

Fiume Mincio

Opere idrauliche di II categoria

MN-E-394-M

CUP: **B64H15000070002**

CIG:



Agenzia Interregionale per il fiume Po



Regione
Lombardia



Progetto Definitivo / Esecutivo

Lotto **B**

ELABORATO

Relazione idraulica

UBICAZIONE OPERE

Comune di Mantova
Località Ponte dei Mulini

DATA: Agosto 2018

AGG. -

SCALA:

-

COMMITTENTE

AIPO - Ufficio operativo di Mantova

Vicolo Canove, 26 - 46100 Mantova

tel. + 39 0376320461

fax. + 39 0376320464

e-mail: ufficio-mn@agenziapo.it

Raggruppamento temporaneo d'impresa

POLARIS - STUDIO ASSOCIATO



HYDRODATA S.p.a.



ENGEO S.r.l.



SAP S.r.l.



Legale rappresentante
della Capogruppo R.T.I.



Responsabile unico del procedimento

Ing. Ivano Galvani

Il Coordinatore alla Progettazione

Ing. Marcello Moretti

Assistente

Dott. Paolo Michelini

Lavori di ripristino funzionale del manufatto a sostegno del Lago Superiore denominato "Vasarone", a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012

2.a

1. Premessa

La presente relazione idraulica fa riferimento ai lavori di "ripristino funzionale del manufatto a sostegno del Lago Superiore denominato "VASARONE", a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012", la cui progettazione è stata affidata alla scrivente A.T.I.

Il manufatto di scarico denominato "Vasarone" è l'opera principale di regolazione dei livelli del Lago Superiore e di scarico delle acque del Mincio nel Lago di Mezzo e Inferiore, e costituisce un'opera strategica per la sicurezza della città di Mantova nel contesto dell'articolato complesso "sistema della difesa idraulica della città di Mantova". Il manufatto idraulico di scarico è costituito da tre luci, con portate dagli ordinari $12 \div 20 \text{ m}^3/\text{sec}$ fino a $78 \div 80 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Esso ha la configurazione conseguente all'ammodernamento realizzato dopo il bombardamento del 1944 e la piena del 1951 ed è prevalentemente in muratura. Superiormente vi transita la ex S.S. 62 "Cisa", prima ANAS attualmente di competenza del Comune di Mantova.



Figura 1-1 – Conformazione del manufatto del "Vasarone"

A seguito degli eventi sismici del maggio 2012 che hanno evidenziato un quadro fessurativo significativo, un malfunzionamento con blocco parziale dei movimenti delle paratoie delle luci inferiori e un degrado materico elevato soprattutto delle volte e delle strutture murarie, l'Ente gestore ha avviato la realizzazione degli interventi di cui al presente Progetto Definitivo, ponendosi i seguenti obiettivi prioritari:

- **ristrutturazione dell'opera, le cui condizioni di funzionalità e sicurezza sono state compromesse dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012, per renderne possibile la piena funzionalità, il relativo recupero statico, idraulico ed architettonico;**
- **la messa in sicurezza secondo quanto prescritto dalla normativa vigente rispetto alle sollecitazioni di tipo sismico (adeguamento sismico);**
- **la perfetta funzionalità idraulica delle paratoie di regolazione, essenziale per il controllo dei livelli idrici del Lago Superiore, a tutela della sicurezza della città rispetto alle condizioni di piena che possono interessare il fiume Mincio e il sistema idrografico minore che in esso recapita.**

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Finalità della presente relazione idraulica valutare la compatibilità con riferimento agli aspetti idraulici, delle soluzioni progettuali proposte, con specifico riferimento a:

- verifica della quota di sommità delle nuove paratoie con riferimento agli scenari di rischio attesi (con particolare riferimento ai livelli di monte ed alle quote attese per l'evento di riferimento duecentennale);
- verifica della quota delle opere provvisorie (panconature) necessarie per la fase di cantierizzazione e per i successivi interventi di manutenzione sulle nuove paratoie;
- verifica della officiosità idraulica del manufatto, anche con riferimento alla portata turbinata in corrispondenza del manufatto della "Vasarina";
- verifica degli scenari di cantierizzazione, con particolare riferimento alla officiosità residua dei singoli canali di scarico che dovranno essere alternativamente e temporaneamente chiusi per la realizzazione in sicurezza degli interventi in progetto;
- verifica della compatibilità delle nuove opere con gli interventi di mitigazione del rischio idraulico prescritti dal PGRA.

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

2. Stato attuale

Rimandando alla relazione generale per i dettagli relativi alla conformazione geometrica e materica del manufatto, nel seguito si richiama la descrizione delle opere attualmente esistenti deputate alla regolazione dei livelli idrometrici nel lago Superiore.

In particolare le opere di regolazione idraulica sono costituite da n. 3 paratoie "a ghigliottina", installate negli anni 60', che vanno ad occludere, secondo necessità i tre canali di scarico. Tutte le paratoie sono costruite in carpenteria metallica verniciata ma hanno principi di funzionamento differenti in funzione delle luci che devono occludere.

2.1. Paratoie P1 e P2

Le due paratoie più piccole (circa 300 x 400 cm) denominate P1 e P2, ubicate planimetricamente a SUD, sono posizionate verso l'imbocco del canale di scarico, nella posizione originaria del 1843. Le gargamature originali in granito sono state sostituite con elementi in acciaio UNP 200 collegati alla struttura in pietra mediante un getto in calcestruzzo. La movimentazione del manto avviene mediante l'impiego di un motore elettrico con riduttori che azionano delle "viti senza fine". Tutto l'impianto di movimentazione è installato su due travi in acciaio UNP 220 fissate a pilastri in calcestruzzo armato di dimensioni 50 x 50 cm. Lo scorrimento e la tenuta delle paratoie avviene per attrito della battuta laterale con il gargame. Sia la struttura delle paratoie che le gargamature denunciano uno stato di degrado avanzato essendo presenti fenomeni di ossidazione ed usura estesi.

Inoltre gli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 hanno indotto fenomeni deformativi nei castelli di sostegno tali da impedire le normali operazioni di manovra; infatti i riduttori sono installati su sensori di consenso alla manovra che garantiscono la corretta discesa della paratoia senza creare frizioni o forzature. A seguito dell'evento sismico, durante le normali operazioni di manutenzione, si è potuto constatare che durante la discesa delle paratoie il consenso alla manovra veniva negato. Le indagini successive hanno evidenziato che in alcuni punti delle gargamature le paratoie vanno a strisciare contro le guide generando un attrito acciaio-acciaio (le guarnizioni sono ormai usurate) che non riesce ad essere vinto dal sistema di controllo elettro meccanico. Questo fenomeno è legato anche a un lieve disassamento dell'allineamento dei gargami dovuto anch'esso all'evento sismico.

Come anticipato in precedenza il compito principale del "Vasarone" è quello di sostenere i livelli idrici del Lago Superiore ed impedire un deflusso troppo rapido delle acque nel Lago di Mezzo. A seguito della "Grande sistemazione della difesa idraulica della città di Mantova" le portate che devono essere gestite oggi consentono di effettuare la regolazione utilizzando alternativamente lo scarico principale o i due scarichi minori. Per ovviare quindi al problema di non poter garantire la chiusura tempestiva e completa delle due paratoie minori si è optato, in attesa dell'intervento di ripristino, di forzare la chiusura delle stesse.

Con riferimento ai due canali di scarico, si precisa che gli stessi presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- Paratoia P1 (in destra idraulica): luce pari a 2,99 m, lunghezza complessiva pari a circa 28,80 m, fondo orizzontale rivestito con quota variabile da 13,91 a 13,90 m s.m. circa; voltino con quota di intradosso pari a circa 19,10 m s.m.;
- Paratoia P2 (al centro): luce pari a 3,00 m, lunghezza complessiva pari a circa 28,80 m, fondo orizzontale rivestito con quota variabile da 13,93 a 13,89 m s.m. circa; voltino con quota di intradosso pari a circa 19,20 m s.m.;

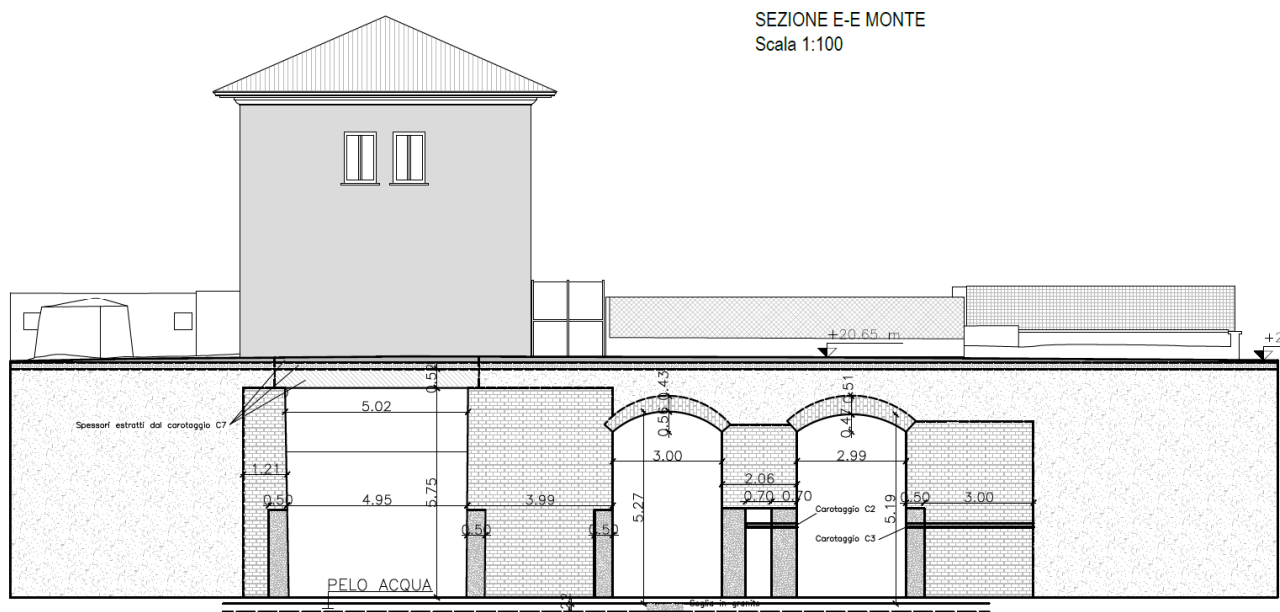


Figura 2-1 – Prospetto da monte delle luci dei canali di scarico

2.2. Paratoia P3

La paratoia principale (circa 530 x 400 cm) denominata P3 è posizionata più a valle rispetto all'imbocco del canale di scarico, in una nuova posizione rispetto alla posizione originaria del 1843, infatti nel dopoguerra, contestualmente all'allargamento della sede carrabile della ex S.S. 62 si è provveduto al trasferimento dello sbarramento nella posizione odierna.

Sono state realizzate delle nuove gargamature in granito che successivamente sono state rivestite con elementi in acciaio UNP 220 e lamiera sagomata dello spessore di 7 mm; il fissaggio dei gargami è avvenuto mediante tassellature diametro 18 mm disposte su due file una a monte e una a valle del gargame con interasse di circa 40 cm. La movimentazione del manto avviene mediante l'impiego di un motore elettrico con riduttori che azionano delle catene. Tutto l'impianto di movimentazione è installato su due travi in acciaio UNP 240 che appoggiano su dei ringrossi della muratura costituente l'involucro dell'edificio di alloggiamento; i ringrossi, di dimensioni 45 x 100 cm, sono costituiti da mattoni pieni in laterizio rivestiti con intonaco.

Collegata alle travi di sostegno della paratoia è presente anche una passerella, sempre in acciaio, che facilita le operazioni di ispezione e manutenzione degli organi meccanici; a questa si accede mediante scala alla marinara. Lo scorrimento, diversamente dalle altre due paratoie, avviene mediante l'ausilio di ruote in acciaio, mentre la tenuta avviene per attrito della battuta. Sia la struttura delle paratoie che le gargamature denunciano uno stato di degrado avanzato essendo presenti fenomeni di ossidazione ed usura estesi. Inoltre gli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 hanno generato la deformazione dei riscontri di battuta della tenuta idraulica oltre che un lieve disassamento dell'allineamento dei gargami. I danni subiti hanno in seguito generato una degenerazione ulteriore dei gargami che vengono usurati in maniera non uniforme dalle ruote di scorrimento, soprattutto in seguito all'installazione del sistema di telecomando coordinato con la regimentazione della centrale idroelettrica della "Vasarina".

Oggi, per garantire un flusso continuo di acqua alla turbina della centrale e contemporaneamente mantenere i livelli idrici dei Laghi, la regolazione sia delle paratoie della "Vasarina" che di quelle del "Vasarone" è gestita da un software che privilegia l'alimentazione della centra idroelettrica mantenendo quindi normalmente aperta la regolazione della "Vasarina" e continuando ad operare movimenti sulla paratoia del "Vasarone" per gestire il deflusso. Questo incremento di movimenti rispetto al passato ha indotto una degenerazione più rapida degli elementi costituenti il sistema già sottoposti ad una significativa usura. I danni riscontrati alle battute laterali oggi non garantiscono più la perfetta tenuta laterale della paratoia;

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

evidenza di questo si è avuta durante l'esecuzione delle prove materiche durante le quali è stato impossibile realizzare alcuni carotaggi in corrispondenza del canale principale per la continua corrente generata dalla seppur limitata trafilatura d'acqua.

Sulle strutture in acciaio sono state effettuate delle prove di durezza dalle quali si è ricavato il carico di rottura a trazione; la media delle resistenze dedotte risulta pari a 485 MPa che correlata alla classificazione odierna dell'acciaio si inserisce tra un S275 e un S355.

Con riferimento al canale di scarico, questo presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

- Paratoia P3 (in sinistra idraulica): luce pari a 4,95 m, lunghezza complessiva pari a circa 28,60 m, fondo orizzontale rivestito con quota variabile da 13,95 a 13,90 m s.m. circa; soletta piana con quota di intradosso pari a circa 19,68 m s.m.;

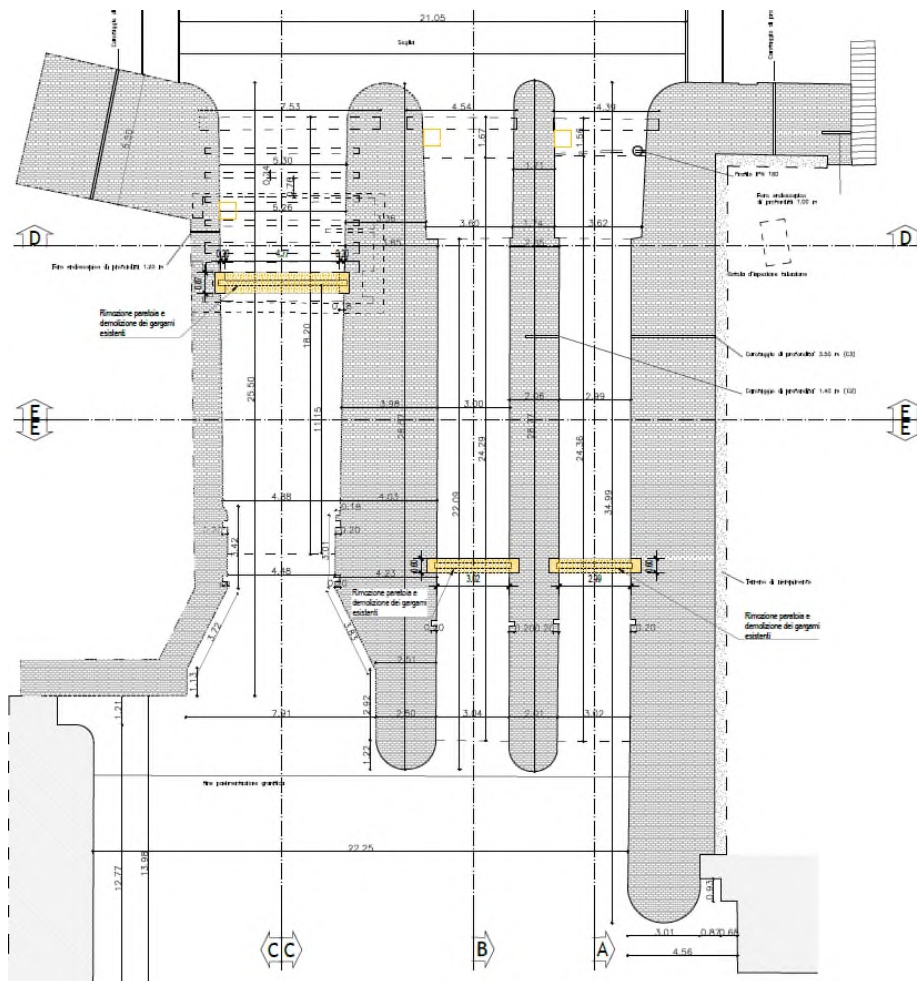


Figura 2-2 – Pianta lungo i canali di scarico del manufatto del Vasarone

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

2.3. Manufatto della Vasarina

E' già stato indicato come la regolazione dei livelli dei laghi Superiore e di Mezzo venga attuata, da parte dei tecnici AIPO, tenendo in debita considerazione la portata di concessione della centralina idroelettrica realizzata e gestita da TEA in corrispondenza del manufatto della Vasarina.

Il disciplinare di concessione (rep. N° 6125 del 09.07.2007) concede una derivazione media giornaliera pari a 10,65 m³/s ed una portata massima istantanea pari a 10,90 m³/s.

Tale manufatto riveste una evidente importanza per la realizzazione degli interventi di cui alla presente relazione, in quanto la capacità residua di scarico del sistema complessivo durante la fase di cantiere dovrà garantire una capacità di portata di scarico idonea per garantire la sicurezza dell'intero nodo di Mantova.

A tale proposito si sottolinea come siano stati acquisiti dallo scrivente ATI i disegni di contabilità dell'opera, che si caratterizza per la assenza di un manufatto di by-pass della turbina. In tale situazione un eventuale fuori servizio dell'impianto di fatto annulla qualsiasi possibilità di scaricare, attraverso la Vasarina, alcuna portata residua, con la impossibilità di utilizzare tale nodo in ausilio al manufatto principale durante la fase di cantiere in cui saranno parzializzate le luci di scarico.

3. Interventi in progetto

Gli interventi in progetto sono orientati prioritariamente all'adeguamento sismico del manufatto di scarico e delle opere di regolazione idraulica (paratoie con le relative gargamature, castelli di sostegno e opere elettromeccaniche) oltreché al miglioramento sismico dell'edificio di contenimento della paratoia principale. Inoltre si provvederà ad un intervento di restauro del bene monumentale.

Rimandando alla relazione generale per la descrizione degli interventi in progetto con riferimento all'adeguamento sismico del manufatto (che non ne modificano la officiosità idraulica), qui si richiamano sinteticamente i dettagli degli interventi sulle paratoie e sulle panconature.

3.1. Opere di regolazione idraulica

3.1.1. Schema di riferimento

Per facilitare la lettura della presente relazione si ritiene opportuno inserire uno schema di riferimento (vedi pagina successiva) nel quale sono riportate le sigle delle 3 paratoie e dei 6 panconi (3 di monte e 3 di valle) previsti in progetto con le relative dimensioni.

- Partendo dalla destra idraulica e andando verso sinistra le paratoie, tutte alte 4.20 m, sono:
P1 della larghezza di 3.14 m; P2 della larghezza di 3.14 m; P3 della larghezza di 4.90 m;
- mentre i panconi di monte, sempre da destra verso sinistra, tutti alti 4.20 m, sono:
PM1 della larghezza di 3.38 m; PM2 della larghezza di 3.38 m; PM3 della larghezza di 4.87 m;
- mentre i panconi di valle tutti alti 1.70 m, sempre nel medesimo senso, sono:
PV1 della larghezza di 3.95 m; PV2 della larghezza di 3.95 m; PV3 della larghezza di 5.43 m;

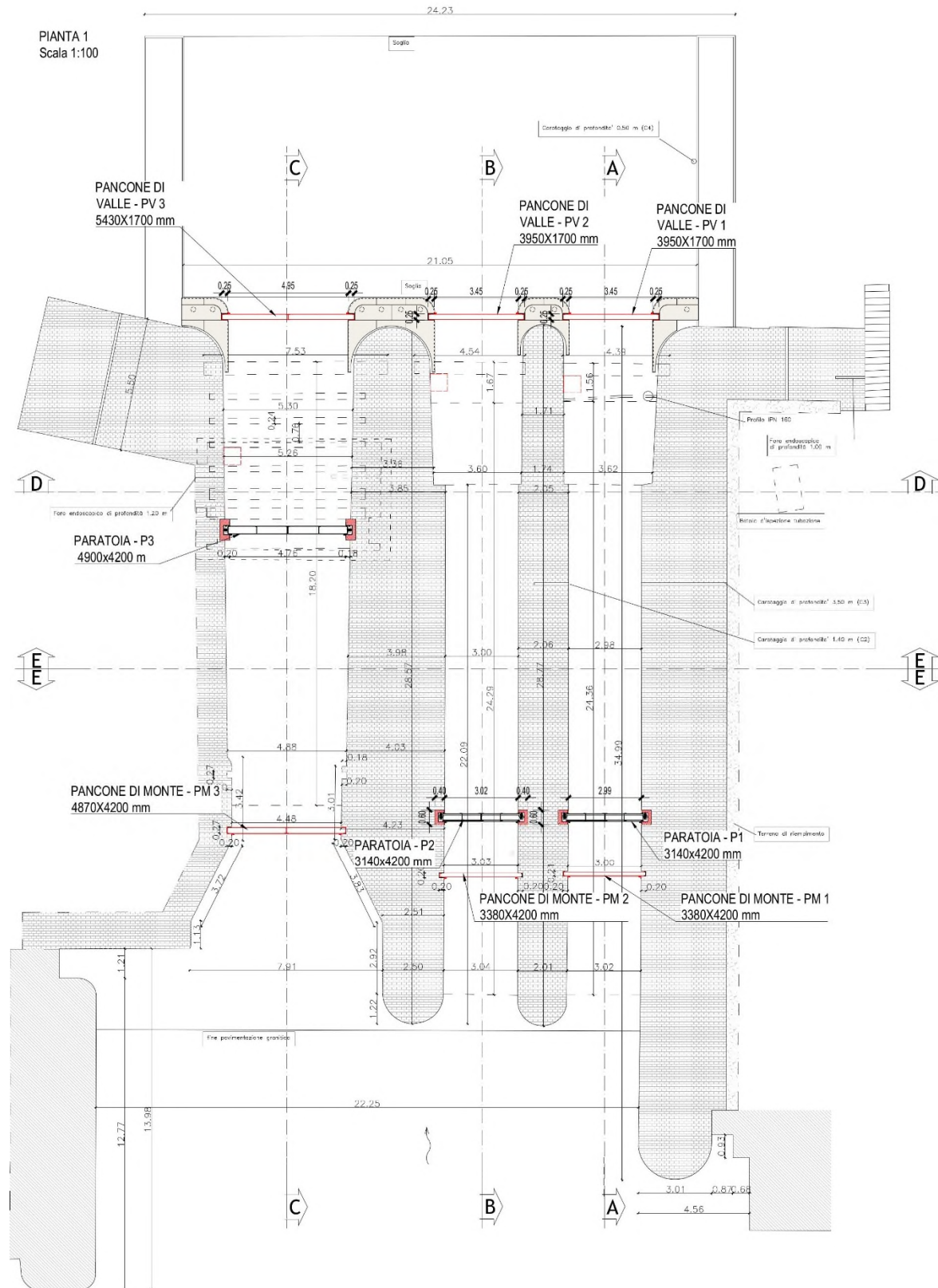
3.1.2. Paratoie

Come già ricordato è fondamentale garantire il mantenimento dei livelli idrici a monte delle paratoie ricompresi tra le quote +17.50 m s.m. e +17.80 m s.m. mentre a valle i livelli normalmente si attestano tra le quote +14.20 e +14.50 m s.m. ma in condizioni di piena straordinaria possono raggiungere anche i 17.50 m s.m.. Considerato che il piano di scorrimento dell'acqua a monte è di 13.95 m s.m. e a valle è di 13.90 m s.m., la sommità dei panconi a monte e delle paratoie di regolazione (tutti/e di 4.20 m di altezza corrispondente a quella attuale della paratoia principale), sarà pari all'incirca a 18.15 m s.m. mentre quella dei panconi a valle, tutti alti 1.70 m, sarà pari a 15.60 m s.m.. Quindi la sommità delle paratoie e dei panconi di monte garantirà un franco minimo di circa 35 cm rispetto al livello massimo di riferimento mentre a valle, in condizioni ordinarie, il franco supererà anche il metro di altezza.

Tutte le paratoie saranno motorizzate e saranno a tenuta in spinta sui tre lati e saranno tutte munite di un sistema di ruote disposte in direzioni perpendicolari tra loro per agevolare il movimento verticale e contemporaneamente prevenire l'impuntamento/ingallonnamento laterale durante le manovre. Le ruote delle paratoie saranno realizzate in materiale autolubrificante per favorire il movimento verticale delle paratoie stesse.

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO



RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Il movimento verticale di ciascuna delle paratoie di regolazione sarà comandato ed azionato da due vitoni non salienti disposti ad una certa distanza tra di loro in posizione simmetrica rispetto al baricentro della paratoia stessa in modo tale da avere un sistema di sollevamento il più possibile equilibrato. I vitoni lungo i quali, grazie alla vite senza fine, si muoverà la struttura della singola paratoia saranno normalmente alloggiati e protetti all'interno di tubi camicia posizionati nello spessore delle paratoie. Nella posizione di paratoia completamente aperta i vitoni saranno quasi completamente all'interno delle camicie di protezione e quindi saranno mascherati dal mantello della paratoia; al contrario con la paratoia completamente abbassata i vitoni saranno visibili, da una certa distanza, per tutta la parte che emergerà dal piano circostante. La rotazione ai vitoni sarà impressa dai riduttori che saranno a loro volta collegati agli attuatori da alberi di trasmissione connessi ai componenti meccanici mediante giunti (in totale per ogni paratoia sono previste due aste di trasmissione e quattro giunti).

Il movimento agli attuatori sarà impresso da motori elettrici ed in caso di emergenza da motori a scoppio o a batterie o anche manualmente mediante gli appositi volantini di manovra. I motori elettrici con i loro attuatori saranno posizionati centralmente rispetto alle paratoie ed ai vitoni per il sollevamento.

Per maggiori ulteriori dettagli costruttivi, anche con particolare riferimento al sistema di automazione e di telecontrollo, si rimanda alla relazione descrittiva allegata al presente progetto Definitivo/Esecutivo.

4. Sistema idraulico di difesa della città di Mantova

La città di Mantova è posta lungo la sponda destra del fiume Mincio, che nel tratto forma i tre laghi – Superiore, di Mezzo e Inferiore – che la circondano su tre lati; il corso d'acqua prosegue a valle per altri 15 km circa e confluisce in Po a valle dei manufatti idraulici e del centro abitato di Governolo.

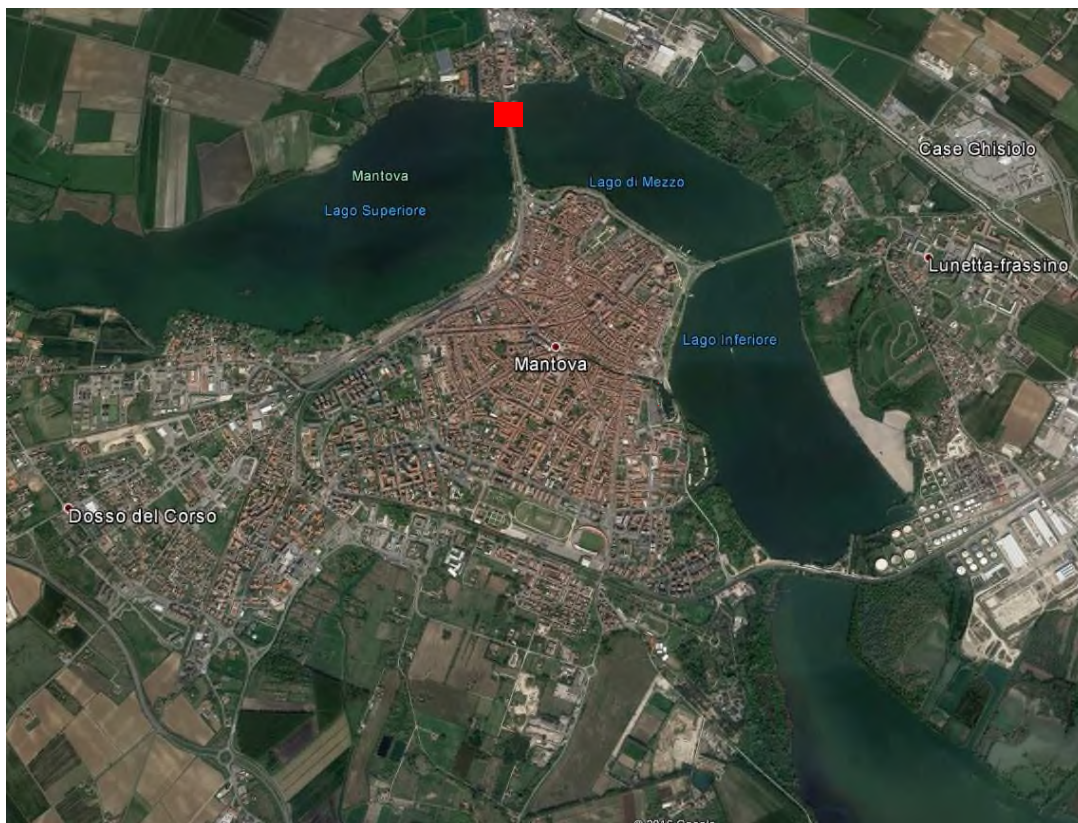
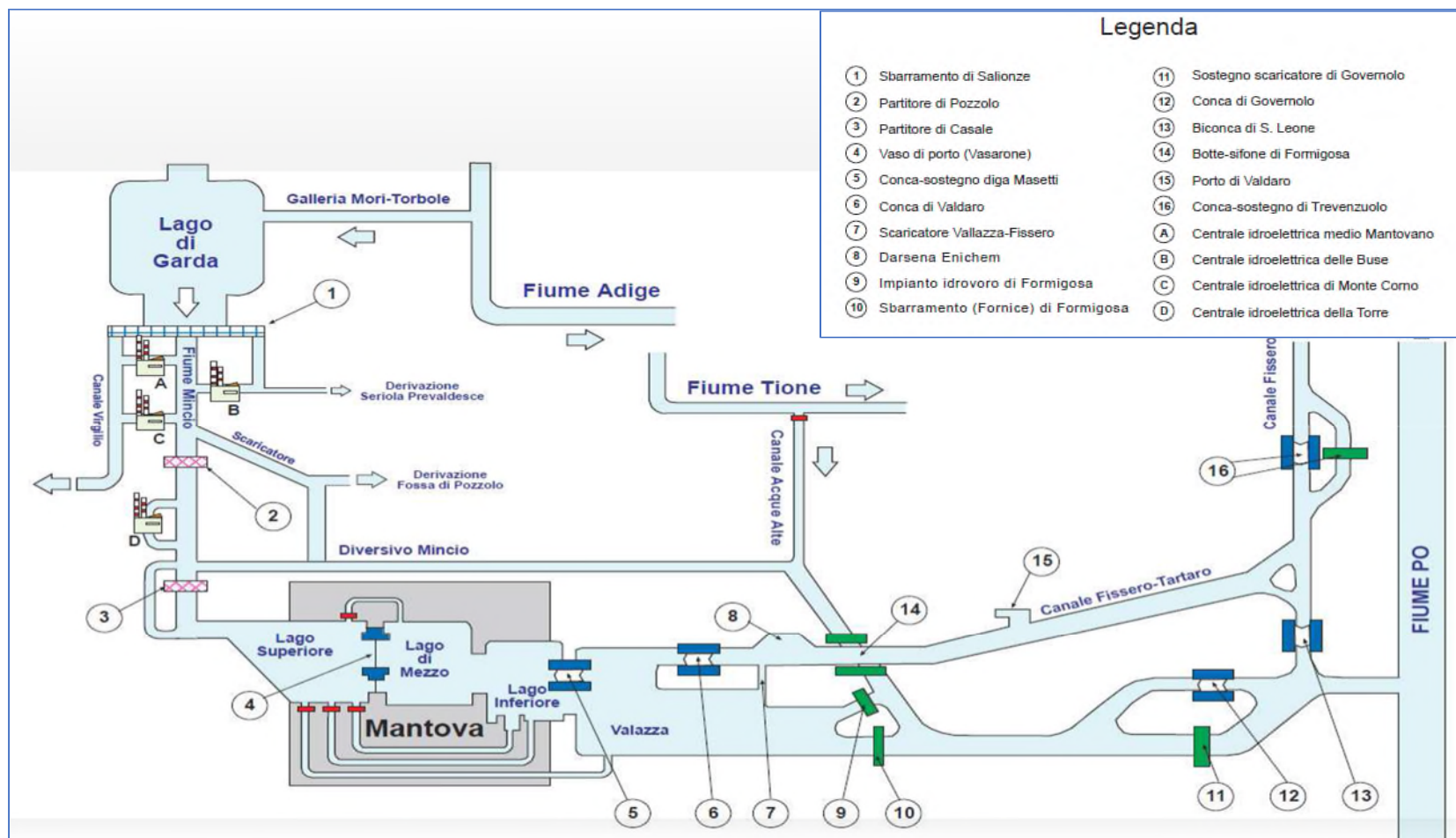


Figura 4-1 - Città di Mantova e fiume Mincio. Localizzazione del manufatto del Vasarone

L'intero corso d'acqua, dal lago di Garda alla confluenza in Po, per complessivi 70 km circa, è regolato artificialmente da un complesso sistema di opere che sono finalizzate all'utilizzo della risorsa idrica (sfruttando i consistenti volumi invasati nel lago) e alla gestione degli eventi di piena.

L'intera area urbana di Mantova, posta circa a 50 km dalla presa sul lago all'altezza di Peschiera, è protetta rispetto alla pericolosità di inondazione dall'insieme delle opere di regolazione, la cui articolazione è schematizzata nel grafico di Figura 4-2.



RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Figura 4-2 - Rappresentazione schematica del sistema di regolazione del fiume Mincio.

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO

35



MANDANTE



MANDANTE

MANDANTE
PAG. 12/35

PAG.

12/

4.1. Sistema di regolazione del fiume Mincio

Il fiume Mincio ha origine dal lago di Garda, il cui regime idrometrico è regolato dallo **sbarramento di Salionze**, ubicato poco a monte di Monzambano e circa 5 km a valle di Peschiera del Garda, entrato in funzione nel 1951 del secolo scorso.



Figura 4-3 - Sbarramento di Salionze

L'edificio regolatore è costituito da uno sbarramento in muratura lungo 72 m a più luci regolate da paratoie piane; le luci centrali servono come scarico di fondo e immettono l'acqua nel Mincio; le luci di destra alimentano il canale Virgilio che eroga portate per uso irriguo e industriale; una luce in sinistra alimenta il canale irriguo-industriale di Seriola.

Le luci consentono il deflusso una portata massima complessiva di 200 m³/s che costituisce la portata di piena massima che può interessare l'alveo del corso d'acqua nel tratto a valle e che è sostanzialmente contenuta all'interno delle sponde incise dello stesso.

Le due derivazioni in destra e sinistra possono convogliare rispettivamente 30 m³/s nel canale Virgilio e 7 m³/s nel canale Seriola.

Circa 14 km a valle di Salionze (alla progressiva km 19,5) vi è il **partitore di Pozzolo**, che consente di deviare parte delle portate in arrivo, fino a un massimo di 130 m³/s, nel canale **Scaricatore Pozzolo – Maglio**.

Lo scaricatore si distacca in sinistra e ha un percorso di circa 13 km al termine dei quali confluisce, con bocca libera a stramazzo, nel **canale Diversivo**, in località Soave di Porto Mantovano.

Lungo il corso del Mincio, circa 12 km a valle di Pozzolo, in località Sacca di Goito, è localizzato il **partitore di Casale**, che consente di regolare le portate verso valle nel fiume e nei laghi di Mantova: esso viene chiuso completamente in concomitanza delle piene del fiume Po, quando, con la chiusura del fornace di Formigosa, devono essere annullate le portate defluenti nel Mincio, a salvaguardia della città di Mantova.

Il partitore deriva la portata residua del Mincio proveniente da monte (70 m³/s) e la immette nel **canale Diversivo**, che è in grado di ricevere, oltre allo Scaricatore di Pozzolo, anche i modesti apporti di alcuni corsi d'acqua minori intercettati.

Il canale Diversivo corre a nord delle Valli del Mincio e del Lago Superiore e consente la difesa idraulica della città di Mantova in caso di piene concomitanti di Garda, Adige e Po, permettendo di bypassare l'urbanizzato della città capoluogo. Al di sotto del Diversivo scorrono i sifoni che permettono agli adduttori della sinistra idrografica di raggiungere il Mincio.



Figura 4-4 - Partitore di Pozzolo, con tratto iniziale del canale Scaricatore Pozzolo - Maglio (a) e partitore di Casale, con tratto iniziale del Diversivo (b)

Il Diversivo, ricevute le acque del canale Acque Alte (che ha funzione di scolmatore delle acque di piena del fiume Tione, in territorio veronese) e superato con un sifone il canale navigabile Fissero - Tartaro - Canalbianco, si immette nel Mincio appena a valle dello sbarramento di Formigosa.

Dal lago Superiore, le portate in ingresso nel lago di Mezzo sono regolate dalla diga del Vasarone.

I livelli idrometrici ordinari regolati sono di 14,4 m s.m. (minima $14,10 \div 14,20$ m s.m., massima ordinaria pari a 14,50 m s.m.) per i laghi di Mezzo e Inferiore, e di 17,5 m s.m. per il lago Superiore. Per il lago Superiore la massima quota idrometrica compatibile è pari a 17,80 m s.m., mentre il lago di Mezzo può raggiungere, in condizioni di piena straordinaria, la quota di 17,40 m s.m.

Dal lago Inferiore, superato il sostegno della diga Masetti, il deflusso prosegue nella Vallazza e nel basso corso del Mincio. A Valdaro sono in corso i lavori di completamento della Conca che permetterà di connettere sia idraulicamente che per la navigazione il fiume Mincio con il Canale Fissero - Tartaro - Canalbianco. La Vallazza e il basso Mincio sono regolati dal sostegno di Govemolo e, in caso di piena del fiume Po, dal manufatto di Formigosa.

Il fornace e controfornace di Formigosa è il principale manufatto idraulico per il contenimento dei livelli del Po che, in caso di piena eccezionale, possono raggiungere la città di Mantova risalendo il corso del Mincio. L'opera interrompe la continuità idraulica dei laghi col Mincio inferiore e, quindi, col Po.

Va tenuto conto in proposito che i livelli di massima piena del Po nella sezione di confluenza con il Mincio (sez. Brioschi 47) sono pari a 23,00 m s.m. per il tempo di ritorno di 200 anni e a 22,38 m s.m. secondo le elaborazioni SIMPO'82 (PAI, Direttiva sulla piena di progetto - Autorità di bacino del fiume Po).

Il fornace di Formigosa, al contempo, impedisce alle acque in eccesso del Mincio, che confluiscono nel tratto a sud del partitore di Casale, di defluire nel basso corso, verso il Po.

Nel nodo idraulico di Formigosa, particolarmente complesso, si distinguono le seguenti opere:

- **doppio fornace di sbarramento, per la chiusura completa a protezione della città rispetto all'ingresso da valle delle acque di piena del Po;**
- **impianto di sollevamento (impianto di Valdaro) che permette lo scarico verso valle delle portate in transito nel tratto di fiume Mincio dal partitore di Casale fino al sistema dei laghi cittadini; consente di sollevare una portata massima di 50 m³/s;**
- **scaricatore di Vallazza-Fissero, che può scaricare nel canale Fissero - Tartaro - Canalbianco la portata massima di 30 m³/s, quando viene chiuso il fornace di Formigosa, in alternativa alla messa in funzione dell'impianto di sollevamento di Valdaro;**

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

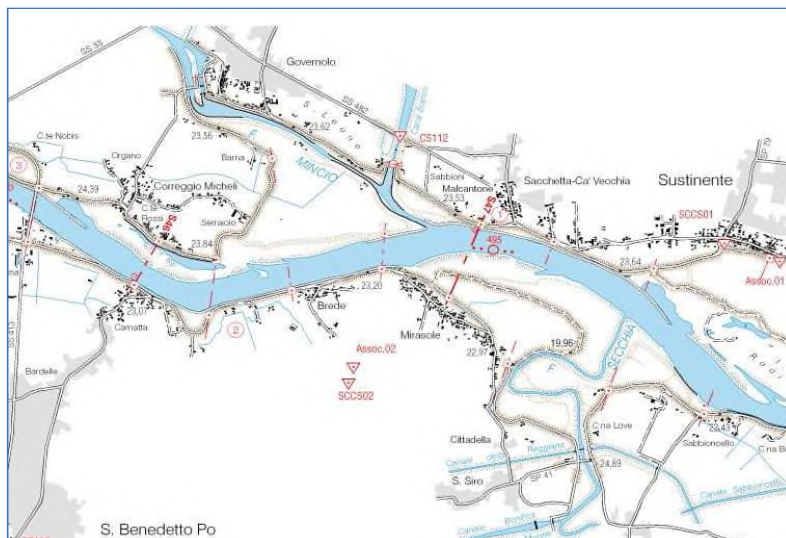


Figura 4-5 - Planimetria della confluenza fiume Po – fiume Mincio (AIPo)

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



Figura 4-6 - Nodo idraulico di Formigosa – A =Diversivo; B = sifone; C = canale navigabile Fisero – Canal Bianco; D = Fornice e controfornice; E = idrovore; F= scaricatore Vallazza-Fisero; G = conca di Valdaro

- sottopasso a sifone del canale Diversivo rispetto al canale Fisero - Tartaro - Canalbiano (portata massima circa 230 m³/s).

Ultimo elemento di regolazione è costituito dalla **traversa di Governolo**, posta circa 3 km a monte della confluenza in Po, costituita dall'opera di sostegno sul lato destro (su cui insiste una centrale idroelettrica) e dalla conca di navigazione verso la sponda sinistra. L'opera non svolge attualmente funzioni di regolazione idraulica delle piene, ma costituisce lo sbarramento di regolazione delle quote di minima dei Laghi di Mantova (14,10÷14,20 m s.m.).

Prima della confluenza in Po vi è infine la conca di navigazione di San Leone, in loc. Sacchetta di Sustinente, che collega il Mincio e il Po al canale navigabile Fisero-Canalbiano.

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



Figura 4-7 – Sostegno di Governolo e conca di S. Leone

4.2. Portate e livelli idrometrici di piena nei laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore

Il controllo delle portate di piena lungo l'asta del Mincio, in relazione alle diverse opere di regolazione sopra descritte, è stato realizzato per disconnettere i laghi di Mantova dai livelli di piena del Po.

I sistemi idrici in gioco, in relazione alla descrizione del sistema di regolazione complessivo sopra riportata, sono i seguenti:

- **il fiume Mincio;**
- **i laghi di Mantova (Superiore, di Mezzo, Inferiore);**
- **la Vallazza, prolungamento del lago Inferiore; in caso di piena del fiume Po chiusa a Formigosa;**
- **il Canale Diversivo, che deriva a Casale di Goito e scarica a valle di Formigosa;**
- **il canale navigabile Fissero-Tartaro-Canalbianco.**

La regolazione avviene secondo le modalità di seguito illustrate.

1. La portata massima rilasciata dal lago di Garda attraverso lo sbarramento di **regolazione di Salionze** è pari a 200 m³/s; ad essa non è facilmente assegnabile un tempo di ritorno; rappresenta piuttosto il limite fisico superiore dell'opera di regolazione.
2. Durante i periodi di chiusura del **Fornice di Formigosa**, le portate di Mincio provenienti dal bacino del Garda e dalla porzione di bacino situata in sinistra idrografica e chiusa a Casale di Goito vengono deviate dal corso naturale del fiume

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

e immesse nel Diversivo che, dopo aver attraversato i territori a nord di Mantova, le restituisce al fiume immediatamente a valle del Fornice.

3. i volumi di piena provenienti dal cosiddetto "bacino residuo", cioè dal bacino dei corsi d'acqua affluenti di destra del Mincio o che afferiscono direttamente ai laghi di Mantova (Goldone, Marchionale, Osone, Piubega, Gozzolina), vengono temporaneamente invasati nei laghi e scaricati in parte a valle della Vallazza tramite la stazione di **pompaggio di Valdaro** (portata massima 50 m³/s). La stazione di pompaggio viene avviata quando il livello idrico nei laghi di Mezzo e Inferiore raggiunge la quota di 17,0 m s.m. La stazione venne realizzata nel 1960 come opera provvisoria e destinata ad essere successivamente eliminata, nella logica di una sistemazione complessiva del nodo idraulico che privilegiasse lo scarico a gravità, attraverso il sistema degli scolmatori.
4. Lo **scaricatore della Vallazza** — oggi in esercizio — in grado di convogliare a gravità nel Canale Fissero - Tartaro la portata massima di 30 m³/s, che può integrare o sostituire il pompaggio di Valdaro.
5. Va infine ricordato lo **Scolmatore di nord-est**, in gran parte già realizzato e in via di prossima ultimazione, della lunghezza di 4 km circa, che avrà la finalità di intercettare le acque del Canale Goldone in condizioni di piena, scaricandole nel Mincio circa 4 Km a monte dell'attuale confluenza, in modo da poterle immettere all'interno del Diversivo (portata massima deviata prevista di 36 m³/s).
6. Il **canale scolmatore di nord-ovest**, di cui non è prevedibile la realizzazione, è stato progettato con la finalità di intercettare i restanti affluenti di destra del Mincio (Caldone, Seriola Marchionale, Osone) in condizioni di piena, scaricandoli nell'Oglio a monte del comune di Marcaria.

In relazione, invece, al **controllo dei livelli dei laghi e del tratto di Mincio a valle** dei laghi stessi, il sistema è progettato per funzionare nel modo seguente:

- **il livello di regolazione ordinario del lago Superiore, di 17,50 m s.m. è governato, come già indicato, dal manufatto regolatore del Vasarone, al Ponte dei Mulini, che lo disconnette idraulicamente dal lago di Mezzo; a supporto del manufatto, la cui regolazione è gestita da parte di AIPO, si rileva come in corrispondenza del manufatto della Vasarina sia stata installata una centrale idroelettrica gestita da TEA S.p.a., il cui disciplinare di concessione permette (vedi disciplinare rep. N° 6125 del 09.07.2007) una derivazione media giornaliera pari a 10,65 m³/s ed una portata massima istantanea pari a 10,90 m³/s;**
- **il livello di regolazione ordinario del lago di Mezzo e del lago Inferiore è di 14,10-14,20 m s.m., è governato dal manufatto regolatore di Governolo, poco a monte della confluenza in Po, che sostiene così anche il livello del tratto di Mincio a valle dei laghi di Mantova;**
- **il livello di massima piena del lago di Mezzo, del lago Inferiore e della Vallazza, fino a Formigosa è governato dallo sbarramento di Formigosa, che viene completamente chiuso, e che unitamente ai sistemi di scarico descritti consente di mantenere il valore limite pari a 17,40 m s.m.**

Il livello idrometrico massimo di 17,40 m s.m. è dunque la quota di massima escursione dei laghi di Mezzo e Inferiore.

Per quanto concerne il livello massimo di piena, non appare possibile una stima probabilistica, in modo da poter assegnare un tempo di ritorno al livello massimo, trattandosi di un livello regolato attraverso un sistema complesso, totalmente gestito da AIPO sede di Mantova. La serie storica dei livelli massimi annui dei laghi Superiore a monte, e di Mezzo e Inferiore a valle, sulla base della quali si potrebbero eseguire le consuete elaborazioni di tipo probabilistico, non può infatti essere considerata una serie omogenea rispetto ai fenomeni di piena.

Una valutazione di carattere qualitativo può essere effettuata sulla base dei dati idrologici del sistema, registrati nelle stazioni di misura nel periodo recente, con riferimento particolare alle situazioni di piena.

Per quanto concerne le portate di piena, dal 1950 ad oggi, i maggiori eventi si sono verificati nel novembre del 1985, con una portata al colmo allo sbarramento di Salionze di 185 m³/s; nell'ottobre 2000, quando all'elevata portata in uscita dal lago di Garda (superiore a 150 m³/s) si sono aggiunte le condizioni critiche del livello di Po (livello al colmo pari a 21,74 m s.m. alla confluenza del Mincio). Nel maggio 2013 la portata del Mincio a Pozzolo ha superato i 170 m³/s e nello scolmatore Pozzolo – Maglio è stato scaricato un massimo di 140 m³/s.

Considerando i livelli idrometrici orari all'idrometro di Vasarone, sia sul lago superiore che sul lago di Mezzo, gestito da AIPO e che fornisce i dati dal novembre 2010 fino alla data odierna, si possono trarre le seguenti considerazioni:

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

- **livelli idrometrici del lago Superiore:** i livelli presentano delle variazioni comprese all'interno di un range di ± 25 cm centrato sulla quota di regolazione di 17,50 m s.m.

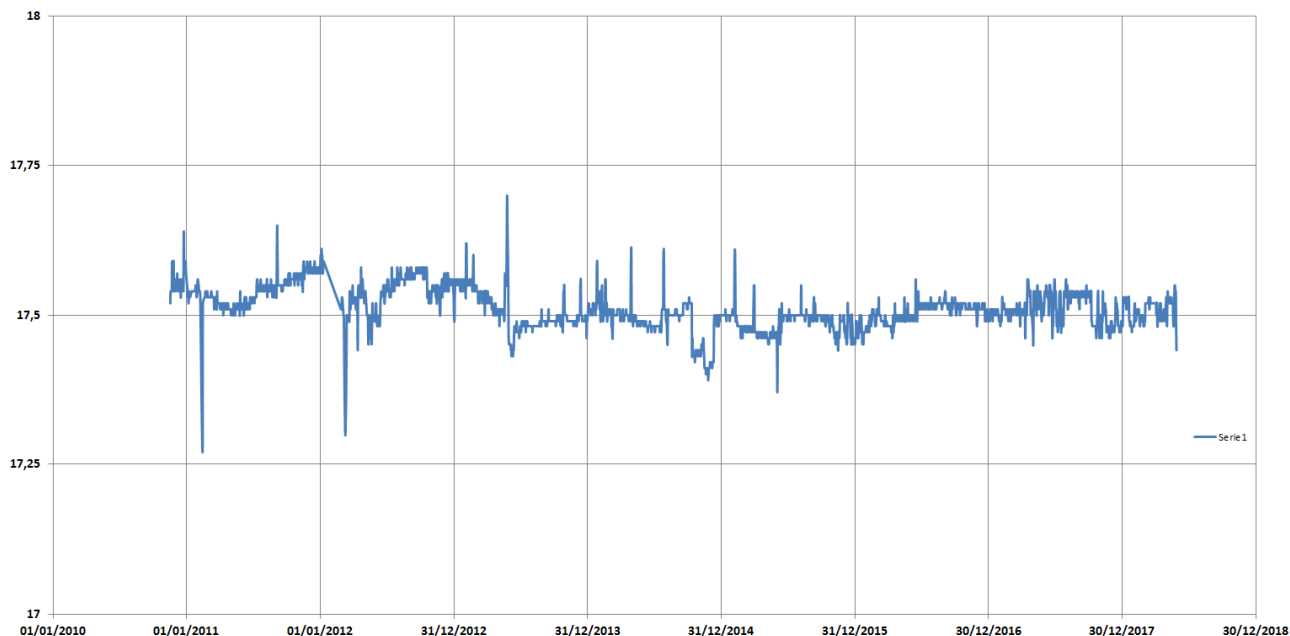


Figura 4-8 -- Livelli idrometrici del lago Superiore all'idrometro di Vasarone nel periodo 2010 – 2018

- **livelli idrometrici del lago di Mezzo:** alcuni eventi hanno manifestato valori superiori alla quota ordinaria media regolata di 14,40 m s.m., anche se appare con evidenza la tendenza delle quote a raggrupparsi su tale grandezza per gran parte delle durate, come del resto atteso. Situazioni tipiche di piena, che naturalmente coincidono con afflussi in portata elevati, si manifestano ad esempio nel 2013 e nel 2014, quando viene superata abbondantemente e per una durata consistente la quota 15,00 m s.m., con punte che superano i 16,00 m s.m.

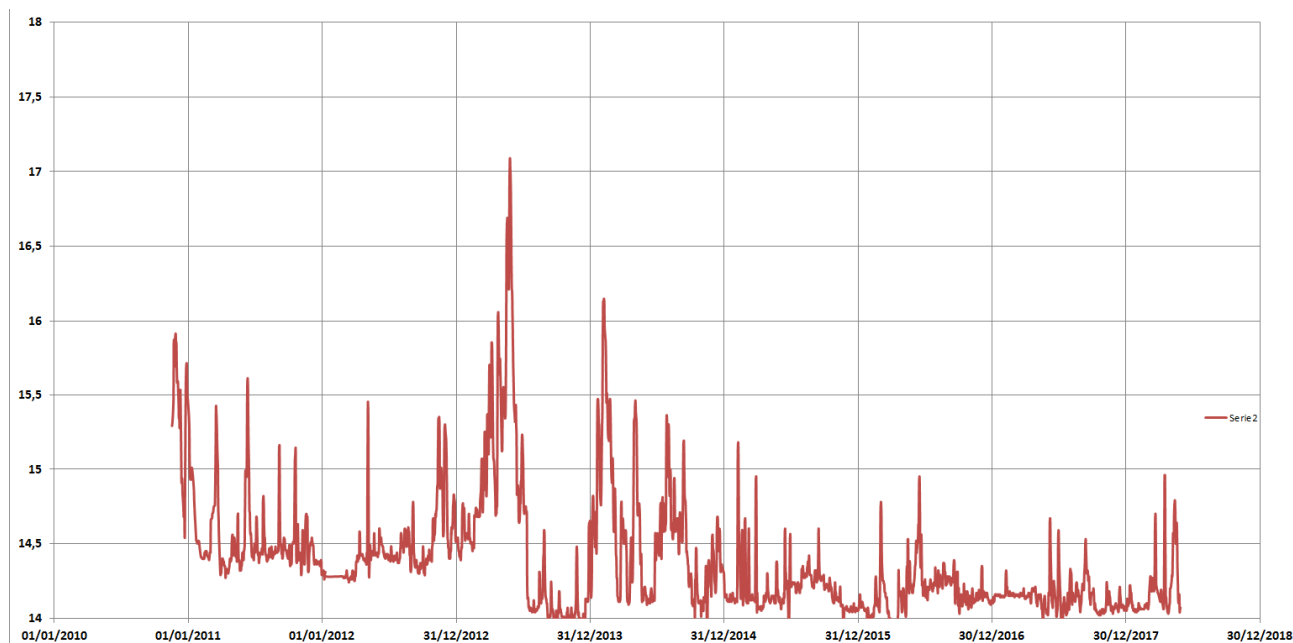


Figura 4-9 -- Livelli idrometrici del lago di Mezzo all'idrometro di Vasarone nel periodo 2010 – 2018

4.3. Inquadramento del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) e del Piano di Gestione del rischio Alluvioni (PGRA)

L'assetto idraulico dei corsi d'acqua principali e i relativi fenomeni di inondazione, che determinano condizioni di rischio idraulico, sono affrontati nel PAI attraverso la delimitazione delle fasce fluviali, condotta secondo un metodo che definisce tre distinte fasce:

- **la fascia A o fascia di deflusso della piena, è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente; per la delimitazione della stessa si assume quella più ampia fra:**
 - la porzione dell'alveo ove defluisce almeno l'80% della portata di riferimento; all'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0,4 m/s (criterio prevalente per i corsi d'acqua mono o pluricursali);
 - il limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata di riferimento (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);
- **la fascia B o fascia di esondazione, esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni dimensionate per la stessa portata; la delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:**
 - le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
 - le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale;
- **la fascia B di progetto è costituita da quella parte della fascia B in cui il contenimento dei livelli idrici di piena è affidato a opere idrauliche non esistenti e programmate nell'ambito dello stesso PAI; la fascia B di progetto è ricondotta alla fascia B nel momento in cui le opere previste sono realizzate, "in conformità al tracciato dell'opera idraulica eseguita";**

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

- la fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, è costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Come portata catastrofica si assume la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con 500 anni di tempo di ritorno. Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione viene effettuata con gli stessi criteri adottati per la fascia B; per i corsi d'acqua arginati, l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambe applicabili) in relazione alle altezze idriche relative alla piena:
 - altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini;
 - altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.

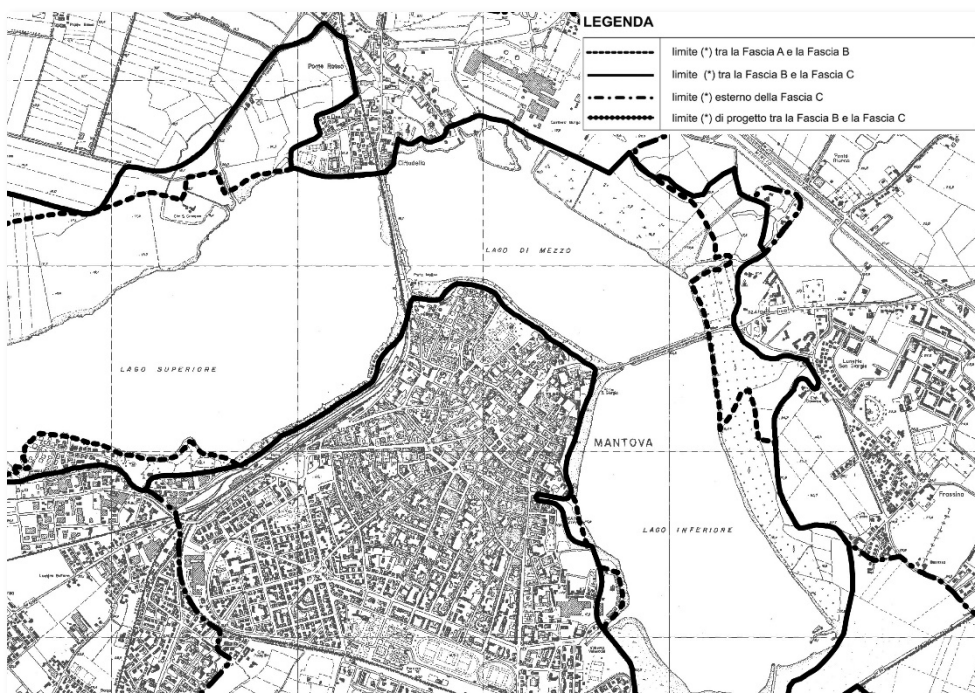


Figura 4-10 - Estratto del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico

Il "Vasarone" è interamente ricompreso all'alveo principale del fiume Mincio e pertanto è classificato in fascia A, mentre territori limitrofi di Cittadella sono classificati in fascia C al pari di tutta la città.

Un ulteriore elemento che permette di caratterizzare dal punto di vista idrometrico i laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore è costituito dalle mappe di pericolosità redatte dall'Autorità di bacino del fiume Po nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), in attuazione della Direttiva 2007/60/CE, adottata con il D.lgs. 49/2010.

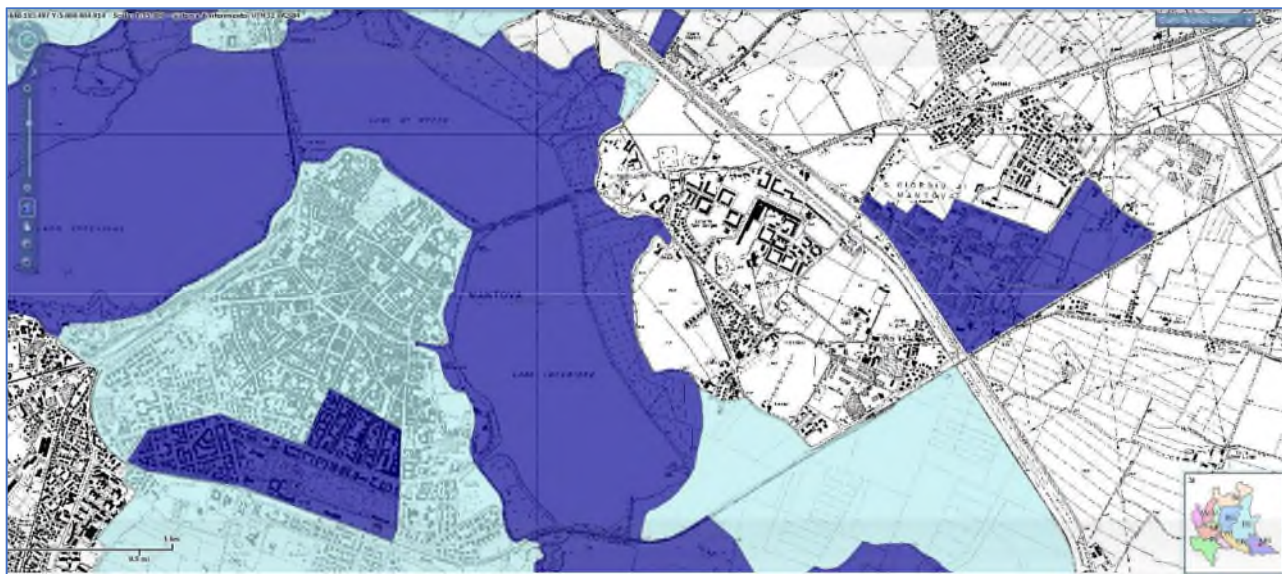


Figura 4-11 - Mappa della pericolosità di inondazione lungo il fiume Mincio, in corrispondenza dei laghi di Mantova. Blu scuro = alluvioni frequenti, pericolosità elevata. Azzurro = alluvioni rare, pericolosità bassa. Autorità di bacino del fiume Po, Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)

In attuazione di quanto previsto dalla Direttiva, la mappatura della pericolosità è stata predisposta secondo la seguente classificazione, in funzione della quale sono state perimetrate le aree inondabili:

- alluvioni frequenti (H), rappresentate da eventi di piena con tempo di ritorno di $30 \div 50$ anni; a questa condizione corrisponde un'elevata pericolosità (H);
- alluvioni poco frequenti (M), rappresentate da eventi di piena con tempo di ritorno di $100 \div 200$ anni; a questa condizione corrisponde una pericolosità moderata (M);
- alluvioni rare (L), rappresentate da eventi di piena con tempo di ritorno fino a 500 anni; a questa condizione corrisponde una pericolosità bassa (L).

L'analisi della mappa permette le seguenti considerazioni:

- la perimetrazione delle aree soggette ad alluvioni frequenti (tempo di ritorno di $30 \div 50$ anni) viene fatta coincidere con quella delle aree inondabili per frequenza moderata (tempo di ritorno di $100 \div 200$ anni); esternamente alle precedenti viene pertanto rappresentato solamente il perimetro delle aree soggette ad alluvioni classificabili come rare, cioè con tempo di ritorno tra 200 e 500 anni;
- il livello idrometrico di 17,40 m s.m., che rappresenta il massimo di piena regolato nei laghi di Mezzo e Inferiore, risulta essere con buona approssimazione il valore rispetto al quale è stata perimetrata l'area che rappresenta le alluvioni frequenti e quelle moderate, a tale valore è stato di conseguenza associato nel PGRA un tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni.
- In analogia il livello idrometrico di 17,80 m s.m., che rappresenta il massimo di piena regolato nel lago Superiore, risulta essere con buona approssimazione il valore rispetto al quale è stata perimetrata l'area che rappresenta le alluvioni frequenti e quelle moderate, a tale valore è stato di conseguenza associato nel PGRA un tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni.

4.3.1. Scheda Monografica della Città di Mantova

Si richiama quanto riportato nella scheda Monografica della Città di Mantova, che conferma la descrizione del funzionamento del nodo già descritta in precedenza al precedente par. 4.1.

Descrizione dell'ARS

La città di Mantova è posta lungo il fiume Mincio, circa 50 km a valle del lago di Garda e 15 km a monte della confluenza nel fiume Po, ed è soggetta a significative condizioni di pericolosità e di rischio di alluvione che interessano buona parte del territorio comunale sia in sponda destra, dove è presente il centro storico, che in sponda sinistra.

L'area a rischio significativo della Città di Mantova interessa tutto il tratto del fiume Mincio in Comune di Mantova e racchiude il territorio delimitato dal perimetro delle aree inondabili dello scenario di piena di scarsa probabilità chiuso a monte nei pressi dell'ingresso al Lago Superiore, e a valle, oltre la confluenza del Diversivo del Mincio, con un'estensione di circa 44 kmq.

Essa comprende tutte le aree potenzialmente inondabili in seguito a scenari di rottura dei rilevati arginali maestri del Mincio e del Po.

Tale territorio, ad alta densità insediativa, è ricco di servizi di primaria importanza, infrastrutture viarie di rilevanza nazionale, attività produttive e agricole. Una parte di esso si trova in condizioni altimetriche tali da essere potenzialmente inondabile anche per eventi di rottura del sistema arginale del Po.

Descrizione dettagliata del sistema difensivo e di regolazione

Le opere idrauliche che compongono tale sistema, procedendo da monte verso valle, sono le seguenti:

- sbarramento regolatore del livello idrometrico del Lago di Garda (e delle portate di piena rilasciate a valle del lago), detto "diga di Salionze", localizzato tra Ponti sul Mincio e Monzambano;
- sistemazione idraulica del Mincio da Salionze a Pozzolo per il deflusso della portata di 200 m³/s (tratto parzialmente arginato, nel quale sono presenti diverse derivazioni e restituzioni);
- sbarramento di regolazione localizzato sul Mincio di fronte all'abitato di Pozzolo, detto "partitore di Pozzolo", che consente di deviare parte delle portate del fiume, fino a 130 m³/s, nel canale Scaricatore Pozzolo – Maglio;
- canale Scaricatore Pozzolo - Maglio, con presa dalla sponda sinistra del Mincio, nei pressi dell'abitato di Pozzolo (Comune di Marmirolo), attivabile mediante il "partitore di Pozzolo" e regolato anche dallo sbarramento sullo scaricatore stesso a Mareghello; termina il suo corso scaricando le acque nel canale Diversivo, con bocca libera a stramazzo, in località Soave di Porto Mantovano;
- sbarramento di regolazione localizzato sul fiume Mincio in località Sacca di Goito, detto "partitore di Casale", che consente di regolare le portate verso valle nel fiume e nei laghi di Mantova: esso viene chiuso completamente in concomitanza delle piene del fiume Po, quando viene chiuso anche il fornice di Formigosa a salvaguardia della città di Mantova;
- canale Diversivo del Mincio, con presa (libera) nei pressi di Casale di Goito (località Sacca in Comune di Goito), attivabile mediante il partitore di Casale, in grado di derivare tutta la portata del Mincio proveniente dal partitore di Pozzolo pari a 70 m³/s e di ricevere l'apporto di alcuni piccoli affluenti;
- sbarramento del Ponte dei Mulini presso la città di Mantova, che serve alla regolazione del livello del Lago Superiore e delle portate in scarico verso valle, nel lago di Mezzo, tramite le paratoie del Vaso di Porto o "del Vasarone" e della Vasarina;
- nodo di Formigosa costituito da:
 - doppio fornice di sbarramento, per la chiusura completa a protezione della città rispetto all'ingresso da valle delle acque di piena del Po;
 - impianto di sollevamento ("impianto di Valdaro") per lo scarico verso valle delle portate in transito nel tratto di fiume Mincio dal partitore di Casale fino al sistema dei laghi cittadini e al doppio fornice di Formigosa;

RELAZIONE IDRAULICA**RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:**

- scaricatore di Vallazza-Fissero, che può scaricare nel canale Fissero - Tartaro - Canal Bianco la portata massima di 30 m³/s, quando viene chiuso il fornice al nodo di Formigosa ed in alternativa alla messa in funzione dell' impianto di sollevamento di Valdaro;
- botte a sifone, costituita dal sottopasso del canale Diversivo al canale Fissero - Tartaro -Canal Bianco, in modo da far transitare le portate di monte, fino a 330 m³/s, oltre le arginature di difesa idraulica, verso il fiume Po;
- sbarramento di Governolo, per la regolazione del Lago di Mezzo, del Lago Inferiore e del basso corso del Mincio;
- conca navigazione di Governolo, posta in fregio allo sbarramento, consente la continuità della linea di navigazione Mincio-Po, superando la differenza di quota fra i due fiumi.

Analisi di criticità

Le principali criticità del sistema in dettaglio descritto riguardano:

- la necessità costante di manutenzione del tratto sistemato a monte di Pozzolo;
- la soggiacenza ai livelli di piena della parte della città di Mantova che si sviluppa nei pressi della sponda destra del Lago Superiore;
- l'entità significativa degli apporti in piena dei canali di scolo del reticolo di pianura che recapitano in Mincio tra Salionze e Mantova;
- la promiscuità delle funzioni del reticolo di pianura, così che, nella stagione irrigua, gli apporti al sistema del Mincio da tale reticolo possono diventare maggiori di quelli previsti e precedentemente descritti;
- la vetustà dell'impianto di sollevamento di Valdaro, obsoleto e inaffidabile, e la vetustà degli altri dispositivi di regolazione, sebbene in miglior stato di manutenzione rispetto a Valdaro;
- la necessità del consolidamento e della manutenzione del partitore di Casale, dello sbarramento del Vasarone e dei dispositivi del nodo di Formigosa;
- la vetustà dell'impianto di regolazione del canale Fissero – TartaroCanal Bianco in località Trevenzuolo di Ostiglia, la cui regolazione permette di far defluire le acque di piena del Mincio, lo scolo dei terreni del bacino tributario e, non ultima, il mantenimento della quota di invaso per la navigabilità dell'idrovia;
- la necessità di completamento del sistema di telerilevamento e telecontrollo per la gestione in tempo reale del nodo idraulico;
- la vulnerabilità della città di Mantova rispetto all'ingressione delle acque di piena del Po, in caso di rottura dell'argine maestro sinistro del Po nel tratto di confluenza;

Viste le vulnerabilità riscontrate il PGRA suggerisce gli interventi da porre in atto per la mitigazione del rischio tra i quali:

MIGLIORARE LA PERFORMANCE DEI SISTEMI DIFENSIVI ESISTENTI - Garantire una adeguata manutenzione degli alvei e dei sistemi difensivi	Eseguire il consolidamento e la manutenzione straordinaria dei partitori di Pozzolo e Casale, del Vasarone, dei dispositivi del nodo di Formigosa e del manufatto del Trevenzuolo sul canale Fissero Tartaro Canal-Bianco
MIGLIORARE LA PERFORMANCE DEI SISTEMI DIFENSIVI ESISTENTI - Garantire una adeguata manutenzione degli alvei e dei sistemi difensivi	Realizzare gli interventi già programmati e finanziati riguardanti il completamento del sistema di telerilevamento e telecontrollo per la gestione in tempo reale del nodo idraulico di Mantova
MIGLIORARE LA PERFORMANCE DEI SISTEMI DIFENSIVI ESISTENTI - Garantire	Sviluppare il programma di ammodernamento generale dei dispositivi di controllo e regolazione dei deflussi del fiume Mincio ed individuarne le fonti di finanziamento

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

una adeguata manutenzione degli alvei e dei sistemi difensivi	
--	--

Le opere in progetto sono orientate verso gli indirizzi prioritari indicati nel PGRA.

4.4. Dati idrologici ed idrometrici per il dimensionamento delle opere in progetto

Sulla base delle considerazioni espresse in precedenza, occorre precisare che:

- che per quanto concerne i dati di dimensionamento idrologici, non appare possibile una stima probabilistica, in modo da poter assegnare un tempo di ritorno al valore di portata massimo, trattandosi di valori regolati attraverso un sistema complesso (in primis lo sbarramento all'incile del Lago di Garda), totalmente gestito da AIPO sede di Mantova;
- La serie storica dei livelli massimi annui dei laghi Superiore a monte, e di Mezzo e Inferiore a valle, sulla base della quali si potrebbero eseguire le consuete elaborazioni di tipo probabilistico, non può essere considerata una serie omogenea rispetto ai fenomeni di piena.

Con tali premesse il dimensionamento delle opere in progetto è stato svolto con le seguenti assunzioni:

- **Portata di massima piena in arrivo al manufatto del Vasarone, a cui è possibile associare un tempo di ritorno congruente con il valore di riferimento di norma (duecentennale) pari a $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$;**
- **Lago Superiore: livello medio pari a 17,50 m s.m., con oscillazioni possibili di $\pm 0,30 \text{ m}$, in corrispondenza dei quali si raggiunge il livello di massima piena pari a 17,80 m s.m.**
- **Lago di Mezzo: livello medio pari a 14,40 m s.m., con oscillazioni possibili di $\pm 0,20 \text{ m}$; livello massimo di piena 17,40 m s.m.**

5. Valutazione della capacità di deflusso dei canali di scarico del manufatto del Vasarone

La tipologia delle opere in progetto non determina alcuna modifica alla capacità di scarico dei singoli canali di scarico del manufatto del Vasarone, in quanto:

- Con riferimento alle opere di adeguamento sismico e di ripristino materico delle lesioni esistenti, queste saranno realizzate senza modificare la conformazione geometrica dei canali;
- Con riferimento alle opere di regolazione idraulica, i gargami saranno realizzati in modo da non determinare alcuna riduzione della sezione utile di scarico; le paratoie saranno dimensionate in modo da potere essere completamente aperte ad una quota superiore a quella di massima piena in corrispondenza del lago Superiore, in modo da garantire la massima officiosità del manufatto.

Per la valutazione della capacità di deflusso dei canali di scarico in ragione della conformazione delle opere, si è ritenuto, con la riserva di effettuare eventuali approfondimenti modellistici nell'ambito della successiva fase progettuale, di adottare la schematizzazione mediante l'applicazione del metodo della Federal Highway Administration (FHWA) denominato "Inlet/Outlet Control".

Le leggi che regolano il deflusso di una corrente attraverso un manufatto assimilabile ad un tombino si rifanno all'idraulica dei canali a pelo libero sino a quando la corrente non è a sezione piena. In letteratura sono disponibili numerosi studi effettuati da diversi autori (Marnell, Nagler, Woodward, Mavis, Straub, Morris, Anderson, Bowers, Shoemaker, Clayton) che hanno investigato casi particolari.

Un'indagine sperimentale completa sul comportamento idraulico delle più comuni tipologie di tombini è stata eseguita dal U.S. Bureau of Standard come riportato da French in più pubblicazioni.

Sulla base di queste esperienze è stato verificato che l'imbocco di un tombino risulta libero qualora il carico idraulico a monte sia inferiore ad un valore critico definito in funzione delle caratteristiche geometriche dell'imbocco del tombino stesso. Nelle applicazioni in oggetto si è considerato un valore critico del carico di monte pari a quello ottenibile rispetto al piano campagna locale, quello cioè che determina l'esondazione incipiente per rigurgito del manufatto.

Si sono individuati sei differenti tipi di comportamento (vedi figura seguente), schematizzabili nel modo seguente:

- A. sbocco sommerso: **Tipo 1**
- B. sbocco a pelo libero:
 - a. carico maggiore del carico critico
 - i. tombino idraulicamente lungo: **Tipo 2**
 - ii. tombino idraulicamente corto: **Tipo 3**
 - b. carico inferiore al carico critico
 - i. altezza d'acqua di valle maggiore della y_c : **Tipo 4**
 - ii. altezza d'acqua di valle minore della y_c :
 - 1. pendenza $< i_c$: **Tipo 5**
 - 2. pendenza $> i_c$: **Tipo 6**

La soluzione di tali tipologie può essere ottenuta utilizzando i cartogrammi messi a punto dal U.S. Geological Survey (Fig. 5).

Tali grafici, aventi gli assi a scala logaritmica, esprimono il legame tra la portata espressa in cfs (piedi cubi al secondo) ed il carico idraulico a monte espresso in ft (piedi) in funzione delle dimensioni geometriche di tombini a sezione rettangolare o circolare, configurazione questa che risulta rappresentativa di tutte le situazioni riscontrate.

Quindi note le dimensioni del manufatto e valutato il carico idraulico a monte, attraverso l'utilizzo delle relazioni matematiche esplicitate graficamente nei diagrammi sopra riportati, è possibile determinare la portata che può defluire attraverso un tombino di data sezione.

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

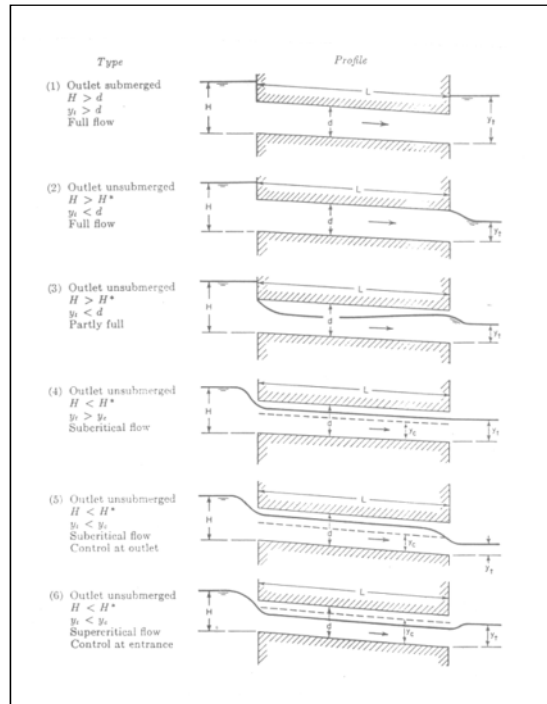


Figura 5-1 - Situazioni di deflusso attraverso un tombino

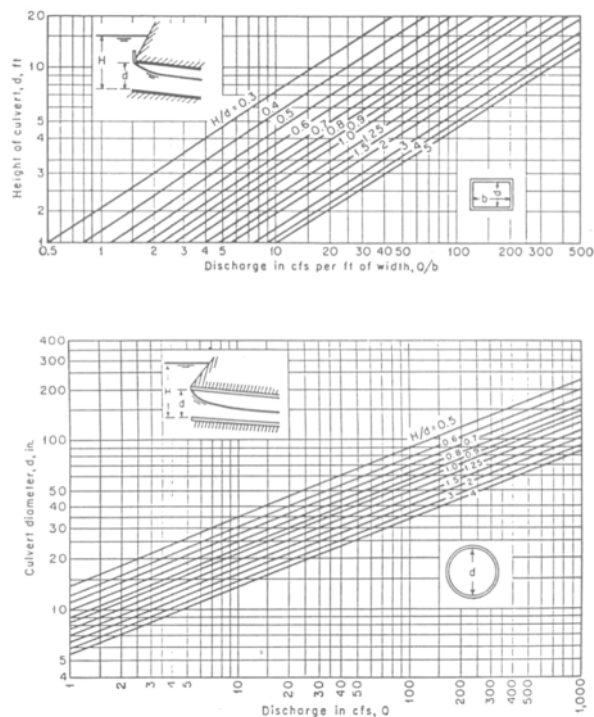


Figura 5-2 - Cartogrammi per la stima delle portate defluibili a pelo libero attraverso tombini scatolari o circolari con imbocco non raccordato

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Di seguito sono riportati i dati di verifica dei tre canali di scarico col metodo descritto, mediante il calcolo della massima portata transitante nelle condizioni di massimo livello di monte, ed una condizione di valle cautelativamente assunta pari a circa 16,40 m s.m. (secondo massimo valore registrato nel periodo di osservazione). I risultati delle analisi evidenziano come il manufatto di scarico attualmente presenti una capacità complessiva di efflusso congruente con la massima portata di monte, pari a circa 88 m³/s, così suddivisa:

- Canale Paratoia P1: 23 m³/s
- Canale Paratoia P2: 23,5 m³/s
- Canale Paratoia P3: 42 m³/s

Nel seguito si riportano in forma grafica le scale di deflusso e le sezioni dei tre canali verificati.

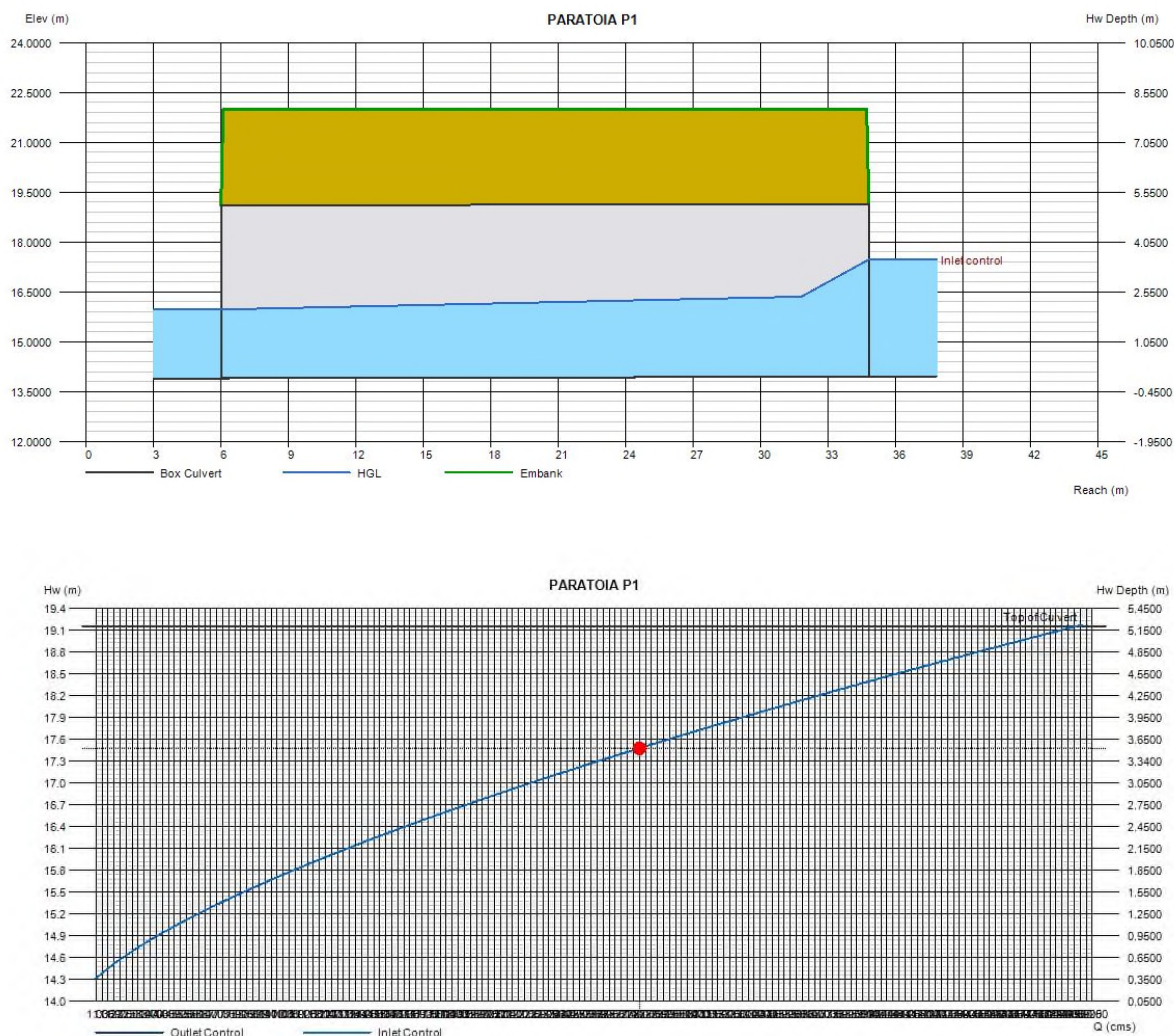


Figura 5-3 – Profilo idraulico e scala di deflusso del canale di scarico relativo alla paratoia P1

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

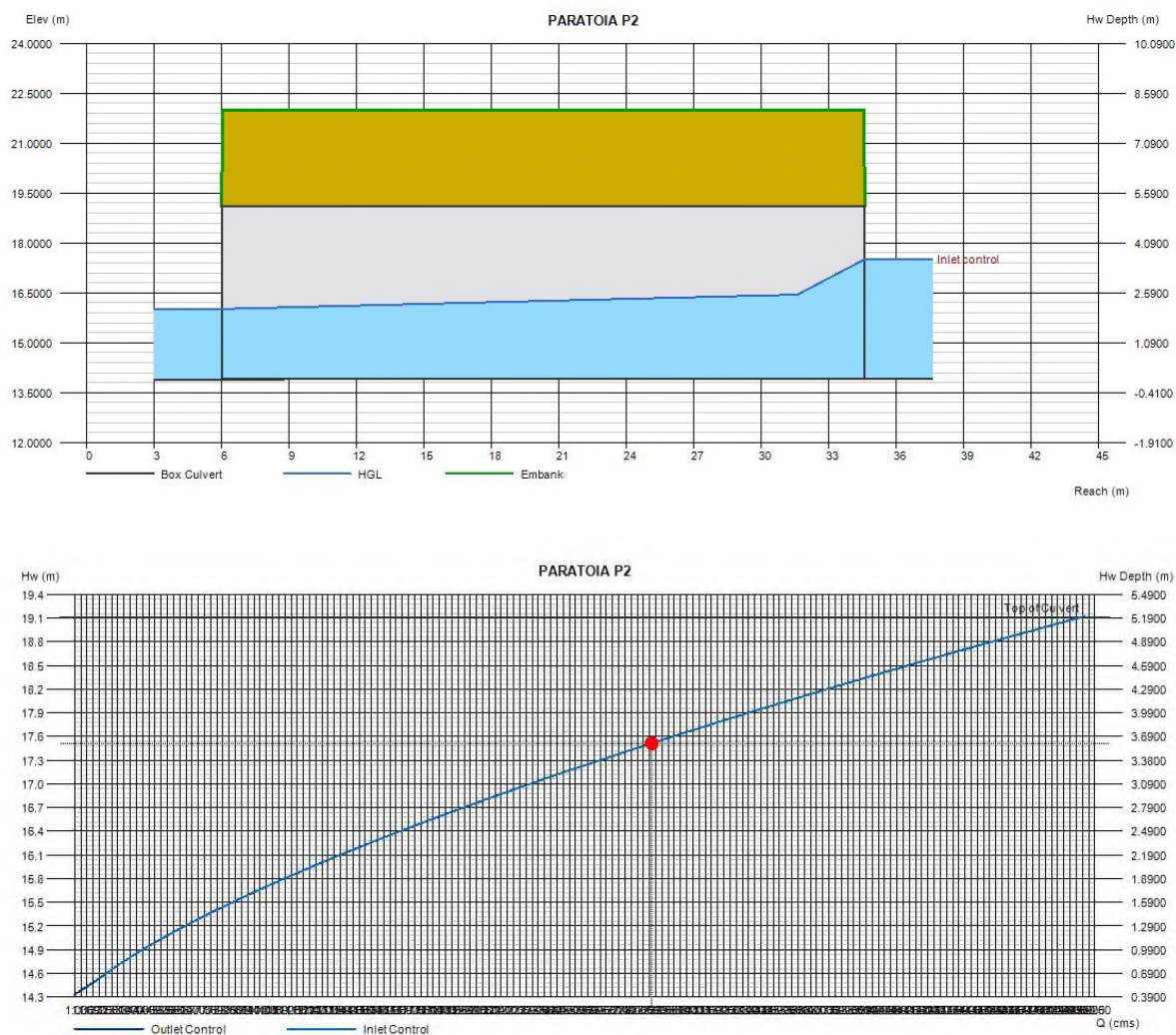


Figura 5-4 – Profilo idraulico e scala di deflusso del canale di scarico relativo alla paratoia P2

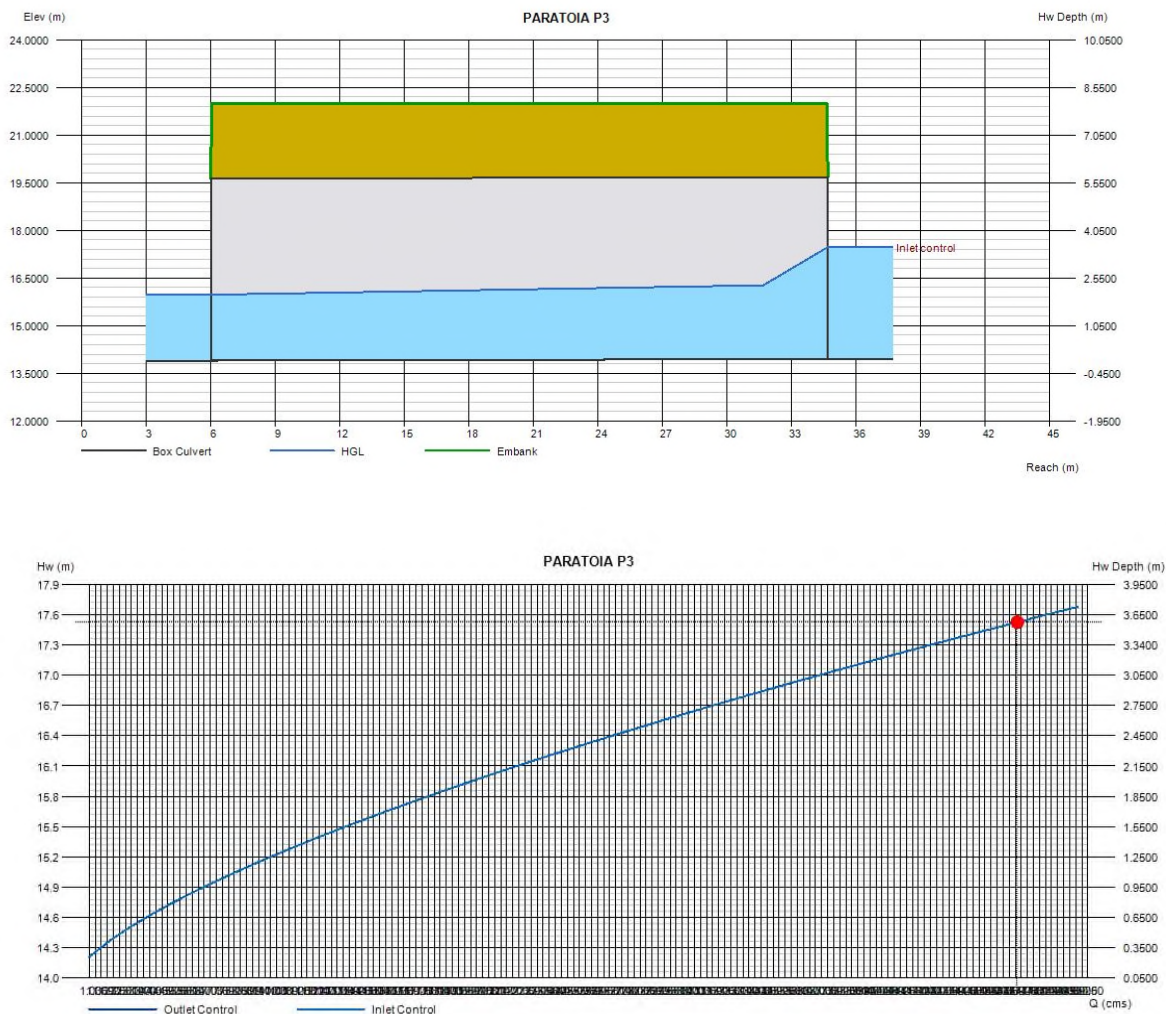


Figura 5-5 – Profilo idraulico e scala di deflusso del canale di scarico relativo alla paratoia P3

Si evidenzia altresì come il mantenimento, in condizioni di piena, del funzionamento dell'impianto idroelettrico della Vasarina consenta un significativo incremento della capacità di scarico complessiva; tale opzione diviene indispensabile, nella fase di esecuzione dei lavori, per compensare parzialmente la riduzione della capacità di deflusso indotta dalla chiusura della luce P3.

5.1. Scenari di cantierizzazione

La esecuzione dei lavori avverrà secondo il cronoprogramma dei lavori riportato nella figura sottostante, da cui si evince come le operazioni di installazione dei panconi, di sostituzione delle paratoie ed infine della esecuzione dei lavori di ripristino strutturale e materico delle pareti e delle volte dei canali di scarico, verranno condotte con la alternata chiusura di un solo canale di scarico per volta.

E' altresì stata ipotizzata la realizzazione degli interventi in due differenti lotti (denominati lotto "A" e lotto "B", per la cui descrizione dettagliata si rimanda alla relazione generale allegata al presente progetto), allo scopo di anticipare, in quanto

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

immediatamente cantierabili, gli interventi in corrispondenza delle due paratoie minori. Secondo tale criterio si prevede la realizzazione dei seguenti interventi:

- **Lotto A:** installazione gargami di valle; fornitura e collocazione dei panconi per la sostituzione delle paratoie P1 e P2; consolidamento delle volte di monte e di valle. Gli interventi verranno realizzati secondo la messa in atto di due differenti scenari idraulici:
 - Realizzare prioritariamente delle operazioni in corrispondenza della **paratoia P1**; in questa configurazione la massima portata esitabile dal sistema è pari a circa 75-76 m³/s, di poco inferiore alla massima portata attesa per l'evento di riferimento; si consideri che già attualmente di fatto le paratoie P1 e P2 vengono mantenute, per i motivi indicati in precedenza, chiuse;
 - il completamento e la messa in esercizio (anche se con impianti temporanei) della paratoia P1 determinerà già un significativo miglioramento della funzionalità del sistema con riferimento alla configurazione attuale, in cui di fatto le paratoie P1 e P2 sono mantenute, per i motivi già indicati, chiuse;
 - al completamento ed alla messa in esercizio della paratoia P1 si potrà procedere alla realizzazione degli interventi in corrispondenza della **paratoia P2**, con una capacità di deflusso analoga a quella valutata per la paratoia P1;
- **Lotto B:** interventi di ripristino e di manutenzione nelle opere murarie delle canne P1 e P2 (nella stessa modalità alternativa già utilizzata per il lotto A); sostituzione della paratoia P3; interventi di consolidamento sismico all'edificio di controllo. Nel lotto B, oltre a replicare (per gli interventi in corrispondenza delle parti murarie delle canne P1 e P2) gli scenari già previsti per il lotto A; si procederà al completamento degli interventi lungo le luci di sinistra e centrale alla realizzazione degli interventi in corrispondenza della **paratoia P3**, la cui luce verrà parzializzata mediante posa dei panconi in precedenza forniti: in questo caso la capacità di deflusso del sistema risulta essere pari a circa 57 m³/s.

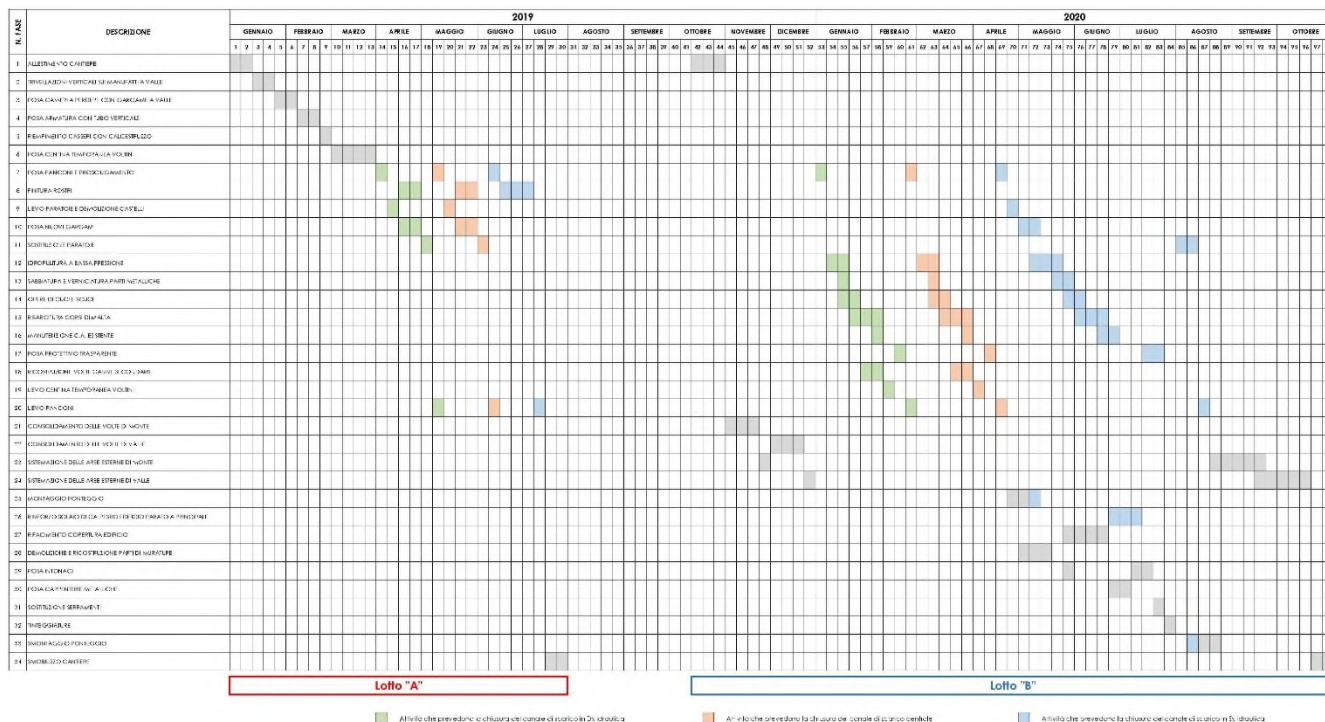


Figura 5-6 – Cronoprogramma dei lavori

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Con la sequenza operativa proposta, lo scenario più critico è rappresentato dalla realizzazione dei lavori in corrispondenza del canale in sinistra idraulica del lotto B presso la paratoia P3, durante i quali la massima capacità di deflusso dal manufatto del Vasarone è pari a circa 57 m³/s.

In tale scenario è possibile, attraverso la "equazione dei laghi", verificare, in corrispondenza di un evento critico, l'innalzamento atteso del livello a monte, in ragione della durata dello stesso.

Considerando che la superficie del lago superiore presenta una estensione pari a circa 3,4 km², è possibile valutare come nello scenario di chiusura della luce di sinistra una portata costante in ingresso pari a 80 m³/s e durata pari ad 1 giorno determini un innalzamento dei livelli di monte pari a circa 55 cm. In tale situazione risulta necessario che i lavori vengano condotti con le seguenti prescrizioni:

- la fasizzazione dei lavori deve avvenire in modo da **avere sempre libere dal cantiere due luci di scarico**;
- la prima operazione da eseguire, ultimata la posa dei panconi provvisori e la messa in asciutta del canale di scarico, deve essere necessariamente la rimozione della paratoia esistente, in modo che in caso di necessità si possa operare, con un preavviso di 24 ore, la completa rimozione dei panconi per ripristinare la officiosità idraulica del canale in quel momento oggetto di intervento;
- le opere provvisorie da adottare per le operazioni di ripristino materico e strutturale delle pareti del canale dovranno essere costituite da **sistemi facilmente rimovibili con il preavviso di almeno 1 giorno** (p.e. trabattelli al posto di ponteggi fissi);
- le lavorazioni dovranno essere condotte con la **massima portata turbinata in corrispondenza della chiavica della Vasarina**;
- le lavorazioni dovranno essere condotte durante **il periodo di minore rischio idrologico, definito sulla base dell'analisi dei livelli registrati nel bimestre maggio-giugno**;
- **le lavorazioni dovranno iniziare con una quota del lago Superiore pari a 17,30 m s.m..**

5.2. Piano di allerta e di evacuazione

Le opere relative ai manufatti di regolazione dovranno avvenire all'interno delle luci di regolazione del manufatto del Vasarone. E' già stato prescritto che la fasizzazione dei lavori avvenga mantenendo sempre almeno due luci libere delle tre esistenti, in modo da esitare la massima portata possibile in condizioni di parzializzazione delle luci di deflusso, che verranno messe alternativamente in asciutta per la esecuzione dei lavori.

Sebbene i lavori di sostituzione delle paratoie verranno svolti in corrispondenza dei mesi estivi, quando è meno probabile (sulla base dei dati disponibili) il verificarsi di eventi gravi, l'Appaltatore dovrà operare considerando che per tutta la durata dei lavori si possano verificare condizioni di incremento dell'afflusso di portate a causa di eventi meteorici più o meno intensi, in aggiunta alle portate di magra, con conseguenti repentini innalzamenti dei livelli idrici, delle velocità di deflusso, e quindi, delle portate transitive.

Detta possibilità rappresenta un pericolo sia per il cantiere (annegamento, contusioni, fratture, ribaltamenti, ecc.), che per l'intero sistema relativo al nodo idraulico di Mantova, che non è in grado di assorbire innalzamento dei livelli idrici a monte superiori al limite di 17,80 m s.m. come indicato in precedenza.

Per tale motivo sarà necessario predisporre, da parte dell'Appaltatore, un sistema di "allerta" per garantire che le condizioni di sicurezza del cantiere siano sempre adeguate al rischio di deflusso d'acqua e, nell'eventualità, che siano per tempo predisposti i piani di evacuazione con la rimozione delle opere provvisorie (compresi i panconi) in corrispondenza delle luci parzializzate.

In coordinamento con AIPO, l'Impresa appaltatrice utilizzerà a tale scopo parte degli impianti e dei sistemi di monitoraggio già in essere per la gestione e il controllo delle piene del f. Mincio (idrometri, paratoie telecontrollate, misuratori di portata, ecc.) per la gestione dell'allerta meteorologica.

Le previsioni meteorologiche saranno fondamentali per poter eseguire in sicurezza alcune delle opere previste nel presente progetto. Si prevede pertanto di individuare tre differenti livelli temporali, a cui corrispondono altrettante procedure organizzative:

1. programmazione dei lavori a lungo termine;
2. programmazione dei lavori a breve termine;
3. gestione delle emergenze.

Su tali livelli temporali l'Appaltatore, nell'ambito del proprio POS, dovrà commisurare tutte le lavorazioni da eseguire, individuando quelle che risultano indipendenti dall'accadimento degli eventi di piena del reticolo superficiale naturale o artificiale, da quelle che ne risultano invece strettamente collegate.

Il sistema di allerta dovrà essere costituito almeno da:

1. Dovrà essere nominato e dovrà essere sempre presente in cantiere un responsabile del sistema di allerta, che si occupi quotidianamente di monitorare la situazione, assumendo i dati necessari, verificando l'idoneità delle attrezzature, controllando il funzionamento degli organi di allarme e mantenendo uno stretto contatto di comunicazione con il personale AIPO – Ufficio di Mantova, diffondendo le informazioni necessarie;
2. assunzione giornaliera delle previsioni del tempo e di eventuali dati di pioggia presso la sala operativa del Servizio di Protezione Civile della Lombardia, o presso altro Ente attrezzato per fornire questo servizio in tempo reale;
3. Dovranno essere quotidianamente esposti presso le baracche di cantiere i bollettini meteo e dovrà esserne fornita una copia ai capi cantiere affinché allertino, se necessario, le maestranze. E' opportuno che una copia di tali documenti costituisca documento allegato al giornale dei lavori. Al fine di consentire una maggiore diffusione sarà opportuno affiggenne copia presso le mense o le postazioni di ricovero.
4. Nel caso di allerta meteo dovranno essere stabiliti contatti diretti con la Protezione Civile per aggiornamenti in tempo reale.
5. Dovrà inoltre essere installato un sistema di allarme acustico e lampeggiante costituito da almeno due dispositivi di segnalazione, da collocarsi in posizioni ben visibili in tutta l'area di cantiere e di adeguata intensità sonora, che sarà azionato dal responsabile del sistema di allerta e/o in automatico al superamento di specificate soglie di allarme. Inoltre si garantirà la dotazione del cantiere di un numero adeguato di giubbotti di salvataggio e di salvagente, muniti di corda di recupero legata solidamente ad appositi sostegni, lungo lo sviluppo del cantiere in punti prospicienti al canale.
6. Dotazione del cantiere di un numero adeguato agli operai in attività di giubbotti di salvataggio e posizionamento di altrettanti salvagente, muniti di corda di recupero legata solidamente ad appositi sostegni.
7. Qualora fosse rilevata la presenza sul territorio in sezioni strategiche di controllo di idrometri ad ultrasuoni con scheda GSM, previa autorizzazione da parte della Committenza per un collegamento agli impianti di cantiere o al recapito telefonico dei responsabili, sarà opportuna anche l'adozione di un sistema di allarme acustico e lampeggiante costituito da un dispositivo di segnalazione, da collocarsi in posizioni ben visibili in area di cantiere.

Si precisa che durante i lavori dovrà essere garantito al personale AIPO il funzionamento delle paratoie su cui non si sta lavorando per la ordinaria e straordinaria regolazione dei livelli di monte.

Oltre a quanto sopra indicato, occorrerà stabilire una procedura di comune accordo con Aipo – Sede operativa di Mantova per la gestione delle paratoie: in caso di emanazione di emergenza, l'Appaltatore dovrà essere in grado di liberare completamente le luci di scarico dalle opere provvisorie, garantendo in caso di necessità la rimozione delle panconature utilizzate per la messa in asciutta della luce in cui si sta operando.

6. Analisi della compatibilità idraulica delle opere in progetto

La compatibilità idraulica dell'opera è stata valutata sulla base delle prescrizioni della "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico" dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e sulla base delle indicazioni del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, facendo riferimento ai seguenti aspetti:

- verifica della quota delle nuove paratoie con riferimento agli scenari di rischio attesi (con particolare riferimento ai livelli di monte ed alle quote attese per l'evento di riferimento duecentennale): **le nuove paratoie presenteranno una altezza pari a 4,20 m, con una quota di massima ritenuta pari a 18,15 m s.m. La conformazione delle paratoie e del castello di sostegno sono state determinate in modo da permettere la completa apertura della luce di deflusso, con una quota di intradosso pari a circa 18,10 m s.m, con un franco pari a circa 30 cm rispetto alla quota di massima piena;**
- verifica della quota delle opere provvisorie (panconature) necessarie per la fase di cantierizzazione e per i successivi interventi di manutenzione sulle nuove paratoie: **i rostri ed in panconi di valle sono stati previsti per una quota di massima ritenuta pari a 15,60 m s.m. Tale valore, inferiore alla quota di massima piena in corrispondenza del lago di Mezzo, è stato assunto sia per i vincoli di tipo monumentale ed architettonico condivisi con la Sovrintendenza, sia perché risulta comunque compatibile con la finalità dell'opera provvisoria, che verrà impiegata per le successive operazioni di manutenzione, non eseguibili in caso di piena. Si segnala peraltro come nel periodo di disponibilità dei dati idrometrici in corrispondenza dell'impianto, tale quota è stata superata solamente il 2% delle giornate complessive osservate;**
- verifica della officiosità idraulica del manufatto, anche con riferimento alla portata turbinata in corrispondenza del manufatto della "Vasarina": **la massima portata defluibile in corrispondenza del nodo è pari a circa 92 m³/s, superiore alla portata di massima piena. Il valore così determinato tiene conto della massima portata turbinabile in corrispondenza della centrale idroelettrica della Vasarina;**
- verifica degli scenari di cantierizzazione, con particolare riferimento alla officiosità residua dei singoli canali di scarico che dovranno essere alternativamente e temporaneamente chiusi per la realizzazione in sicurezza degli interventi in progetto. **E' stata dimostrata la compatibilità della fasizzazione dei lavori, che dovrà essere eseguita con le seguenti prescrizioni: i lavori dovranno avvenire in modo da avere sempre libere dal cantiere due luci di scarico; la prima operazione da eseguire, ultimata la posa dei panconi provvisori e la messa in asciutta del canale di scarico, deve essere necessariamente la rimozione della paratoia esistente, in modo che in caso di necessità si possa operare, con un preavviso di 24 ore, la completa rimozione dei panconi per ripristinare la officiosità idraulica del canale in quel momento oggetto di intervento; le opere provvisorie da adottare per le operazioni di ripristino materico e strutturale delle pareti del canale dovranno essere costituite da sistemi facilmente rimovibili con il preavviso di almeno 1 giorno (p.e. trabattelli al posto di ponteggi fissi); le lavorazioni dovranno essere condotte con la massima portata turbinata in corrispondenza della chiavica della Vasarina; le lavorazioni dovranno essere condotte durante il periodo di minore rischio idrologico; le lavorazioni dovranno iniziare con una quota del lago Superiore pari a 17,30 m s.m..**
- verifica della compatibilità delle nuove opere con gli interventi di mitigazione del rischio idraulico prescritti dal PGRA: **le opere in progetto risultano compatibili con le finalità del PGRA, così come riportate nel precedente par. 4.3.1.**

SOMMARIO

1. Premessa	1
2. Stato attuale	3
2.1. Paratoie P1 e P2	3
2.2. Paratoia P3	4
2.3. Manufatto della Vesarina	6
3. Interventi in progetto	7
3.1. Opere di regolazione idraulica	7
3.1.1. Schema di riferimento	7
3.1.2. Paratoie	7
4. Sistema idraulico di difesa della città di Mantova	10
4.1. Sistema di regolazione del fiume Mincio	13
4.2. Portate e livelli idrometrici di piena nei laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore	17
4.3. Inquadramento del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) e del Piano di Gestione del rischio Alluvioni (PGRA)	20
4.3.1. Scheda Monografica della Città di Mantova	22
4.4. Dati idrologici ed idrometrici per il dimensionamento delle opere in progetto	25
5. Valutazione della capacità di deflusso dei canali di scarico del manufatto del Vesarone	26
5.1. Scenari di cantierizzazione	30
5.2. Piano di allerta e di evacuazione	32
6. Analisi della compatibilità idraulica delle opere in progetto	34

RELAZIONE IDRAULICA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA: