'alveo interessati da fenomeni di insufficienza per superamento della quota massima del rilevato arginale;
- il profilo di piena definito nel PAI, corrispondente alla portata di piena duecentennale di  $940 \text{ m}^3/\text{s}$ , è inferiore rispetto ai profili determinati con il modello implementato dalla stessa Università considerando valori di portata al colmo in uscita dalla cassa pari a 450, 500, 600 e  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  (quest'ultimo valore è caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni senza regolazione ottimale della casse). Tali differenze sono imputabili sia al differente grado di dettaglio delle sezioni con cui sono stati implementati i modelli, sia in relazione al processo di taratura. Il modello dell'Università è stato tarato in base ai livelli misurati durante la piena del 2009, tenendo quindi conto della fitta presenza all'interno dell'alveo di vegetazione arbustiva ed arborea, che induce un rallentamento della corrente ed un innalzamento del profilo di piena;

Nello studio i meccanismi di crisi del sistema fluviale considerati da UNIMORE sono stati determinati esclusivamente dall'asta principale del fiume Panaro, per cui la confluenza del torrente Tiepido non è stata valutata come fonte di criticità idraulica. Tale scelta è stata motivata dal fatto che i bacini idrografici del fiume Panaro e del torrente Tiepido hanno caratteristiche geomorfologiche differenti per cui il tempo di corrivazione del bacino del Panaro risulta di circa tre volte superiore a quello del Tiepido. La contemporanea e sinergica composizione delle due piene fluviali risulta possibile, ma con bassa probabilità per cui si è proceduto all'analisi delle sole criticità date dalla forzante del fiume Panaro.

Nello studio citato si afferma che *“nel caso in cui il contributo del torrente Tiepido non si ritenga trascurabile, per mantenere il rischio idraulico del sistema fluviale coerente con quanto presentato nel presente studio, per la cassa di espansione di Sant'Anna sarà necessario fare riferimento a portate soglia minori”*. Nella relazione A.2 – *“Analisi multicriteria delle soluzioni alternative”*, allegata al presente progetto di fattibilità tecnico-economica, sono state effettuate dagli scriventi delle analisi preliminari relative a:

- stima degli idrogrammi di piena del T. Tiepido,
- verifica dell'eventuale concomitanza tra i picchi di piena del F. Panaro e del T. Tiepido,
- effetti della regolazione in tempo reale delle paratoie dello sbarramento della cassa di Sant'Anna, per tener conto della possibile concomitanza delle piene del T. Tiepido in

modo da garantire i medesimi valori di portata sopra definiti a valle della confluenza del Tiepido.

Milano, novembre 2018

**I PROFESSIONISTI INCARICATI:**

**ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.**

**Prof. Ing. Alessandro Paoletti**

**STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI**

**Dott. Ing. Stefano Croci**

**ING. CLAUDIO MARCELLO s.r.l.**

**Dott. Ing. Carlo Claudio Marcello**

**STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA**

**Dott. Geol. Mario Spada**

**A+C\_ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO**

**Arch. Paola Cavallini**

**A TUTTO PROGETTO – STUDIO ASSOCIATO DEI GEOMETRI PAOLO MASSARA E  
FILIPPO BELLONI SOCIETA' SEMPLICE**

**Geom. Paolo Massara**

**SAP SOCIETA' ARCHEOLOGICA S.R.L.**

**Dott. Agostino Favaro**