



**RESTAURO DELL'ANTICO MERCATO DI CORSO SARDEGNA**  
**CREAZIONE DI SERVIZI DI QUARTIERE**  
**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**Art.23, D.L. 18 aprile 2016 n.50**

ELABORATI MODIFICATI COSI' COME RICHIESTO DAL COMUNE DI GENOVA IN DATA 06/02/2018

PROPONENTI:

**COSMO COSTRUZIONI MODERNE S.R.L.**



Via F. Pozzo 9/2 - 16145 - Genova  
C.F./P.IVA 00241730100

PROPOSTA DI FINANZA DI PROGETTO  
PRESENTATA IN DATA 26/01/2015  
E AGGIORNATA IN DATA 10/11/2016

Mandataria del R.T.I. costituito con  
G. Franco Longhi S.p.a. e Santafede S.r.l. (mandanti)

DOCUMENTO:

**7**

TITOLO:

**Torrente Bisagno - Analisi idraulica di dettaglio**  
Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità  
in prossimità dell'ex Mercato Generale di Genova

PROGETTISTA:



**DHI S.r.l. a socio unico**

Via Pomba 23 - 10123 - Torino - Italia  
C.F./P. IVA 07741870013

| REDATTO    | VERIFICATO | VALIDATO | REVISIONE | DATA       | SCALA |
|------------|------------|----------|-----------|------------|-------|
| Rebagliati | Persi      | Crosta   | 00        | Marzo 2018 | -     |

**Spett.le**  
**COSMO S.r.l.**  
Via F.Pozzo, 9/2  
16145 GENOVA GE

c.a. egr. dott. Paolo Marini



**DHI S.r.l. a socio unico**  
Via Pomba 23  
I-10123 Torino  
Italia

Tel: +39 011 56 24 649  
Fax: +39 010 64 22 381  
dhi-italia@dhi-italia.it

[www.dhi-italia.it](http://www.dhi-italia.it)  
[www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)

C.F./P. IVA 07741870013

Prot:  
ACR/dpe/119

Cod:  
22801538

Data:  
16 marzo 2018

**Oggetto:** Torrente Bisagno – Analisi idraulica di dettaglio.  
Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di  
pericolosità idraulica in prossimità dell'ex Mercato.  
Verifica idraulica di dettaglio.  
Nota integrativa all'elaborato 22801538-01-00101.

#### **NOTA INTEGRATIVA ALL'ELABORATO 22801538-01-00101**

La presente nota integra quanto riportato nell'elaborato 22801538-01-00101 approvato in data 12/05/2016 e nella successiva nota integrativa ns. Prot. 444/16 del 03/11/2016, recependo in particolare le modifiche agli elaborati progettuali di seguito descritte.

Rispetto a quanto descritto nell'elaborato 22801538-01-00101 e nella nota integrativa ns. Prot. 444/16 del 03/11/2016, l'intervento progettuale interessante le aree e i fabbricati dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna (Genova), secondo gli elementi forniti dai progettisti, si differenzia per i seguenti tratti essenziali:

- per una parte degli edifici interni al perimetro dell'ex Mercato, disposti planimetricamente ad est, cioè nella porzione d'area situata a maggior distanza dal torrente Bisagno, per i quali era originariamente previsto a progetto un intervento di restauro architettonico con nuova destinazione funzionale, è ora prevista la demolizione degli attuali edifici con realizzazione di un'area a verde con funzione di parco di quartiere;
- le aree destinate alla funzione di parco di quartiere, da realizzarsi al posto di una parte degli attuali edifici come precedentemente descritto, comportano dal punto di vista idraulico la completa eliminazione dei volumi di ingombro degli edifici oggetto di demolizione.

Le principali conseguenze dal punto di vista idraulico degli elementi sopra elencati risultano le seguenti:

- poiché i volumi di ingombro complessivi degli edifici previsti attualmente a progetto, all'interno dell'area dell'ex Mercato, risultano inferiori rispetto sia allo stato attuale che alle precedenti versioni degli elaborati progettuali, ciò comporta, rispetto a quanto determinato nell'elaborato 22801538-01-00101, un

minor incremento dei tiranti idrici nelle aree esterne all'ex Mercato, peraltro già determinati come di entità estremamente modesta;

- in analogia al punto precedente, la nuova configurazione progettuale comporta una diminuzione dei valori calcolati, anche all'interno del perimetro dell'ex Mercato, dei massimi tiranti idrici di allagamento e dei conseguenti valori massimi delle quote del pelo libero;
- in conseguenza del punto precedente, le massime quote del pelo libero in corrispondenza dei varchi di ingresso all'area dell'ex Mercato risultano nella nuova configurazione inferiori o al più uguali a quanto precedentemente determinato, non comportandone in ogni caso un innalzamento;
- infine poiché gli edifici oggetto di demolizione risultano collocati all'interno del perimetro dell'ex Mercato, circondati da altri edifici che creano rispetto alla propagazione degli allagamenti un maggiore "effetto barriera" circondando completamente, al netto dei modesti varchi di ingresso, gli edifici interni, la relativa demolizione non interferisce sull'eventuale ostacolo alla propagazione delle acque che il complesso dell'ex Mercato crea rispetto agli altri edifici situati, dal punto di vista della propagazione degli allagamenti, "a valle" dello stesso, pertanto è possibile escludere che la nuova configurazione progettuale possa in ogni caso incrementare la pericolosità idraulica delle aree circostanti.

In conclusione è possibile affermare che dal punto di vista della pericolosità idraulica la nuova configurazione progettuale risulta, sotto ogni punto di vista, migliorativa, o al limite ininfluente, rispetto a quanto precedentemente determinato e rappresentato nell'elaborato 22801538-01-00101 approvato in data 12/05/2016 e nella nota integrativa ns. Prot. 444/16 del 03/11/2016.

In ultimo si cita come il progetto di PUO sia stato sottoposto a verifica di assoggettabilità a VAS (valutazione ambientale strategica) ai sensi della L.R. 32/2012 con esito positivo: *"No VAS con prescrizioni"* (Regione Liguria, Decreto Dirigente Nicola Poggi n° NP/3981/2017 protocollo IN-3774 del 27/02/2017).

Si riportano nel seguito le conclusioni del D.D.:

*"La completezza e la qualità della documentazione fornita consentono di escludere impatti ambientali significativi derivanti dall'attuazione del PUO in oggetto. Non si ritiene pertanto necessario l'assoggettamento a VAS"* alle seguenti condizioni:

1. valutare nelle successive fasi progettuali l'opportunità di prevedere una sopraelevazione del piano di campagna del parcheggio a raso o altri accorgimenti costruttivi locali;
2. integrare il previsto monitoraggio triennale del traffico nel più vasto monitoraggio del traffico a scala urbana previsto nell'ambito della VAS del PUC.

Si precisa che il progetto risulta compatibile con la vigente normativa idraulica e che la modifica del progetto rispetto al PUO approvato non influisce sull'assetto idraulico in quanto non viene alterato il perimetro costruito del complesso mercatale e restano immutate le misure di miglioramento idraulico previste (vedasi la *Tavola ID\_1*).

Per la trattazione esaustiva di questi temi si rimanda alle relazioni:

- *DOC\_7 Relazione analisi idraulica di dettaglio torrente Bisagno: valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità idraulica in prossimità dell'ex mercato*
- *DOC\_8 Relazione di compatibilità idraulica.*



ing. Davide Persi  
Project Manager



**Spett.le**  
**COSMO S.r.l.**  
Via F.Pozzo, 9/2  
16145 GENOVA GE

c.a. egr. dott. Paolo Marini



**DHI S.r.l. a socio unico**  
Via Pomba 23  
I-10123 Torino  
Italia

Tel: +39 011 56 24 649  
Fax: +39 010 64 22 381  
dhi-italia@dhi-italia.it

[www.dhi-italia.it](http://www.dhi-italia.it)  
[www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)

Prot:  
ACR/dpe/444

Cod:  
22801538

Data:  
3 novembre 2016

C.F./P. IVA 07741870013

**Oggetto:** Torrente Bisagno – Analisi idraulica di dettaglio.  
Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di  
pericolosità idraulica in prossimità dell'ex Mercato  
Generale di Genova. Verifica idraulica di dettaglio.  
Nota integrativa all'elaborato 22801538-01-00101.

#### **NOTA INTEGRATIVA ALL'ELABORATO 22801538-01-00101**

La presente nota integra quanto riportato nell'elaborato 22801538-01-00101 approvato in data 12/05/2016, recependo in particolare le seguenti informazioni:

- modifiche agli elaborati progettuali di seguito descritte.
- Lettera trasmessa al Comune di Genova dalla Regione Liguria – Dipartimento Territorio – Settore Assetto del Territorio, protocollata in data 11/10/2016 con Prot. n. PG/2016/226705, firmata dal Dirigente Ing. Roberto Boni; a sua volta trasmessa al Committente Cosmo S.r.l. dal Comune di Genova in data 14/10/2016 con Prot. n. 346173.

La tipologia di intervento progettuale interessante le aree e i fabbricati dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna (Genova), secondo gli elementi forniti dai progettisti, si inquadra come ristrutturazione edilizia e, rispetto a quanto descritto nell'elaborato 22801538-01-00101, si differenzia per i seguenti tratti essenziali:

- il parcheggio non è più realizzato mediante demolizione degli attuali due edifici e contestuale edificazione di un nuovo fabbricato, idraulicamente trasparente, bensì attraverso il riutilizzo dei due fabbricati esistenti, opportunamente adattati, in particolare rendendoli idraulicamente trasparenti al piano situato alla quota del terreno circostante;
- risultano modificate alcune funzioni degli edifici, in particolare rispetto alla struttura polifunzionale, che tuttavia non hanno alcun effetto in termini di valutazione della pericolosità idraulica;
- per i fabbricati sopracitati, destinati a struttura polifunzionale, vengono mantenute nella configurazione di progetto le stesse quote di calpestio dei fabbricati e delle aree circostanti presenti allo stato attuale, così come già

precedentemente rappresentato nelle simulazioni idrauliche riportate nell'elaborato 22801538-01-00101;

- non è prevista alcuna sopraelevazione del piano di calpestio, così come ipotizzata nel Cap. 5 “*Analisi idraulica integrativa*” del precedente studio.

Le principali conseguenze dal punto di vista idraulico degli elementi sopra elencati risultano le seguenti:

- per quanto riguarda gli edifici destinati a parcheggio, essendo essi in questa versione del progetto idraulicamente trasparenti, in analogia all'edificio precedentemente ipotizzato, e non intervenendo peraltro alcuna ulteriore modifica delle quote del terreno in prossimità degli stessi in entrambe le versioni progettuali, le analisi idrauliche precedentemente condotte posso considerarsi assolutamente valide e rappresentative delle dinamiche di allagamento anche nella presente versione progettuale, essendo quanto schematizzato nel modello idraulico assolutamente rappresentativo di entrambe le configurazioni senza alcuna mutua differenza;
- non essendo prevista alcuna sopraelevazione delle quote del terreno all'interno delle aree oggetto di intervento (secondo quanto descritto nel Cap. 5 citato in precedenza), una porzione, pur se limitata, delle stesse, rimane comunque soggetta all'ambito normativo BB attualmente attribuito dal Piano di Bacino all'intera area dell'ex Mercato, indipendentemente dalla realizzazione delle opere idrauliche analizzate nell'elaborato 22801538-01-00101 e riguardanti i corsi d'acqua del torrente Bisagno e del rio Fereggiano. Da questo punto di vista, quindi, non sussiste più la tipologia di intervento definita come “variazione morfologica” nei criteri dell'Autorità di Bacino ed inoltre decade la necessità di condizionare l'intervento di ristrutturazione edilizia alla “riperimetrazione preventiva” delle aree, in conseguenza della realizzazione delle suddette opere.

La comunicazione dell'Autorità di Bacino Regionale (a firma dell'Ing. Boni) fornisce al Comune di Genova alcune indicazioni in merito alla pericolosità idraulica, attuale e futura, delle aree oggetto di intervento. Per quanto più di diretto interesse in questa nota si evidenziano i seguenti elementi:

- per l'elaborato 22801538-01-00101, “*sentito il Comitato Tecnico di Bacino nella seduta del 20/09/2016*”, viene formulato il seguente giudizio: “*ai fini della valutazione dello stato di pericolosità in vari scenari di progetto risulta compatibile con i criteri regionali e con lo studio di dettaglio sulla base del quale sono state determinate le fasce di inondabilità e gli ambiti normativi ex DGR 91/2013 nel Piano di Bacino vigente*”;
- lo studio di dettaglio della pericolosità idraulica nella configurazione attuale delle aree dell'ex Mercato non ha i presupposti per giustificare una variante al Piano di Bacino con conseguente ripermimetrazione degli ambiti normativi; tale finalità non era peraltro stata evidenziata all'interno dello studio idraulico;
- la valutazione della pericolosità idraulica svolta secondo diversi scenari progettuali, in relazione al completamento degli interventi di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, è compatibile con una richiesta di cosiddetta “riperimetrazione preventiva”, che tuttavia non risulta di interesse per lo specifico intervento progettuale, mantenendosi in una porzione limitata delle aree interessate caratteristiche idrodinamiche degli allagamenti (tiranti e velocità) ancora associati all'ambito normativo BB pur ad avvenuta realizzazione degli interventi di sistemazione idraulica (nello specifico il

completamento dell'intervento sulla copertura terminale del torrente Bisagno e la realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano);

- l'intervento sul ponte di Castelfidardo, non essendo ancora provvisto di progetto definitivo e relativa copertura finanziaria, non può allo stato odierno essere considerato per richieste di "riperimetrazione preventiva".

In conclusione le finalità dello studio idraulico descritto nell'elaborato 22801538-01-00101, limitatamente all'intervento progettuale in oggetto di ristrutturazione edilizia dell'ex Mercato Generale, risiedono nei seguenti elementi:

- valutazione di dettaglio della pericolosità idraulica delle aree interessate, allo stato attuale e nei successivi scenari prodotti dalla realizzazione degli interventi di sistemazione idraulica, pur senza la finalità di supportare una richiesta di ripermimetrazione preventiva per lo specifico intervento;
- verifica che gli interventi progettuali previsti non comportino un apprezzabile incremento della pericolosità idraulica, in particolare esternamente alle aree oggetto di intervento, per i differenti scenari investigati;
- supporto alla progettazione degli interventi facenti parte del progetto di ristrutturazione edilizia del complesso dell'ex Mercato.

A seguito della "approvazione", da parte del Comitato Tecnico di Bacino, della metodologia con cui è stato svolto lo studio idraulico riportato nell'elaborato 22801538-01-00101, si conferma la validità di tutti i risultati e conclusioni in esso prodotti anche per l'intervento di ristrutturazione edilizia attualmente presentato, in quanto le variazioni progettuali introdotte, in questa nota brevemente sintetizzate, non ne alterano il contenuto. Unica eccezione è costituita dal Cap. 5 "*Analisi idraulica integrativa*", che decade completamente di significato e pertanto non è più da considerarsi come parte dello studio idraulico, comprese le associate conclusioni riportate nel Capitolo successivo.



ing. Davide Persi

Project Manager

## Torrente Bisagno – Analisi idraulica di dettaglio

Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità idraulica in prossimità dell'ex Mercato Generale di Genova

Verifica idraulica di dettaglio



Cosmo srl

Relazione

Maggio 2016

This report has been prepared under the DHI Business Management System  
certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)

ISO 9001  
Management System Certification

BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S





# Torrente Bisagno – Analisi idraulica di dettaglio

Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità idraulica in prossimità dell'ex Mercato Generale di Genova

Verifica idraulica di dettaglio

Committente Cosmo srl  
Referente del Committente dott. Paolo Marini



Configurazione di progetto delle  
aree dell'ex Mercato Generale

|                    |                  |
|--------------------|------------------|
| Project manager    | Davide Persi     |
| Quality supervisor | Andrea Crosta    |
| Author             | Dario Rebagliati |

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Codice progetto - elaborato | 22801538-01-00101 |
| Data di approvazione        | 12/05/2016        |
| Revisione                   | 2.0               |
| Classificazione             | Open              |





## INDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Premessa .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Configurazioni di studio .....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1      | Configurazione attuale dell'ex Mercato Ortofrutticolo .....  | 3         |
| 2.2      | Configurazione di progetto dell'ex Mercato Ortofrutticolo .....  | 4         |
| 2.3      | Intervento di rifacimento della copertura terminale del t. Bisagno .....   | 5         |
| 2.4      | Intervento di realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano .....  | 7         |
| 2.5      | Intervento di rifacimento del ponte Castelfidardo sul torrente Bisagno .....   | 8         |
| <b>3</b> | <b>Pericolosità idraulica nella configurazione “attuale” .....</b>   | <b>9</b>  |
| 3.1      | Metodologia dell'analisi idraulica .....   | 9         |
| 3.2      | Risultati dell'analisi idraulica .....   | 11        |
| 3.2.1    | Analisi dell'applicazione del criterio di parzializzazione delle sezioni .....   | 11        |
| 3.2.2    | Risultati dell'analisi idraulica nella configurazione “attuale” .....  | 12        |
| <b>4</b> | <b>Configurazioni di progetto .....</b>  | <b>15</b> |
| 4.1      | Configurazioni di progetto per i corsi d'acqua e mantenimento dello stato attuale delle<br>aree dell'ex Mercato Ortofrutticolo ..... | 16        |
| 4.2      | Configurazioni di progetto delle aree dell'ex Mercato Ortofrutticolo .....   | 24        |
| 4.3      | Informazioni di dettaglio per la progettazione dell'intervento di restauro architettonico .....                                      | 34        |
| <b>5</b> | <b>Analisi idraulica integrativa .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>6</b> | <b>Conclusioni .....</b>   | <b>39</b> |



## ALLEGATI

### **ALLEGATO A**

Tabelle idrodinamiche in alveo

### **ALLEGATO B**

#### **MIKE 11 HD**

Descrizione tecnica

### **ALLEGATO C**

#### **MIKE 21 HD**

Descrizione tecnica

# 1 Premessa

Oggetto del presente studio è la valutazione di dettaglio della pericolosità idraulica a cui sono soggette le aree dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna, situato nel quartiere genovese di San Fruttuoso, nello stato attuale e in differenti configurazioni di progetto.

Tali aree, che fino al 2009 erano occupate dal mercato ortofrutticolo, successivamente trasferito nel quartiere genovese di Bolzaneto, risultano attualmente interessate da un progetto di restauro architettonico, che ne prevede il riutilizzo mediante l'insediamento di nuove funzioni quali ad esempio parcheggi, un asilo nido, una palestra e pubblici esercizi.

Al contempo le aree dell'ex Mercato Generale, così come ampia parte dei circostanti quartieri di Marassi e San Fruttuoso e della parte terminale della Valbisagno, sono caratterizzate da pericolosità idraulica per possibili esondazioni dei corsi d'acqua Bisagno e Fereggiano, così come recentemente evidenziato dagli eventi alluvionali del 2011 e 2014 in cui si sono verificate ampie esondazioni.

Nel contesto della grave insufficienza idraulica dei due corsi d'acqua citati, sono in corso di progettazione ed esecuzione, ormai da anni, numerosi interventi volti a mitigare la pericolosità idraulica della città, che in particolare negli ultimi anni hanno ricevuto una significativa accelerazione in termini di finanziamento e conseguente realizzazione dei lavori.

Parallelamente all'evoluzione degli interventi di mitigazione idraulica, è inoltre importante evidenziare l'iter di aggiornamento degli strumenti urbanistici e di pianificazione, in particolare per quanto riguarda il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del torrente Bisagno, che risulta attualmente in fase di approvazione, con variante in corso (DDG n.6 del 21/01/2016), a seguito di un importante lavoro di approfondimento idraulico svolto dall'Autorità di Bacino Regionale, anche con il supporto degli scriventi nell'ambito di un incarico della ex Provincia di Genova nel 2014.

In particolare, secondo tale versione aggiornata del Piano di Bacino in fase di approvazione, le aree oggetto di analisi risultano ricadenti all'interno della fascia B ed in particolare soggette all'ambito normativo BB.

Il presente studio ha pertanto l'obiettivo, in primo luogo, di investigare con maggior dettaglio la pericolosità idraulica nello stato attuale delle aree dell'ex Mercato Generale, coerentemente con la metodologia adottata nel Piano di Bacino. In seguito, in conseguenza della pluralità di interventi di mitigazione idraulica previsti per i corsi d'acqua Bisagno e Fereggiano, nonché delle variazioni che verrebbero apportate dal progetto di restauro architettonico alle aree dell'ex Mercato, obiettivo è valutare le variazioni della pericolosità idraulica che tali interventi comporterebbero, così come fornire ai progettisti utili elementi ai fini della progettazione dell'intervento stesso.

Per quanto riguarda la normativa di settore, si fa riferimento ai Criteri dell'Autorità di Bacino Regionale della Regione Liguria, in particolare alla definizione delle fasce di inondabilità con i relativi vincoli normativi e gli *"Indirizzi interpretativi in merito alle definizioni di interventi urbanistico-edilizi richiamate nella normativa dei piani di bacino per la tutela dal rischio idrogeologico"* (documento approvato con DGR 723/2013).

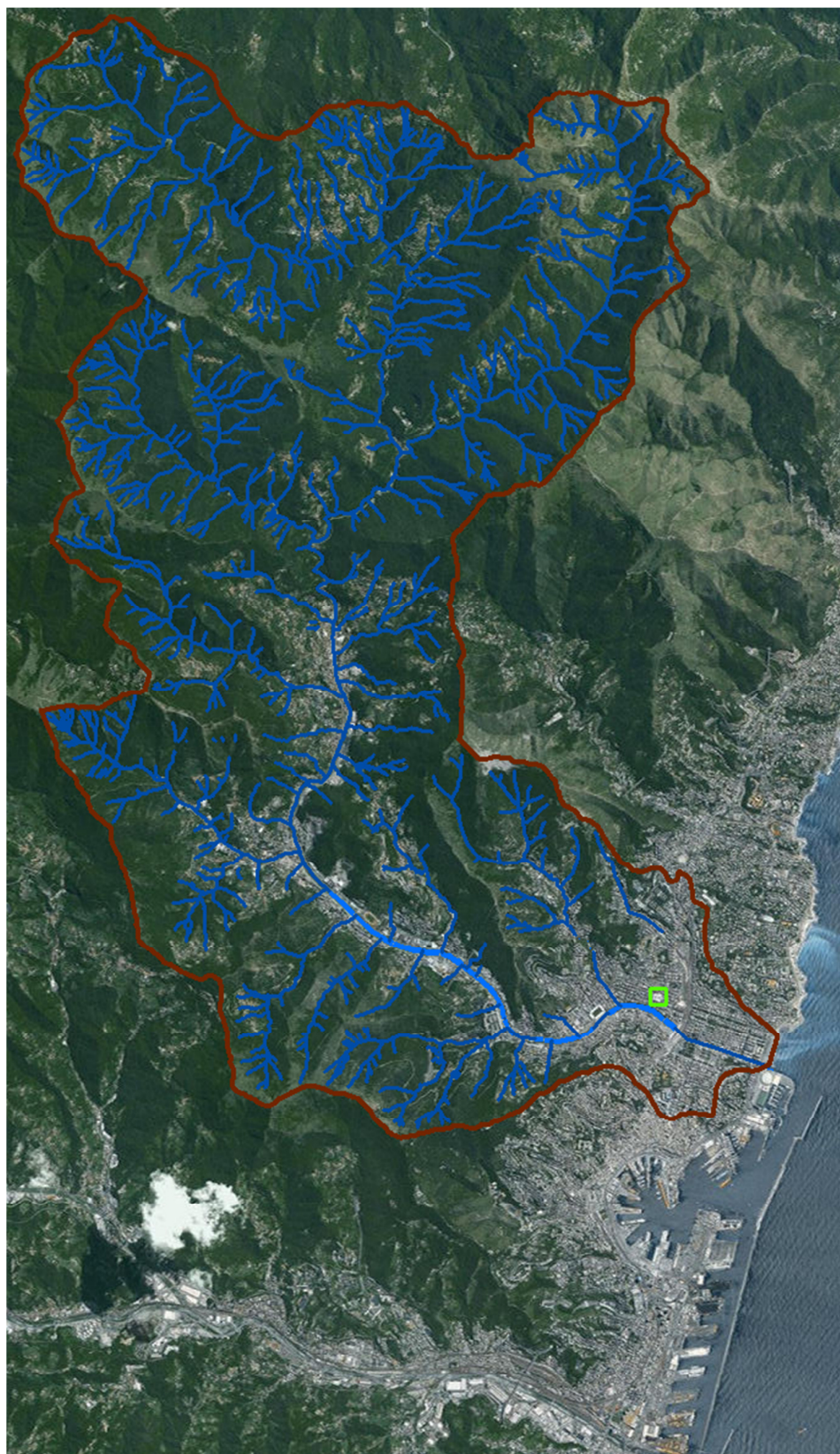


Figura 1.1 Localizzazione dell'ex Mercato Generale (riquadro in verde) rispetto alla Città di Genova e al bacino del torrente Bisagno (perimetrato in marrone), con relativo reticolo principale (in blu).

## 2 Configurazioni di studio

Nel presente Capitolo vengono descritte le diverse configurazioni studiate nelle analisi idrauliche e i relativi dati progettuali a partire dai quali sono state definite.

Relativamente alle aree dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna sono stati valutati due scenari: quello attuale e quello a progetto di restauro architettonico avvenuto.

Per ognuno dei due scenari sono state valutate una pluralità di configurazioni con riferimento agli interventi interessanti i corsi d'acqua di maggior interesse per quanto riguarda la pericolosità delle aree oggetto di studio, il torrente Bisagno e il rio Fereggiano.

In dettaglio è stata considerata la configurazione attuale dei due corsi d'acqua, in analogia a quanto svolto nell'aggiornamento del Piano di Bacino, e gli interventi di sistemazione idraulica di maggior interesse:

- il completamento del rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno, dalla foce fino all'attraversamento ferroviario di Genova Brignole,
- la realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano,
- l'ipotesi di rifacimento del ponte di Castelfidardo.

Maggiori dettagli sui riferimenti progettuali e sulle fasi realizzative di ciascun intervento sono descritte nei successivi paragrafi.

### 2.1 Configurazione attuale dell'ex Mercato Ortofrutticolo

Nella presente analisi è stato svolto in primo luogo un approfondimento di dettaglio, rispetto a quanto presente nell'aggiornamento del Piano di Bacino, della valutazione della pericolosità idraulica a cui risultano soggette le aree in prossimità dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna nella configurazione attuale.

In particolare è stata incrementata la risoluzione di definizione del modello numerico alla base dello studio idraulico, fino ad 1 metro, e sono stati rappresentati con miglior dettaglio gli edifici costituenti il Mercato: nel Piano di Bacino, infatti, esso risulta considerato come un edificio unico esteso sull'intera superficie di riferimento.

Per una più accurata rappresentazione del territorio all'interno e in prossimità del Mercato, è stato preso a riferimento un rilievo di dettaglio dell'area, datato 2014 e fornito dal Committente, a partire dal quale, mediante un processamento svolto in ambiente GIS, è stata aggiornata la topografia dei luoghi da impiegare nella modellazione idraulica.

La Figura 2.1 rappresenta l'interpolazione svolta dei punti quotati del rilievo, a partire dalla quale, con l'inserimento degli edifici e degli altri manufatti in grado di condizionare il deflusso degli allagamenti (ad es. i muri), è stata definita la batimetria con cui svolgere le simulazioni idrauliche.



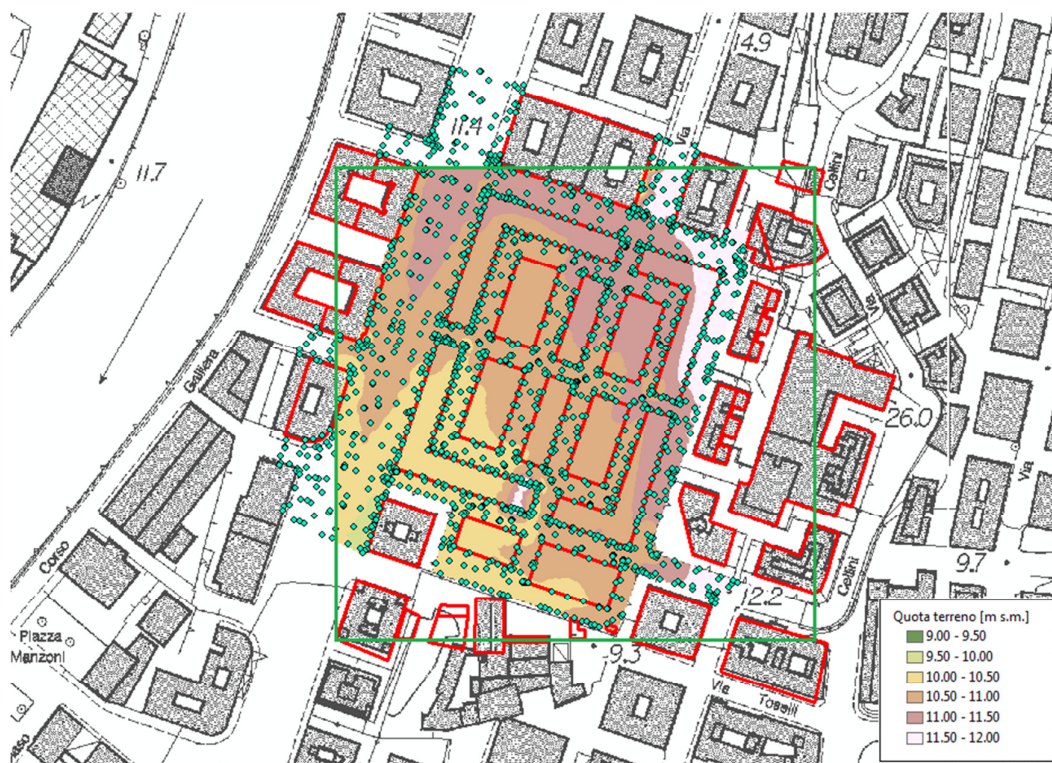


Figura 2.1 Topografia del dominio di studio e punti quotati del rilievo di dettaglio.

## 2.2 Configurazione di progetto dell'ex Mercato Ortofrutticolo

Successivamente all'analisi nella configurazione attuale delle aree oggetto di intervento è stata valutata anche quella di progetto sulla base degli interventi previsti.

A tal fine è stata ricostruita la topografia del territorio, che si differenzia rispetto allo stato attuale sostanzialmente per due interventi:

- in primo luogo la congiunzione di due blocchi di edifici, in cui anche le aree intercorrenti diventano pertanto inaccessibili alla propagazione degli allagamenti;
- secondariamente un intervento riguardante la parte più meridionale del sito, relativamente alla demolizione di due edifici attualmente esistenti e l'edificazione di un nuovo fabbricato destinato a parcheggio.

La Figura 2.2 rappresenta schematicamente le variazioni introdotte ai fini dell'analisi idraulica. Al riguardo è opportuno specificare come la struttura del nuovo edificio destinato a parcheggio risulti del tutto trasparente rispetto alla propagazione degli allagamenti, in quanto a livello del terreno i progettisti hanno previsto una struttura con pilastri e senza opere di tamponamento, che quindi interferisce in modo irrilevante con le dinamiche di esondazione.

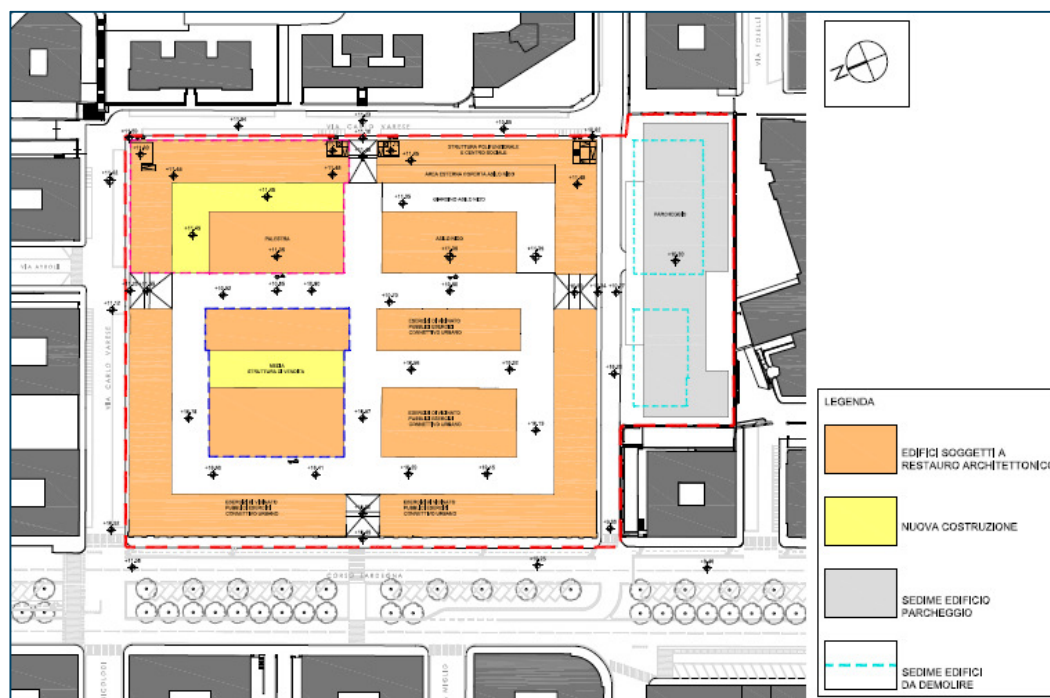


Figura 2.2 Modifiche all'assetto degli edifici previsti dall'intervento di restauro architettonico: in arancione i fabbricati esistenti, in giallo le nuove costruzioni, con tratteggio azzurro gli edifici oggetto di demolizione e in grigio quello di nuova costruzione destinato a parcheggio.

In termini descrittivi più generali, l'intervento di progetto nel suo complesso prevede il restauro architettonico degli edifici e delle aree costituenti l'ex Mercato Ortofrutticolo di Corso Sardegna, nel quartiere genovese di San Fruttuoso. L'intervento prevede l'insediamento di nuove funzioni quali, a titolo di esempio, un asilo nido, una palestra e pubblici esercizi, oltre alla realizzazione di un edificio destinato a parcheggi a seguito della demolizione di due precedenti fabbricati, di più moderna realizzazione rispetto alla struttura originale degli anni '20 del Novecento.

## 2.3 Intervento di rifacimento della copertura terminale del t. Bisagno

L'intervento in oggetto riguarda il rifacimento della copertura del tratto terminale del torrente Bisagno, dall'attraversamento ferroviario di Genova Brignole alla foce, in cui il corso d'acqua risulta tombinato. Tale intervento è stato suddiviso in lotti funzionali e relativi stralci, di cui:

- il primo lotto, interessante il tratto più prossimo alla foce, risulta completato;
- il primo stralcio del secondo lotto, consecutivo al primo lotto, risulta completato;
- il secondo stralcio del secondo lotto risulta in corso di realizzazione;
- il terzo stralcio del secondo lotto risulta di prossima realizzazione, con intervento finanziato e al livello di progettazione esecutiva.

In dettaglio il Committente del presente intervento risulta il Comune di Genova che, con l'Atto d'impegno sottoscritto il 01/12/2000, ha affidato all'A.T.I., costituita da NET Engineering S.p.A., Al Engineering S.r.l. e Hydrodata, l'incarico per la redazione del progetto preliminare, definitivo ed esecutivo del recupero funzionale della copertura del tratto terminale del torrente Bisagno, con miglioramento delle condizioni di deflusso e del riordino urbanistico e viabilistico di aree limitrofe da Via Canevari al Mare. Tale intervento è stato successivamente suddiviso nel 2004 in due lotti funzionali, di cui il primo lotto si estende da Via Maddaloni allo sbocco a mare.



Relativamente agli stralci del 2° lotto non ancora completati, nel 2011 è stato consegnato il Progetto Definitivo per appalto integrato del 2° stralcio, i cui lavori sono stati avviati nel 2015, mentre nel gennaio del 2015 il Gruppo Salini-Impregilo ha deciso di mettere a disposizione della Regione Liguria e degli Enti direttamente interessati (Provincia e Comune di Genova) la Progettazione Esecutiva di messa in sicurezza definitiva del torrente Bisagno, secondo il quadro degli interventi già definito dallo stesso Ente. Salini Impregilo, con apposito Contratto sottoscritto il 10/04/2015, ha affidato all'A.T.I., costituita da NET Engineering S.p.A., AI Engineering S.r.l. e Hydrodata, l'incarico per la redazione del Progetto Esecutivo del 3° stralcio del 2° lotto che rappresenta il completamento dell'intervento di recupero funzionale della copertura del torrente Bisagno, i cui lavori saranno avviati nel corso del 2016.

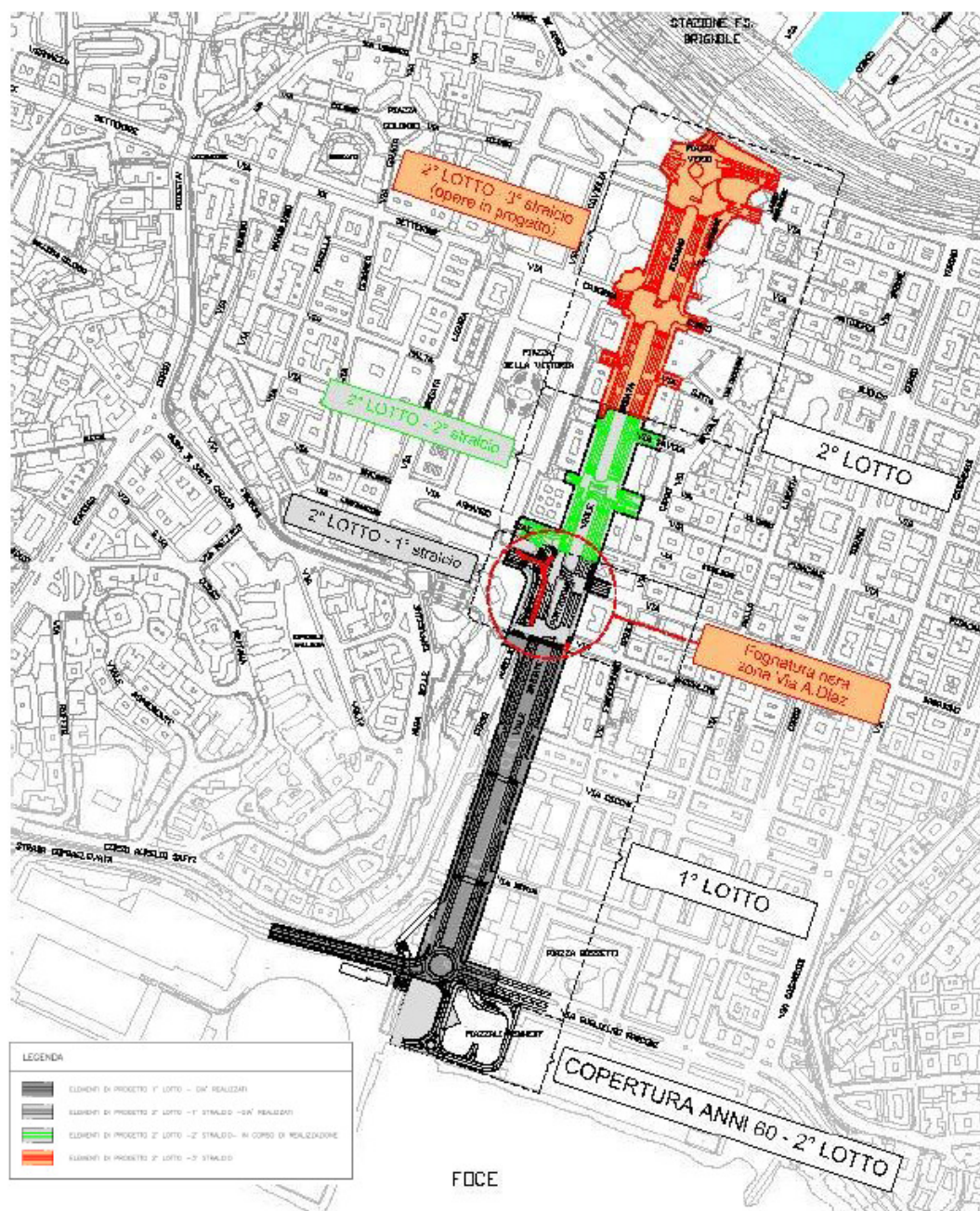


Figura 2.3 Rappresentazione di insieme dei tratti di copertura del torrente Bisagno oggetto di intervento nei differenti lotti funzionali e relativi stralci.

Nel presente studio è stata considerata la configurazione di progetto della copertura in accordo con quanto rappresentato nel progetto esecutivo del 3° stralcio del 2° lotto dei lavori.

## 2.4 Intervento di realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano

L'intervento di realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano si inquadra nel complesso degli interventi di difesa dalle piene del torrente Bisagno e dei suoi affluenti, per il quale è stato approvato nel 2007 il progetto definitivo generale per la realizzazione del relativo scolmatore, redatto dall'ATI Technital S.p.A., Studio Maione Ingegneri Associati, SGI Studio Galli Ingegneria S.p.A., Sogreah S.A. per conto della Provincia di Genova.

Del progetto generale di scolmatore del Bisagno è stato definito nel 2013 un primo lotto, per il quale il Comune di Genova ha assunto il ruolo di stazione appaltante (a seguito di specifico Atto con Regione Liguria e Provincia di Genova, subentrando nel contratto disciplinare stipulato con il raggruppamento temporaneo di progettisti), che prevede la realizzazione di tre opere di presa per captare le portate dei torrenti Fereggiano, Rovare e Noce e di un tunnel idraulico finalizzato al convogliamento delle portate derivate verso il mare.

Sempre nell'anno 2013 il Comune di Genova ha ottenuto il cofinanziamento statale per coprire i costi necessari per realizzare una prima parte delle opere previste nel progetto definitivo del Bisagno del 2007 e nel Progetto Definitivo di Primo Lotto del 2013, che sono state pertanto inquadrate come primo stralcio del primo lotto. Le opere realizzabili con i fondi disponibili sono state individuate in:

- opera di presa sul rio Fereggiano in salita Ginestrato, già prevista nel progetto definitivo del 2007;
- galleria di derivazione delle acque del rio Fereggiano mediante prolungamento della galleria esistente del deviatore Fereggiano da destinare a galleria idraulica anziché a galleria di servizio della galleria principale Bisagno (differentemente da quanto inizialmente previsto nel progetto definitivo del 2007);
- opera di sbocco a mare già prevista nel progetto definitivo del 2007.



Figura 2.4 Tracciato planimetrico delle opere previste quale primo stralcio del primo lotto (scolmatore del rio Fereggiano, in rosso) del progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno.



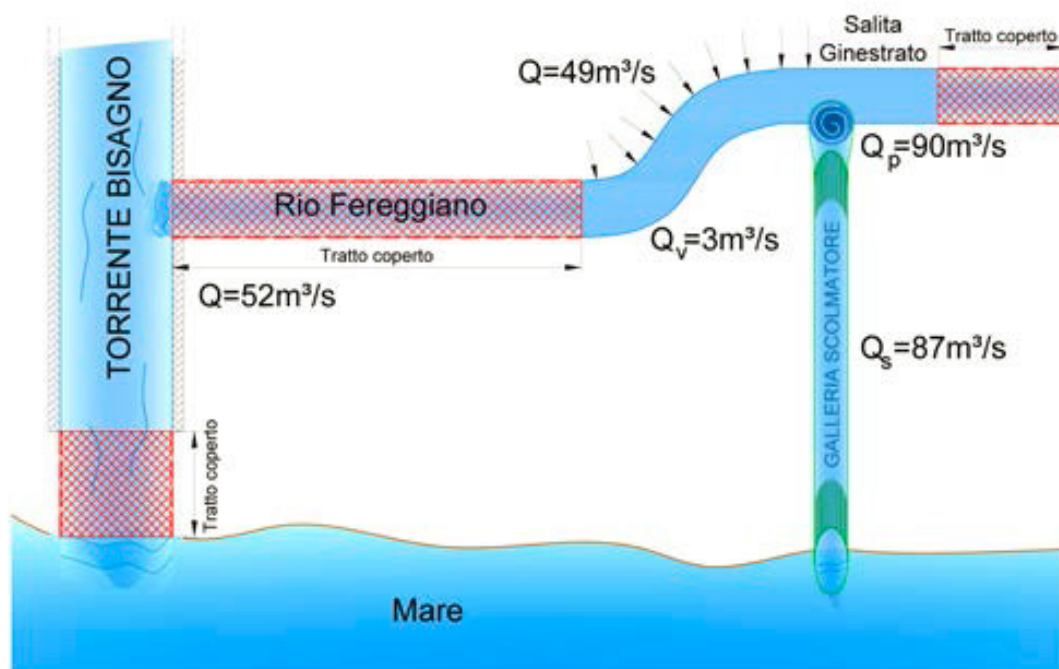


Figura 2.5 Schema delle massime portate di piena con tempo di ritorno 200 anni del rio Fereggiano transanti dall'opera di presa dello scolmatore alla confluenza nel torrente Bisagno.

Queste opere sono state messe in gara dal Comune di Genova nell'agosto 2014 e, per quanto riguarda l'opera di presa del rio Fereggiano, prevede di derivare una portata massima di  $87\text{ m}^3/\text{s}$ , a fronte di una portata massima duecentennale che, sulla base dei valori riportati nel Piano di Bacino del torrente Bisagno, risulta pari a  $90\text{ m}^3/\text{s}$  in prossimità dell'opera di presa e  $139\text{ m}^3/\text{s}$  alla confluenza con il torrente Bisagno. A seguito della realizzazione del primo stralcio, pertanto, occorre considerare una portata massima oltre la sezione di derivazione pari a  $3\text{ m}^3/\text{s}$  che, a fronte del contributo della porzione di valle del bacino, raggiunge il valore massimo di  $52\text{ m}^3/\text{s}$  alla confluenza.

Nel presente studio tale intervento è stato rappresentato in una duplice veste: da un lato verificando l'effettiva assenza di allagamenti provocati dal rio Fereggiano, dall'altro schematizzando il torrente Bisagno considerando il minor apporto dell'affluente alla confluenza, a seguito della derivazione di una parte consistente del suo contributo di piena.

## 2.5 Intervento di rifacimento del ponte Castelfidardo sul torrente Bisagno

Per quanto riguarda l'intervento di rifacimento del ponte di Castelfidardo, non si fa riferimento ad uno specifico elaborato progettuale; nonostante ciò tale intervento è stato definito in più occasioni dal Comune di necessaria realizzazione, al fine di mitigare in modo consistente la pericolosità idraulica della parte bassa della Valbisagno. A conferma di ciò, nel corso dell'analisi idraulica dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno, è emersa l'evidente criticità di tale manufatto rispetto alle condizioni di deflusso delle piene.

Per valutare l'impatto, in termini di riduzione degli allagamenti, dell'eliminazione di tale criticità puntuale, si è ipotizzata la realizzazione di un impalcato a campata unica e con quota di intradosso superiore al massimo livello in alveo della piena duecentennale in assenza dell'attraversamento, di fatto come se la corrente non risentisse in alcun modo della presenza del ponte. Secondo tale impostazione è stato pertanto schematizzato all'interno della modellazione idraulica.

## 3 Pericolosità idraulica nella configurazione “attuale”

### 3.1 Metodologia dell'analisi idraulica

La pericolosità idraulica delle aree oggetto di intervento è assegnata mediante le relative fasce definite nel Piano di Bacino. Relativamente al bacino del torrente Bisagno, entro cui ricade l'area in esame, il Piano risulta attualmente in fase di approvazione, con variante in corso (DDG n.6 del 21/01/2016). Tale iter di aggiornamento trae origine da un incarico di approfondimento idraulico affidato nel 2014 dalla ex Provincia di Genova, ufficio Direzione di Pianificazione Generale e di Bacino, all'ATI composta da DHI e Art Ambiente Risorse e Territorio (provvedimento di aggiudicazione n°2953/69732 del 28 giugno 2013), successivamente oggetto di specifica estensione di incarico (Determinazione n° 2431 del 12 giugno 2014).

In dettaglio il criterio di perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica è legato alla propagazione degli allagamenti generati da eventi di piena di assegnato tempo di ritorno: 50 anni per la fascia A, 200 anni per la fascia B e 500 anni per la fascia C. Come definito nell'Allegato 1 alla D.G.R. del 1/02/2013 (Criteri per l'individuazione di aree a minor pericolosità relativa e di ambiti normativi nella Fascia B dei Piani di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) la fascia di pericolosità idraulica B prevede un'ulteriore suddivisione in ambiti normativi BB e B0, quest'ultimo associato a aree a “minor pericolosità relativa”. La distinzione avviene in funzione dei valori di massimo tirante idrico e velocità degli allagamenti, sulla base del criterio raffigurato in Figura 3.1.

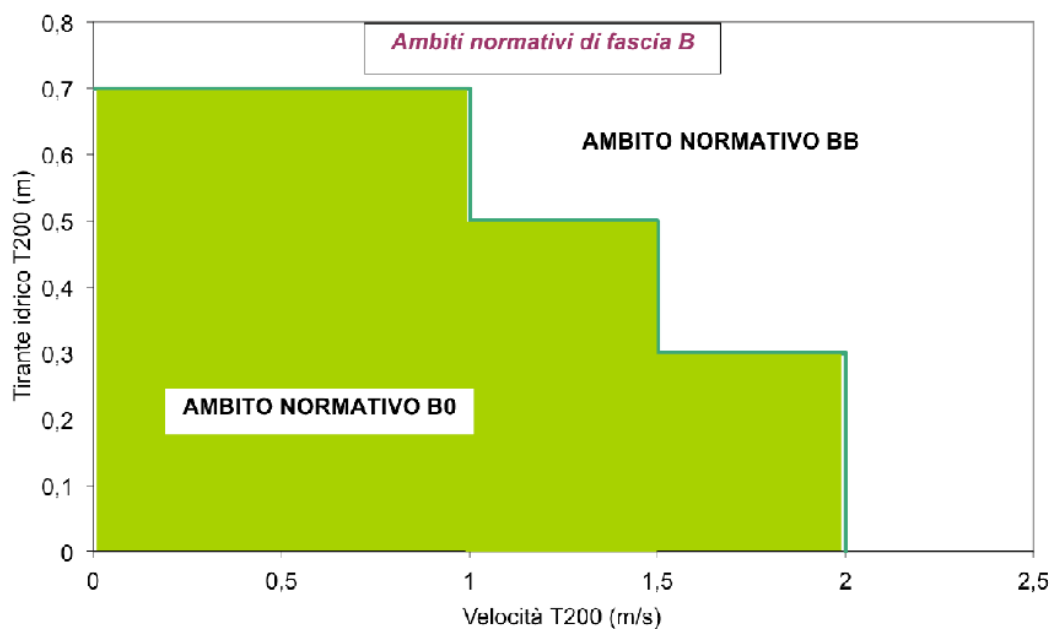


Figura 3.1 Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale  $h_{200}$  condizionato alla velocità locale della corrente  $v_{200}$  ai fini della definizione degli ambiti normativi in fascia B.

La seguente Figura 3.2 rappresenta le fasce di pericolosità e gli ambiti normativi di fascia B (A, B0, BB, C), in prossimità delle aree in esame, presso i quartieri genovesi di Marassi e San Fruttuoso. In particolare si osserva che l'ex Mercato Ortofrutticolo di Corso Sardegna risulta perimetrato, all'interno della fascia B, interamente in ambito BB. Tuttavia, è opportuno evidenziare come l'ex Mercato risulti in realtà al bordo dell'ambito BB e che nella definizione di tale perimetrazione lo stesso è stato considerato come un elemento unico, senza un'ulteriore specificazione delle aree presenti al suo interno.

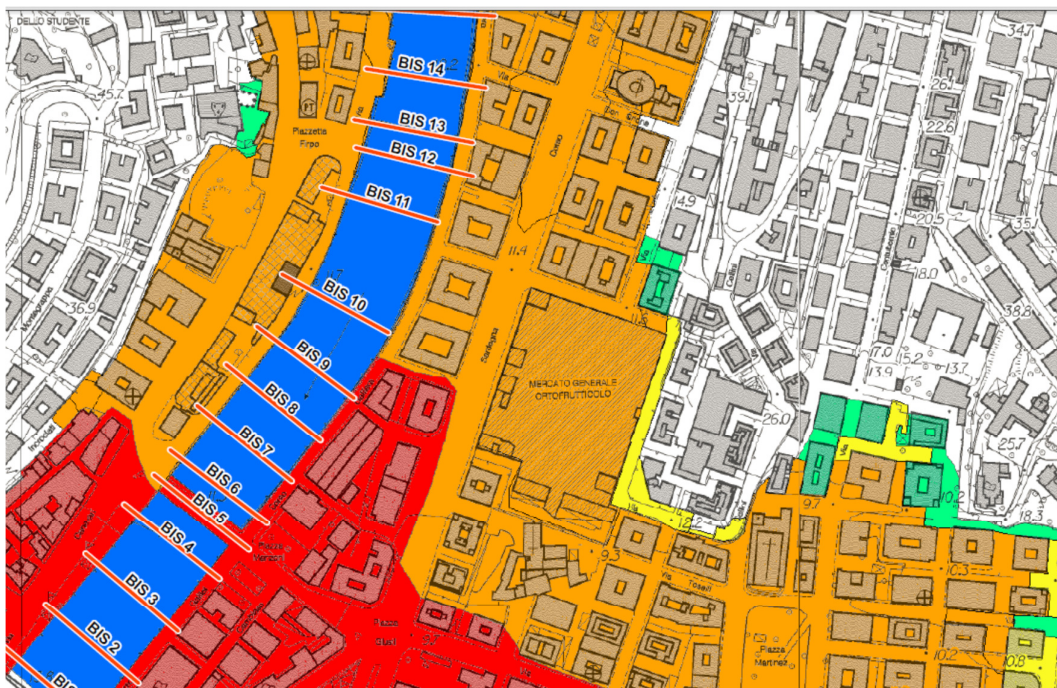


Figura 3.2 Fasce di pericolosità e ambiti normativi della proposta di aggiornamento del Piano di bacino del torrente Bisagno in prossimità dell'ex Mercato Ortofrutticolo di Corso Sardegna (Genova). In colore rosso la fascia A, in arancione l'ambito BB, in giallo l'ambito B0, in verde la fascia C.

Obiettivo di questo studio è pertanto svolgere un'analisi di dettaglio dell'area oggetto di intervento, supportata dai seguenti elementi principali:

- incremento della risoluzione di analisi, alla scala di 1m rispetto ai precedenti 3m dello studio del Piano di Bacino, della topografia del terreno;
- rappresentazione delle aree interne all'ex Mercato, in modo da investigare all'interno di esso le dinamiche di propagazione degli allagamenti, non presenti nel Piano di Bacino in fase di approvazione, con la schematizzazione degli edifici e degli altri elementi presenti che possono influire su tale propagazione;
- recepimento di un rilievo di dettaglio a partire dal quale definire la topografia dei luoghi all'interno ed in prossimità delle aree dell'ex Mercato.

Ed eccezione di quanto sopra specificato, non è stata introdotta nessuna ulteriore variazione, né in termini metodologici, né di dati di input, rispetto a quanto svolto nell'incarico di approfondimento idraulico commissionato dall'ex Provincia, in modo tale da garantire la piena coerenza dei risultati ottenuti con quanto posto alla base dell'aggiornamento del Piano di Bacino.

In termini metodologici, è inoltre opportuno evidenziare come nello studio di aggiornamento del Piano di Bacino è stata assunta l'ipotesi di considerare, a seguito della valutazione di molteplici fattori, una percentuale di riduzione della sezione defluente in alveo in corrispondenza di determinati manufatti. Per coerenza con tale metodologia, analoga operazione è stata svolta in questo studio, andando a valutare caso per caso, per le medesime sezioni, se adottare una riduzione della stessa e la relativa entità, sia nell'analisi idraulica nella configurazione attuale qui descritta sia in quella di progetto successivamente rappresentata.

## 3.2 Risultati dell'analisi idraulica

### 3.2.1 Analisi dell'applicazione del criterio di parzializzazione delle sezioni

Come specificato nel precedente Paragrafo, l'analisi ha comportato in primo luogo la valutazione dell'applicazione del criterio di riduzione delle sezioni, per i due corsi d'acqua del torrente Bisagno e del rio Fereggiano, di cui si riportano di seguito gli esiti. Tale valutazione ripercorre quanto in precedenza definito ed approvato dall'Autorità di Bacino Regionale in sede di approfondimento idraulico svolto ai fini dell'aggiornamento del Piano di Bacino.

I manufatti, ed associati eventi di piena, per i quali è stata valutata la possibile parzializzazione della sezione di deflusso, in quanto possono determinare un impatto in termini di maggiori allagamenti dell'area di interesse, sono:

- Copertura di Marassi sul torrente Bisagno – Evento con tempo di ritorno di 200 anni
- Ponte di Castelfidardo sul torrente Bisagno – Evento con tempo di ritorno di 50 anni
- Copertura terminale del rio Fereggiano – Evento con tempo di ritorno di 50 anni

Di seguito si riporta per ognuno di essi una sintesi delle valutazioni svolte.

#### Copertura di Marassi sul torrente Bisagno – Evento con tempo di ritorno di 200 anni

La copertura di Marassi è stata studiata per l'evento duecentennale, considerando l'occlusione di metà della campata in sinistra, corrispondente a una percentuale di ostruzione di circa il 15%.

I valori di pelo libero e franco idraulico hanno evidenziato come l'occlusione analizzata comporti un innalzamento del pelo libero all'imbocco della struttura ai livelli di quelli associati all'evento cinquecentennale. Tali valori determinano il funzionamento in pressione della struttura e annullano in pratica il franco idraulico rispetto alla sponda sinistra, ma non comportano un'effettiva esondazione; in sponda destra, invece, il franco risulta ridotto ma comunque non inferiore a 0,3 m. Questo comporta un impatto nullo sull'area dell'ex Mercato Ortofrutticolo.

#### Ponte di Castelfidardo sul torrente Bisagno – Evento con tempo di ritorno di 50 anni

L'attraversamento di Castelfidardo è stato analizzato in relazione a una potenziale ostruzione per l'evento con tempo di ritorno cinquantennale, dal momento che in caso di evento duecentennale gli allagamenti occupano già tutta la piana urbana. L'occlusione ha riguardato la prima campata in sinistra, per una percentuale di ostruzione circa pari al 20%.

Lo studio ha evidenziato come anche in queste condizioni estreme le acque di esondazione non raggiungono l'area dell'ex Mercato, pertanto anche in questo caso l'impatto della riduzione di sezione risulta nullo.

#### Copertura terminale del rio Fereggiano – Evento con tempo di ritorno di 50 anni

Sulla base dell'insufficienza della copertura terminale del Fereggiano a far defluire anche la portata cinquantennale, è stato analizzato uno scenario di occlusione della stessa per una percentuale del 40%. Anche in questo caso si è fatto riferimento al solo evento con tempo di ritorno di 50 anni in quanto l'evento duecentennale determina diffusi allagamenti su tutta l'area urbana fino alla zona della Foce e non necessita della presa in considerazione di ulteriori coefficienti di sicurezza. L'analisi ha evidenziato come anche a fronte dell'ipotesi ulteriormente cautelativa assunta, le acque di esondazione non raggiungono l'area dell'ex Mercato.

In conclusione, per quanto riguarda lo stato attuale del rio Fereggiano e del torrente Bisagno, nessuna delle ipotesi di parzializzazione delle sezioni di deflusso alla base del nuovo Piano di Bacino determina impatti sull'area dell'ex mercato.

Successivamente è stata svolta analoga analisi rispetto alle configurazioni dei due corsi d'acqua a seguito della realizzazione dei tre interventi citati nel precedente Capitolo: completamento del rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno, realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano, rifacimento del ponte di Castelfidardo.

Il primo intervento non comporta, per i tre manufatti e relativi eventi associati analizzati, un significativo abbassamento dei livelli in alveo, che pertanto non altera il giudizio assunto rispetto alla configurazione attuale.

Il secondo intervento rende non significativa l'ipotesi di riduzione delle sezioni sul rio Fereggiano, mentre non ha in questi termini un impatto significativo sul torrente Bisagno, né a monte né a valle della relativa confluenza.

Infine il terzo intervento, oltre ad annullare automaticamente una delle ipotesi assunte, non comporta presso gli altri due attraversamenti citati un impatto tale da modificare le valutazioni sopra esposte.

In merito agli ultimi due interventi citati, al di là dei franchi idraulici previsti da normativa per la progettazione delle opere idrauliche, ai fini della pianificazione e pertanto della definizione delle fasce di pericolosità idraulica, è comunque opportuno valutare un coefficiente di sicurezza. Tale coefficiente, da ritenersi da applicare rispetto alla pura modellazione matematica in accordo con i criteri dell'Autorità di Bacino, va definito nell'ottica di determinare la capienza certa in alveo della portata di massima piena. In questi termini occorre pertanto considerare un criterio di parzializzazione delle sezioni, per il quale si ritiene adeguato adottare quanto precedentemente definito rispetto alla configurazione attuale; in particolare, è opportuno segnalare come tale approccio risulti cautelativo in quanto nella configurazione di progetto, per effetto della maggior ampiezza della sezione defluente oppure della minore entità della portata di massima piena, le condizioni di deflusso risultano indubbiamente più favorevoli rispetto allo stato attuale.

In accordo con l'approccio descritto sono pertanto state svolte analoghe valutazioni idrauliche rispetto alle configurazioni di progetto descritte, riscontrando che, per il caso della copertura del rio Fereggiano, pur applicando il criterio adottato, gli allagamenti non interessano in ogni caso le aree dell'ex Mercato; mentre, per il ponte Castelfidardo, localmente non si evidenziano i presupposti per l'applicazione della parzializzazione della sezione defluente.

### 3.2.2 Risultati dell'analisi idraulica nella configurazione "attuale"

Definito l'assetto dei due corsi d'acqua Fereggiano e Bisagno nelle differenti configurazioni analizzate e definita la metodologia di svolgimento dell'analisi idraulica in analogia a quanto svolto nell'approfondimento idraulico del Piano di Bacino, si riportano di seguito gli esiti delle modellazioni idrauliche svolte con il codice MIKE FLOOD del DHI, con particolare attenzione alle aree in prossimità dell'ex Mercato Ortofrutticolo di Corso Sardegna.

In particolare, poiché gli eventi con tempo di ritorno 50 anni dei due corsi d'acqua non interessano l'area di studio, nemmeno a fronte dell'applicazione dei criteri di riduzione delle sezioni illustrati nel precedente Paragrafo, vengono di seguito rappresentati gli esiti delle analisi idrauliche relativamente ai soli eventi di piena con tempo di ritorno 200 anni, che possono conseguentemente comportare una potenziale differente definizione della classificazione della pericolosità delle aree oggetto di studio dall'ambito BB a quello B0, oppure alla fascia C.

Nel presente Capitolo vengono rappresentati i risultati delle analisi idrauliche nella configurazione attuale sia dei corsi d'acqua Fereggiano e Bisagno, sia delle aree dell'ex Mercato Ortofrutticolo di Corso Sardegna. Nel prossimo Capitolo verranno invece presentate le differenti configurazioni di progetto a seguito della realizzazione sia degli interventi previsti per i corsi d'acqua sia del restauro architettonico dell'ex Mercato.



### Configurazione attuale – Evento con tempo di ritorno 200 anni sul torrente Bisagno

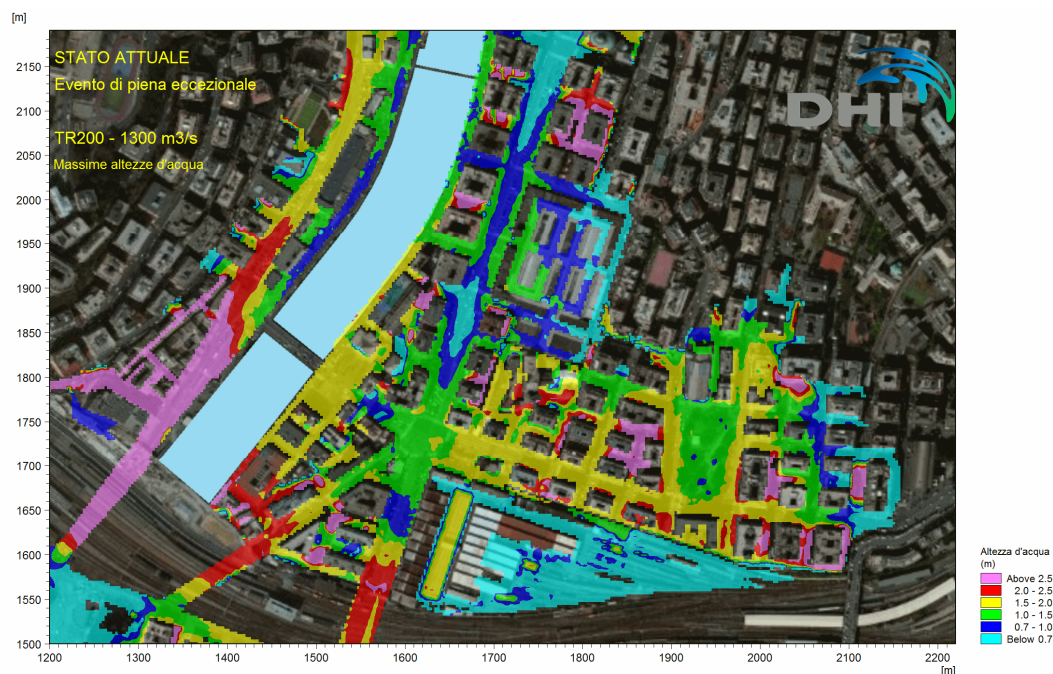


Figura 3.3 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

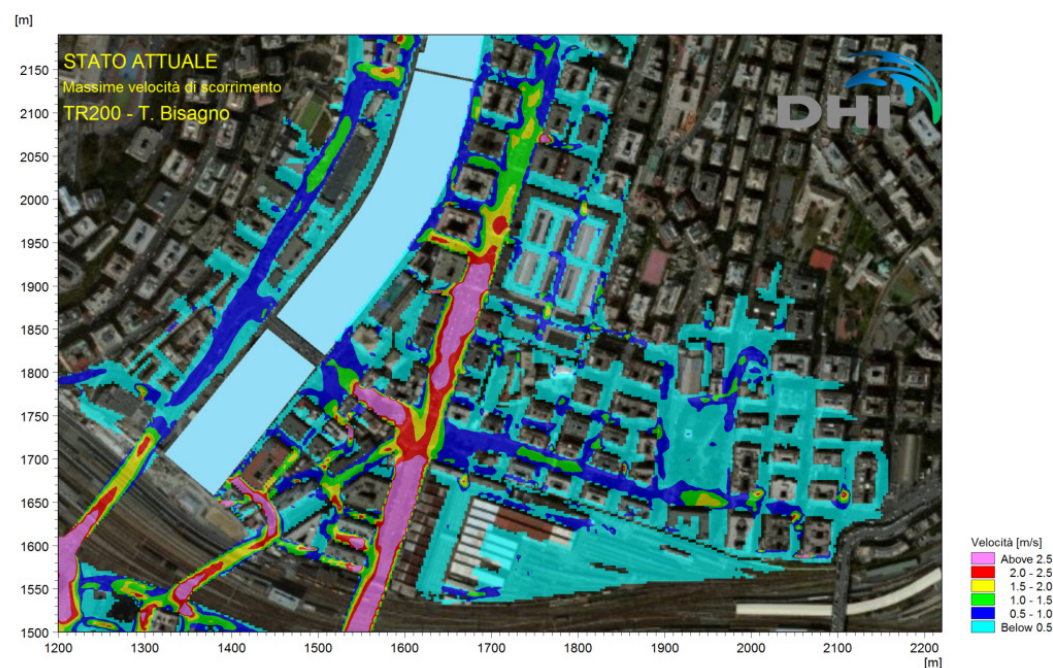


Figura 3.4 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

### Configurazione attuale – Evento con tempo di ritorno 200 anni sul rio Fereggiano

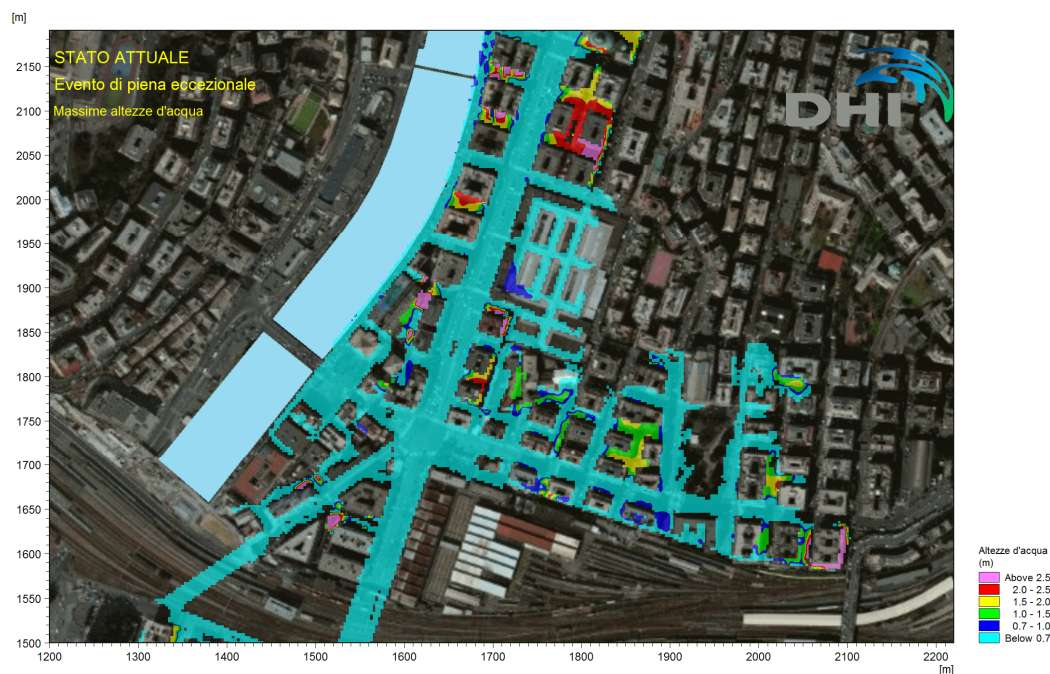


Figura 3.5 Rio Fereggiano – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

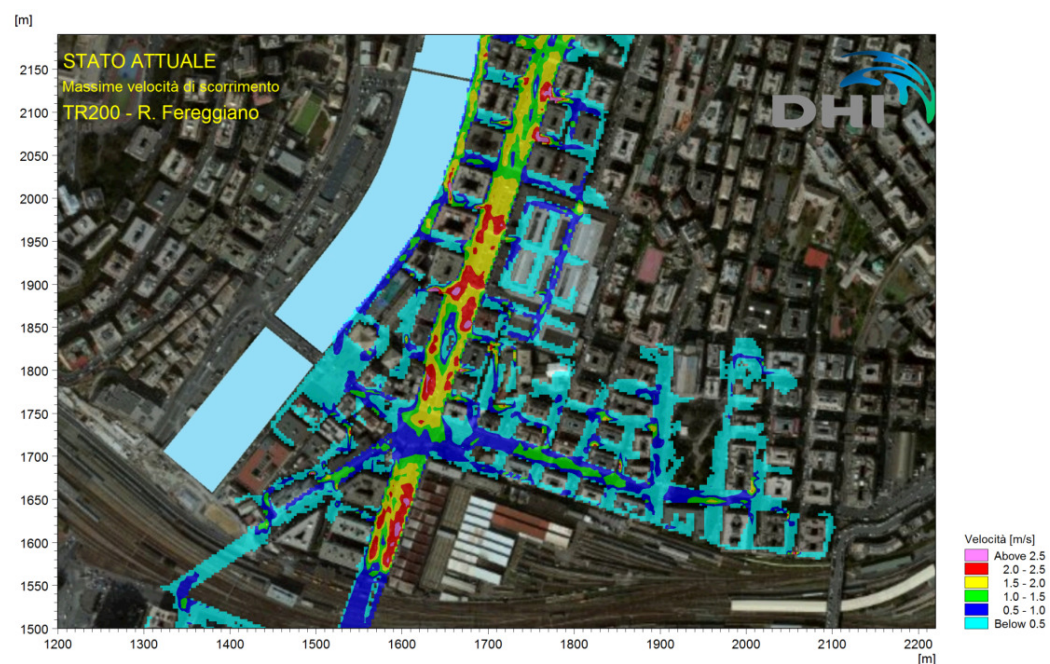


Figura 3.6 Rio Fereggiano – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Le figure sopra riportate rappresentano i valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti generati dai due corsi d'acqua nell'area oggetto di intervento, a fronte di eventi di piena con tempi di ritorno di 200 anni. In aggiunta ad esse, in Allegato A sono rappresentati i



valori massimi delle principali grandezze idrodinamiche in alveo per i tratti di corso d'acqua di più diretto interesse rispetto alle aree oggetto di studio.

Dall'analisi comparata degli allagamenti generati dai due corsi d'acqua nell'area di studio, è possibile evidenziare il maggior impatto di quelli del torrente Bisagno, che risultano significativamente più elevati, con particolare riferimento ai valori dei tiranti idrici. Da ciò ne consegue che, ai fini della valutazione degli scenari progettuali, maggior incidenza sulla riduzione della pericolosità idraulica delle aree dell'ex Mercato avranno quegli interventi in grado di ridurre significativamente gli allagamenti del torrente Bisagno.

In particolare, scendendo in dettaglio, i valori massimi di tiranti all'interno dell'ex Mercato, per effetto dell'evento di piena duecentennale del torrente Bisagno, risultano in una parte significativa delle aree del sito superiori al metro e solamente un edificio, localizzato nell'angolo nord-est dell'ex Mercato, risulta circondato per pressoché la totalità del suo perimetro da valori massimi di tiranti inferiori a 70 cm, valore soglia sopra al quale, in accordo con il criterio di definizione degli ambiti normativi di fascia B, risulta attribuito l'ambito normativo BB.

## 4 Configurazioni di progetto

Nel presente Capitolo vengono rappresentati distintamente gli esiti delle analisi idrauliche per le configurazioni di progetto dovute alla sola realizzazione degli interventi relativi ai corsi d'acqua Fereggiano e Bisagno, mantenendo l'attuale assetto delle aree dell'ex Mercato di Corso Sardegna, e successivamente a seguito della realizzazione dell'intervento di restauro architettonico dello stesso. In questo modo è pertanto possibile effettuare, per ognuna delle configurazioni definite dei corsi d'acqua, il confronto tra l'assetto attuale e quello di progetto dell'ex Mercato, in modo da valutare i conseguenti impatti sugli allagamenti dell'intervento di restauro architettonico.

Inoltre, poiché il cronoprogramma dei lavori, pur nell'inevitabile incertezza insita nella realizzazione di questa tipologia di opere, risulta ad oggi sufficientemente noto almeno per due dei tre interventi citati, ciò permette di definire un ordine cronologico di completa realizzazione dei tre interventi. A partire da questi elementi, sono state definite le seguenti configurazioni di progetto da considerare nell'analisi idraulica:

- configurazione a completamento del rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno;
- configurazione in cui, in aggiunta alla copertura terminale del Bisagno, risulta realizzato lo scolmatore del rio Fereggiano;
- configurazione finale in cui, ai due interventi della copertura terminale del torrente Bisagno e dello scolmatore del rio Fereggiano, si aggiunge il rifacimento del ponte Castelfidardo.

Naturalmente quanto descritto fa riferimento al solo torrente Bisagno, poiché l'impatto dei due interventi sulle condizioni di deflusso nel rio Fereggiano è irrilevante in quanto:

- l'intervento sulla copertura terminale non produce variazioni sostanziali del livello in alveo alla confluenza, tale da indurre variazioni apprezzabili delle condizioni di deflusso dell'evento duecentennale del rio Fereggiano;
- l'intervento di rifacimento del ponte Castelfidardo, con la completa avvenuta demolizione dell'attuale implacato, ha tempistiche ancora non note ed in ogni caso successive alla realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano, opera in sé già in grado di annullare ogni allagamento a fronte di un evento duecentennale del corso d'acqua.



Nei successivi paragrafi sono rappresentati gli esiti delle analisi idrauliche, nelle differenti configurazioni citate, in termini di valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento, a fronte di eventi di piena con tempi di ritorno di 200 anni, presentando inoltre la combinazione dei rispettivi valori secondo quanto definito nel criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B.

A tal fine è opportuno evidenziare come le immagini riportate rappresentino la mera combinazione dei valori di tiranti e velocità, senza che le stesse vadano interpretate come una proposta di perimetrazione degli ambiti, per la quale occorre perimetrare il territorio non solo sulla base dei valori numerici determinati ma anche in accordo ai criteri dell'Autorità di Bacino Regionale (ad esempio in termini di inserimento od esclusione di edifici da una specifica perimetrazione in funzione dei valori circostanti delle variabili idrodinamiche). Ciò nonostante, i valori determinati e le immagini proposte forniscono comunque un'idea sufficientemente netta del grado di pericolosità relativa che viene posto alla base della definizione degli ambiti B0 e BB.

In aggiunta a quanto di seguito riportato, in Allegato A sono rappresentati i valori massimi delle principali grandezze idrodinamiche in alveo per i tratti di corso d'acqua di più diretto interesse alle aree oggetto di studio, per ognuna delle configurazioni esaminate.

#### 4.1 Configurazioni di progetto per i corsi d'acqua e mantenimento dello stato attuale delle aree dell'ex Mercato Ortofrutticolo

Nel presente Paragrafo sono rappresentati gli esiti delle analisi idrauliche nelle differenti configurazioni relative alla realizzazione degli interventi inerenti i corsi d'acqua Fereggiano e Bisagno, mantenendo l'assetto attuale delle aree dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna.

Dal punto di vista dell'analisi idraulica con il codice di calcolo MIKE FLOOD, nel quale vengono accoppiati dinamicamente un modello monodimensionale del corso d'acqua con codice di calcolo MIKE 11 e uno bidimensionale delle aree allagabili circostanti con codice di calcolo MIKE 21, la simulazione delle differenti configurazioni è avvenuta modificando le sole componenti oggetto di intervento. Nel caso specifico delle analisi presentate in questo Paragrafo, poiché in esse viene mantenuto l'assetto attuale dell'ex Mercato, di fatto la componente bidimensionale del modello idraulico rimane inalterata rispetto allo stato attuale, mentre quella monodimensionale risulta modificata di volta in volta per recepire le modifiche introdotte per ognuno degli interventi considerati.

##### Configurazione di progetto del torrente Bisagno con il completamento del rifacimento della copertura terminale – Evento con tempo di ritorno 200 anni

Tale intervento prevede l'inserimento, all'interno della componente monodimensionale del modello rappresentante la parte terminale del torrente Bisagno, delle modifiche introdotte dall'intervento in progetto. Al di fuori di tale tratto, invece, il modello idraulico rimane inalterato rispetto alla configurazione attuale.

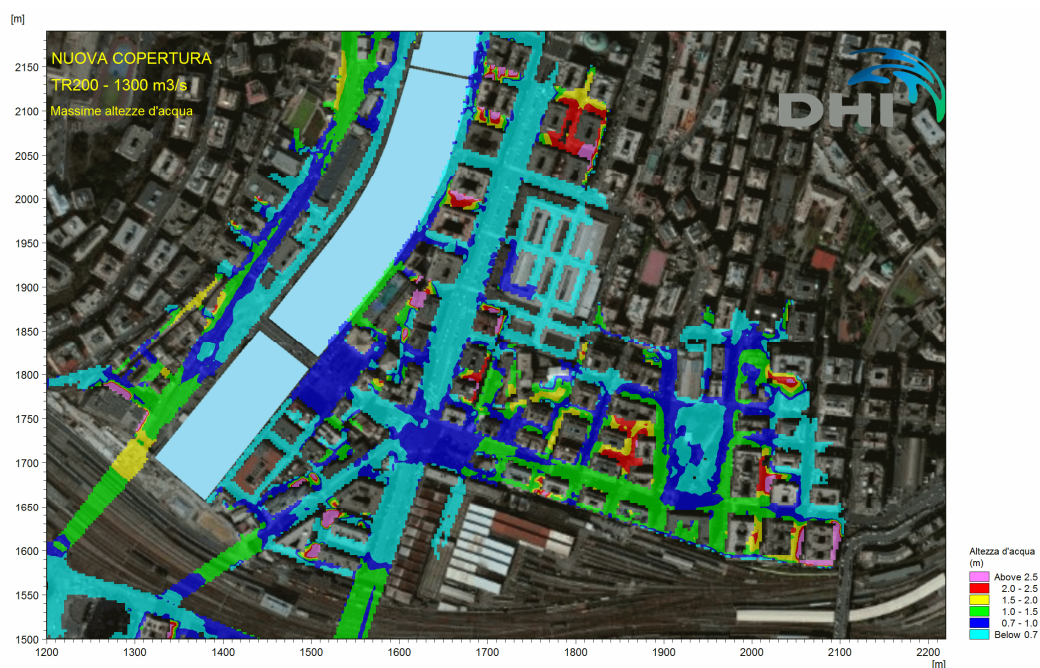


Figura 4.1 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.

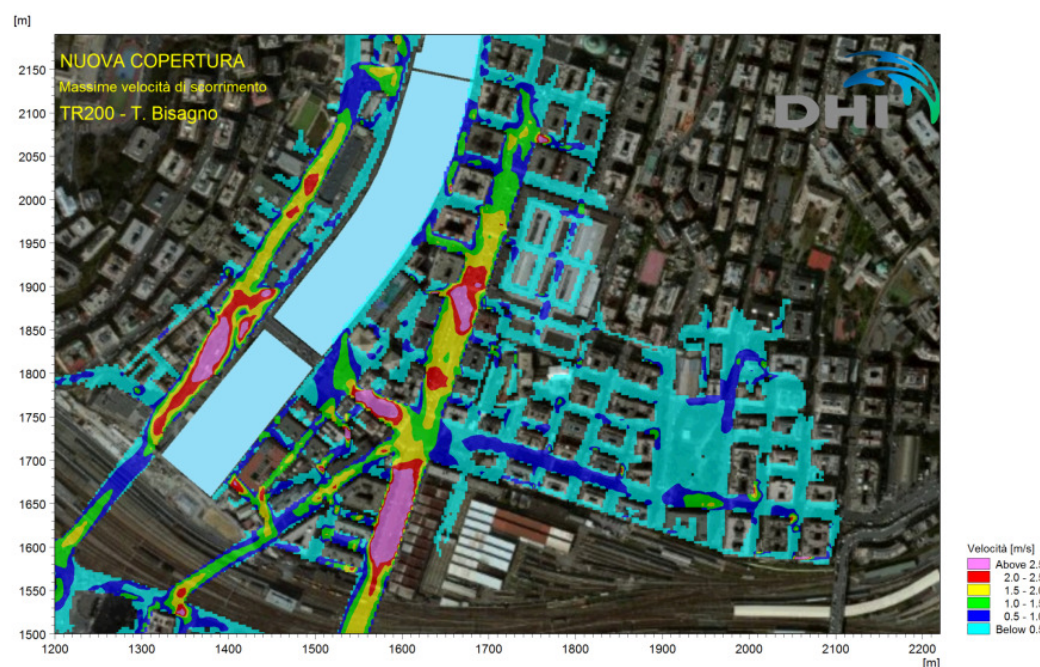
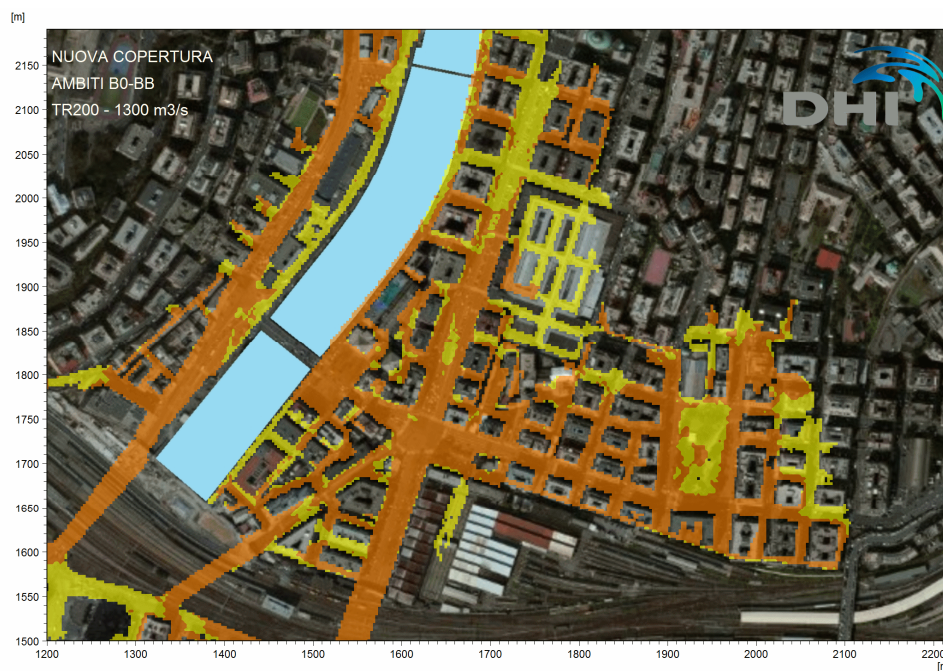


Figura 4.2 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.



**Figura 4.3** Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale, a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.

Dal confronto dei risultati ottenuti, rispetto a quelli degli allagamenti dell'evento duecentennale del torrente Bisagno nello stato attuale, emerge un'attenuazione delle esondazioni ed in particolare un abbassamento dei tiranti idrici che, in prossimità dell'ex Mercato, può essere quantificato mediamente pari a circa 55 cm. Ciò comporta, in riferimento alla definizione degli ambiti normativi, la possibilità di considerare ampia parte delle aree dell'ex Mercato soggette a una minor pericolosità relativa (a cui viene associato l'ambito B0), che tuttavia non può però essere attribuita all'intera area in esame perché nella porzione sud-ovest dell'ex Mercato si evidenziano valori massimi dei tiranti idrici ancora superiori a 70 cm.

#### Configurazione di progetto del rio Fereggiano ad avvenuta completa realizzazione del relativo scolmatore – Evento con tempo di ritorno 200 anni

Come illustrato nel precedente Par. 2.4, il progetto dello scolmatore del Rio Fereggiano prevede che, a fronte di un evento di piena duecentennale, oltre la sezione di derivazione dell'opera di presa prosegua una portata massima di 3 m<sup>3</sup>/s che, a seguito del contributo della sottostante parte del bacino, cresce fino a raggiungere il valore di 52 m<sup>3</sup>/s alla confluenza con il torrente Bisagno.

Le verifiche idrauliche del rio Fereggiano a seguito dell'intervento citato non sono oggetto del presente studio, per il quale si rimanda agli elaborati di progetto dell'opera; tuttavia in questa sede si è ritenuto appropriato svolgere una verifica semplificata dell'effettiva assenza di allagamenti nel tratto di interesse a seguito della realizzazione dello scolmatore. A tal fine è stata svolta un'analisi idraulica del corso d'acqua assumendo un valore di portata costante e pari alla massima portata di piena che si determina a partire dalla derivazione dello scolmatore, pari a 3 m<sup>3</sup>/s, uniformemente crescente fino al valore di 52 m<sup>3</sup>/s all'imbocco della copertura terminale, che si protrae fino alla confluenza con il torrente Bisagno. Tale assunzione ripercorre quanto sinteticamente rappresentato nella precedente Figura 2.5.



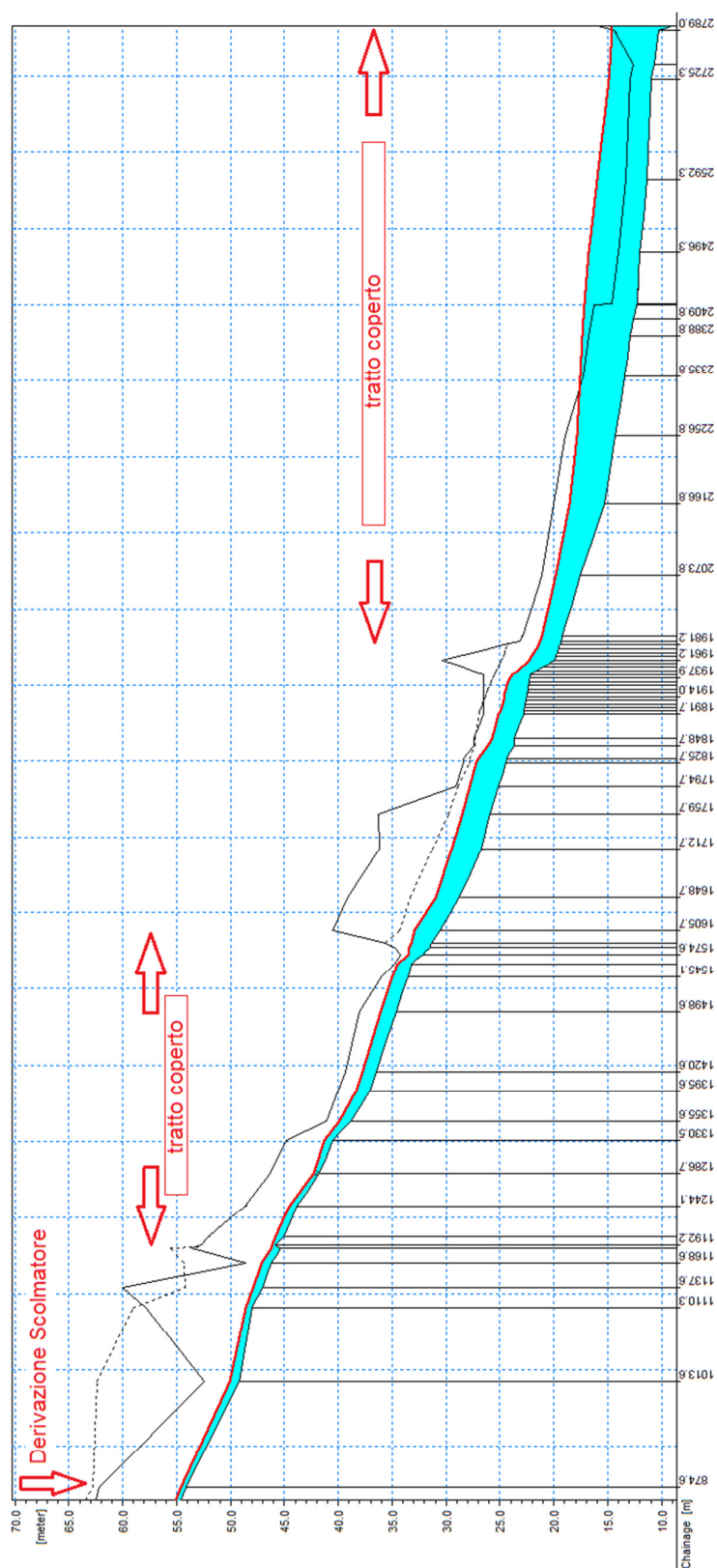


Figura 4.4 Rio Fereggiano – Profilo di corrente a fronte di un valore di portata costante pari a  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le linee presenti rappresentano: in rosso il massimo livello in alveo, la linea nera continua il profilo della sponda destra, la linea nera tratteggiata il profilo della sponda sinistra.

In questo modo è stato possibile verificare l'effettiva assenza di sormonti spondali nel rio Fereggiano, in cui è inoltre opportuno evidenziare come significativi tratti risultino tombinati, in particolare presso Largo Merlo e presso la confluenza con il Bisagno. La Figura 4.4 rappresenta il profilo di corrente della portata assegnata, con l'indicazione della posizione della derivazione dello scolmatore e dei tratti tombinati.

Infine è importante evidenziare come l'analisi idraulica sopra illustrata ripercorra, in analogia a quanto svolto per la configurazione attuale, l'impostazione adottata nell'approfondimento idraulico finalizzato all'aggiornamento del Piano di Bacino. In particolare, poiché l'analisi idraulica è svolta per finalità di pianificazione e non di progettazione delle opere, alcune impostazioni risultano fortemente cautelative e, nello specifico, comportano ad esempio che, pur a seguito della realizzazione dello scolmatore, il deflusso nella tombinatura terminale risulti parzialmente in pressione e più in generale senza l'adeguato franco di sicurezza; ciò è dovuto principalmente al fatto di aver considerato, quale condizione al contorno di valle del modello del rio Fereggiano, il livello del torrente Bisagno presso la confluenza associato all'evento di piena duecentennale, assumendo pertanto indirettamente la contemporaneità dei due eventi estremi.



**Figura 4.5** Rio Fereggiano – Aree soggette ad allagamento in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito della realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano (assenza di allagamenti).

Configurazione di progetto del torrente Bisagno con il completamento del rifacimento della copertura terminale e la realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano – Evento con tempo di ritorno 200 anni

La presente configurazione è stata schematizzata nel modello idraulico in MIKE FLOOD modificando opportunamente quanto implementato relativamente all'intervento precedente. In particolare, all'assetto idraulico rappresentativo dell'inserimento della copertura terminale, è stata modificata la portata in ingresso nel torrente Bisagno in corrispondenza della confluenza con il rio Fereggiano, rappresentativa del contributo dell'affluente, assegnando un idrogramma coerente con quanto definito nel progetto dello scolmatore, con valore massimo pari a  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale ipotesi risulta inoltre a favore di sicurezza perché equivale ad ipotizzare la contemporaneità del valore massimo della piena duecentennale dell'affluente come contributo al corso d'acqua principale.



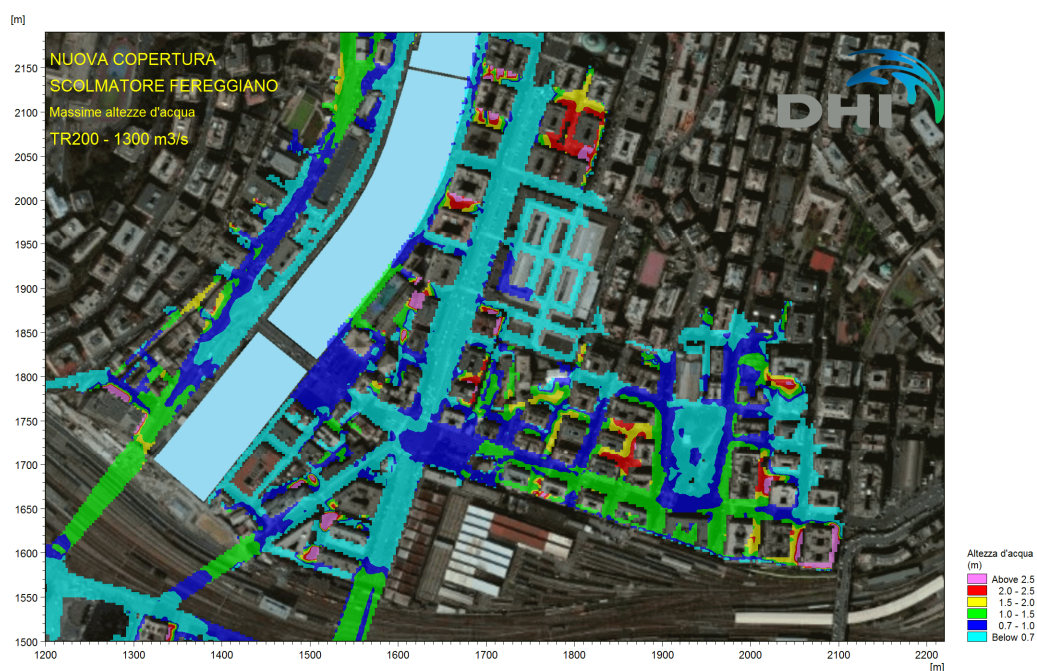


Figura 4.6 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento degli interventi di rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno e di realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano.

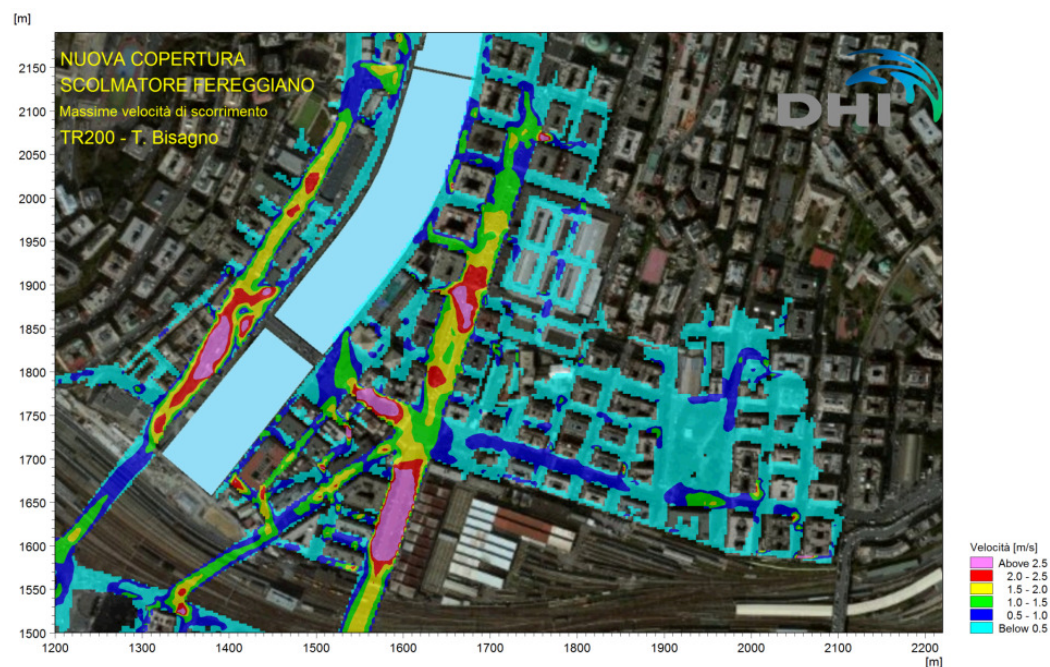
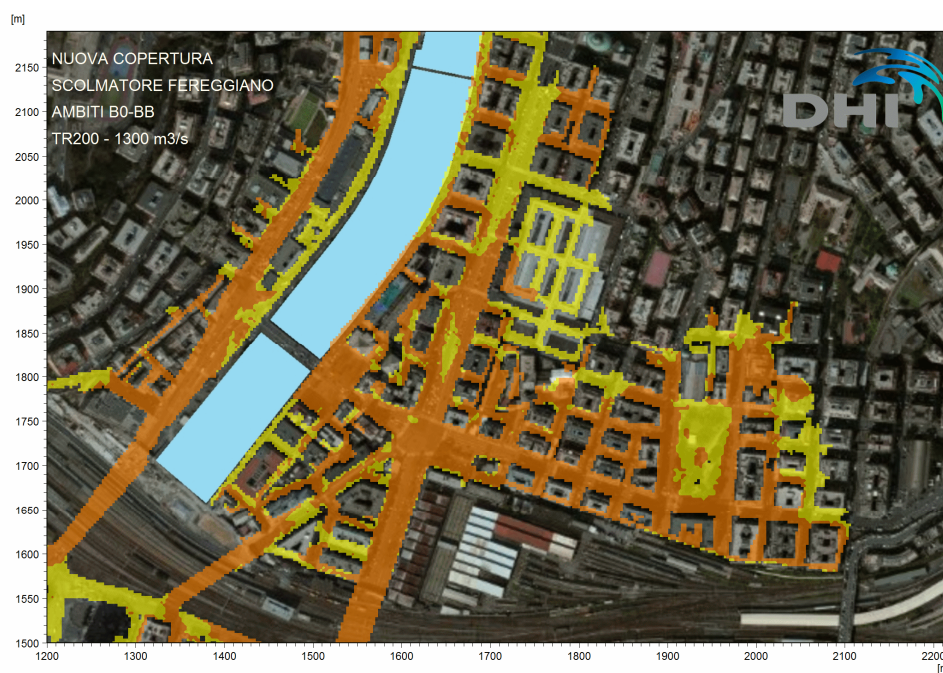


Figura 4.7 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento degli interventi di rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno e di realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano.



**Figura 4.8** Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale, a seguito del completamento degli interventi di rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno e di realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano.

L'esito della modellazione idraulica nella presente configurazione, rapportata allo stato attuale del torrente Bisagno, comporta una riduzione degli allagamenti dell'evento duecentennale presso le aree dell'ex Mercato mediamente pari a circa 58 cm. Questo comporta, rispetto alla configurazione che prevede la realizzazione del solo intervento della copertura terminale, precedentemente analizzato, un'ulteriore abbassamento di soli 3 cm circa.

Da ciò ne consegue che la realizzazione dello scolmatore del Fereggiano non comporta una ulteriore riduzione significativa degli allagamenti nell'area in esame originati dal torrente Bisagno, mentre tale intervento annulla completamente quelli del torrente Fereggiano. Poiché tuttavia per l'area dell'ex Mercato risultano più gravosi gli allagamenti del torrente Bisagno, tale intervento risulta certamente utile per i benefici legati alle esondazioni dell'affluente laterale ma, per quanto riguarda il corso d'acqua principale, senza la contestuale realizzazione di altri interventi, in sé comporta un beneficio limitato rispetto alle aree prese in esame.

Configurazione di progetto del torrente Bisagno con l'avvenuta completa realizzazione dei tre interventi considerati (copertura terminale – scolmatore Fereggiano – ponte Castelfidardo) – Evento con tempo di ritorno 200 anni

La rappresentazione di quest'ultima configurazione è stata svolta modificando il setup del modello precedente, comprensivo dei due interventi citati in precedenza, relativamente al solo attraversamento di ponte Castelfidardo sul torrente Bisagno, schematizzato nella componente monodimensionale in MIKE 11.





Figura 4.9 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento degli interventi relativi alla copertura terminale del torrente Bisagno, allo scolmatore del rio Fereggiano e al ponte Castelfidardo.

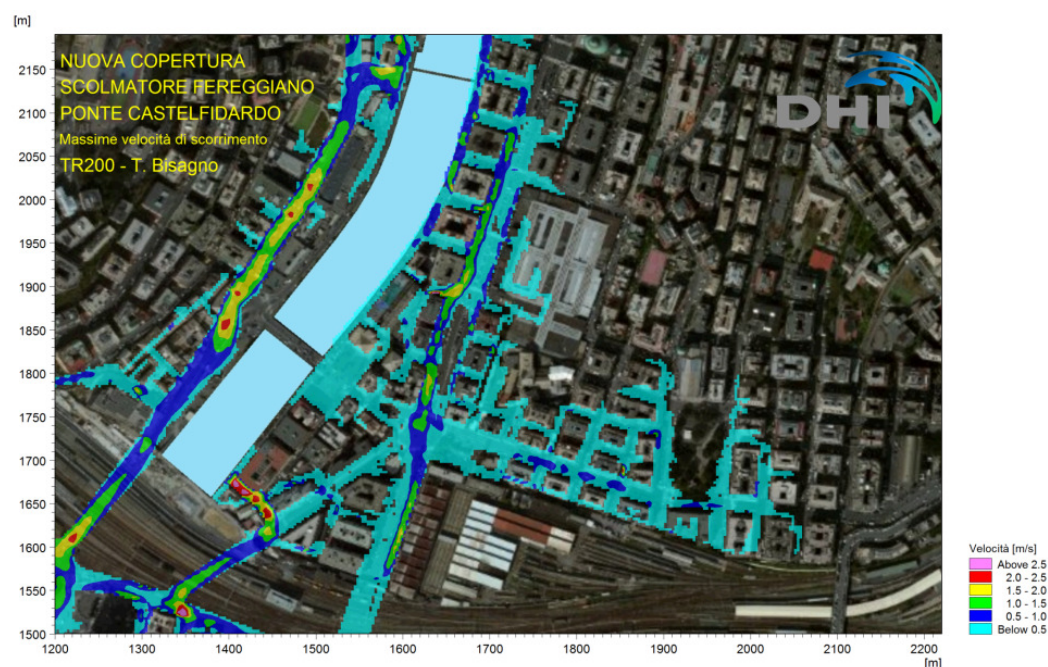


Figura 4.10 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento degli interventi relativi alla copertura terminale del torrente Bisagno, allo scolmatore del rio Fereggiano e al ponte Castelfidardo.





**Figura 4.11** Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale, a seguito del completamento degli interventi relativi alla copertura terminale del torrente Bisagno, allo scolmatore del rio Fereggiano e al ponte Castelfidardo.

La contestuale realizzazione dei tre interventi citati comporta, rispetto allo stato attuale, una riduzione significativa degli allagamenti che, nell'area in esame, comporta un abbassamento dei tiranti idrici mediamente di circa 1m. In particolare gli allagamenti residui in prossimità dell'ex Mercato risultano caratterizzati da valori di tiranti idrici e velocità di scorrimento contenuti, che ne permetterebbero pertanto la perimetrazione nell'ambito normativo di minor pericolosità relativa B0. Tuttavia è comunque opportuno evidenziare come, pur nella realizzazione di tutti gli interventi considerati, l'area in esame resterebbe comunque coinvolta dagli allagamenti dell'evento di piena duecentennale e pertanto non è possibile ipotizzare una ripermetrazione dell'intera area in fascia C.

Al contempo, confrontando gli esiti di quest'ultima configurazione rispetto alle precedenti, risulta importante sottolineare l'impatto significativo dell'intervento del ponte di Castelfidardo, al fine di ottenere allagamenti presso l'ex Mercato compatibili con l'ambito B0, mentre con i soli interventi precedenti si otterrebbe che parte delle aree in esame resterebbero in ogni caso assoggettate all'ambito normativo BB.

## 4.2 Configurazioni di progetto delle aree dell'ex Mercato Ortofrutticolo

Come emerso dalle analisi del precedente Paragrafo, alcune configurazioni in esso analizzate non risultano significative per quanto riguarda la configurazione di progetto. In particolare l'analisi del torrente Bisagno con l'aggiunta dello scolmatore del Fereggiano, rapportata a quella relativa al solo completamento della copertura terminale, mostra come l'impatto in termini di riduzione degli allagamenti del Bisagno per effetto dello scolmatore sia alquanto modesto, per cui risulta poco significativo andare a mantenere tale differenziazione anche nell'analisi della configurazione di progetto dell'ex Mercato.

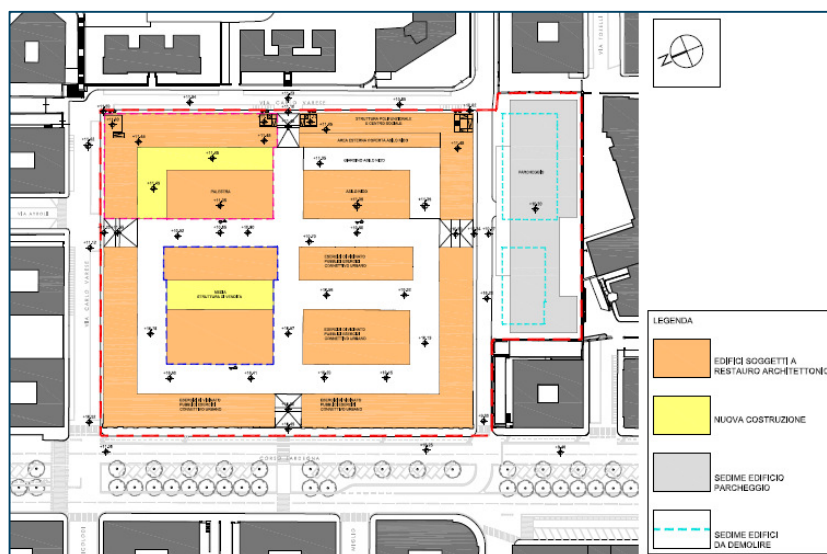


Figura 4.12 Modifiche all'assetto degli edifici previsti dall'intervento di restauro architettonico: in arancione i fabbricati esistenti, in giallo le nuove costruzioni, con tratteggio azzurro gli edifici oggetto di demolizione e in grigio quello di nuova costruzione destinato a parcheggio.

Inoltre, poiché lo scolmatore del rio Fereggiano annulla ogni allagamento generato da tale corso d'acqua, risulta evidente come nessun impatto sui risultati possano avere le modifiche alla topografia introdotte dall'intervento di restauro architettonico dell'ex Mercato, configurazione che pertanto perde di significato replicare. Di seguito si riportano pertanto gli esiti delle restanti 4 configurazioni di progetto analizzate, evidenziando anche il confronto con l'analoga configurazione nello stato attuale dell'ex Mercato, al fine di evidenziare le differenze.

Essendo già stata descritta l'implementazione dei modelli idraulici corrispondenti a ciascuna configurazione, relativa allo stato attuale delle aree dell'ex Mercato, è opportuno specificare come l'unica variazione introdotta per rappresentare le varianti di tali configurazioni, comprensive dell'intervento di restauro architettonico dell'ex Mercato, consista nel modificare la definizione della topografia del terreno nell'area di interesse all'interno del modello bidimensionale, mantenendo tutte le restanti impostazioni inalterate. Non risulta pertanto opportuno procedere nuovamente alla descrizione puntuale di ciascun intervento, dando invece maggior evidenza ai risultati ottenuti. Come già specificato nel Par. 2.2, la struttura del nuovo fabbricato destinato a parcheggio è tale da risultare trasparente alla propagazione degli allagamenti, in quanto non interferisce con essi.

# Configurazione attuale del torrente Bisagno – Evento con tempo di ritorno 200 anni



Figura 4.13 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.



Figura 4.14 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.





Figura 4.15 Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto).

#### Configurazione attuale del rio Fereggiano – Evento con tempo di ritorno 200 anni



Figura 4.16 Rio Fereggiano – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.



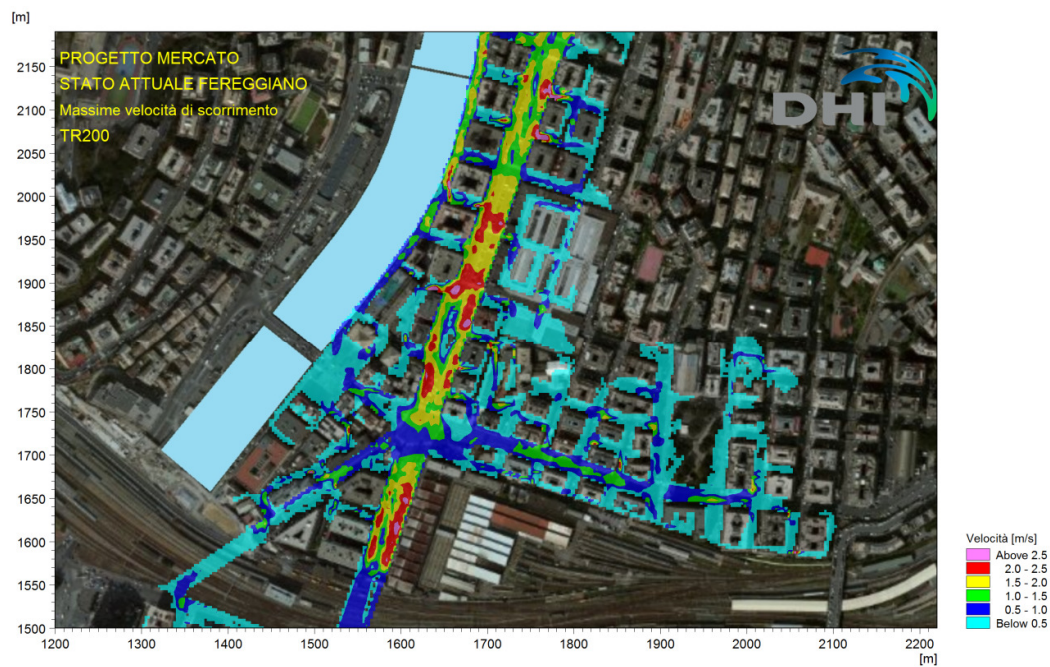


Figura 4.17 Rio Fereggiano – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

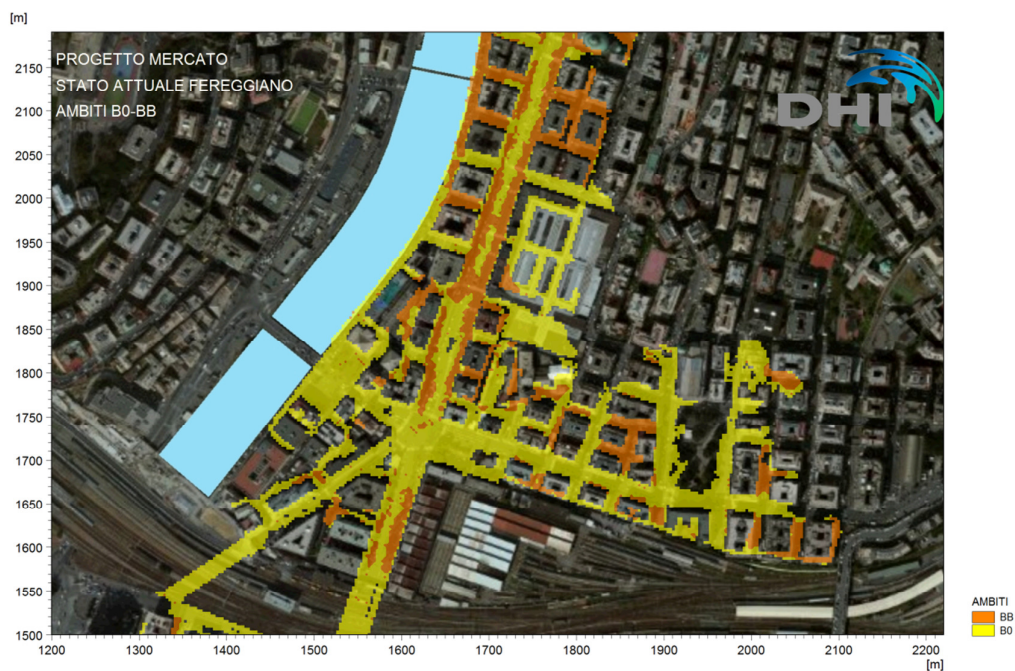


Figura 4.18 Rio Fereggiano – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, presso l'ex Mercato Generale (configurazione di progetto).

Configurazione di progetto del torrente Bisagno con il completamento del rifacimento della copertura terminale – Evento con tempo di ritorno 200 anni

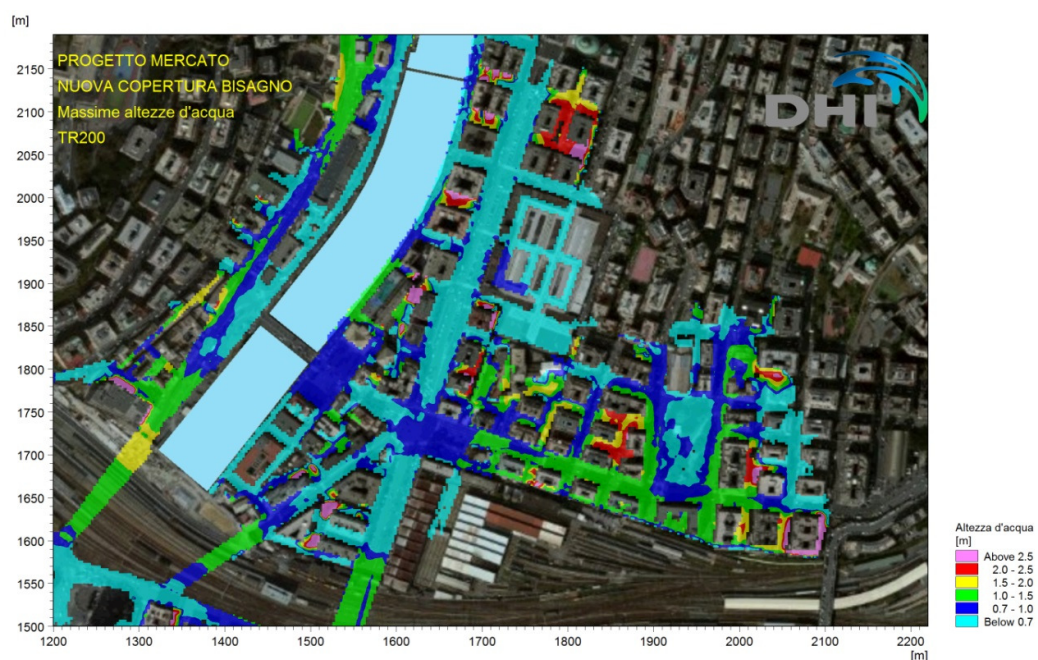


Figura 4.19 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.

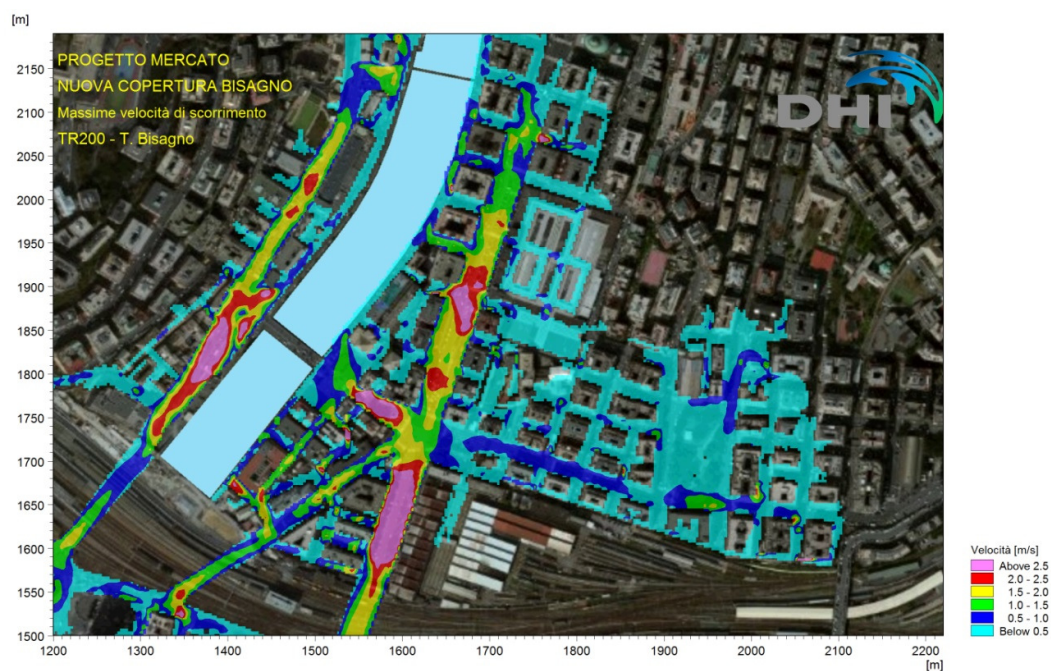


Figura 4.20 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.





Figura 4.21 Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto), a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.

Configurazione di progetto del torrente Bisagno con l'avvenuta completa realizzazione dei tre interventi considerati (copertura terminale – scolmatore Fereggiano – ponte Castelfidardo) – Evento con tempo di ritorno 200 anni

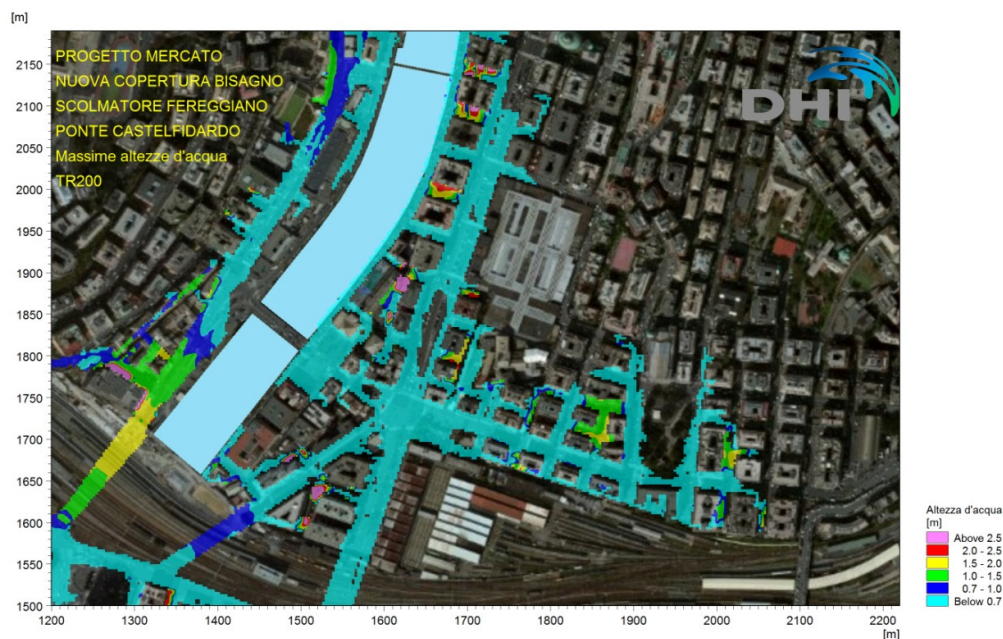


Figura 4.22 Torrente Bisagno – Massimi tiranti idrici degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento degli interventi relativi alla copertura terminale del torrente Bisagno, allo scolmatore del rio Fereggiano e al ponte Castelfidardo.

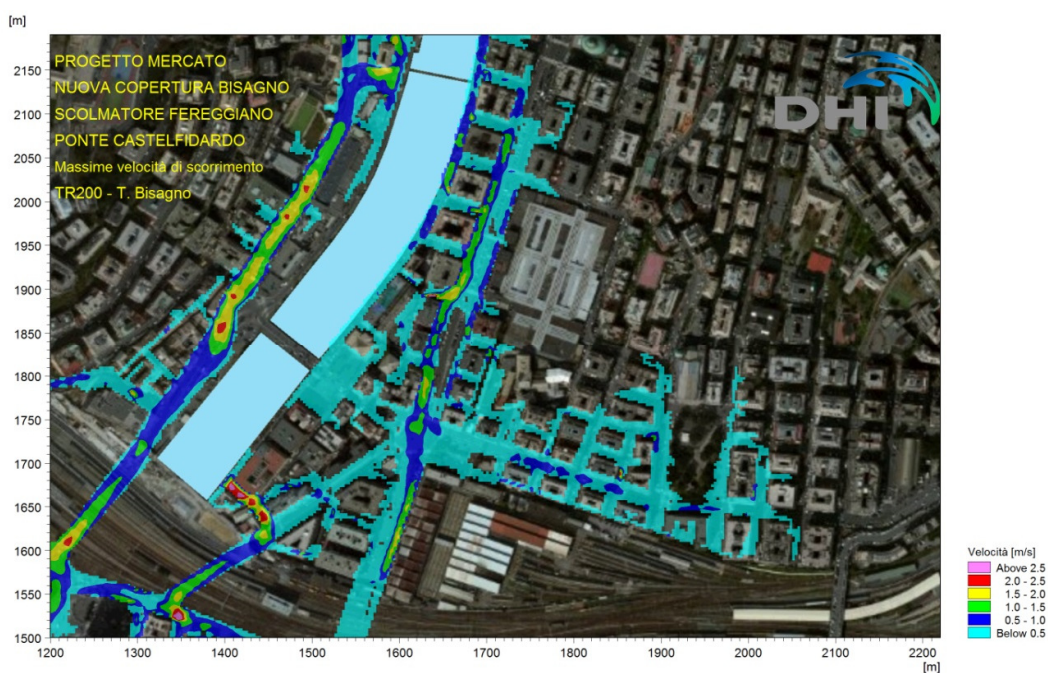


Figura 4.23 Torrente Bisagno – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto) per effetto di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, a seguito del completamento degli interventi relativi alla copertura terminale del Bisagno, allo scolmatore del Fereggiano e al ponte Castelfidardo.



Figura 4.24 Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto), a seguito del completamento degli interventi relativi alla copertura terminale del Bisagno, allo scolmatore del Fereggiano e al ponte Castelfidardo.



Le seguenti figure rappresentano le differenze, in termini di tiranti idrici, introdotte dall'intervento di restauro architettonico dell'ex Mercato rispetto allo stato attuale, determinate come differenza tra il valore nella configurazione di progetto meno quello nello stato attuale. Dall'analisi delle stesse emerge come la maggior parte delle differenze ricadano in prossimità degli edifici stessi che vengono inseriti o modificati; mentre a distanze maggiori si evidenziano valori molto contenuti, prevalentemente dell'ordine di pochi centimetri ed in larga parte situati all'interno delle area complessive dell'ex Mercato. I punti al di fuori dell'area oggetto di intervento, in cui si evidenziano incrementi di tiranti idrici, risultano estremamente ridotti e con valori solitamente dell'ordine di pochi centimetri, con sole poche eccezioni puntuali. Al contrario, è possibile osservare ampie aree in cui si osserva una riduzione delle altezze d'acqua, che comportano pertanto una locale attenuazione degli allagamenti rispetto alla configurazione attuale.

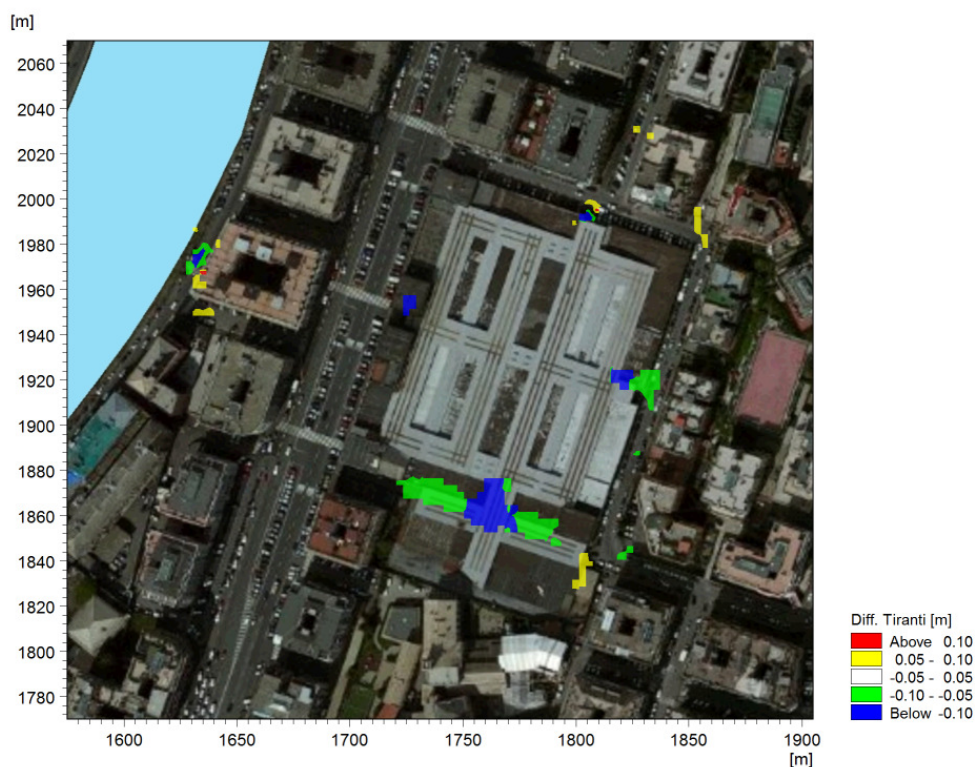


Figura 4.25 Differenza di tiranti idrici degli allagamenti dovuti a un evento di piena duecentennale del torrente Bisagno nella configurazione attuale, tra stato di progetto meno stato attuale delle aree dell'ex Mercato Generale di C.so Sardegna.

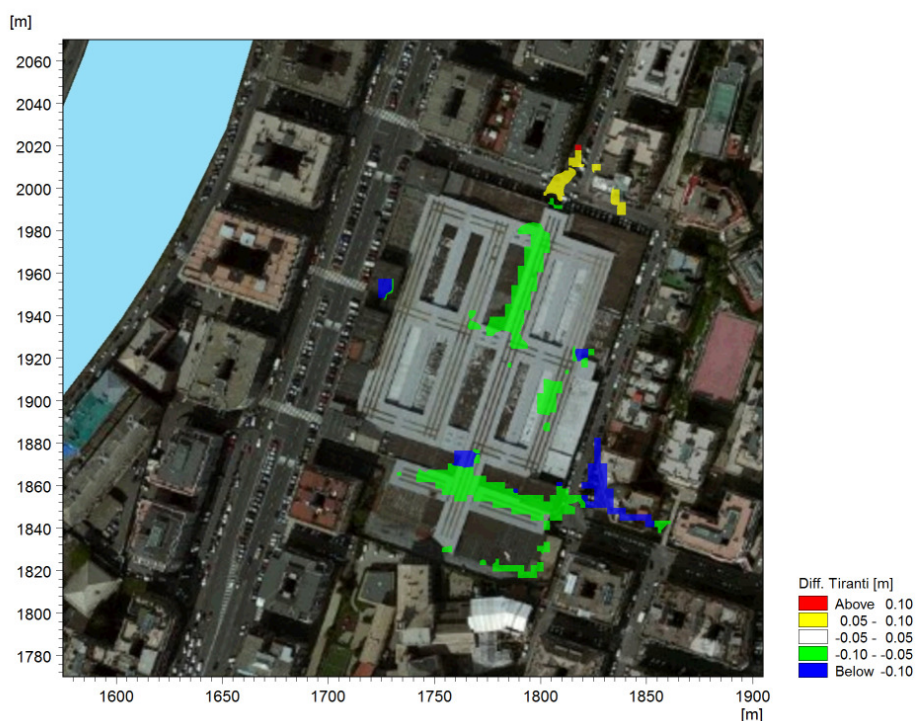


Figura 4.26 Differenza di tiranti idrici degli allagamenti dovuti a un evento di piena duecentennale del torrente Bisagno nella configurazione di realizzazione della copertura terminale, tra stato di progetto meno stato attuale delle aree dell'ex Mercato Generale di C.so Sardegna.

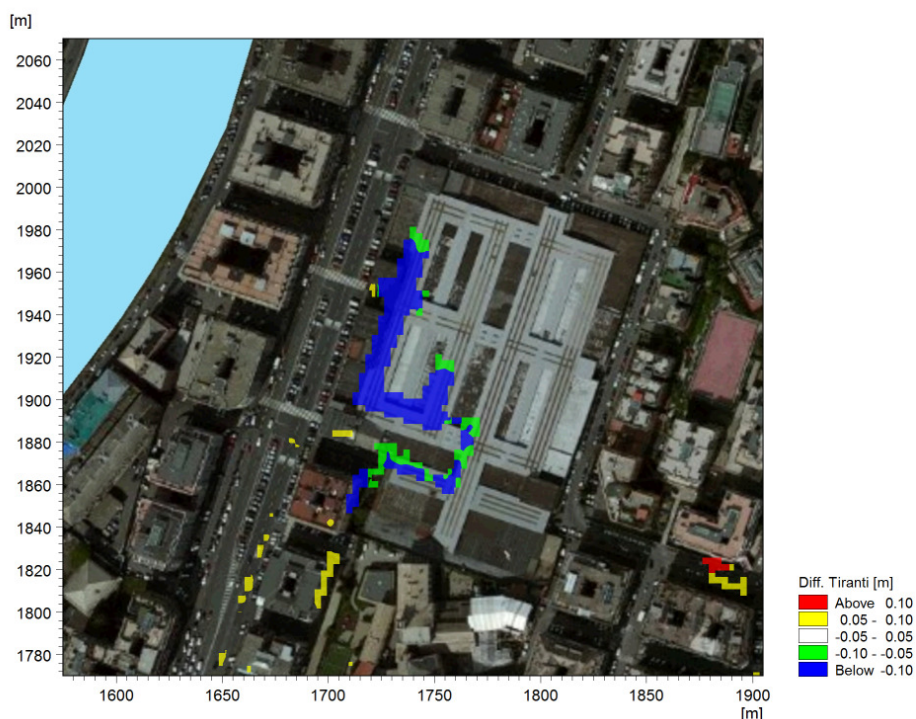


Figura 4.27 Differenza di tiranti idrici degli allagamenti dovuti a un evento di piena duecentennale del torrente Bisagno nella configurazione di realizzazione dei tre interventi considerati (copertura terminale, scolmatore Fereggiano, ponte Castelfidardo), tra stato di progetto meno stato attuale delle aree dell'ex Mercato Generale di C.so Sardegna.

### 4.3 Informazioni di dettaglio per la progettazione dell'intervento di restauro architettonico

Poiché risulta di interesse per i progettisti dell'intervento di restauro architettonico conoscere i valori massimi del pelo libero degli allagamenti, per ognuna delle configurazioni, in particolare nell'ottica di definire conseguentemente le quote di calpestio di ciascun fabbricato o per dimensionare eventuali opere di protezione passiva, in aggiunta ai tematismi dei risultati sono state riepilogate tali quote per ognuno dei lati degli edifici per ciascuna configurazione. Tale informazione è riportata nella seguente Tabella 4.1, in cui i lati vengono identificati secondo una numerazione riportata in Figura 4.28.

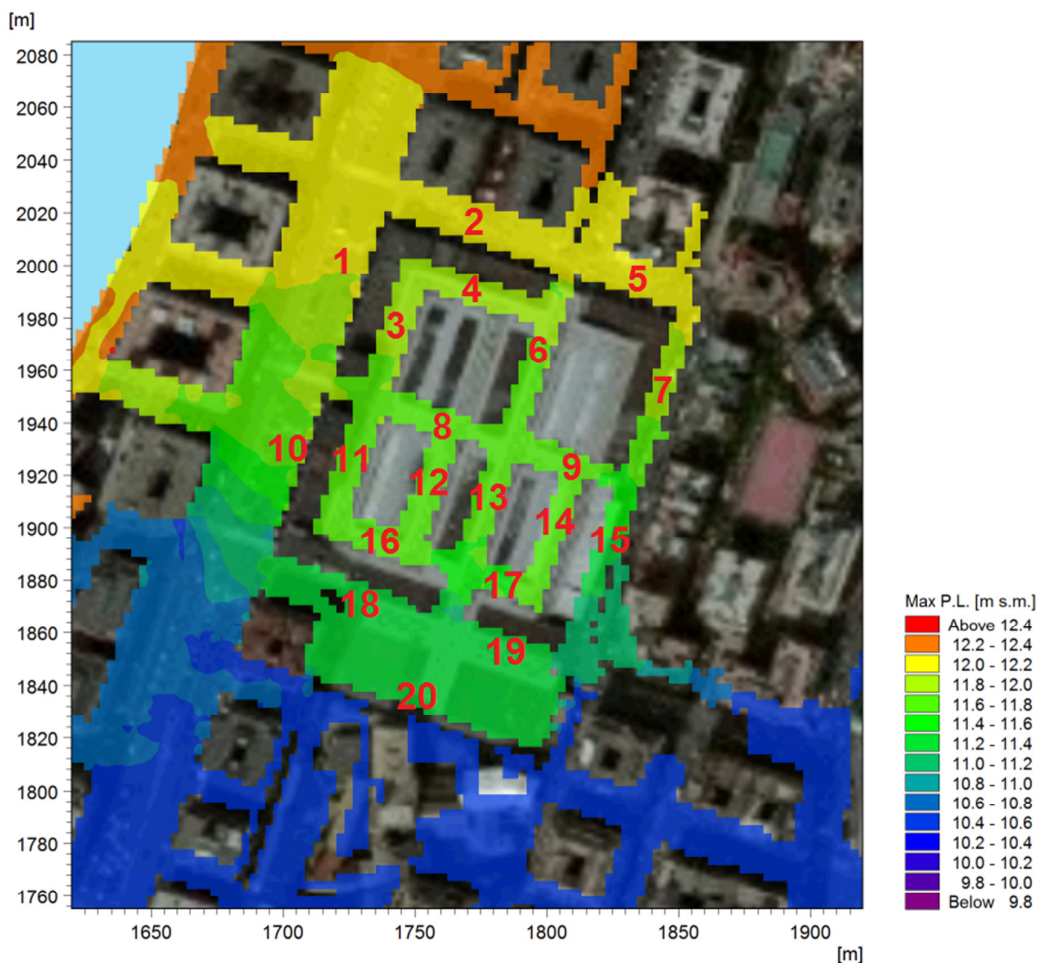


Figura 4.28 Numerazione dei lati degli edifici con cui esplicitare le massime quote del pelo libero degli allagamenti dovuti a un evento di piena duecentennale.



Tabella 4.1 Massime quote del pelo libero degli allagamenti in corrispondenza degli edifici dell'ex Mercato Generale nella configurazione di progetto, negli scenari dei corsi d'acqua esaminati, a fronte di un evento di piena duecentennale.

| Max PL [m s.m.] | Bisagno<br>Attuale | Fereggiano<br>Attuale | Copertura | Copertura<br>Scolmatore<br>Castelfidardo |
|-----------------|--------------------|-----------------------|-----------|--|
| Lato Edificio   |                    |                       |           |  |
| 1               | 12.10              | 11.65                 | 11.65     | 11.25                                    |
| 2               | 12.10              | 11.70                 | 11.70     | 11.25                                    |
| 3               | 11.80              | 11.05                 | 11.20     | -  |
| 4               | 11.80              | 11.25                 | 11.25     | -  |
| 5               | 12.10              | 11.70                 | 11.70     | -  |
| 6               | 11.80              | 11.30                 | 11.30     | -  |
| 7               | 12.05              | -                     | -         | -  |
| 8               | 11.80              | 11.05                 | 11.20     | -  |
| 9               | 11.70              | 11.00                 | 11.10     | -  |
| 10              | 11.90              | 11.05                 | 11.30     | 10.80                                    |
| 11              | 11.80              | 11.05                 | 11.20     | -  |
| 12              | 11.75              | 11.05                 | 11.20     | -  |
| 13              | 11.65              | 11.00                 | 11.10     | -  |
| 14              | 11.65              | 10.95                 | 11.10     | -  |
| 15              | 11.55              | -                     | -         | -  |
| 16              | 11.75              | 11.05                 | 11.20     | -  |
| 17              | 11.60              | 10.95                 | 11.05     | -  |
| 18              | 11.25              | 10.70                 | 10.90     | 10.30                                    |
| 19              | 11.25              | 10.70                 | 10.90     | -  |
| 20              | 11.30              | 10.70                 | 10.90     | -  |

## 5 Analisi idraulica integrativa

Nel presente Capitolo si mostrano gli esiti di un'analisi idraulica integrativa con la quale è stata investigata una differente configurazione di progetto delle aree dell'ex Mercato Generale.

A seguito delle analisi idrauliche svolte in precedenza, emerge come in assenza dell'intervento di rifacimento del ponte Castelfidardo, una parte delle aree dell'ex Mercato, anche se di ridotta entità, resterebbe in ogni caso coinvolta da allagamenti caratterizzati da valori di tiranti e velocità associati all'ambito normativo BB.

Si è pertanto voluto valutare una configurazione di progetto alternativa, in cui in una parte delle aree interne all'ex Mercato si realizza una minima sopraelevazione delle quote del terreno, al fine di ridurre l'entità degli allagamenti. Tale ipotesi si inquadra nella tipologia di intervento definita come "variazione morfologica" nei criteri dell'Autorità di Bacino; intervento la cui ammissibilità deve rispettare le condizioni specificate al punto "g) Condizioni di ammissibilità di interventi comportanti modificazioni morfologiche in aree inondabili" del Par 3.1 Disciplina dell'assetto idraulico del Documento 1.1 "Testo integrato dei criteri per la redazione della normativa di attuazione dei Piani di Bacino per la tutela dal rischio idrogeologico e relativi allegati tecnici" (approvato con DGR n.1265/2011 modificato ed integrato con DGR 1208/2012) contenuto nei criteri citati.

La configurazione dei corsi d'acqua considerata per questa analisi corrisponde alla realizzazione della sola copertura terminale del torrente Bisagno, essendo l'intervento dello scolmatore del rio Fereggiano di scarso impatto, per quanto analizzato in precedenza.

Al riguardo è opportuno specificare come lo scolmatore, pur risultando poco significativo in termini di attenuazione delle esondazioni del torrente Bisagno, sia invece fondamentale per escludere il coinvolgimento del sito dell'ex Mercato da parte degli allagamenti del Fereggiano: in assenza di tale intervento le aree in esame resterebbero infatti coinvolte dagli allagamenti dell'evento duecentennale e, a causa dei valori di tiranti e velocità raggiunti, in parte ricadrebbero nelle condizioni associate all'ambito normativo BB. Tuttavia, i valori massimi raggiunti dalle variabili idrodinamiche di interesse, risultano in ogni caso inferiori a quelli associati alla configurazione del Bisagno a seguito della realizzazione della copertura quindi, nell'ottica di valutare una configurazione di progetto alternativa per effetto di una variazione morfologica, la condizione peggiore rimane quella associata al corso d'acqua principale, pur tenendo presente che, in assenza dello scolmatore, le esondazioni duecentennali di entrambi i corsi d'acqua coinvolgerebbero il sito di studio (al riguardo si osservino a confronto le immagini di Figura 4.18 e Figura 4.21).

Per quanto riguarda le aree dell'ex Mercato, la topografia di progetto coincide con quella precedentemente analizzata, tranne che per la ridefinizione delle quote del terreno in un'area la cui estensione corrisponde a circa 2450 mq, così come evidenziato in Figura 5.1. In tale area si è provveduto ad impostare una quota costante, comportando un innalzamento progressivamente maggiore procedendo verso la parte più meridionale. L'entità di tale innalzamento risulta al massimo, nel punto più estremo, pari a 40 cm rispetto alla configurazione di progetto originaria.

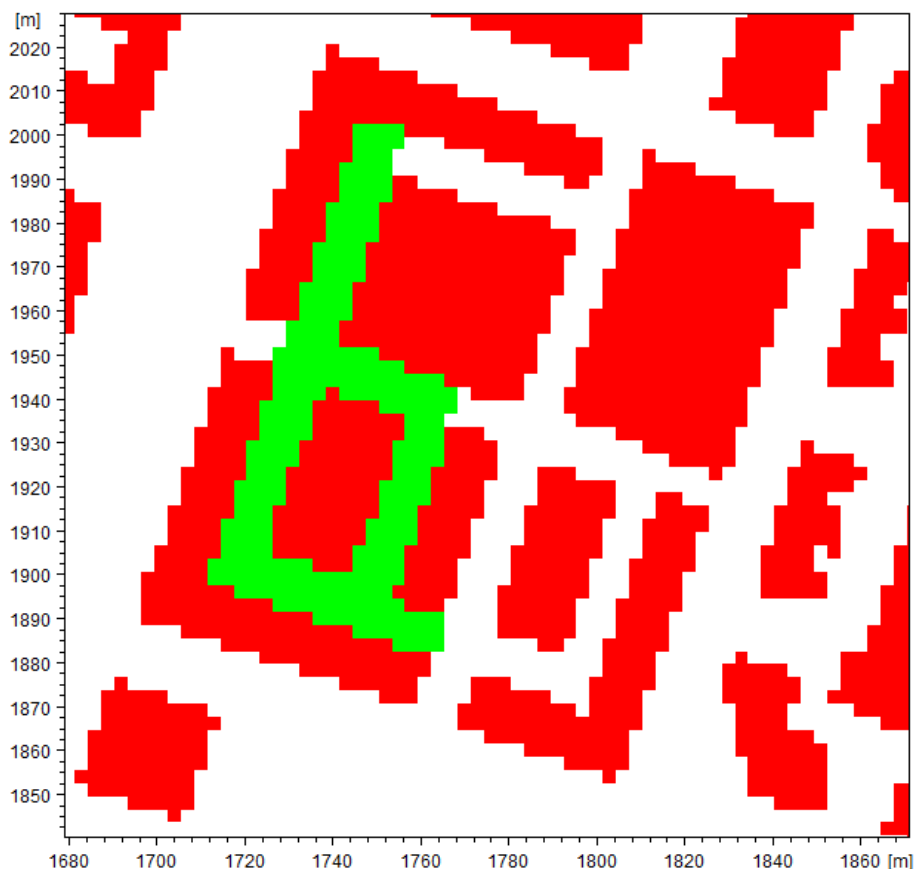


Figura 5.1 Topografia di progetto a seguito di variazione morfologica: in rosso sono rappresentati gli edifici mentre in verde l'area oggetto di modifica della quota del terreno.

Gli esiti della simulazione idraulica sono rappresentati in termini di variazione dei tiranti idrici rispetto alla configurazione precedente, sia nei confronti della configurazione di progetto originaria, sia della configurazione attuale delle aree dell'ex Mercato, al fine di comparare rispetto ad entrambi l'impatto delle modifiche introdotte, a parità di configurazione del corso d'acqua (nello specifico con copertura terminale del Bisagno completata). Il risultato di tale confronto è mostrato nelle seguenti immagini, in cui valori positivi di tiranti comportano un incremento degli stessi nella configurazione con variazione morfologica rispetto a quelli nella precedente topografia, mentre al contrario valori negativi equivalgono ad una riduzione.



Figura 5.2 Differenza di tiranti idrici degli allagamenti dovuti a un evento di piena duecentennale del Bisagno nella configurazione di realizzazione della copertura terminale, tra stato di progetto a seguito di variazione morfologica meno stato attuale delle aree dell'ex Mercato Generale.



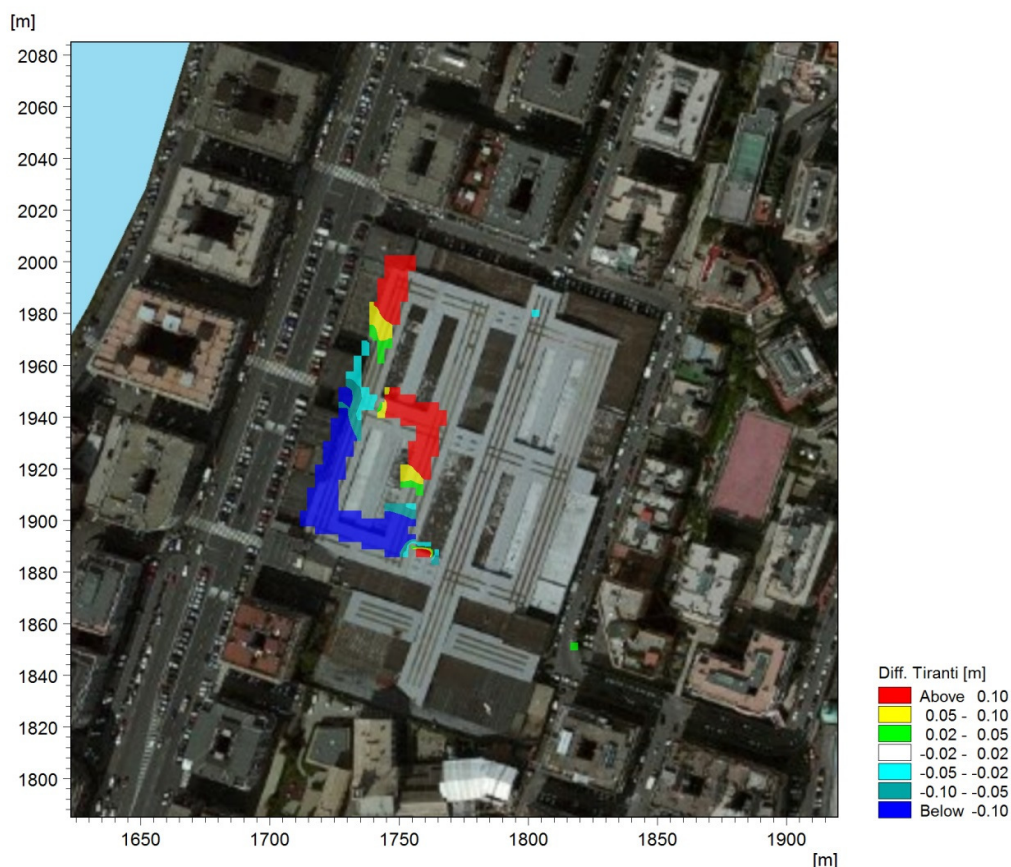


Figura 5.3 Differenza di tiranti idrici degli allagamenti dovuti a un evento di piena duecentennale del Bisagno nella configurazione di realizzazione della copertura terminale, tra stato di progetto a seguito di variazione morfologica meno quello originariamente previsto delle aree dell'ex Mercato Generale.

In particolare è possibile osservare come il principale impatto di tale variazione morfologica sia un incremento dei tiranti idrici in un'area circoscritta situata a monte dell'ex Mercato stesso, la cui entità risulta tuttavia assolutamente limitata, dell'ordine prevalentemente inferiore ai 5 cm.

La seguente Figura 5.4 mostra infine la combinazione dei valori di tiranti e velocità degli allagamenti dell'evento duecentennale coerentemente con il criterio di definizione degli ambiti normativi. In particolare è possibile osservare l'assenza di valori associati all'ambito BB all'interno del perimetro dell'ex Mercato.

In questa sede è inoltre opportuno evidenziare come lateralmente alle aree in oggetto, presso corso Sardegna, continuano ad evidenziarsi valori associati all'ambito normativo BB, in particolare in corrispondenza dei lati degli edifici dell'ex Mercato prospicienti alla via. Al fine di poter valutare l'inserimento di tali edifici nell'ambito normativo B0 risulta pertanto necessario che gli unici accessi ai fabbricati siano nella parte interna all'ex Mercato, dove risulterebbe una minore pericolosità relativa.



Figura 5.4 Torrente Bisagno – Combinazione dei valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento degli allagamenti dell'evento di piena duecentennale, secondo il criterio di definizione degli ambiti normativi di Fascia B, nelle aree in prossimità dell'ex Mercato Generale (configurazione di progetto nell'ipotesi di variazione morfologica), a seguito del completamento dell'intervento di rifacimento della copertura terminale del corso d'acqua.

## 6 Conclusioni

Il presente studio ha avuto per oggetto la valutazione di dettaglio della pericolosità idraulica a cui sono soggette le aree dell'ex Mercato Generale di Corso Sardegna, situato nel quartiere genovese di San Fruttuoso, nello stato attuale e in differenti configurazioni di progetto.

Attualmente le aree in esame risultano coinvolte dalle esondazioni degli eventi di piena con tempo di ritorno 200 anni sia del torrente Bisagno sia del suo affluente rio Fereggiano, con maggior entità degli allagamenti dovuti al corso d'acqua principale.

A causa della pericolosità idraulica evidenziata, il Piano di Bacino del torrente Bisagno, nella versione attualmente in fase di approvazione, perimetra le aree dell'ex Mercato all'interno della fascia di inondabilità B ed in particolare assoggetta le aree in oggetto all'ambito normativo BB, definito di maggior pericolosità relativa.

L'analisi idraulica di dettaglio svolta nel presente studio, con metodologia coerente con gli approfondimenti a supporto della redazione del Piano, conferma sostanzialmente quanto da esso definito, pervenendo ad una definizione di maggior dettaglio delle caratteristiche idrodinamiche degli allagamenti (tiranti idrici e velocità di scorrimento) all'interno delle aree dell'ex Mercato Generale nella configurazione attuale.

L'analisi della pericolosità idraulica del sito nella configurazione attuale è stata integrata considerando la realizzazione di alcuni interventi relativi ai due corsi d'acqua di interesse, in particolare il completamento del rifacimento della copertura terminale del torrente Bisagno dall'attraversamento ferroviario di Genova Brignole al mare e la realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano (primo stralcio del primo lotto del più ampio progetto di scolmatore del

torrente Bisagno), valutando l'impatto di ognuno di questi, in accordo con le rispettive tempistiche di realizzazione, in termini di attenuazione degli allagamenti.

Dalle analisi svolte emerge come il completamento dell'intervento sulla copertura terminale del Bisagno riduca mediamente di circa 55 cm i tiranti idrici degli allagamenti nelle aree dell'ex Mercato, che resterebbero comunque coinvolte dalle esondazioni dell'evento di piena duecentennale. In dettaglio, relativamente all'entità degli stessi, risulterebbero annullati in una piccola porzione all'estremità nord-est del sito, coerenti con l'ambito normativo B0 per ampia parte dell'ex Mercato, ma con ancora una porzione, nella zona sud-ovest, soggetta a maggior pericolosità relativa, per effetto di tiranti idrici superiori a 70 cm.

Relativamente invece all'intervento dello scolmatore del rio Fereggiano, considerato a seguito della realizzazione dell'intervento precedente, esso risulta certamente in grado di annullare completamente le esondazioni dell'evento di piena duecentennale del relativo corso d'acqua, che però come descritto in precedenza hanno un impatto minore sul sito di studio rispetto a quelle del torrente Bisagno. Relativamente a queste ultime, invece, gli effetti dell'intervento risultano decisamente meno significativi, in quanto l'attenuazione degli allagamenti presso le aree dell'ex Mercato, in termini di tiranti idrici, risulta di soli pochi centimetri, senza comportare apprezzabili variazioni a quanto sopra descritto in termini di perimetrazione degli ambiti normativi.

Successivamente è stata condotta la medesima analisi riferita alla configurazione di progetto delle aree dell'ex Mercato Generale, così come previsto dall'intervento di restauro architettonico. Poiché le differenze, ai fini della propagazione degli allagamenti, risultano estremamente ridotte, i risultati ottenuti ripercorrono quanto precedentemente descritto relativamente allo stato attuale.

In particolare l'analisi idraulica si è concentrata sulle differenze dei valori idrodinamici degli allagamenti riscontrati a seguito della realizzazione dello specifico intervento, che in generale risultano di limitata entità e circoscritti al perimetro delle aree del sito di studio.

Inoltre, a partire dai risultati dell'analisi idraulica, sono stati forniti ai progettisti dell'intervento di restauro architettonico utili elementi ai fini della progettazione, quali le massime quote del pelo libero degli allagamenti nelle diverse configurazioni analizzate, da considerare per la definizione delle quote di calpestio dei diversi fabbricati oppure per eventuali interventi di protezione passiva.

Infine, a completamento dello studio, è stata svolta un'analisi idraulica integrativa in cui è stata valutata una diversa configurazione di progetto, caratterizzata da una variazione morfologica, tale da assoggettare potenzialmente all'ambito normativo B0 la totalità delle aree dell'ex Mercato, a seguito del completamento dell'intervento sulla copertura terminale del torrente Bisagno. L'intervento si caratterizza per una parziale sopraelevazione, su un'area circoscritta, pari al massimo a circa 40 cm. In particolare è stato verificato uno dei principali presupposti per l'ammissibilità di tale tipologia di interventi, cioè un aumento poco significativo delle condizioni di pericolosità nelle aree limitrofe.

In conclusione i vari interventi studiati comportano sempre una diminuzione dei tiranti di allagamento sull'area di studio, una diminuzione del rischio idraulico associato e, ai fini della riduzione della pericolosità idraulica, la possibile conseguente ridefinizione delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi delle aree di interesse secondo i criteri emanati dall'Autorità di Bacino Regionale della Regione Liguria. In particolare, la sopraelevazione ipotizzata per la ridotta porzione di area a sud-ovest, determina una ulteriore riduzione dei tiranti che si attestano ovunque su valori massimi inferiori ai 70 cm e possono quindi comportare una ripermimetrazione del sito in fascia a minor rischio B0.



ALLEGATI



## ALLEGATO A

Tabelle idrodinamiche in alveo





Di seguito si riportano le tabelle relative ai valori idrodinamici in alveo per i corsi d'acqua analizzati, nelle differenti configurazioni, in prossimità dell'area di studio. In particolare, per il torrente Bisagno sono riportati i valori relativamente al tratto compreso tra lo sbocco della copertura situata presso lo Stadio Comunale di Marassi e l'imbocco dell'attraversamento ferroviario di Genova Brignole; per il rio Fereggiano, invece, sono riportati rispetto al tratto tra lo sbocco della copertura situata presso Largo Merlo e la confluenza nel Bisagno. In entrambi i casi i tratti evidenziati includono interamente le porzioni di corso d'acqua da cui si originano le esondazioni che vanno ad interessare il sito di studio.

Le tabelle riportano le seguenti informazioni:

- Progressiva: valore di posizionamento della sezione trasversale, come distanza progressiva in [m] a partire dall'inizio del tratto;
- ID sezione: identificativo della sezione trasversale;
- Quota fondo: minimo livello altimetrico [m s.l.m.] delle quote d'alveo;
- Y: tirante idrico in [m];
- PL: livello del pelo libero in [m s.l.m.];
- V: velocità della corrente in [m/s];
- Fr: numero di Froude;
- H: valore del carico totale in [m s.l.m.].

Nel caso di sezioni chiuse in cui la corrente raggiunge la quota di intradosso dell'impalcato, nella colonna "P.L." è riportata la quota di quest'ultimo, evidenziata dal simbolo (\*); conseguentemente rispetto alla quota di intradosso è determinata l'altezza d'acqua sul fondo della colonna "Y".

# Configurazione attuale dell'ex Mercato – Stato attuale del torrente Bisagno – Tr 200 anni

| BISAGNO |                  |             |      |        |       |      |        |
|---------|------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione       | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                  | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24               | 9.52        | 4.67 | 14.19  | 5.15  | 0.76 | 15.54  |
| 4384    | 23               | 9.51        | 4.92 | 14.43  | 3.81  | 0.55 | 15.17  |
| 4438    | 22               | 9.32        | 5.11 | 14.43  | 3.78  | 0.53 | 15.16  |
| 4497    | 21               | 9.15        | 4.96 | 14.11  | 3.94  | 0.57 | 14.90  |
| 4515    | 20.5             | 8.99        | 5.11 | 14.10  | 3.82  | 0.54 | 14.84  |
| 4530    | 20.25            | 8.62        | 5.52 | 14.14  | 3.51  | 0.48 | 14.77  |
| 4538    | 20               | 8.43        | 5.74 | 14.17  | 3.37  | 0.45 | 14.75  |
| 4547    | 19.3             | 8.43        | 5.72 | 14.15  | 3.38  | 0.45 | 14.73  |
| 4549    | 19.2             | 8.43        | 5.75 | 14.18  | 3.27  | 0.44 | 14.72  |
| 4563    | 19.1             | 8.41        | 5.22 | 13.63  | 3.61  | 0.50 | 14.29  |
| 4573    | 19. monte salto  | 8.8         | 4.71 | 13.51  | 3.87  | 0.57 | 14.27  |
| 4599    | 18               | 8.63        | 4.63 | 13.26  | 4.40  | 0.65 | 14.25  |
| 4662    | 17               | 8.23        | 4.70 | 12.93  | 5.06  | 0.74 | 14.23  |
| 4721    | 16               | 7.74        | 4.96 | 12.70  | 4.74  | 0.68 | 13.84  |
| 4771    | 15               | 7.83        | 4.70 | 12.53  | 4.63  | 0.68 | 13.62  |
| 4791    | 14.66            | 7.76        | 4.74 | 12.50  | 4.42  | 0.65 | 13.50  |
| 4793    | 14.33            | 7.75        | 4.75 | 12.50  | 4.40  | 0.64 | 13.49  |
| 4819    | 14               | 7.66        | 4.84 | 12.50  | 4.09  | 0.59 | 13.35  |
| 4858    | 13.2 monte ponte | 7.43        | 5.08 | 12.51  | 3.80  | 0.54 | 13.25  |
| 4862    | 13.1 valle ponte | 7.43        | 4.96 | 12.39  | 3.90  | 0.56 | 13.16  |
| 4891    | 12               | 7.57        | 4.75 | 12.32  | 3.90  | 0.57 | 13.09  |
| 4938    | 11               | 7.08        | 5.20 | 12.28  | 3.81  | 0.53 | 13.01  |
| 5027    | 10               | 6.37        | 5.88 | 12.25  | 3.67  | 0.48 | 12.93  |
| 5078    | 9                | 6.22        | 5.99 | 12.21  | 3.68  | 0.48 | 12.90  |
| 5118    | 8                | 5.98        | 6.19 | 12.17  | 3.71  | 0.48 | 12.87  |
| 5156    | 7                | 5.98        | 6.17 | 12.15  | 3.72  | 0.48 | 12.85  |
| 5201    | 6                | 5.54        | 6.66 | 12.20  | 3.36  | 0.41 | 12.78  |
| 5207    | 5.2              | 4.81        | 7.46 | 12.27  | 2.70  | 0.32 | 12.64  |
| 5225    | 5.1              | 4.81        | 7.27 | 12.08  | 2.76  | 0.33 | 12.47  |
| 5230    | 5                | 4.81        | 7.27 | 12.08  | 2.74  | 0.32 | 12.46  |
| 5244    | 4.5              | 4.82        | 7.28 | 12.10  | 2.55  | 0.30 | 12.43  |
| 5246    | 4                | 4.82        | 7.15 | 11.97  | 2.92  | 0.35 | 12.41  |
| 5248    | 3.5              | 4.82        | 7.27 | 12.09  | 2.46  | 0.29 | 12.40  |
| 5298    | 3                | 4.8         | 7.26 | 12.06  | 2.52  | 0.30 | 12.39  |
| 5351    | 2                | 4.79        | 7.25 | 12.04  | 2.59  | 0.31 | 12.38  |
| 5398    | 1                | 4.22        | 7.94 | 12.16  | 2.06  | 0.23 | 12.37  |
| 5410    | 0.9              | 4.16        | 8.02 | 12.18  | 1.90  | 0.21 | 12.36  |



# Configurazione attuale dell'ex Mercato – Stato attuale del rio Fereggiano – Tr 200 anni

| FEREGGIANO |                 |             |      |         |       |      |        |
|------------|-----------------|-------------|------|---------|-------|------|--------|
| PROGR.     | ID Sezione      | Quota fondo | Y    | PL      | V     | Fr   | H      |
| [m]        |                 | [m sm]      | [m]  | [m sm]  | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 1606       | 240             | 30.52       | 4.73 | 35.25   | 4.15  | 0.61 | 36.12  |
| 1649       | 230             | 28.75       | 4.06 | 32.81   | 3.11  | 0.49 | 33.30  |
| 1713       | 220             | 26.73       | 4.51 | 31.24   | 4.01  | 0.60 | 32.05  |
| 1760       | 210             | 25.91       | 4.19 | 30.10   | 2.77  | 0.43 | 30.49  |
| 1795       | 200             | 25.18       | 4.30 | 29.48   | 3.69  | 0.57 | 30.17  |
| 1826       | 190 monte ponte | 24.41       | 4.48 | 28.89   | 4.96  | 0.75 | 30.14  |
| 1832       | 183 valle ponte | 24.4        | 4.25 | 28.65   | 5.32  | 0.82 | 30.09  |
| 1849       | 180 monte ponte | 23.71       | 4.11 | 27.82   | 3.20  | 0.50 | 28.34  |
| 1858       | 173 valle ponte | 23.69       | 3.56 | 27.25   | 3.80  | 0.64 | 27.98  |
| 1892       | 170 monte ponte | 22.8        | 3.80 | 26.60   | 2.70  | 0.44 | 26.97  |
| 1895       | 163 valle ponte | 22.78       | 3.77 | 26.55   | 2.82  | 0.46 | 26.95  |
| 1943       | 160             | 22.15       | 3.67 | 25.82   | 4.61  | 0.77 | 26.90  |
| 1961       | 150             | 19.9        | 5.73 | 25.63   | 4.94  | 0.66 | 26.87  |
| 1992       | 140             | 19.2        | 3.70 | 22.90 * | 3.82  | 0.63 | 23.64  |
| 2074       | 130             | 17.55       | 3.55 | 21.10 * | 3.50  | 0.59 | 21.72  |
| 2167       | 120             | 15.3        | 4.70 | 20.00 * | 3.52  | 0.52 | 20.63  |
| 2257       | 110             | 14.3        | 4.60 | 18.90 * | 3.24  | 0.48 | 19.43  |
| 2336       | 100             | 13.4        | 3.90 | 17.30 * | 3.68  | 0.59 | 17.99  |
| 2389       | 90              | 12.9        | 3.85 | 16.75 * | 3.85  | 0.63 | 17.50  |
| 2410       | 80              | 12.6        | 3.90 | 16.50 * | 3.75  | 0.61 | 17.22  |
| 2428       | 70              | 12.3        | 4.00 | 16.30 * | 3.71  | 0.59 | 17.00  |
| 2429       | 60              | 12.2        | 3.80 | 16.00 * | 4.12  | 0.67 | 16.86  |
| 2496       | 50              | 12.01       | 3.49 | 15.50 * | 4.29  | 0.73 | 16.44  |
| 2592       | 40              | 11.35       | 3.65 | 15.00 * | 5.11  | 0.85 | 16.33  |
| 2725       | 30              | 10.94       | 3.66 | 14.60 * | 5.31  | 0.89 | 16.03  |
| 2744       | 20              | 10.7        | 3.60 | 14.30 * | 5.26  | 0.89 | 15.71  |
| 2789       | 10              | 10.3        | 4.15 | 14.45 * | 4.40  | 0.69 | 15.44  |
| 2795       | 0               | 8.8         | 5.80 | 14.60   | 0.28  | 0.04 | 14.60  |

**Configurazione attuale dell'ex Mercato – Torrente Bisagno con rifacimento della copertura terminale – Tr 200 anni**

| BISAGNO |                   |             |      |        |       |      |        |
|---------|-------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione        | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                   | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24                | 9.52        | 4.53 | 14.05  | 5.05  | 0.76 | 15.34  |
| 4384    | 23                | 9.51        | 4.75 | 14.26  | 3.72  | 0.54 | 14.97  |
| 4438    | 22                | 9.32        | 4.75 | 14.07  | 4.18  | 0.61 | 14.96  |
| 4497    | 21                | 9.15        | 4.76 | 13.91  | 4.10  | 0.60 | 14.77  |
| 4515    | 20.5              | 8.99        | 4.91 | 13.90  | 3.98  | 0.57 | 14.71  |
| 4530    | 20.25             | 8.62        | 5.33 | 13.95  | 3.65  | 0.50 | 14.63  |
| 4538    | 20                | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.50  | 0.47 | 14.60  |
| 4547    | 19.3              | 8.43        | 5.52 | 13.95  | 3.51  | 0.48 | 14.58  |
| 4549    | 19.2              | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.39  | 0.46 | 14.57  |
| 4563    | 19.1              | 8.41        | 5.07 | 13.48  | 3.82  | 0.54 | 14.22  |
| 4573    | 19. monte salto   | 8.8         | 4.45 | 13.25  | 4.32  | 0.65 | 14.20  |
| 4599    | 18                | 8.63        | 4.47 | 13.10  | 4.61  | 0.70 | 14.18  |
| 4662    | 17                | 8.23        | 4.52 | 12.75  | 5.29  | 0.79 | 14.17  |
| 4721    | 16                | 7.74        | 4.70 | 12.44  | 5.07  | 0.75 | 13.75  |
| 4771    | 15                | 7.83        | 4.37 | 12.20  | 5.06  | 0.77 | 13.50  |
| 4791    | 14.66             | 7.76        | 4.36 | 12.12  | 4.88  | 0.75 | 13.34  |
| 4793    | 14.33             | 7.75        | 4.37 | 12.12  | 4.86  | 0.74 | 13.32  |
| 4819    | 14                | 7.66        | 4.41 | 12.07  | 4.56  | 0.69 | 13.12  |
| 4858    | 13.2 monte ponte  | 6.49        | 5.62 | 12.11  | 3.87  | 0.52 | 12.88  |
| 4862    | 13.1 valle ponte  | 6.49        | 5.51 | 12.00  | 3.95  | 0.54 | 12.80  |
| 4891    | 12                | 7.47        | 4.37 | 11.84  | 4.24  | 0.65 | 12.76  |
| 4938    | 11                | 6.98        | 4.74 | 11.72  | 4.17  | 0.61 | 12.61  |
| 5027    | 10                | 6.27        | 5.28 | 11.55  | 3.86  | 0.54 | 12.31  |
| 5078    | 9                 | 6.12        | 5.31 | 11.43  | 3.79  | 0.52 | 12.16  |
| 5145    | 13_2015           | 5.54        | 5.89 | 11.43  | 3.27  | 0.43 | 11.97  |
| 5162    | 12_2015           | 5.48        | 5.96 | 11.44  | 3.18  | 0.42 | 11.95  |
| 5192    | 11_2015           | 5.22        | 6.22 | 11.44  | 3.06  | 0.39 | 11.92  |
| 5203    | 10_2015           | 5.09        | 6.36 | 11.45  | 3.00  | 0.38 | 11.91  |
| 5207    | 9_2015 m. ponte   | 5.07        | 6.40 | 11.47  | 2.90  | 0.37 | 11.90  |
| 5225    | v. ponte Castelf. | 5.07        | 5.16 | 10.23  | 3.84  | 0.54 | 10.98  |
| 5248    | 8_2015            | 4.51        | 5.67 | 10.18  | 3.92  | 0.53 | 10.96  |
| 5253    | valle S.A.        | 4.71        | 5.30 | 10.01  | 4.24  | 0.59 | 10.93  |
| 5261    | 7_2015            | 4.71        | 5.26 | 9.97   | 4.29  | 0.60 | 10.91  |
| 5302    | 6_2015            | 4.76        | 5.14 | 9.90   | 4.12  | 0.58 | 10.77  |
| 5329    | 5_2015            | 4.68        | 5.15 | 9.83   | 4.11  | 0.58 | 10.69  |
| 5354    | 4_2015            | 4.69        | 5.11 | 9.80   | 3.94  | 0.56 | 10.59  |
| 5380    | 3_2015            | 4.66        | 5.09 | 9.75   | 3.96  | 0.56 | 10.55  |
| 5405    | 2_2015            | 4.57        | 5.11 | 9.68   | 4.11  | 0.58 | 10.54  |
| 5410    | 1_2015            | 4.36        | 5.35 | 9.71   | 3.99  | 0.55 | 10.52  |

**Configurazione attuale dell'ex Mercato – Torrente Bisagno con rifacimento della copertura terminale e realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano – Tr 200 anni**

| BISAGNO |                   |             |      |        |       |      |        |
|---------|-------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione        | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                   | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24                | 9.52        | 4.52 | 14.04  | 5.05  | 0.76 | 15.34  |
| 4384    | 23                | 9.51        | 4.77 | 14.28  | 3.72  | 0.54 | 14.98  |
| 4438    | 22                | 9.32        | 4.75 | 14.07  | 4.18  | 0.61 | 14.96  |
| 4497    | 21                | 9.15        | 4.76 | 13.91  | 4.11  | 0.60 | 14.77  |
| 4515    | 20.5              | 8.99        | 4.91 | 13.90  | 3.98  | 0.57 | 14.70  |
| 4530    | 20.25             | 8.62        | 5.33 | 13.95  | 3.65  | 0.50 | 14.63  |
| 4538    | 20                | 8.43        | 5.54 | 13.97  | 3.50  | 0.47 | 14.60  |
| 4547    | 19.3              | 8.43        | 5.52 | 13.95  | 3.51  | 0.48 | 14.58  |
| 4549    | 19.2              | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.39  | 0.46 | 14.57  |
| 4563    | 19.1              | 8.41        | 5.00 | 13.41  | 3.88  | 0.55 | 14.17  |
| 4573    | 19. monte salto   | 8.8         | 4.41 | 13.21  | 4.28  | 0.65 | 14.14  |
| 4599    | 18                | 8.63        | 4.43 | 13.06  | 4.57  | 0.69 | 14.12  |
| 4662    | 17                | 8.23        | 4.48 | 12.71  | 5.24  | 0.79 | 14.11  |
| 4721    | 16                | 7.74        | 4.67 | 12.41  | 5.03  | 0.74 | 13.69  |
| 4771    | 15                | 7.83        | 4.33 | 12.16  | 5.02  | 0.77 | 13.44  |
| 4791    | 14.66             | 7.76        | 4.33 | 12.09  | 4.84  | 0.74 | 13.28  |
| 4793    | 14.33             | 7.75        | 4.33 | 12.08  | 4.82  | 0.74 | 13.27  |
| 4819    | 14                | 7.66        | 4.37 | 12.03  | 4.52  | 0.69 | 13.07  |
| 4858    | 13.2 monte ponte  | 6.49        | 5.59 | 12.08  | 3.84  | 0.52 | 12.83  |
| 4862    | 13.1 valle ponte  | 6.49        | 5.48 | 11.97  | 3.92  | 0.53 | 12.75  |
| 4891    | 12                | 7.47        | 4.34 | 11.81  | 4.21  | 0.64 | 12.71  |
| 4938    | 11                | 6.98        | 4.71 | 11.69  | 4.14  | 0.61 | 12.56  |
| 5027    | 10                | 6.27        | 5.24 | 11.51  | 3.84  | 0.53 | 12.26  |
| 5078    | 9                 | 6.12        | 5.28 | 11.40  | 4.08  | 0.57 | 12.25  |
| 5145    | 13_2015           | 5.54        | 5.86 | 11.40  | 3.24  | 0.43 | 11.93  |
| 5162    | 12_2015           | 5.48        | 5.92 | 11.40  | 3.15  | 0.41 | 11.91  |
| 5192    | 11_2015           | 5.22        | 6.18 | 11.40  | 3.05  | 0.39 | 11.88  |
| 5203    | 10_2015           | 5.09        | 6.32 | 11.41  | 2.99  | 0.38 | 11.86  |
| 5207    | 9_2015 m. ponte   | 5.07        | 6.36 | 11.43  | 2.89  | 0.37 | 11.85  |
| 5225    | v. ponte Castelf. | 5.07        | 5.10 | 10.17  | 3.83  | 0.54 | 10.92  |
| 5248    | 8_2015            | 4.51        | 5.61 | 10.12  | 3.90  | 0.53 | 10.89  |
| 5253    | valle S.A.        | 4.71        | 5.23 | 9.94   | 4.25  | 0.59 | 10.86  |
| 5261    | 7_2015            | 4.71        | 5.19 | 9.90   | 4.31  | 0.60 | 10.84  |
| 5302    | 6_2015            | 4.76        | 5.07 | 9.83   | 4.14  | 0.59 | 10.70  |
| 5329    | 5_2015            | 4.68        | 5.08 | 9.76   | 4.13  | 0.58 | 10.62  |
| 5354    | 4_2015            | 4.69        | 5.03 | 9.72   | 3.95  | 0.56 | 10.52  |
| 5380    | 3_2015            | 4.66        | 5.01 | 9.67   | 3.97  | 0.57 | 10.47  |
| 5405    | 2_2015            | 4.57        | 5.03 | 9.60   | 4.05  | 0.58 | 10.43  |
| 5410    | 1_2015            | 4.36        | 5.27 | 9.63   | 3.91  | 0.54 | 10.41  |



**Configurazione attuale dell'ex Mercato – Torrente Bisagno con rifacimento della copertura terminale, realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano e rifacimento del ponte Castelfidardo – Tr 200 anni**

| BISAGNO |                   |             |      |        |       |      |        |
|---------|-------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione        | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                   | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24                | 9.52        | 4.52 | 14.04  | 5.02  | 0.75 | 15.33  |
| 4384    | 23                | 9.51        | 4.78 | 14.29  | 3.71  | 0.54 | 14.98  |
| 4438    | 22                | 9.32        | 4.75 | 14.07  | 4.18  | 0.61 | 14.96  |
| 4497    | 21                | 9.15        | 4.77 | 13.92  | 4.10  | 0.60 | 14.77  |
| 4515    | 20.5              | 8.99        | 4.91 | 13.90  | 3.98  | 0.57 | 14.71  |
| 4530    | 20.25             | 8.62        | 5.33 | 13.95  | 3.65  | 0.50 | 14.63  |
| 4538    | 20                | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.49  | 0.47 | 14.60  |
| 4547    | 19.3              | 8.43        | 5.52 | 13.95  | 3.51  | 0.48 | 14.58  |
| 4549    | 19.2              | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.39  | 0.46 | 14.57  |
| 4563    | 19.1              | 8.41        | 4.93 | 13.34  | 3.93  | 0.57 | 14.12  |
| 4573    | 19. monte salto   | 8.8         | 4.34 | 13.14  | 4.36  | 0.67 | 14.11  |
| 4599    | 18                | 8.63        | 4.36 | 12.99  | 4.67  | 0.71 | 14.10  |
| 4662    | 17                | 8.23        | 4.39 | 12.62  | 5.36  | 0.82 | 14.08  |
| 4721    | 16                | 7.74        | 4.55 | 12.29  | 5.18  | 0.78 | 13.65  |
| 4771    | 15                | 7.83        | 4.18 | 12.01  | 5.22  | 0.81 | 13.40  |
| 4791    | 14.66             | 7.76        | 4.16 | 11.92  | 5.06  | 0.79 | 13.22  |
| 4793    | 14.33             | 7.75        | 4.16 | 11.91  | 5.05  | 0.79 | 13.20  |
| 4819    | 14                | 7.66        | 4.16 | 11.82  | 4.78  | 0.75 | 12.98  |
| 4858    | 13.2 monte ponte  | 6.49        | 5.32 | 11.81  | 4.15  | 0.57 | 12.68  |
| 4862    | 13.1 valle ponte  | 6.49        | 5.20 | 11.69  | 4.27  | 0.60 | 12.61  |
| 4891    | 12                | 7.47        | 4.03 | 11.50  | 4.57  | 0.73 | 12.56  |
| 4938    | 11                | 6.98        | 4.31 | 11.29  | 4.71  | 0.72 | 12.42  |
| 5027    | 10                | 6.27        | 4.66 | 10.93  | 4.62  | 0.68 | 12.02  |
| 5078    | 9                 | 6.12        | 4.59 | 10.71  | 4.98  | 0.74 | 11.97  |
| 5145    | 13_2015           | 5.54        | 5.01 | 10.55  | 4.16  | 0.59 | 11.43  |
| 5162    | 12_2015           | 5.48        | 5.03 | 10.51  | 4.11  | 0.58 | 11.37  |
| 5192    | 11_2015           | 5.22        | 5.20 | 10.42  | 4.11  | 0.58 | 11.28  |
| 5203    | 10_2015           | 5.09        | 5.31 | 10.40  | 4.07  | 0.56 | 11.25  |
| 5207    | 9_2015 m. ponte   | 5.07        | 5.36 | 10.43  | 3.88  | 0.53 | 11.19  |
| 5225    | v. ponte Castelf. | 5.07        | 5.30 | 10.37  | 3.93  | 0.54 | 11.16  |
| 5248    | 8_2015            | 4.51        | 5.81 | 10.32  | 4.03  | 0.53 | 11.14  |
| 5253    | valle S.A.        | 4.71        | 5.44 | 10.15  | 4.27  | 0.58 | 11.07  |
| 5261    | 7_2015            | 4.71        | 5.40 | 10.11  | 4.32  | 0.59 | 11.06  |
| 5302    | 6_2015            | 4.76        | 5.28 | 10.04  | 4.14  | 0.57 | 10.91  |
| 5329    | 5_2015            | 4.68        | 5.30 | 9.98   | 4.13  | 0.57 | 10.84  |
| 5354    | 4_2015            | 4.69        | 5.27 | 9.96   | 3.96  | 0.55 | 10.76  |
| 5380    | 3_2015            | 4.66        | 5.26 | 9.92   | 4.00  | 0.56 | 10.73  |
| 5405    | 2_2015            | 4.57        | 5.33 | 9.90   | 3.98  | 0.55 | 10.71  |
| 5410    | 1_2015            | 4.36        | 5.58 | 9.94   | 3.82  | 0.52 | 10.68  |

# Configurazione di progetto dell'ex Mercato – Stato attuale del t. Bisagno – Tr 200 anni

| BISAGNO |                  |             |      |        |       |      |        |
|---------|------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione       | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                  | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24               | 9.52        | 4.67 | 14.19  | 5.15  | 0.76 | 15.54  |
| 4384    | 23               | 9.51        | 4.92 | 14.43  | 3.81  | 0.55 | 15.17  |
| 4438    | 22               | 9.32        | 5.12 | 14.44  | 3.78  | 0.53 | 15.16  |
| 4497    | 21               | 9.15        | 4.96 | 14.11  | 3.94  | 0.57 | 14.90  |
| 4515    | 20.5             | 8.99        | 5.11 | 14.10  | 3.82  | 0.54 | 14.84  |
| 4530    | 20.25            | 8.62        | 5.52 | 14.14  | 3.51  | 0.48 | 14.77  |
| 4538    | 20               | 8.43        | 5.74 | 14.17  | 3.37  | 0.45 | 14.75  |
| 4547    | 19.3             | 8.43        | 5.72 | 14.15  | 3.38  | 0.45 | 14.73  |
| 4549    | 19.2             | 8.43        | 5.75 | 14.18  | 3.27  | 0.44 | 14.72  |
| 4563    | 19.1             | 8.41        | 5.22 | 13.63  | 3.61  | 0.50 | 14.29  |
| 4573    | 19. monte salto  | 8.8         | 4.71 | 13.51  | 3.87  | 0.57 | 14.27  |
| 4599    | 18               | 8.63        | 4.63 | 13.26  | 4.40  | 0.65 | 14.25  |
| 4662    | 17               | 8.23        | 4.70 | 12.93  | 5.06  | 0.74 | 14.23  |
| 4721    | 16               | 7.74        | 4.96 | 12.70  | 4.74  | 0.68 | 13.84  |
| 4771    | 15               | 7.83        | 4.70 | 12.53  | 4.63  | 0.68 | 13.62  |
| 4791    | 14.66            | 7.76        | 4.75 | 12.51  | 4.42  | 0.65 | 13.50  |
| 4793    | 14.33            | 7.75        | 4.75 | 12.50  | 4.40  | 0.64 | 13.49  |
| 4819    | 14               | 7.66        | 4.84 | 12.50  | 4.09  | 0.59 | 13.35  |
| 4858    | 13.2 monte ponte | 7.43        | 5.08 | 12.51  | 3.80  | 0.54 | 13.25  |
| 4862    | 13.1 valle ponte | 7.43        | 4.96 | 12.39  | 3.90  | 0.56 | 13.16  |
| 4891    | 12               | 7.57        | 4.75 | 12.32  | 3.90  | 0.57 | 13.10  |
| 4938    | 11               | 7.08        | 5.20 | 12.28  | 3.81  | 0.53 | 13.02  |
| 5027    | 10               | 6.37        | 5.88 | 12.25  | 3.67  | 0.48 | 12.93  |
| 5078    | 9                | 6.22        | 5.99 | 12.21  | 3.68  | 0.48 | 12.90  |
| 5118    | 8                | 5.98        | 6.19 | 12.17  | 3.71  | 0.48 | 12.87  |
| 5156    | 7                | 5.98        | 6.17 | 12.15  | 3.72  | 0.48 | 12.85  |
| 5201    | 6                | 5.54        | 6.67 | 12.21  | 3.36  | 0.41 | 12.78  |
| 5207    | 5.2              | 4.81        | 7.46 | 12.27  | 2.70  | 0.32 | 12.64  |
| 5225    | 5.1              | 4.81        | 7.27 | 12.08  | 2.76  | 0.33 | 12.47  |
| 5230    | 5                | 4.81        | 7.27 | 12.08  | 2.74  | 0.32 | 12.46  |
| 5244    | 4.5              | 4.82        | 7.28 | 12.10  | 2.55  | 0.30 | 12.43  |
| 5246    | 4                | 4.82        | 7.15 | 11.97  | 2.94  | 0.35 | 12.41  |
| 5248    | 3.5              | 4.82        | 7.27 | 12.09  | 2.46  | 0.29 | 12.40  |
| 5298    | 3                | 4.8         | 7.26 | 12.06  | 2.52  | 0.30 | 12.39  |
| 5351    | 2                | 4.79        | 7.25 | 12.04  | 2.59  | 0.31 | 12.38  |
| 5398    | 1                | 4.22        | 7.94 | 12.16  | 2.06  | 0.23 | 12.37  |
| 5410    | 0.9              | 4.16        | 8.02 | 12.18  | 1.90  | 0.21 | 12.36  |

# Configurazione di progetto dell'ex Mercato – Stato attuale del r. Fereggiano – Tr 200 anni

| FEREGGIANO |                 |             |      |         |       |      |        |
|------------|-----------------|-------------|------|---------|-------|------|--------|
| PROGR.     | ID Sezione      | Quota fondo | Y    | PL      | V     | Fr   | H      |
| [m]        |                 | [m sm]      | [m]  | [m sm]  | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 1606       | 240             | 30.52       | 4.73 | 35.25   | 4.15  | 0.61 | 36.12  |
| 1649       | 230             | 28.75       | 4.06 | 32.81   | 3.11  | 0.49 | 33.30  |
| 1713       | 220             | 26.73       | 4.51 | 31.24   | 4.01  | 0.60 | 32.05  |
| 1760       | 210             | 25.91       | 4.19 | 30.10   | 2.77  | 0.43 | 30.49  |
| 1795       | 200             | 25.18       | 4.30 | 29.48   | 3.69  | 0.57 | 30.17  |
| 1826       | 190 monte ponte | 24.41       | 4.48 | 28.89   | 4.96  | 0.75 | 30.14  |
| 1832       | 183 valle ponte | 24.4        | 4.25 | 28.65   | 5.32  | 0.82 | 30.09  |
| 1849       | 180 monte ponte | 23.71       | 4.11 | 27.82   | 3.20  | 0.50 | 28.34  |
| 1858       | 173 valle ponte | 23.69       | 3.56 | 27.25   | 3.80  | 0.64 | 27.98  |
| 1892       | 170 monte ponte | 22.8        | 3.80 | 26.60   | 2.70  | 0.44 | 26.97  |
| 1895       | 163 valle ponte | 22.78       | 3.77 | 26.55   | 2.82  | 0.46 | 26.95  |
| 1943       | 160             | 22.15       | 3.67 | 25.82   | 4.61  | 0.77 | 26.90  |
| 1961       | 150             | 19.9        | 5.73 | 25.63   | 4.94  | 0.66 | 26.87  |
| 1992       | 140             | 19.2        | 3.70 | 22.90 * | 3.82  | 0.63 | 23.64  |
| 2074       | 130             | 17.55       | 3.55 | 21.10 * | 3.50  | 0.59 | 21.72  |
| 2167       | 120             | 15.3        | 4.70 | 20.00 * | 3.52  | 0.52 | 20.63  |
| 2257       | 110             | 14.3        | 4.60 | 18.90 * | 3.24  | 0.48 | 19.43  |
| 2336       | 100             | 13.4        | 3.90 | 17.30 * | 3.68  | 0.59 | 17.99  |
| 2389       | 90              | 12.9        | 3.85 | 16.75 * | 3.85  | 0.63 | 17.50  |
| 2410       | 80              | 12.6        | 3.90 | 16.50 * | 3.75  | 0.61 | 17.22  |
| 2428       | 70              | 12.3        | 4.00 | 16.30 * | 3.71  | 0.59 | 17.00  |
| 2429       | 60              | 12.2        | 3.80 | 16.00 * | 4.12  | 0.67 | 16.86  |
| 2496       | 50              | 12.01       | 3.49 | 15.50 * | 4.29  | 0.73 | 16.44  |
| 2592       | 40              | 11.35       | 3.65 | 15.00 * | 5.11  | 0.85 | 16.33  |
| 2725       | 30              | 10.94       | 3.66 | 14.60 * | 5.31  | 0.89 | 16.03  |
| 2744       | 20              | 10.7        | 3.60 | 14.30 * | 5.26  | 0.89 | 15.71  |
| 2789       | 10              | 10.3        | 4.15 | 14.45 * | 4.40  | 0.69 | 15.44  |
| 2795       | 0               | 8.8         | 5.80 | 14.60   | 0.28  | 0.04 | 14.60  |

**Configurazione di progetto dell'ex Mercato – Torrente Bisagno con rifacimento della copertura terminale – Tr 200 anni**

| BISAGNO |                   |             |      |        |       |      |        |
|---------|-------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione        | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                   | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24                | 9.52        | 4.53 | 14.05  | 5.05  | 0.76 | 15.34  |
| 4384    | 23                | 9.51        | 4.76 | 14.27  | 3.72  | 0.54 | 14.98  |
| 4438    | 22                | 9.32        | 4.75 | 14.07  | 4.18  | 0.61 | 14.96  |
| 4497    | 21                | 9.15        | 4.76 | 13.91  | 4.10  | 0.60 | 14.77  |
| 4515    | 20.5              | 8.99        | 4.91 | 13.90  | 3.98  | 0.57 | 14.71  |
| 4530    | 20.25             | 8.62        | 5.33 | 13.95  | 3.65  | 0.50 | 14.63  |
| 4538    | 20                | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.50  | 0.47 | 14.60  |
| 4547    | 19.3              | 8.43        | 5.52 | 13.95  | 3.51  | 0.48 | 14.58  |
| 4549    | 19.2              | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.39  | 0.46 | 14.57  |
| 4563    | 19.1              | 8.41        | 5.07 | 13.48  | 3.82  | 0.54 | 14.22  |
| 4573    | 19. monte salto   | 8.8         | 4.45 | 13.25  | 4.32  | 0.65 | 14.20  |
| 4599    | 18                | 8.63        | 4.47 | 13.10  | 4.61  | 0.70 | 14.18  |
| 4662    | 17                | 8.23        | 4.52 | 12.75  | 5.29  | 0.79 | 14.17  |
| 4721    | 16                | 7.74        | 4.70 | 12.44  | 5.07  | 0.75 | 13.75  |
| 4771    | 15                | 7.83        | 4.37 | 12.20  | 5.06  | 0.77 | 13.50  |
| 4791    | 14.66             | 7.76        | 4.36 | 12.12  | 4.88  | 0.75 | 13.34  |
| 4793    | 14.33             | 7.75        | 4.37 | 12.12  | 4.86  | 0.74 | 13.32  |
| 4819    | 14                | 7.66        | 4.41 | 12.07  | 4.56  | 0.69 | 13.12  |
| 4858    | 13.2 monte ponte  | 6.49        | 5.62 | 12.11  | 3.87  | 0.52 | 12.88  |
| 4862    | 13.1 valle ponte  | 6.49        | 5.51 | 12.00  | 3.95  | 0.54 | 12.80  |
| 4891    | 12                | 7.47        | 4.37 | 11.84  | 4.24  | 0.65 | 12.76  |
| 4938    | 11                | 6.98        | 4.74 | 11.72  | 4.17  | 0.61 | 12.61  |
| 5027    | 10                | 6.27        | 5.28 | 11.55  | 3.86  | 0.54 | 12.31  |
| 5078    | 9                 | 6.12        | 5.31 | 11.43  | 3.79  | 0.52 | 12.16  |
| 5145    | 13_2015           | 5.54        | 5.89 | 11.43  | 3.27  | 0.43 | 11.97  |
| 5162    | 12_2015           | 5.48        | 5.96 | 11.44  | 3.18  | 0.42 | 11.95  |
| 5192    | 11_2015           | 5.22        | 6.22 | 11.44  | 3.06  | 0.39 | 11.92  |
| 5203    | 10_2015           | 5.09        | 6.36 | 11.45  | 3.00  | 0.38 | 11.91  |
| 5207    | 9_2015 m. ponte   | 5.07        | 6.40 | 11.47  | 2.90  | 0.37 | 11.90  |
| 5225    | v. ponte Castelf. | 5.07        | 5.16 | 10.23  | 3.84  | 0.54 | 10.98  |
| 5248    | 8_2015            | 4.51        | 5.67 | 10.18  | 3.92  | 0.53 | 10.96  |
| 5253    | valle S.A.        | 4.71        | 5.30 | 10.01  | 4.24  | 0.59 | 10.93  |
| 5261    | 7_2015            | 4.71        | 5.26 | 9.97   | 4.29  | 0.60 | 10.91  |
| 5302    | 6_2015            | 4.76        | 5.14 | 9.90   | 4.12  | 0.58 | 10.77  |
| 5329    | 5_2015            | 4.68        | 5.15 | 9.83   | 4.11  | 0.58 | 10.69  |
| 5354    | 4_2015            | 4.69        | 5.11 | 9.80   | 3.94  | 0.56 | 10.59  |
| 5380    | 3_2015            | 4.66        | 5.09 | 9.75   | 3.96  | 0.56 | 10.55  |
| 5405    | 2_2015            | 4.57        | 5.11 | 9.68   | 4.11  | 0.58 | 10.54  |
| 5410    | 1_2015            | 4.36        | 5.35 | 9.71   | 3.99  | 0.55 | 10.52  |



**Configurazione di progetto dell'ex Mercato – Torrente Bisagno con rifacimento della copertura terminale, realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano e rifacimento del ponte Castelfidardo – Tr 200 anni**

| BISAGNO |                   |             |      |        |       |      |        |
|---------|-------------------|-------------|------|--------|-------|------|--------|
| PROGR.  | ID Sezione        | Quota fondo | Y    | PL     | V     | Fr   | H      |
| [m]     |                   | [m sm]      | [m]  | [m sm] | [m/s] | [-]  | [m sm] |
| 4383    | 24                | 9.52        | 4.52 | 14.04  | 5.02  | 0.75 | 15.33  |
| 4384    | 23                | 9.51        | 4.78 | 14.29  | 3.71  | 0.54 | 14.98  |
| 4438    | 22                | 9.32        | 4.75 | 14.07  | 4.18  | 0.61 | 14.96  |
| 4497    | 21                | 9.15        | 4.77 | 13.92  | 4.10  | 0.60 | 14.77  |
| 4515    | 20.5              | 8.99        | 4.91 | 13.90  | 3.98  | 0.57 | 14.71  |
| 4530    | 20.25             | 8.62        | 5.33 | 13.95  | 3.65  | 0.50 | 14.63  |
| 4538    | 20                | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.49  | 0.47 | 14.60  |
| 4547    | 19.3              | 8.43        | 5.52 | 13.95  | 3.51  | 0.48 | 14.58  |
| 4549    | 19.2              | 8.43        | 5.55 | 13.98  | 3.39  | 0.46 | 14.57  |
| 4563    | 19.1              | 8.41        | 4.93 | 13.34  | 3.93  | 0.57 | 14.12  |
| 4573    | 19. monte salto   | 8.8         | 4.34 | 13.14  | 4.36  | 0.67 | 14.11  |
| 4599    | 18                | 8.63        | 4.36 | 12.99  | 4.67  | 0.71 | 14.10  |
| 4662    | 17                | 8.23        | 4.39 | 12.62  | 5.36  | 0.82 | 14.08  |
| 4721    | 16                | 7.74        | 4.55 | 12.29  | 5.18  | 0.78 | 13.65  |
| 4771    | 15                | 7.83        | 4.18 | 12.01  | 5.22  | 0.81 | 13.40  |
| 4791    | 14.66             | 7.76        | 4.16 | 11.92  | 5.06  | 0.79 | 13.22  |
| 4793    | 14.33             | 7.75        | 4.16 | 11.91  | 5.05  | 0.79 | 13.20  |
| 4819    | 14                | 7.66        | 4.16 | 11.82  | 4.78  | 0.75 | 12.98  |
| 4858    | 13.2 monte ponte  | 6.49        | 5.32 | 11.81  | 4.15  | 0.57 | 12.68  |
| 4862    | 13.1 valle ponte  | 6.49        | 5.20 | 11.69  | 4.27  | 0.60 | 12.61  |
| 4891    | 12                | 7.47        | 4.03 | 11.50  | 4.57  | 0.73 | 12.56  |
| 4938    | 11                | 6.98        | 4.31 | 11.29  | 4.71  | 0.72 | 12.42  |
| 5027    | 10                | 6.27        | 4.66 | 10.93  | 4.62  | 0.68 | 12.02  |
| 5078    | 9                 | 6.12        | 4.59 | 10.71  | 4.98  | 0.74 | 11.97  |
| 5145    | 13_2015           | 5.54        | 5.01 | 10.55  | 4.16  | 0.59 | 11.43  |
| 5162    | 12_2015           | 5.48        | 5.03 | 10.51  | 4.11  | 0.58 | 11.37  |
| 5192    | 11_2015           | 5.22        | 5.20 | 10.42  | 4.11  | 0.58 | 11.28  |
| 5203    | 10_2015           | 5.09        | 5.31 | 10.40  | 4.07  | 0.56 | 11.25  |
| 5207    | 9_2015 m. ponte   | 5.07        | 5.36 | 10.43  | 3.88  | 0.53 | 11.19  |
| 5225    | v. ponte Castelf. | 5.07        | 5.30 | 10.37  | 3.93  | 0.54 | 11.16  |
| 5248    | 8_2015            | 4.51        | 5.81 | 10.32  | 4.03  | 0.53 | 11.14  |
| 5253    | valle S.A.        | 4.71        | 5.44 | 10.15  | 4.27  | 0.58 | 11.07  |
| 5261    | 7_2015            | 4.71        | 5.40 | 10.11  | 4.32  | 0.59 | 11.06  |
| 5302    | 6_2015            | 4.76        | 5.28 | 10.04  | 4.14  | 0.57 | 10.91  |
| 5329    | 5_2015            | 4.68        | 5.30 | 9.98   | 4.13  | 0.57 | 10.84  |
| 5354    | 4_2015            | 4.69        | 5.27 | 9.96   | 3.96  | 0.55 | 10.76  |
| 5380    | 3_2015            | 4.66        | 5.26 | 9.92   | 4.00  | 0.56 | 10.73  |
| 5405    | 2_2015            | 4.57        | 5.33 | 9.90   | 3.98  | 0.55 | 10.71  |
| 5410    | 1_2015            | 4.36        | 5.58 | 9.94   | 3.82  | 0.52 | 10.68  |

ALLEGATO B  
MIKE 11 HD  
Descrizione tecnica



## PREMESSA

MIKE 11 è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St.Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un'ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

La grande flessibilità del codice di calcolo permette di integrare, attraverso specifici moduli, le applicazioni idrodinamiche con fenomeni idrologici, trasporto solido, advezione-dispersione, qualità delle acque, ecologia, rendendo MIKE 11 uno strumento indispensabile per affrontare e risolvere molteplici problemi d'ingegneria fluviale quali, ad esempio:

- studi di idraulica fluviale e di propagazione dell'onda di piena;
- studi di idrologia e idrogeologia;
- supporto alla progettazione e gestione di opere idrauliche;
- analisi della rottura dighe;
- analisi del trasporto solido e morfologia fluviale;
- modelli di previsione in tempo reale e di supporto decisionale;
- analisi dei fenomeni di intrusione del cuneo salino in fiumi ed estuari;
- studi di valutazione della qualità delle acque sia superficiali che sotterranee;
- analisi dello stato ecologico dei corsi d'acqua.

MIKE 11 è costituito dai seguenti moduli:

- HD (idrodinamico): simulazione del flusso in canali a pelo libero, costituisce la base per ulteriori moduli aggiuntivi;
- RR (afflussi-deflussi): modulo che consente, partendo dai dati meteorologici (pioggia, temperature, evapotraspirazione, ecc...), su bacini naturali o artificiali, di ricostruire attraverso l'utilizzo di modelli idrologici (NAM, UHM, Drift, ecc...) le portate idriche in assegnate sezioni di calcolo;
- AD (advezione-dispersione): simulazione del processo di advezione e dispersione di una sostanza in soluzione o in sospensione di qualsiasi natura nel corpo idrico, eventualmente caratterizzata da una cinetica di decadimento lineare;
- ECOLab (ecologico): simulazione di una serie di processi qualitativi, tra i quali il ciclo BOD-DO con nitrificazione-denitrificazione, il ciclo del fosforo, l'eutrofizzazione, il trasporto di metalli pesanti ecc.;



- ST (trasporto sedimenti): simulazione del trasporto solido di materiale non coesivo, in modalità disaccoppiata (senza variazione della geometria del fondo alveo) o accoppiata (calcolo delle trasformazioni morfologiche);
- FF/DA (previsioni in tempo reale): il modulo consente, assimilando i dati misurati in tempo reale su un bacino e/o corso d'acqua, di correggere la simulazione idrodinamica al fine di garantire una affidabilità massima sulla previsione di un evento di piena.

Particolarmente efficace risulta la possibilità di poter integrare il codice MIKE 11, con altri codici di calcolo della famiglia MIKE quali: MIKE 21 (MIKE FLOOD), per simulare in maniera combinata fenomeni 1D e 2D; MIKE SHE, per la modellazione di corpi idrici superficiali e sotterranei; WEST, per simulare in dettaglio i processi nell'impianto di trattamento ed il relativo impatto sul corso d'acqua recettore; MOUSE (MIKE URBAN FLOOD), simula le interferenze tra il corso d'acqua e la rete di drenaggio.

Di seguito si descrive il codice MIKE 11 HD.

### MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE 11 ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

L'adozione del programma di simulazione MIKE 11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

### DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

### EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11, risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

- A = area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>);
- C = coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup>);
- g = accelerazione di gravità (m s<sup>-2</sup>);
- h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q = portata (m<sup>3</sup>/s);
- R = raggio idraulico (m);
- α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q = portata laterale addotta (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>).

### SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2 AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

### APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2 AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine  $\frac{\partial h}{\partial x}$ . Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

### DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

#### *Tipo 1. Stramazzo a larga soglia*

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

#### *Tipo 2. Relazione Q-h*

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

#### *Tipo 3. Tombino*

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

#### *Tipo 4. Relazione Q-t*

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

#### *Tipo 5. Relazione $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$*

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari.

Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

#### *Tipo 6. Strutture mobili*

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

#### *Tipo 7. Ponti*

In MIKE 11 possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

### RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{C^2 A R}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{M^2 A R^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

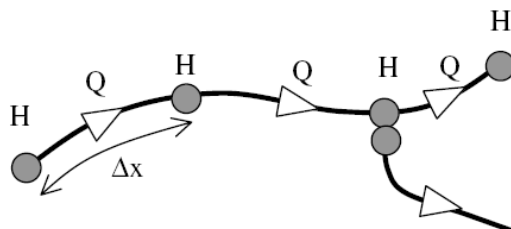
### CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

### METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).





La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

### CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

### DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

#### 1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d} + V}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

Cr = numero di Courant;

d = altezza d'acqua media;

V = velocità media della corrente;

g = accelerazione di gravità;

Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ( $Fr < 1$ ), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

#### 2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V * Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.



ALLEGATO C  
MIKE 21 HD  
Descrizione tecnica





## PREMESSA

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore. I principali campi di applicazione sono:

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

In generale il MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte del DHI, rende questo software lo strumento più utilizzato ed efficace per l'ingegneria fluviale e marittima in tutto il mondo.



Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- **CLASSIC GRID** (Griglia classica singola): le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- **MULTIPLE GRID** (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- **FLEXIBLE MESH** (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- **CURVILINEAR** (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- MIKE URBAN CS per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

In campo marittimo e costiero, dove risulta più efficace l' utilizzo della versione FM, il MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

L'utilizzo di formati comuni a tutti i codici del mondo MIKE garantisce la possibilità di utilizzare i file di MIKE 21 anche in input ad altri modelli quali LITPACK e MIKE 3.

Infine, attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 21 consente di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti e reagenti.

Di seguito si descrive il modulo MIKE 21 HD Classical Grid.

### Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Come menzionato in precedenza, i risultati di una simulazione MIKE 21 HD possono essere usati come input per la simulazione di fenomeni fisici strettamente dipendenti dagli aspetti idrodinamici:

- trasporto di sostanze disciolte/sospese in acqua, modulo AD e modulo "Mud Transport";
- trasporto solido di materiale non coesivo, modulo ST;
- qualità delle acque ed idroecologia, modulo ECO Lab.

Infine, per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l'interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 11, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle



equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial \mathcal{S}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial \mathcal{S}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$  = profondità dell'acqua;

$\zeta(x,y,t)$  = quota del pelo libero;

$p,q(x,y,t)$  = portate unitarie nelle direzioni x e y;

$C(x,y)$  = coefficiente di scabrezza di Chezy;

$G$  = accelerazione di gravità;

$f(V)$  = fattore d'attrito del vento;

$V, V_x, V_y(x,y,t)$  = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

$\Omega(x,y)$  = parametro di Coriolis;

$p_a(x,y,t)$  = pressione atmosferica;

$\rho_w$  = densità dell'acqua;

$x,y$  = coordinate spaziali;

$t$  = tempo;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}$  = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio  $\tau$  che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni  $x$  e  $y$ . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro  $E$  "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h E \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h E \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente  $E$  può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale  $u$  e  $v$  sono le componenti della velocità locale,  $\Delta$  è la dimensione spaziale della griglia e  $c_s$  è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse  $x$ ) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h E \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{2} h E \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

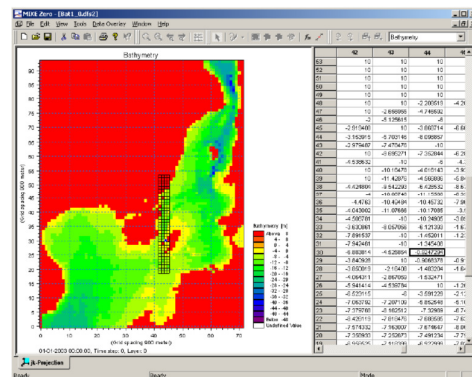
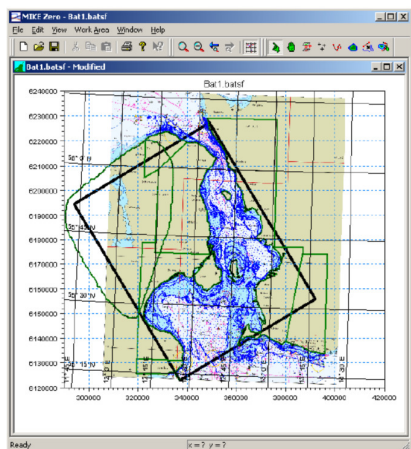
La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ( $m^3/s/m$ ) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva ( $m^3/s$ ) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni plano-altimetriche della batimetria.

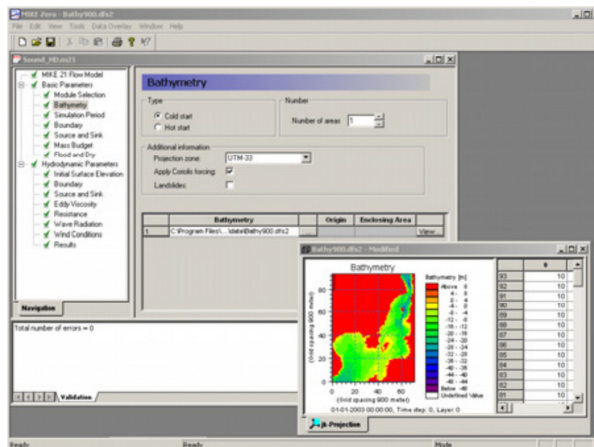
Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione "griglia multipl-nested grid", che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).



Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).



I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed

utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

