

# Studio di compatibilità idraulica del nuovo layout progettuale dell'area della Legna Navale di Pescara

Relazione Tecnica



Legna Navale di Pescara

Relazione Tecnica

Giugno 2018

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



# Studio di compatibilità idraulica del nuovo layout progettuale dell'area della Lega Navale di Pescara

Relazione Tecnica

Committente Lega Navale Italiana – Sez. di Pescara  
Referente del Committente sig. Marco Dainese



*Panoramica delle aree della  
Lega Navale di Pescara*

Project manager	Dario Rebagliati
Quality supervisor	Davide Persi
Author	Dario Rebagliati

Codice elaborato	22802196-01-00101
Data di approvazione	11.06.2018
Revisione	1.0
Classificazione	Open



## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Descrizione degli interventi progettuali previsti .....</b>	<b>3</b>
2.1	Configurazione attuale delle aree della Lega Navale .....	3
2.2	Layout della configurazione di progetto .....	7
<b>3</b>	<b>Approccio metodologico .....</b>	<b>9</b>
3.1	Modellazione bidimensionale .....	9
<b>4</b>	<b>Analisi idraulica.....</b>	<b>12</b>
4.1	Configurazione di stato attuale .....	14
4.1.1	Evento cinquantennale (TR = 50 anni) .....	14
4.1.2	Evento centennale (TR = 100 anni) .....	16
4.1.3	Evento duecentennale (TR = 200 anni) .....	18
4.2	Configurazione intermedia stato attuale – progetto .....	22
4.2.1	Evento cinquantennale (TR = 50 anni) .....	22
4.2.2	Evento centennale (TR = 100 anni) .....	24
4.2.3	Evento duecentennale (TR = 200 anni) .....	26
4.3	Configurazione di progetto.....	29
4.3.1	Evento cinquantennale (TR = 50 anni) .....	29
4.3.2	Evento centennale (TR = 100 anni) .....	31
4.3.3	Evento duecentennale (TR = 200 anni) .....	33
4.3.4	Evento duecentennale con interazione con le strutture sopraelevate .....	37
4.4	Valutazioni conclusive dell’analisi idraulica .....	40
4.5	Accorgimenti progettuali conseguenti all’analisi idraulica.....	42
<b>5</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>44</b>
5.1	Valutazioni sulla compatibilità idraulica del nuovo layout progettuale dell’area della Lega Navale di Pescara .....	46

## ALLEGATI

### ALLEGATO A

#### **MIKE 11 HD**

Descrizione tecnica

### ALLEGATO B

#### **MIKE 21 HD**

Descrizione tecnica

# 1 Premessa

Lo studio idraulico si presenta come strumento tecnico di supporto al progetto di riqualificazione dell'area della sezione di Pescara della Lega Navale Italiana, ubicata in prossimità della sponda sinistra del fiume Pescara, in prossimità della foce, nel quartiere Marina Nord della città di Pescara.

Con la Deliberazione di Giunta Regionale n. 408 del 29 giugno 2016 (BURAT n. 35 del 7-09-2016) sono state imposte le misure di salvaguardia nelle aree a pericolosità idraulica elevata (P3) e molto elevata (P4), così come individuate nella nuova carta della Pericolosità Idraulica (Elaborato cartografico n. 7.2.07.pe.01\_var), approvata in prima adozione dalla Giunta Regionale. In base alla carta vigente, riportata in Figura 1.1, l'area interessata dagli interventi sopracitati è caratterizzata da un livello di pericolosità idraulica elevata (P3), attribuita alle aree in cui si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- area raggiunta da un evento con tempo di ritorno di 50 anni che genera un tirante compreso tra 50 centimetri e 1 metro;
- area raggiunta da un evento con tempo di ritorno di 50 anni che genera valori di velocità di scorrimento superiori a 1 m/s;
- area raggiunta da un evento con tempo di ritorno di 100 anni che genera un tirante superiore a 1 metro.

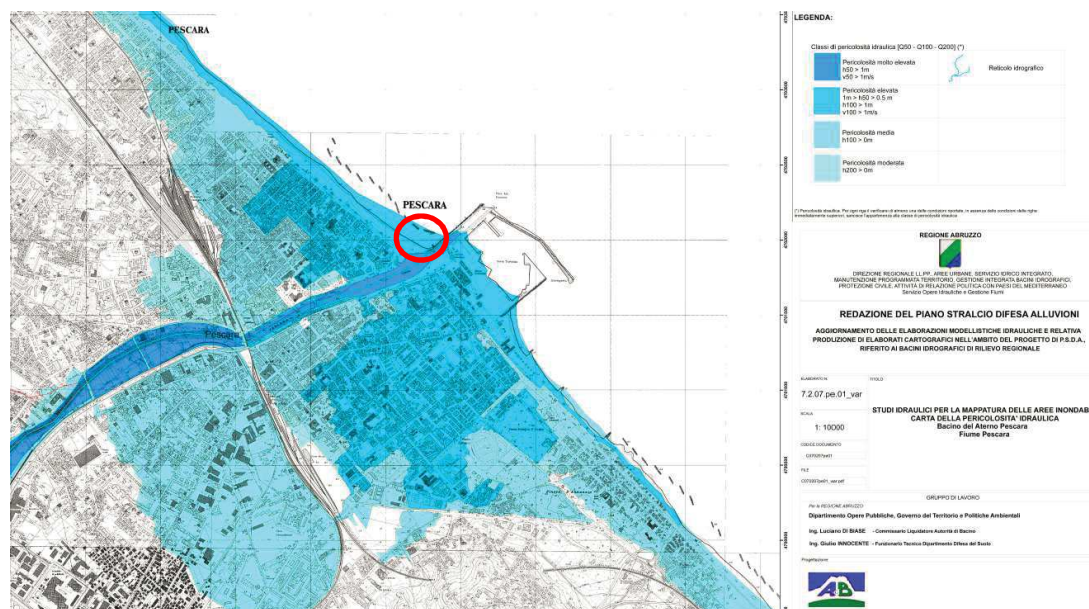


Figura 1.1 Carta della Pericolosità Idraulica allegata al PSDA. In rosso è cerchiata l'area della sezione di Pescara della Lega Navale Italiana.

Va altresì ricordato che il tratto terminale del fiume Pescara è stato oggetto di due successivi studi idraulici. Il primo, "Verifica di compatibilità idraulica della proposta di P.R.P. della Città di Pescara", era stato realizzato dagli scriventi nel settembre 2015, mentre il secondo, "Approfondimenti e implementazioni degli studi idraulici e di morfodinamica fluviale e costiera a corredo del P.R.P. di Pescara", è stato presentato da BETA Studio srl a giugno 2016. In entrambi gli studi, lo scenario di stato attuale presenta una differente perimetrazione delle aree

a diversa pericolosità idraulica, secondo la quale l'area oggetto di studio risulterebbe in classe P4 – pericolosità molto elevata in quanto, in caso di evento di piena cinquantennale, si osserverebbero valori di velocità di scorrimento superiori a 1 m/s (si attribuisce infatti la classe P4 nel caso in cui l'evento cinquantennale comporti tiranti superiori a 1 m oppure velocità superiori a 1 m/s).

Al fine di valutare la compatibilità idraulica dell'intervento, il riferimento normativo sono le disposizioni riportate nelle Norme di Attuazione (NdA) del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA) dei bacini idrografici di rilievo regionale dell'Abruzzo e del bacino interregionale del Fiume Sangro. In base a tali disposizioni, essendo le aree della Lega Navale attualmente perimetrate in classe P3, l'intervento progettuale risulta consentito in base a quanto previsto nell'Art. 20; tuttavia, in considerazione delle evidenze degli studi idraulici precedentemente citati, l'analisi è stata condotta in modo cautelativo già considerando tali condizioni di pericolosità idraulica. In particolare, l'intervento in progetto risulta riconducibile all'articolo 19 comma 1 lett. d), rientrando pertanto tra gli interventi consentiti nelle aree a pericolosità idraulica molto elevata. La differenza di classificazione tra le classi P3 e P4 risulta dunque ininfluente ai fini dell'autorizzazione alla realizzazione dell'intervento.

Sempre in riferimento alle Norme di Attuazione del PSDA, l'articolo 8 comma 1 specifica che *"...tutti i progetti preposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata ed elevata [...] sono accompagnati da uno studio di compatibilità idraulica predisposto secondo i criteri indicati nel presente articolo"*.

Il presente studio risponde dunque alle disposizioni espresse dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Centrale ed indicate nel PSDA, rispettando i criteri riportati nell'articolo 8 comma 5 delle NdA e nell'Allegato D "Indirizzi per la redazione dello Studio di Compatibilità Idraulica".

In base a quanto indicato, in particolare nell'Allegato D, *"l'obiettivo dello Studio di Compatibilità Idraulica è quello di valutare sia le variazioni sull'assetto idrologico e/o idraulico del corso d'acqua conseguenti alla realizzazione degli interventi in progetto sia di verificare le condizioni di sicurezza degli elementi che si prevede di inserire nel territorio in aree a potenziale pericolo di alluvionamento"*.

In termini di contenuti, invece, *"lo studio di compatibilità idraulica si propone di:*

- 1. descrivere e valutare gli effetti idrologici ovvero la variazione della risposta idrologica del terreno in seguito alla trasformazione dell'area;*
- 2. descrivere e valutare gli effetti idraulici ovvero la situazione di pericolosità idraulica sia dell'area in oggetto sia di quelle limitrofe al corso d'acqua nel tratto di valle;*
- 3. suggerire prescrizioni costruttive o azioni compensative finalizzate a ridurre o eliminare l'impatto dell'intervento in progetto".*

Il presente elaborato è pertanto finalizzato ad illustrare i contenuti concordemente con quanto previsto dalle NdA.



## 2 Descrizione degli interventi progettuali previsti

### 2.1 Configurazione attuale delle aree della Lega Navale

L'area di pertinenza della Lega Navale attualmente è dedicata quasi interamente all'alloggiamento delle imbarcazioni e ad alcuni servizi connessi alle attività sociali; il terreno si presenta sterrato, con aree erbose sporadiche e con la presenza di alcune strutture, come mostrato in Figura 2.1 e Figura 2.2.



Figura 2.1 Area della Lega Navale vista dal Ponte del Mare; in primo piano è possibile osservare la recinzione di rete e alberi.



Figura 2.2 Alloggiamenti per le barche nell'area più a mare della Lega Navale; lungo il perimetro è possibile osservare la recinzione di rete e alberi.

L'area è perimetrata sui lati est, nord e ovest da una recinzione di rete e alberi (Figura 2.2), mentre sul lato sud da una recinzione posta sopra un muretto di altezza 25 cm circa (Figura 2.4). Nell'angolo sud-ovest, inoltre, la Lega Navale confina con un'area a servizio di un depuratore, quest'ultima circondata da una recinzione composta da un muro pieno di altezza 100 cm circa sormontato da pilastri di cemento di altezza 110 cm circa (Figura 2.5). Tale muro, inoltre, risulta caratterizzato per alcuni tratti da un'altezza inferiore, pari a circa 60 cm, mentre sui lati sud e ovest presenta dei cancelli di accesso. Le seguenti immagini mostrano nel dettaglio una panoramica degli elementi citati.



Figura 2.3 Planimetria della configurazione attuale della Lega Navale con evidenziate le differenti tipologie presenti di recinzione perimetrale.

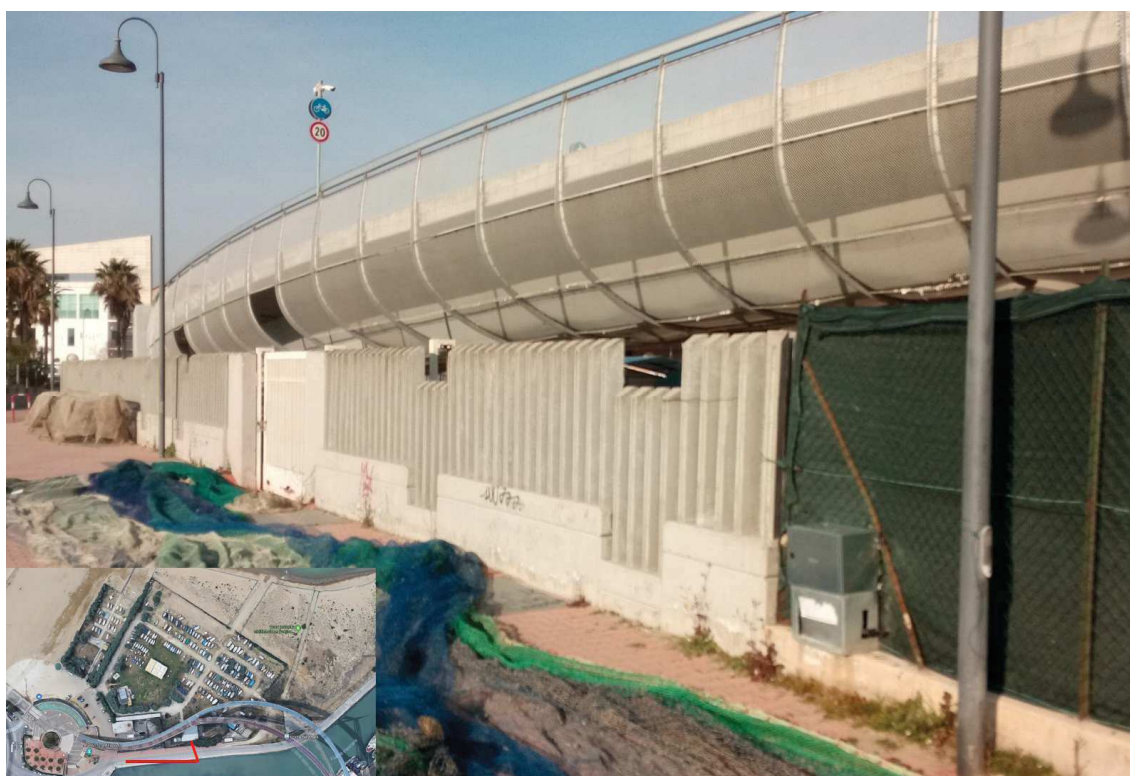


Figura 2.4 Tipologia di recinzioni sul lato sud delle aree di interesse: a sinistra il muro perimetrale del depuratore, a destra la recinzione posta sopra a un muretto di 25 cm circa.



Figura 2.5 Angolo sud-ovest del sito di studio, con in primo piano l'area del depuratore, con vista dal soprastante ponte pedonale.



Figura 2.6 Aree della Lega Navale al di sotto del ponte pedonale, di cui è mostrato in primo piano il pilastro di sostegno; sullo sfondo la recinzione di rete e alberi.

Dal punto di vista idraulico è importante evidenziare le caratteristiche delle recinzioni perché possono costituire una barriera alla propagazione degli allagamenti. In questi termini le recinzioni di reti e alberi, i pilastri in calcestruzzo distanziati tra loro ed i cancelli sono da considerarsi elementi idraulicamente trasparenti, perché non costituiscono un ostacolo continuo alla propagazione dell'acqua; i muretti continui, invece, così come gli edifici, possono essere considerati tali, fino alla loro eventuale quota di sormonto in caso di presenza di tiranti elevati.

## 2.2 Layout della configurazione di progetto

La riqualificazione delle aree della Lega Navale prevede in primo luogo la demolizione di tutti gli edifici presenti, al fine di una loro sostituzione con altre strutture definite secondo il layout progettuale. Rispetto agli edifici citati nel paragrafo precedente, non risulta naturalmente oggetto di demolizione quello destinato a depuratore, non essendo interno ma contiguo alle aree della Lega Navale.

Il layout progettuale prevede la presenza di due edifici a piano campagna, destinati a deposito, mentre tutti gli altri risultano realizzati sopraelevati, mediante l'utilizzo di appositi pali di sostegno. Dal punto di vista idraulico le strutture sopraelevate sono da considerarsi trasparenti alla propagazione degli allagamenti fino a quando il tirante idrico non raggiunge eventualmente l'intradosso della struttura; analogamente trasparenti sono da considerarsi le scale e rampe di accesso ai locali, essendo previsto dal progettista la realizzazione delle stesse con modalità costruttive tali da garantirne il non ostacolo al deflusso. In merito al perimetro delle aree, invece, il layout progettuale non prevede modifiche rispetto alle recinzioni attualmente esistenti.

Il dettaglio delle quote di intradosso dei solai posti alla base delle strutture in elevazione verrà illustrato dettagliatamente nel successivo Par. 4.3, poiché conseguenza delle analisi idrauliche svolte. Il layout della configurazione di progetto è schematicamente rappresentato in Figura 2.7.

In aggiunta alle opere sopradescritte, l'intervento di riqualificazione prevede inoltre un modesto intervento al di fuori del perimetro delle aree della Lega Navale. Presso la banchina sita in sponda sinistra del fiume Pescara, a breve distanza dalla Sede della Lega Navale, è prevista contestualmente al progetto la realizzazione di un pontile per l'ormeggio di natanti, mediante l'installazione di una passerella ribassata a sbalzo, e l'installazione di una gru, di modeste dimensioni, attrezzata per l'alaggio di natanti. Tali opere verranno realizzate con una tipologia costruttiva tale da rendere idraulicamente trasparenti i manufatti, che pertanto non sono stati considerati ai fini dello studio di compatibilità idraulica dell'intervento complessivo. Inoltre, quale input progettuale per il relativo dimensionamento, lo studio idraulico permette di fornire ai progettisti, in corrispondenza dei manufatti, i valori delle principali variabili idrodinamiche in occasione degli eventi di piena del fiume Pescara oggetto di studio.



Figura 2.7 Layout della configurazione di progetto delle aree della Lega Navale. Tutti gli edifici sono sopraelevati su pali ad eccezione dei due su cui è indicato “quota campagna”.

## 3 Approccio metodologico

Le analisi effettuate nel presente studio si sono basate sulle indicazioni metodologiche riportate nell'allegato D del PSDA, "Indirizzi per la redazione dello Studio di Compatibilità Idraulica". Il documento, oltre a chiarire le finalità e i contenuti dello studio di compatibilità idraulica, definisce anche le procedure di analisi da considerare nella valutazione degli effetti idrologici e idraulici derivanti dalla trasformazione dell'area.

L'approccio utilizzato per la stima delle piogge ad assegnato tempo di ritorno fa riferimento allo "Studio idrologico per la valutazione delle piene", documento allegato al PSDA che fornisce in modo dettagliato l'entità delle precipitazioni e degli idrogrammi di piena attesi con frequenza assegnata. Lo studio si basa sulla metodologia della "grandezza indice", proposta nell'ambito del progetto VAPI promosso dal C.N.R. - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.) con l'obiettivo di definire una metodologia di analisi degli eventi idrometeorologici intensi omogenea per l'intero territorio nazionale, così da rendere possibile una più oggettiva comparazione del rischio idrologico relativo a zone diverse.

In accordo con le NdA del PSDA la metodologia adottata ha comportato lo svolgimento dell'analisi dell'invarianza idraulica e di quella idrologica.

Per quanto riguarda l'invarianza idraulica, è stato utilizzato il modello bidimensionale implementato con MIKE FLOOD al fine di inquadrare la situazione di pericolosità idraulica attuale e nella configurazione progettuale, valutando l'impatto della configurazione di progetto sulla stessa area oggetto di intervento e sul territorio limitrofo.

In merito invece all'analisi dell'invarianza idrologica, occorre specificare come l'area della Lega Navale risulti ubicata sull'arenile, in prossimità sia della linea di riva che dell'alveo del fiume Pescara presso la foce, in un terreno in larga prevalenza permeabile e ad alto tasso di infiltrazione delle acque (terreno naturale, non asfaltato né lastricato, su fondo sabbioso dell'arenile e con minima presenza di edifici con coperture impermeabili) ed infine non collegato alla rete di drenaggio cittadina delle acque meteoriche. In questi termini risulta pertanto in posizione terminale rispetto al bacino idrografico di appartenenza e del tutto "neutra" dal punto di vista idrologico, anche per i deflussi che lei stessa può generare; un'eventuale variazione della sua percentuale impermeabile risulterebbe quindi del tutto irrilevante in termini di risposta idrologica del bacino ed impatto sulle aree circostanti, da cui la scarsa significatività per il caso specifico del comportamento idrologico delle aree e pertanto della relativa approfondita analisi.

### 3.1 Modellazione bidimensionale

Le valutazioni sull'invarianza idraulica sono risultate dall'applicazione del modello idrodinamico bidimensionale basato sul codice di calcolo MIKE FLOOD implementato dagli scriventi nel settembre 2015, in occasione di uno studio di verifica di compatibilità idraulica della proposta di P.R.P. della Città di Pescara.

Il codice di calcolo MIKE FLOOD è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente, il codice monodimensionale MIKE 11 e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei quali si rimanda agli allegati A e B). Il modulo consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE 11 e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: MIKE 11 per la simulazione monodimensionale del tratto arginato, MIKE 21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione nonché per l'area di sbocco a mare.

Nel caso specifico, lo studio prevedeva la simulazione della configurazione di stato attuale del tratto terminale (ultimi 4 km) del fiume Pescara, considerando un'area di estensione del modello

bidimensionale maggiore al chilometro sia in sponda destra che in sponda sinistra del corso d'acqua, come mostrato in Figura 3.1.

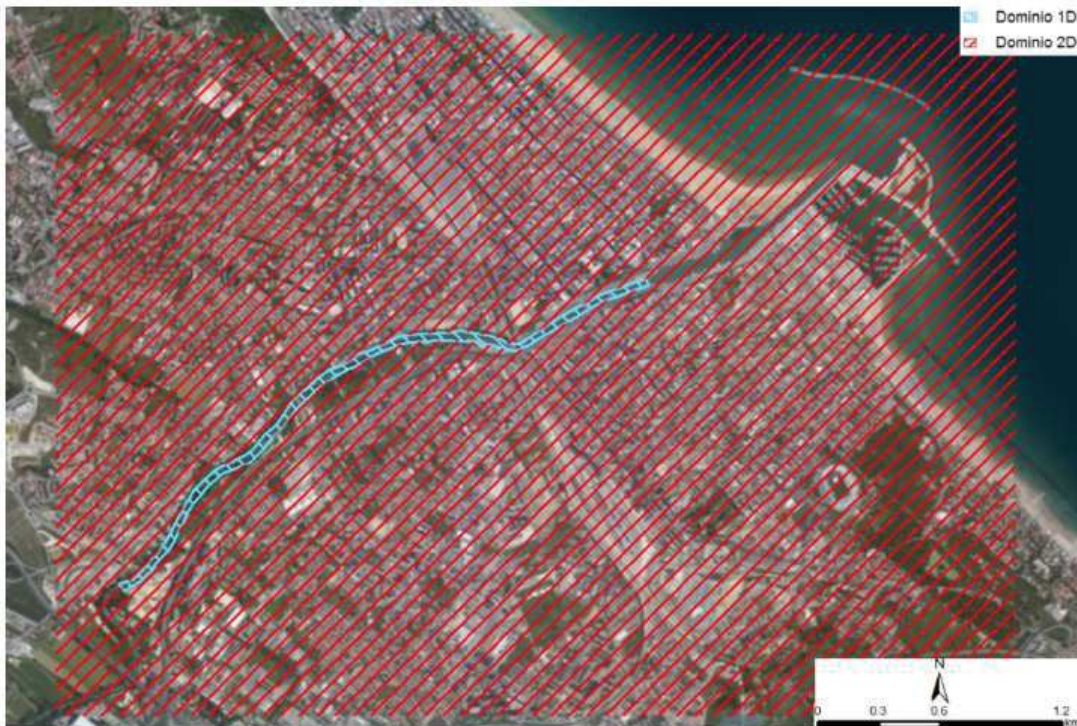


Figura 3.1 Dominio mono e bidimensionale del modello di calcolo; in azzurro è indicato l'alveo fluviale modellato con approccio monodimensionale, mentre in rosso è evidenziata l'area modellata con approccio bidimensionale.

Mentre il precedente studio era finalizzato alla dinamica complessiva delle esondazioni del fiume Pescara per eventi a diverso tempo di ritorno, nel presente studio risulta d'interesse valutare localmente, in prossimità del sito della Lega Navale, le condizioni di pericolosità idraulica sia nello stato attuale che nella configurazione di progetto. A tal fine è pertanto risultato necessario apportare alcune modifiche alla griglia di calcolo bidimensionale, al fine di rappresentare dettagliatamente le condizioni locali di deflusso delle acque di esondazione.

Si è quindi proceduto con un'attenta analisi del sito, supportata da uno specifico sopralluogo effettuato e dalla raccolta di materiale documentale e fotografico, che ha permesso di meglio individuare e rappresentare nel modello idraulico alcuni elementi topografici potenzialmente in grado di condizionare localmente le dinamiche di deflusso.

La griglia di calcolo bidimensionale originariamente definita nel precedente studio, composta da celle di dimensioni 4x4m frutto del ricampionamento del DTM LiDAR Ministeriale a maglia 1x1m, a fronte della diversa finalità dell'analisi idraulica, volta ad una valutazione di più larga scala, non riportava talvolta il dettaglio di tutti gli elementi di minore dimensione, che nella globalità del dominio di studio potevano comportare locali variazioni del comportamento idraulico. Un'attività svolta pertanto in questo studio di dettaglio è stata quindi l'inserimento di tali elementi dove necessario, modificando localmente il valore delle singole celle di interesse.

A titolo di esempio, quali elementi di maggior rilevanza, si citano le diverse tipologie di recinzioni delle aree della Lega Navale citate nel precedente Capitolo, così come i manufatti posti lungo la sponda del fiume e tutti gli edifici presenti, così come precedentemente evidenziati in Figura 2.3.

Analoga attività di verifica puntuale ha riguardato il parametro della scabrezza idraulica del modello bidimensionale, per cui il modello precedentemente implementato, avendo una scala di analisi ampia, non prevedeva una definizione locale di dettaglio. Tale parametro incide



certamente in misura minore, sulle dinamiche di deflusso, rispetto alla quota sommitale di elementi di ostacolo alla propagazione delle piene quali muri o edifici, ma risulta tuttavia di importanza non trascurabile incidendo in particolare sull'entità delle velocità di scorrimento che, parimenti ai tiranti idrici, contribuiscono alla definizione della mappatura della pericolosità idraulica in accordo alle norme del PSDA. Nel dettaglio, all'interno e nell'intorno del sito di studio della Lega Navale è stata svolta un'analisi della tipologia di copertura del suolo presente, aggiornando conseguentemente il valore della scabrezza idraulica da considerare nelle rispettive celle del modello bidimensionale. A titolo di esempio, nei dintorni del sito di studio vi sono aree a verde con vegetazione, l'arenile in sabbia e terra battuta, aree asfaltate ed aree con pavimentazione in pietra: a ciascuna tipologia di copertura del terreno è stato attribuito un valore di scabrezza, concordemente con quanto svolto, a più ampia scala, su tutto il dominio bidimensionale.

Il modello è stato utilizzato per simulare eventi di piena caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni, in modo da considerare tre scenari a diverso grado di criticità e rappresentare le dinamiche di deflusso a fronte di tutti i tre eventi di piena considerati nella definizione della mappatura delle aree inondabili del PSDA. Gli idrogrammi corrispondenti sono stati definiti in occasione del precedente studio in base alle indicazioni del PSDA, utilizzando la metodologia della "grandezza indice", proposta nell'ambito del progetto VAPI del gruppo GNDICI-CNR, con riferimento all'area idrologicamente omogenea della regione Abruzzo denominata "zona costiera". In Figura 3.2 sono riportati gli idrogrammi citati, la cui portata di picco risulta pari a 1094 m<sup>3</sup>/s, 1305 m<sup>3</sup>/s e 1518 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per l'evento a tempo di ritorno 50, 100 e 200 anni.

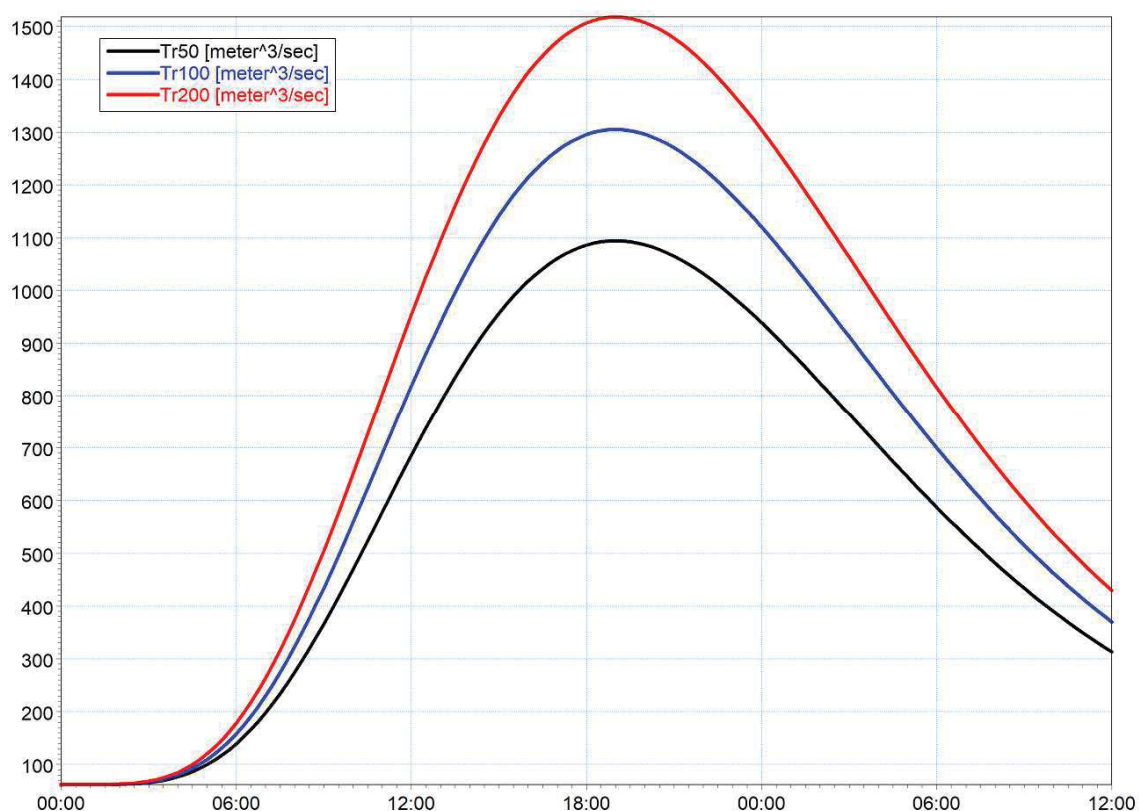


Figura 3.2 Idrogrammi di piena per tempo di ritorno pari a 50 anni (in nero), 100 anni (in blu) e 200 anni (in rosso), usati come condizione al contorno di monte nel modello idrodinamico. Sull'asse x è riportato il tempo in ore, sull'asse y le portate in m<sup>3</sup>/s.

## 4 Analisi idraulica

Ai fini della valutazione di dettaglio delle condizioni di pericolosità idraulica del sito e dell'analisi dell'invarianza idraulica dell'intervento, la configurazione di stato attuale e quella di progetto sono state simulate col modello accoppiato mono-bidimensionale, partendo dagli stessi input e parametri del modello originale. Le uniche modifiche locali hanno riguardato le quote assegnate alle celle della griglia di calcolo e, in misura minore, il parametro della scabrezza idraulica, al fine sia di rappresentare con maggior dettaglio la configurazione attuale, sia di inserire gli elementi progettuali previsti in quella di progetto.

L'analisi idraulica ha svolto inoltre il ruolo di supporto alla progettazione, in termini di indicazione del livello di pericolosità idraulica distribuito nell'area di studio, al fine di supportare i progettisti nella definizione del layout progettuale.

Tale layout è stato definito prestando particolare attenzione agli aspetti di pericolosità idraulica, anche nel differenziare le funzioni, l'ubicazione e le quote dei locali previsti a progetto. A questo fine, è stato implementato un modello idraulico anche per la configurazione attuale intermedia, rappresentativa del sito di studio a valle della demolizione degli edifici esistenti, che avrebbe costituito la condizione iniziale su cui definire lo schema di progetto.

I risultati delle simulazioni sono stati analizzati in termini di tiranti idrici e velocità di scorrimento. Inoltre, ai fini del supporto alla progettazione, è stato valutato anche il parametro della densità di flusso, corrispondente ad una portata specifica per unità di larghezza, in grado di rappresentare quali zone del dominio bidimensionale risultassero coinvolte da una maggiore o minore portata di scorrimento. Tale informazione può risultare utile nel posizionare planimetricamente nella configurazione di progetto i manufatti eventualmente interferenti con la corrente, in quanto, se ubicati in aree a bassa densità di flusso, possono comportare un minore impatto sulla dinamica complessiva di propagazione, così come possono risultare "investite" da una portata minore, e quindi, posizionate in una zona a minore pericolosità relativa.

In sintesi, gli scenari analizzati nel presente studio idraulico sono:

- configurazione di stato attuale, il cui modello risulta un aggiornamento di dettaglio di quello implementato negli studi precedenti, avente la duplice finalità sia di rappresentare le attuali condizioni di pericolosità idraulica del sito, sia di permettere in seguito, in termini di confronto, di valutare le differenze apportate dalla configurazione di progetto;
- configurazione intermedia tra stato attuale e progetto, rappresentativa dello stato attuale a seguito della demolizione degli edifici, finalizzata a fornire elementi utili a supporto della progettazione nel definire il layout del progetto;
- configurazione di progetto, il cui modello è stato svolto iterativamente secondo diverse ipotesi di concerto con i progettisti, finalizzata a definire la migliore soluzione progettuale dal punto di vista idraulico e valutarne la relativa pericolosità idraulica, evidenziando infine in termini di confronto le differenze rispetto allo stato attuale.

Le seguenti figure mostrano la configurazione della griglia di calcolo del modello, nell'intorno del sito di studio della Lega Navale, nelle tre configurazioni citate: stato attuale, stato attuale a seguito della demolizione degli edifici, configurazione di progetto. In esse, sovrapposta alla batimetria, è visibile la traccia degli elementi precedentemente rappresentati in Figura 2.3.

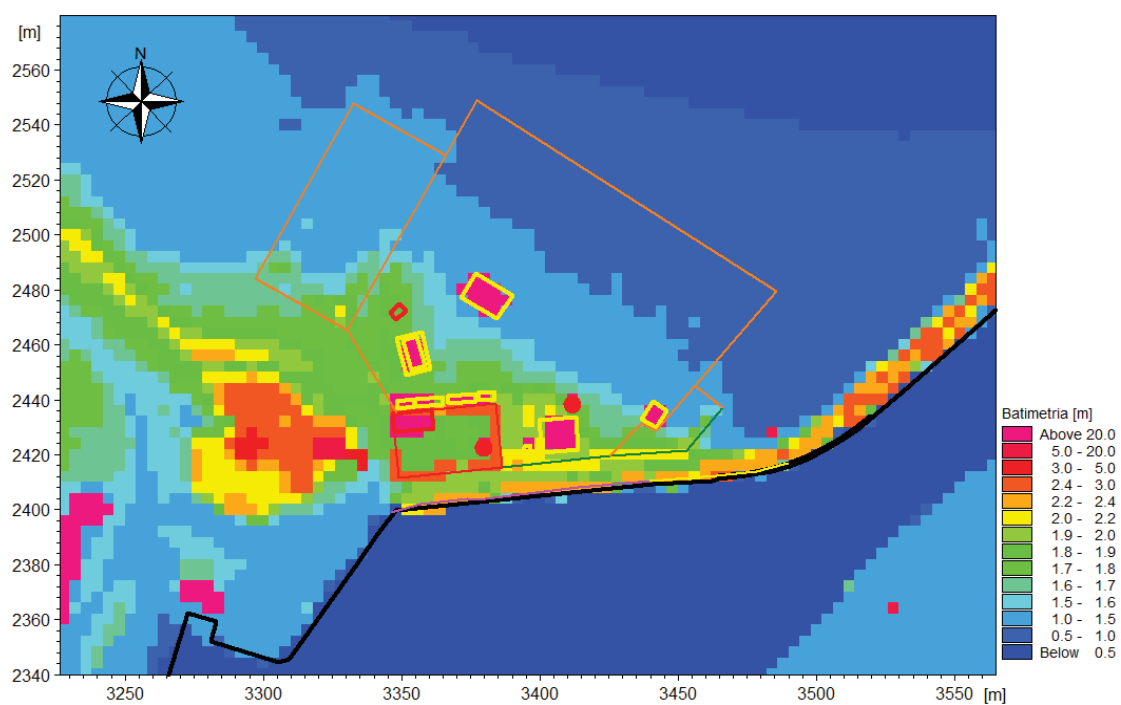


Figura 4.1 Batimetria del modello bidimensionale focalizzata sulle aree prossime al sito della Lega Navale nella configurazione attuale.

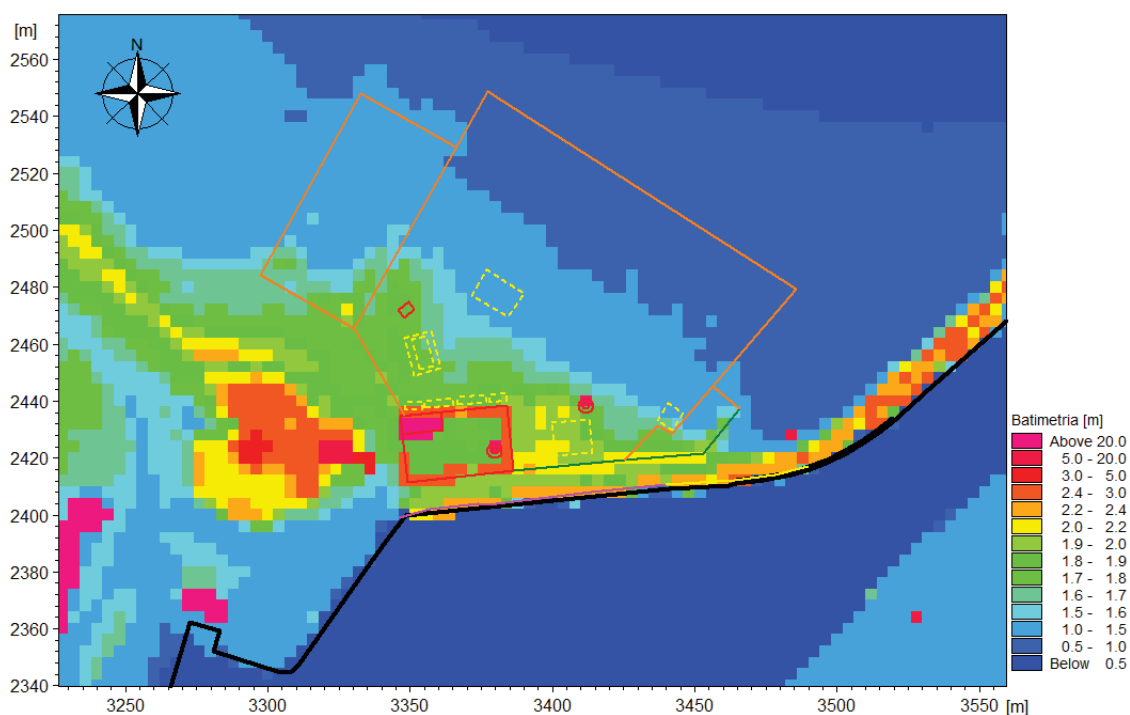


Figura 4.2 Batimetria del modello bidimensionale focalizzata sulle aree prossime al sito della Lega Navale nella configurazione attuale, a seguito della demolizione degli edifici (rappresentati con linea tratteggiata).

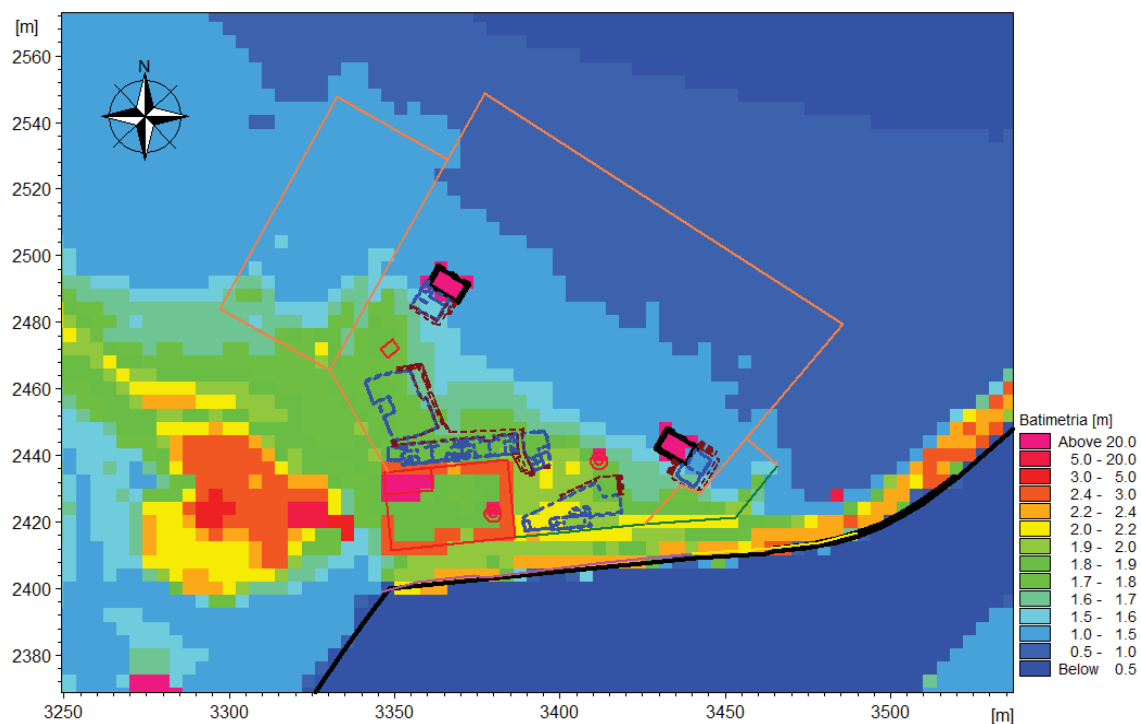


Figura 4.3 Batimetria del modello bidimensionale focalizzata sulle aree prossime al sito della Lega Navale nella configurazione di progetto. Con linea nera continua sono rappresentati i manufatti a piano campagna, con linea blu tratteggiata le strutture previste in sopraelevazione su pali ed infine con linea tratteggiata marrone sono rappresentate le strutture idraulicamente trasparenti, quali scale e rampe di accesso.

## 4.1 Configurazione di stato attuale

### 4.1.1 Evento cinquantennale (TR = 50 anni)

In Figura 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di stato attuale, in caso di evento di piena cinquantennale.

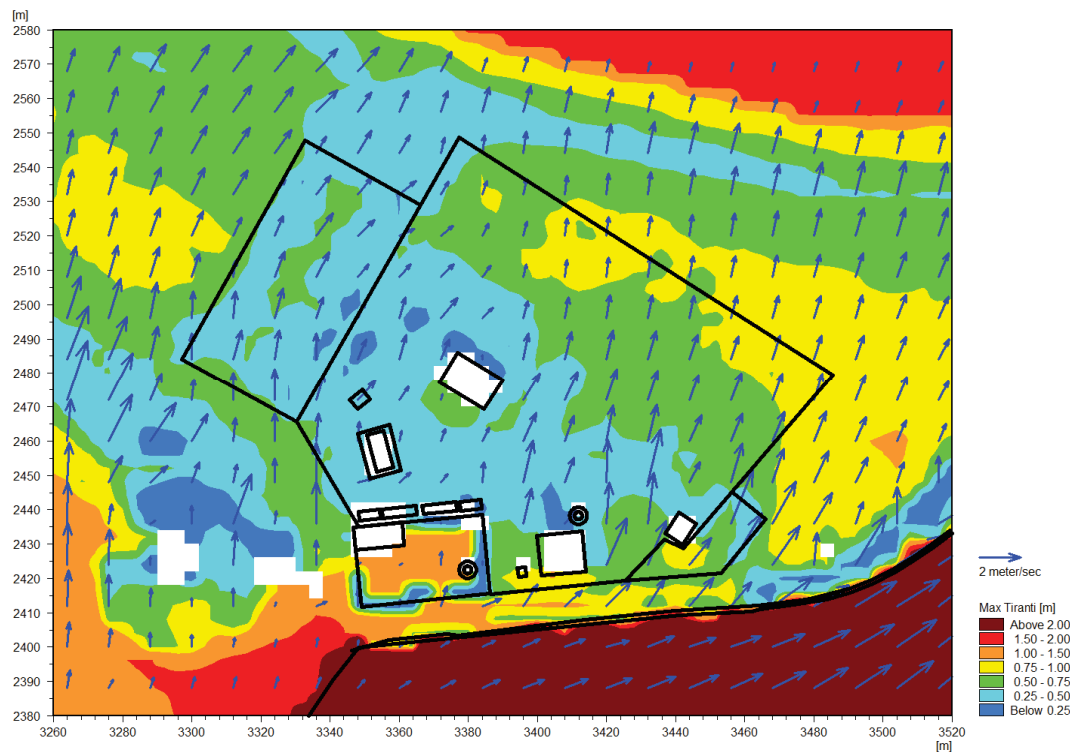


Figura 4.4 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di stato attuale in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

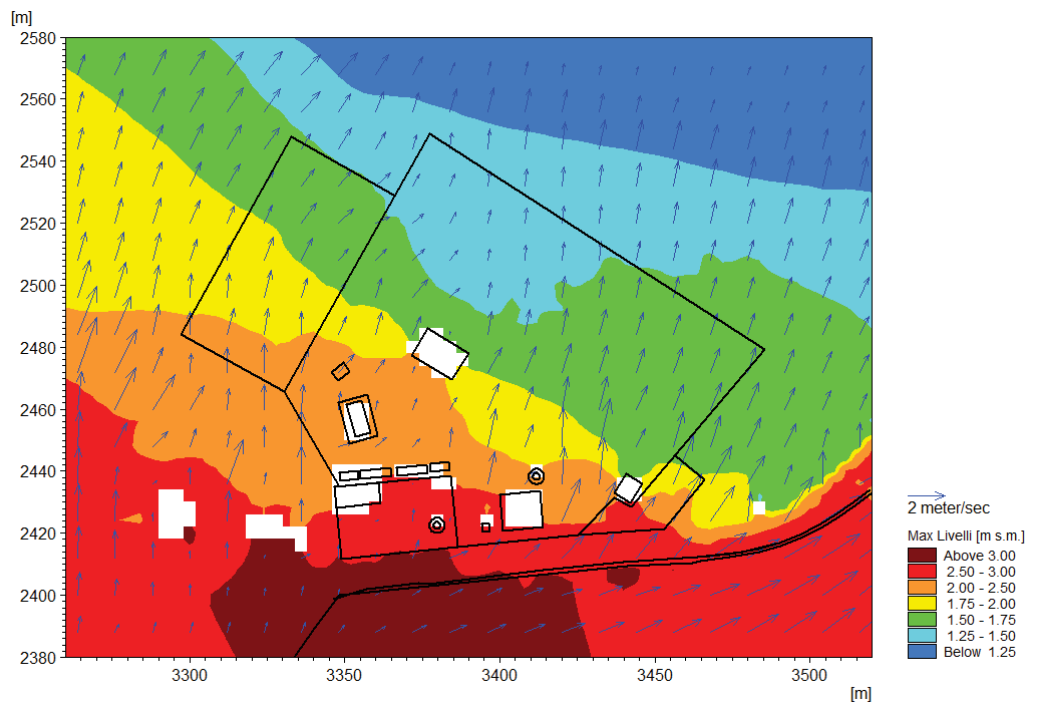


Figura 4.5 Carta dei massimi livelli nella configurazione di stato attuale in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

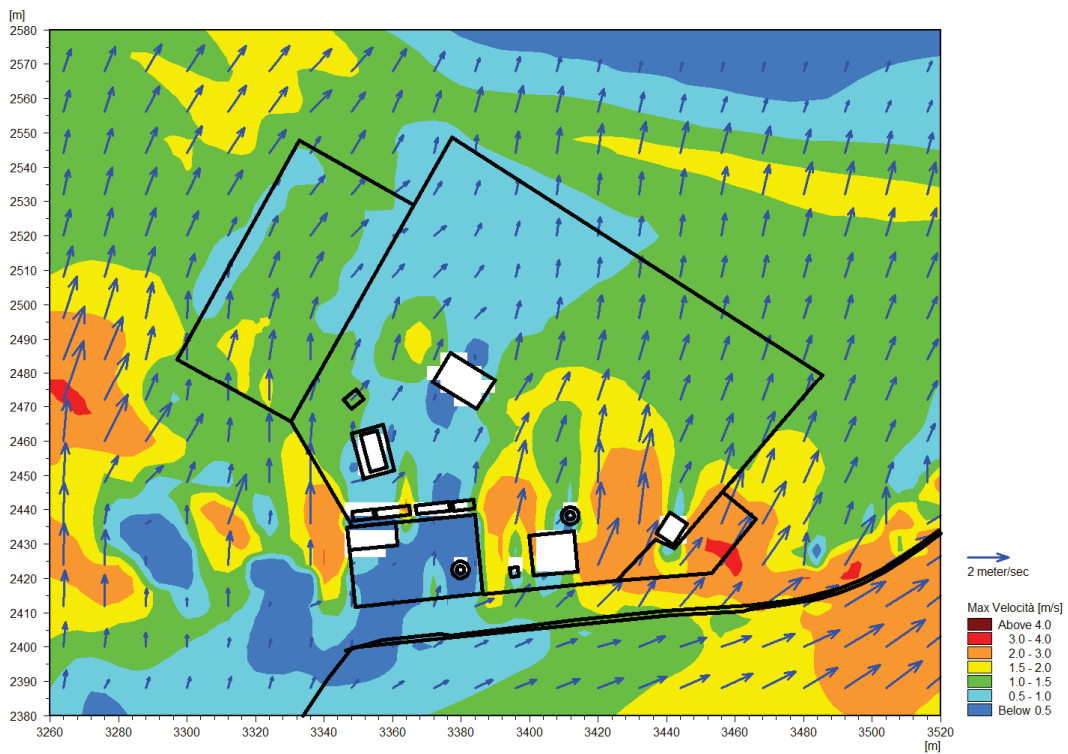


Figura 4.6 Carta delle massime velocità nella configurazione di stato attuale in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

#### 4.1.2 Evento centennale (TR = 100 anni)

In Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di stato attuale, in caso di evento di piena centennale.

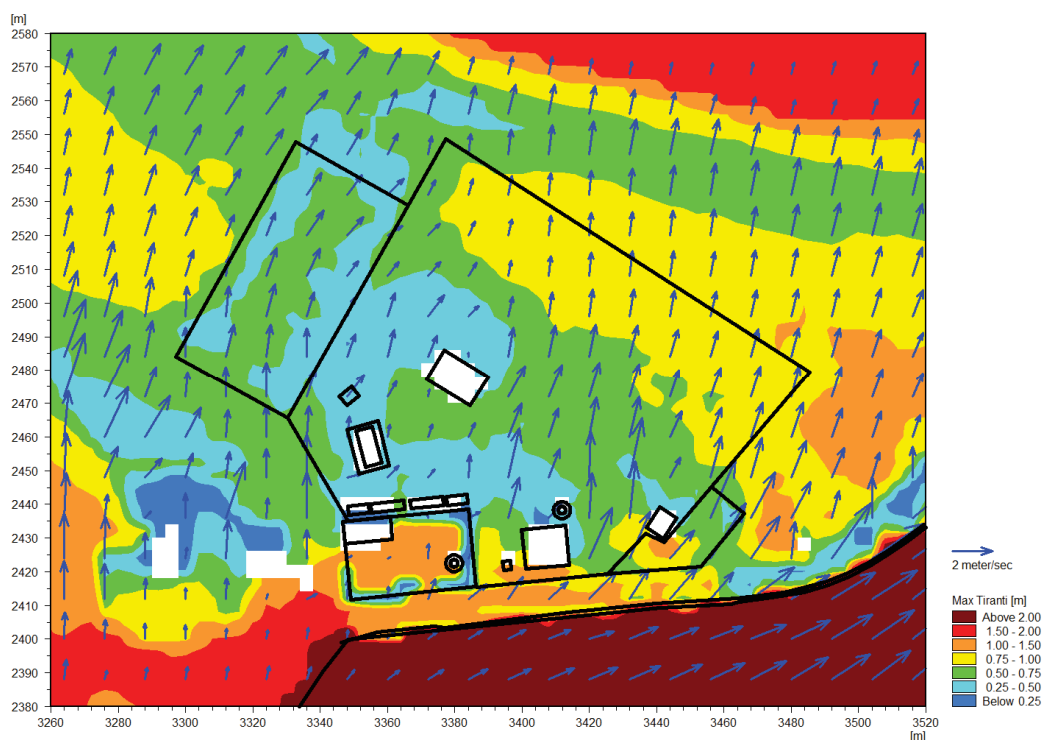


Figura 4.7 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di stato attuale in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

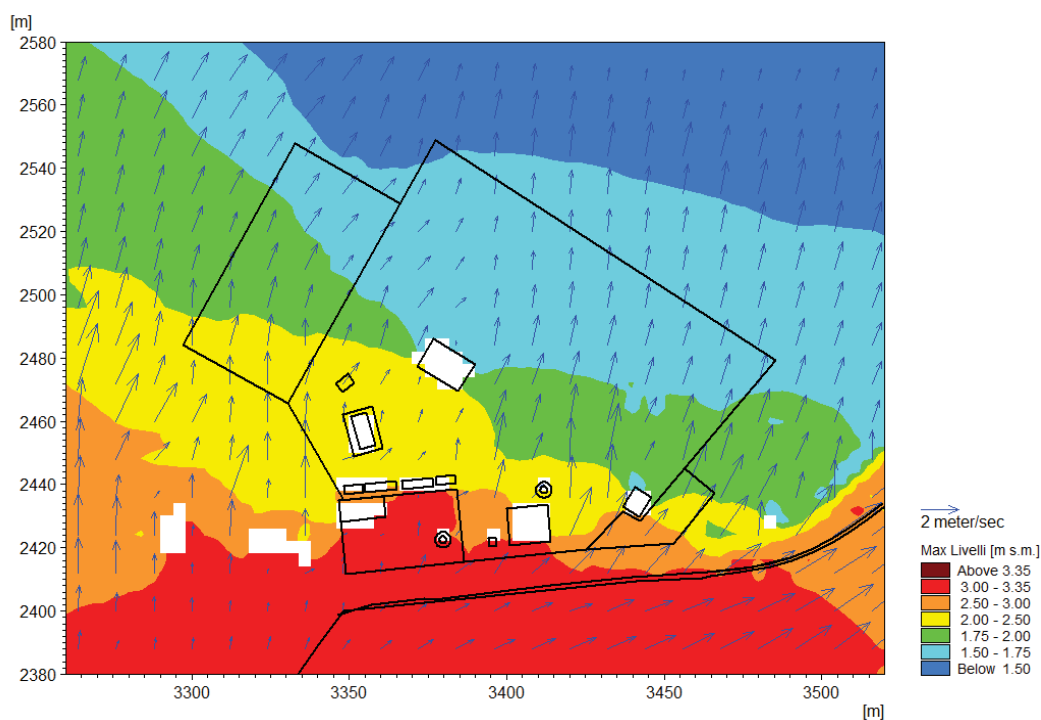


Figura 4.8 Carta dei massimi livelli nella configurazione di stato attuale in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

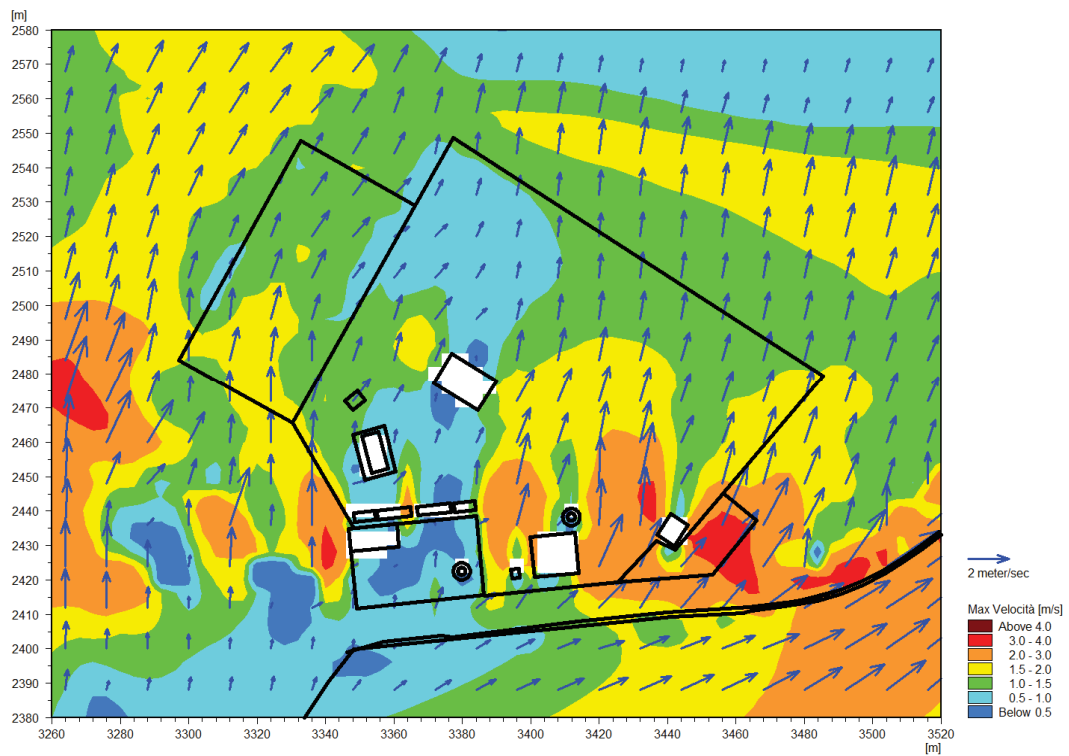


Figura 4.9 Carta delle massime velocità nella configurazione di stato attuale in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

### 4.1.3 Evento duecentennale (TR = 200 anni)

In Figura 4.10, Figura 4.11 e Figura 4.12 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di stato attuale, in caso di evento di piena duecentennale.



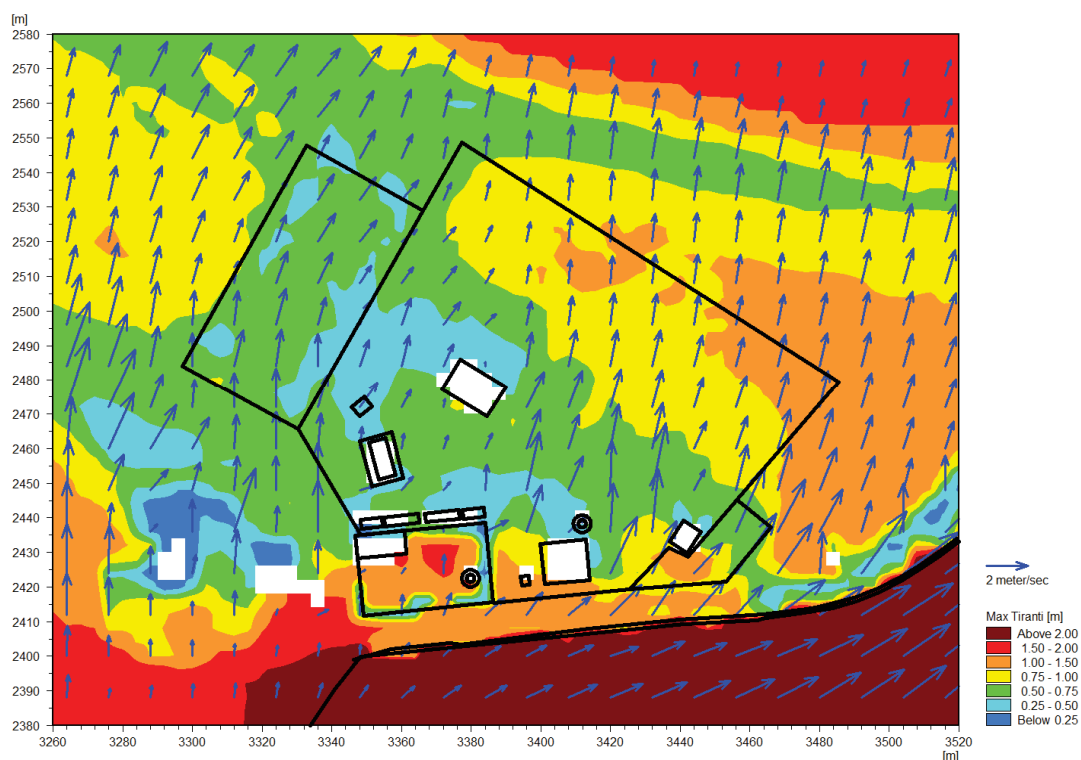


Figura 4.10 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di stato attuale in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

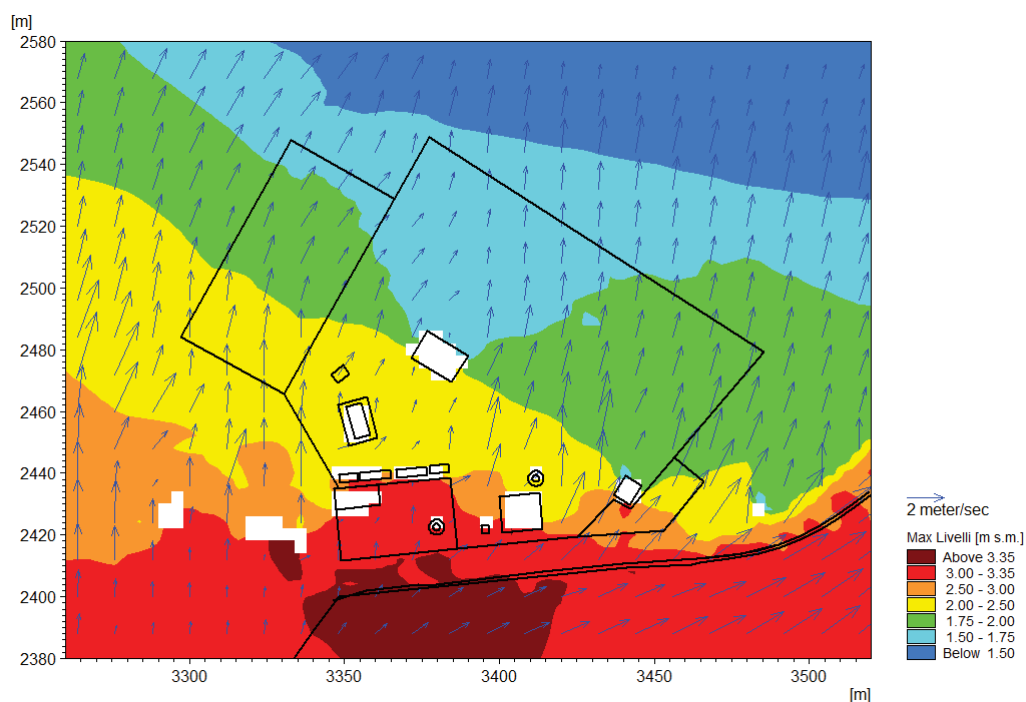


Figura 4.11 Carta dei massimi livelli nella configurazione di stato attuale in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

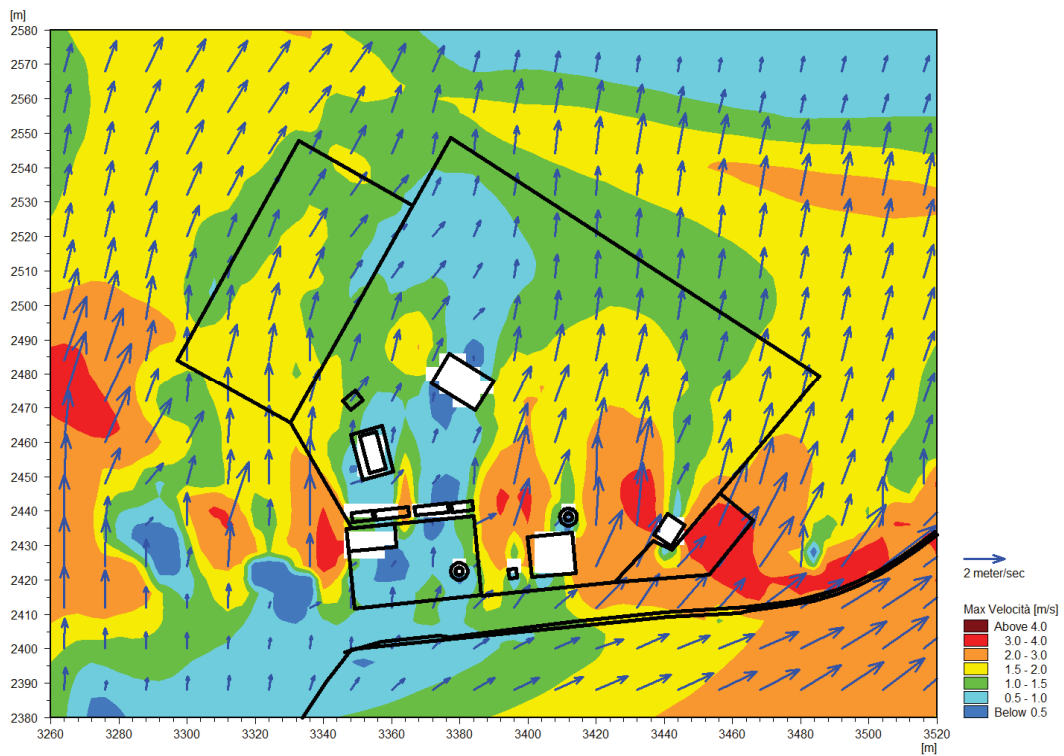


Figura 4.12 Carta delle massime velocità nella configurazione di stato attuale in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

In aggiunta, si riporta di seguito in Figura 4.13 la rappresentazione dei valori massimi della densità di flusso relativamente all'evento duecentennale, rappresentativo, pur con la relativa maggiore magnitudo, delle dinamiche di allagamento anche degli altri due eventi di piena investigati.

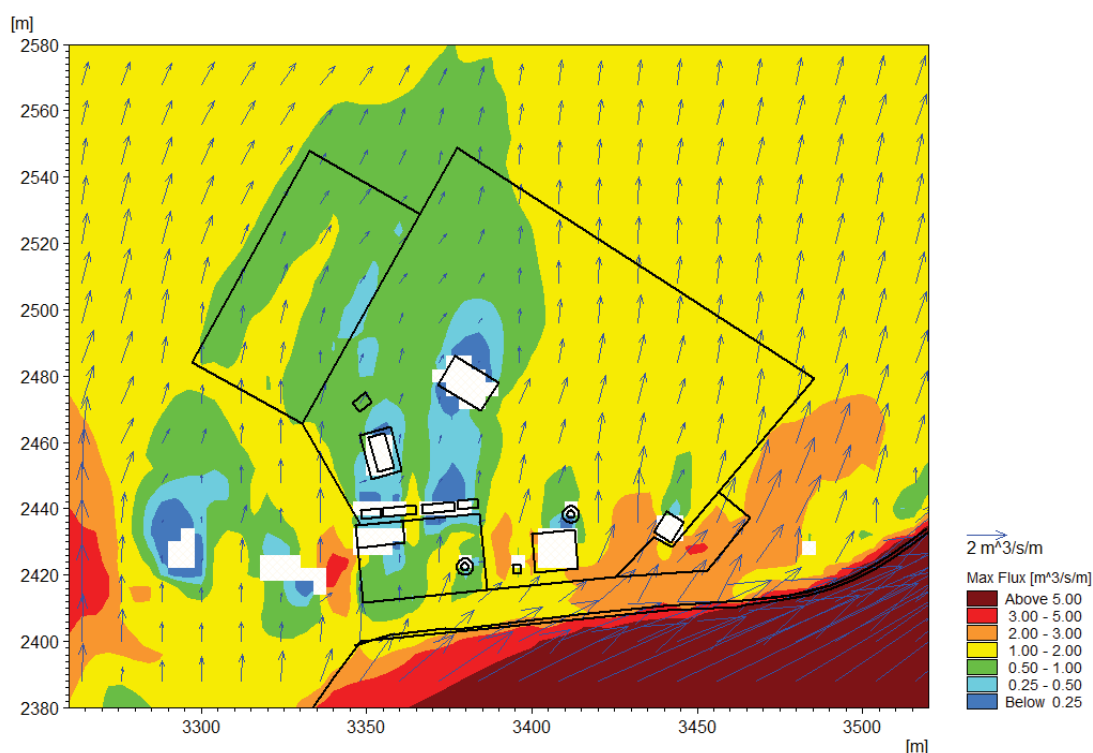


Figura 4.13 Carta della massima densità di flusso nella configurazione di stato attuale in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la stessa variabile in termini vettoriali di direzione e intensità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.).

Dall'analisi di questa variabile, unitamente a tiranti idrici e velocità precedentemente illustrate, è possibile esemplificare la dinamica di propagazione delle esondazioni nelle aree della Lega Navale nella configurazione attuale.

In dettaglio, è possibile osservare come la direzione prevalente di flusso, all'interno dell'alveo del fiume Pescara in prossimità della Lega Navale, sia da sud-ovest a nord-est. Nel generare esondazioni in sponda sinistra, devia progressivamente da questa direzione prevalente per tendere, in senso antiorario, verso nord. In questi termini, la porzione di area della Lega Navale più a levante, sia perché collocata più vicina al corso d'acqua, sia per l'assenza di significative barriere di ostacolo al deflusso, risulta quella più significativamente coinvolta, così come evidenziato dalla variabile della densità di flusso. La zona più a ovest, invece, risultando più lontana dal corso d'acqua ma soprattutto protetta dalla struttura del depuratore e dal suo muro di recinzione, risulta investita da un flusso di portata minore. Questa differenza di pericolosità idraulica è riscontrabile anche dalle carte dei massimi tiranti idrici, generalmente inferiori nella porzione ovest dell'area, ed in maniera ancora più evidente da quelle delle massime velocità, dove è chiaramente distinguibile una specie di "effetto ombra" da parte delle strutture, con valori di velocità, rispetto alla direzione di flusso, inferiori di fronte e dietro di esse, mentre a fianco si osservano valori superiori a causa dell'accelerazione compiuta dalle acque nel circondare ed oltrepassare i fabbricati.

In termini generali nell'area della Lega Navale i massimi tiranti variano da meno di 20 cm a circa 1m per l'evento cinquantennale, progressivamente crescenti con gli eventi di piena più severi fino a raggiungere localmente anche valori fino a quasi 1.5 m con l'evento duecentennale.

Per quanto riguarda le massime velocità invece, i valori risultano molti più differenziati, rispetto ai massi tiranti, per effetto del comportamento idraulico sopradescritto. Tali valori oscillano infatti da meno di 0.5 m/s a quasi 3 m/s per l'evento cinquantennale, superando invece localmente in alcuni punti i 3 m/s per quello duecentennale.

## 4.2 Configurazione intermedia stato attuale – progetto

### 4.2.1 Evento cinquantennale (TR = 50 anni)

In Figura 4.14, Figura 4.15 e Figura 4.16 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di stato attuale a seguito della demolizione degli edifici esistenti, in caso di evento di piena cinquantennale.

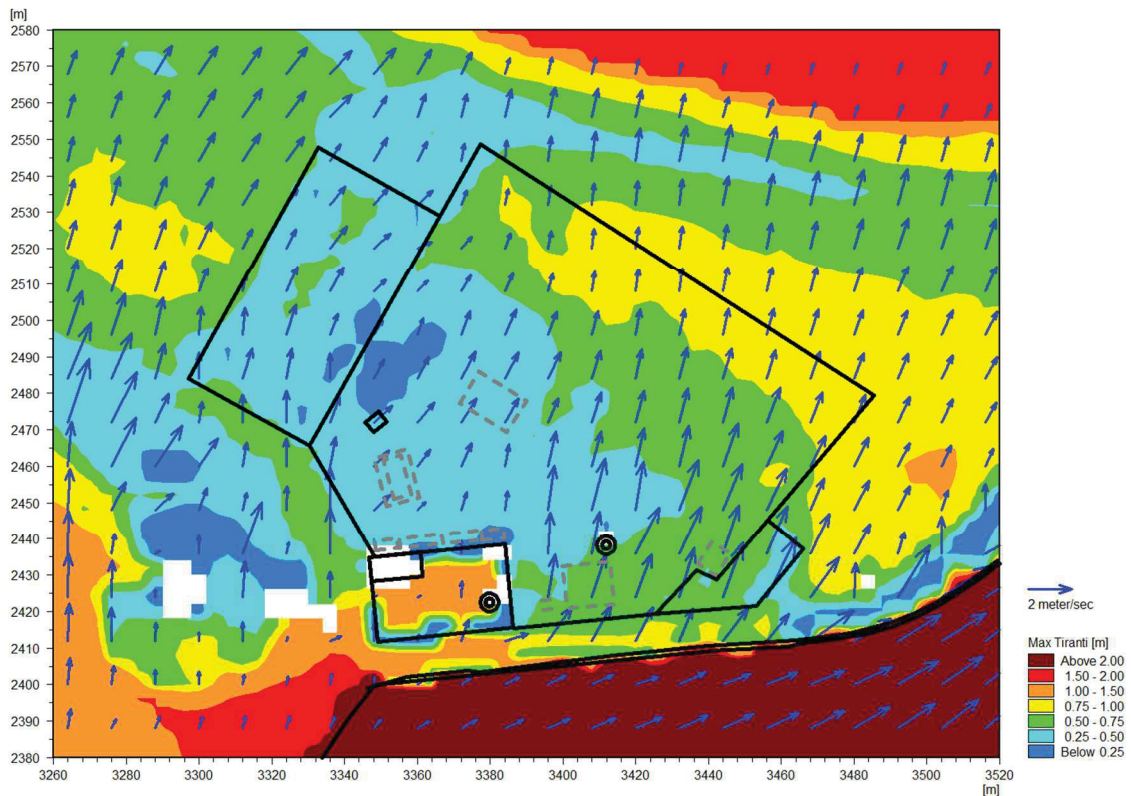


Figura 4.14 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

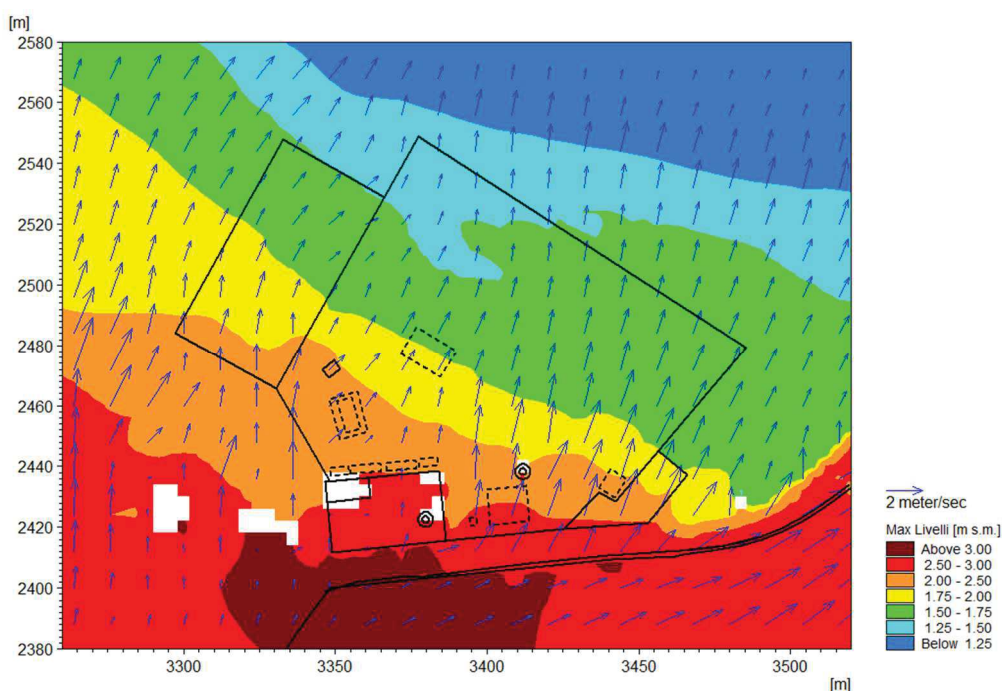


Figura 4.15 Carta dei massimi livelli nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

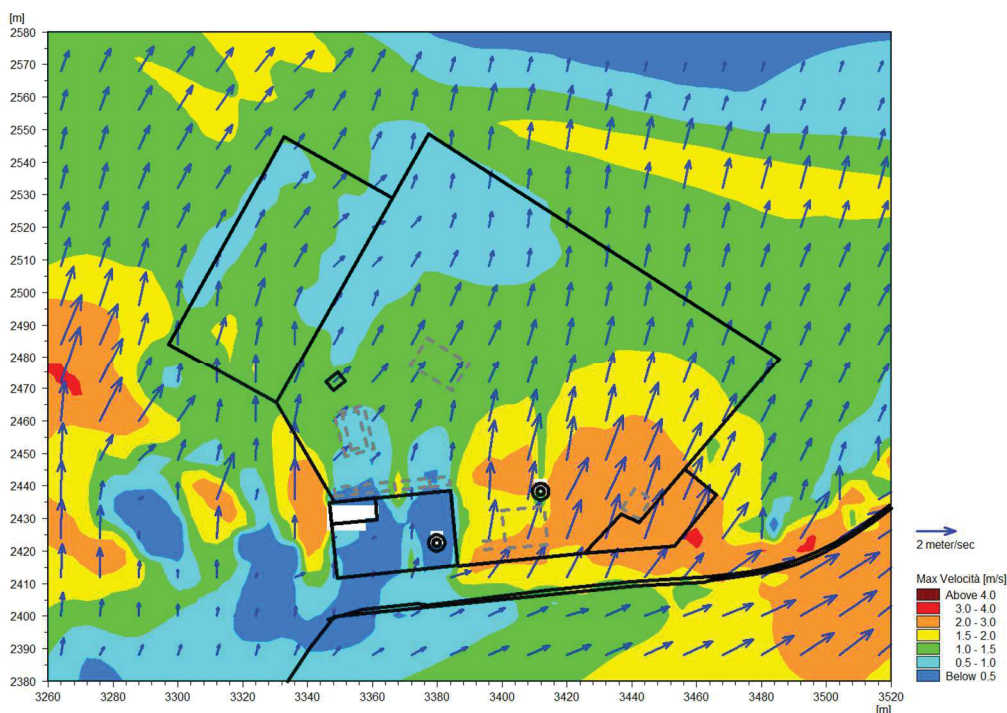


Figura 4.16 Carta delle massime velocità nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

## 4.2.2 Evento centennale (TR = 100 anni)

In Figura 4.17, Figura 4.18 e Figura 4.19 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di stato attuale a seguito della demolizione degli edifici esistenti, in caso di evento di piena centennale.

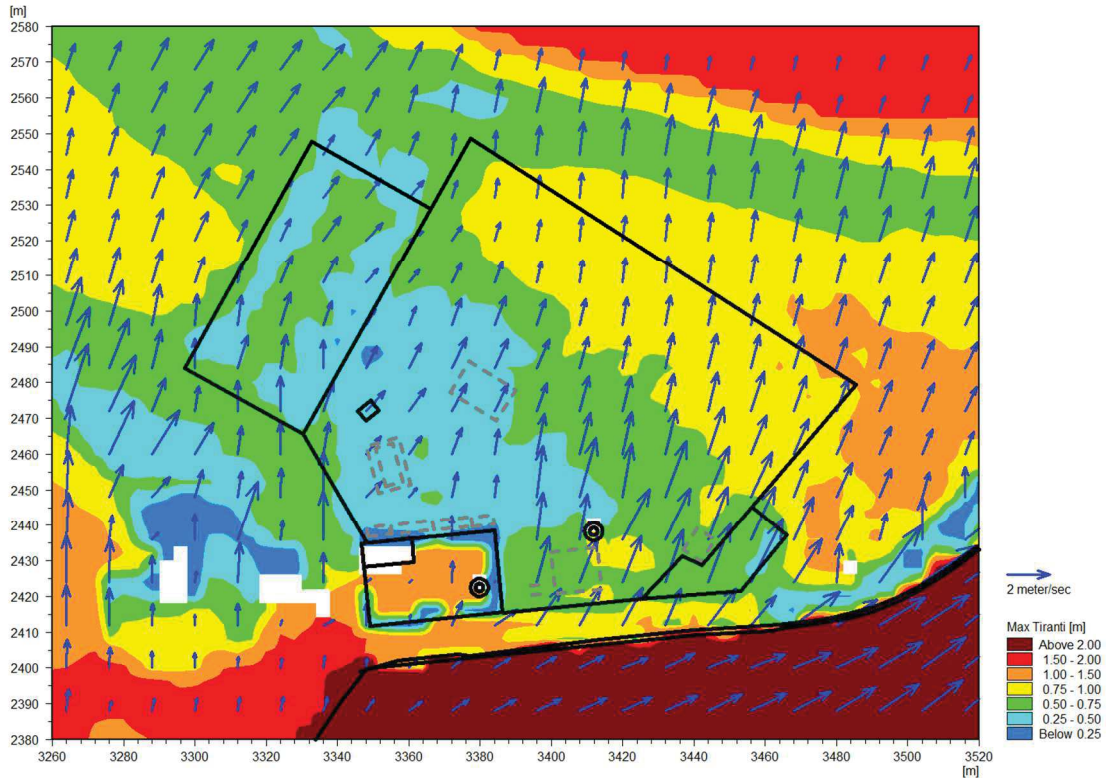


Figura 4.17 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

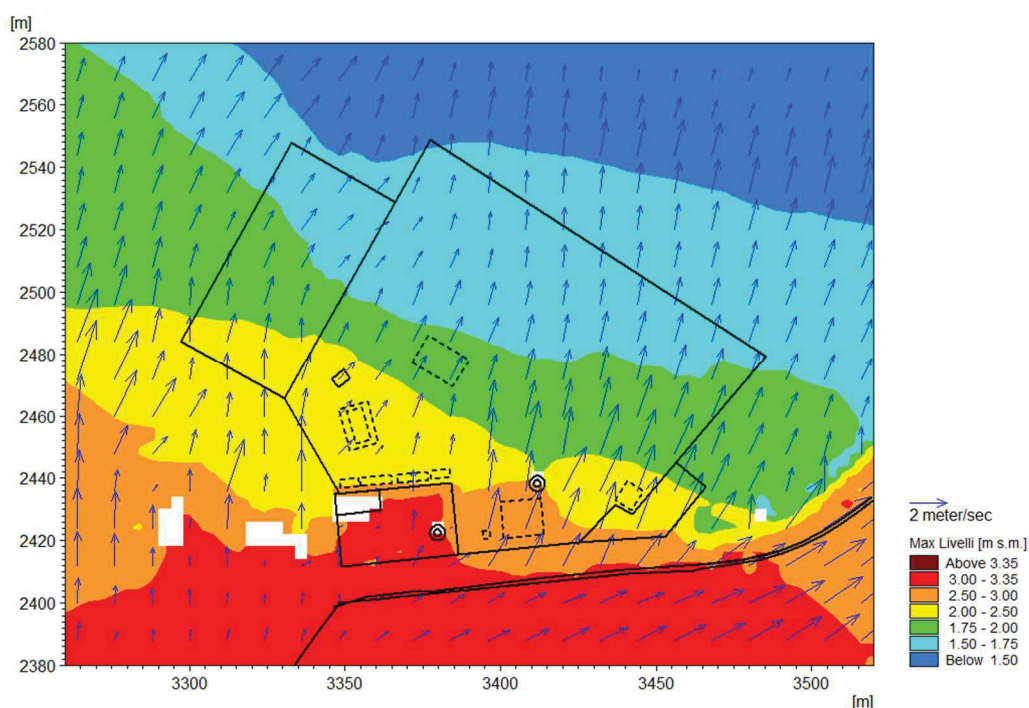


Figura 4.18 Carta dei massimi livelli nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

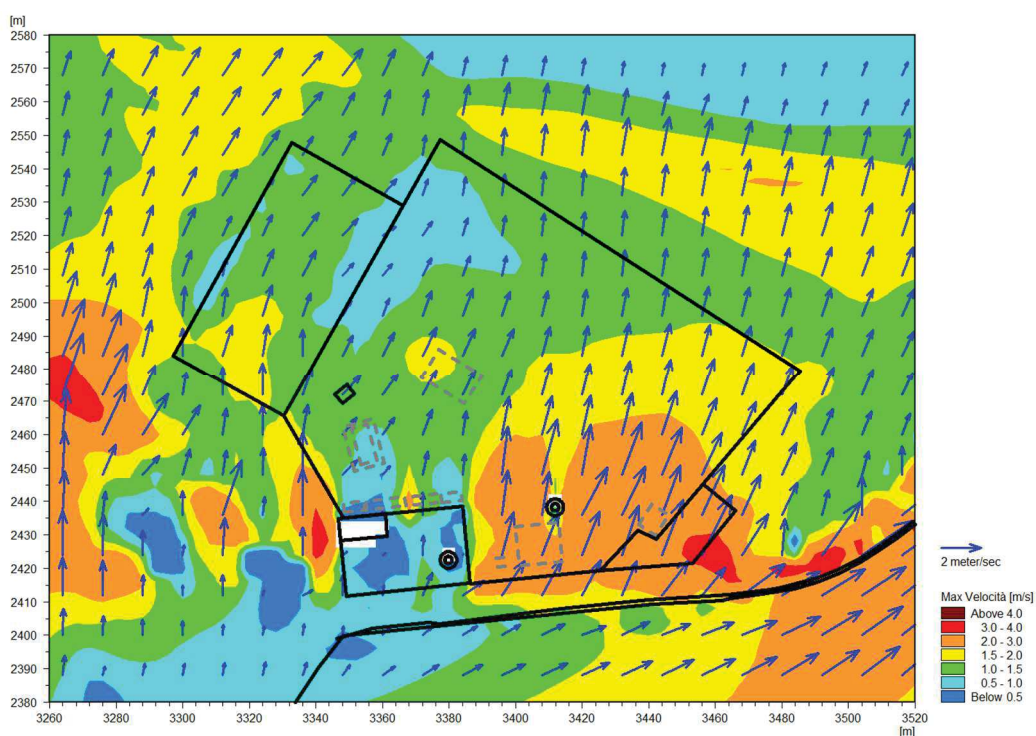


Figura 4.19 Carta delle massime velocità nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

### 4.2.3 Evento duecentennale (TR = 200 anni)

In Figura 4.20, Figura 4.21 e Figura 4.22 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di stato attuale a seguito della demolizione degli edifici esistenti, in caso di evento di piena duecentennale.

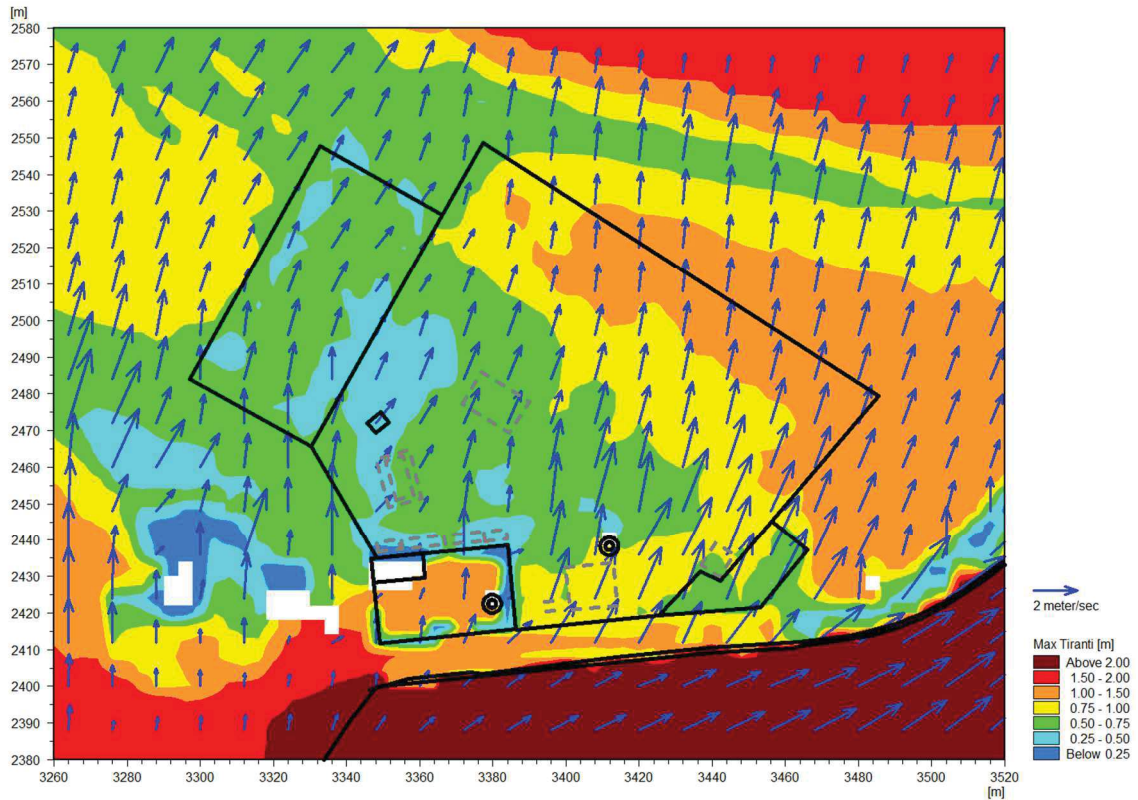


Figura 4.20 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.



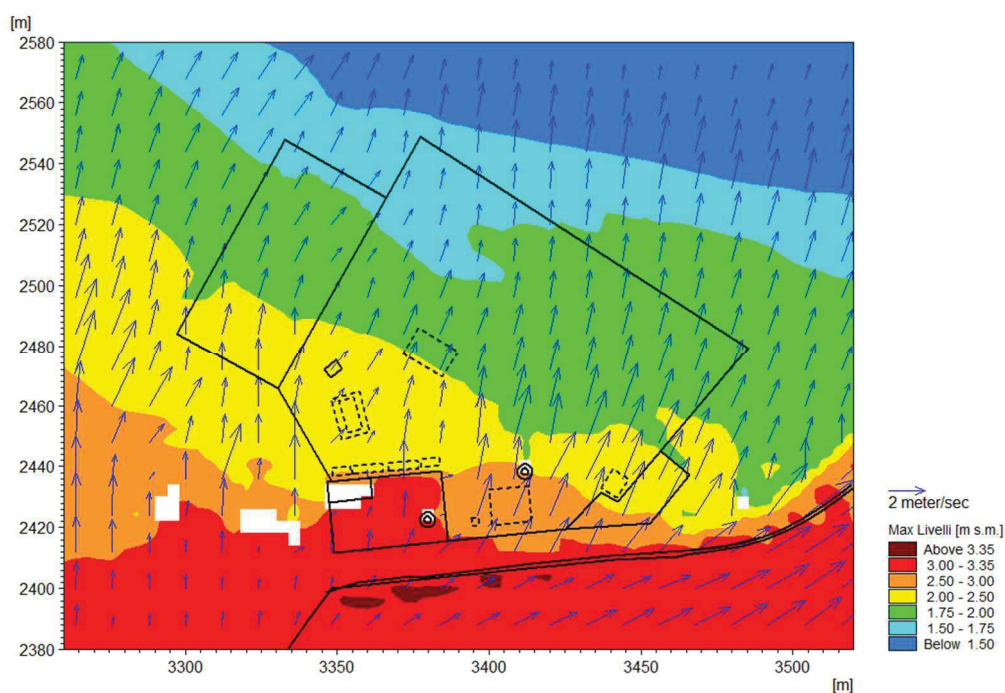


Figura 4.21 Carta dei massimi livelli nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

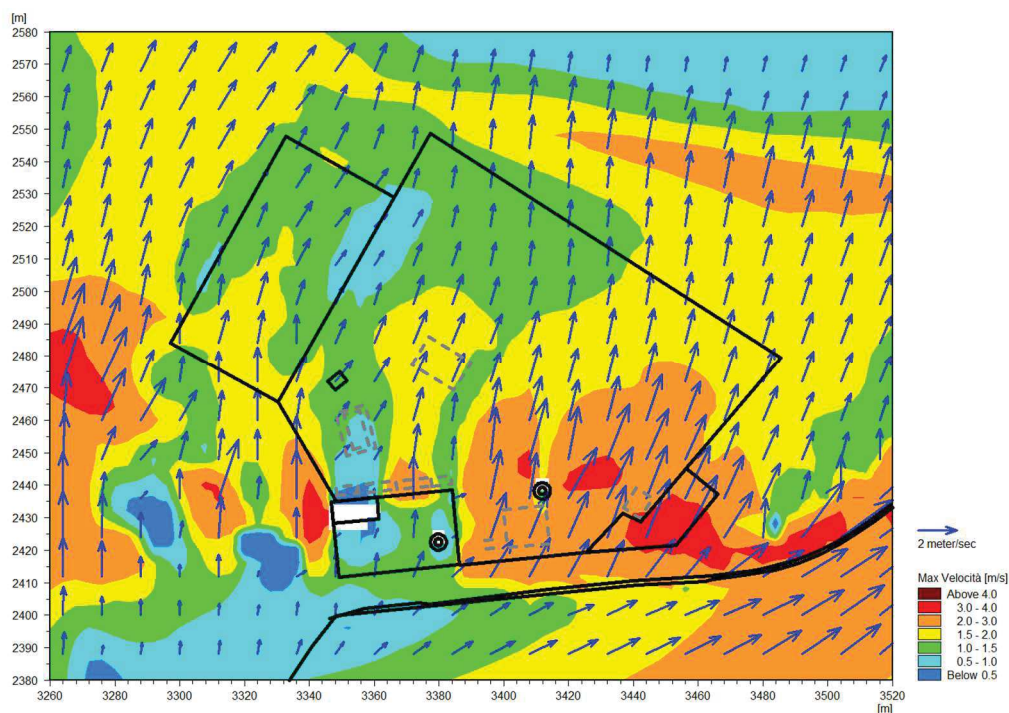


Figura 4.22 Carta delle massime velocità nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

In aggiunta, si riporta di seguito in Figura 4.23 la rappresentazione dei valori massimi della densità di flusso relativamente all'evento duecentennale, rappresentativo, pur con la relativa maggiore magnitudo, delle dinamiche di allagamento anche degli altri due eventi di piena investigati.

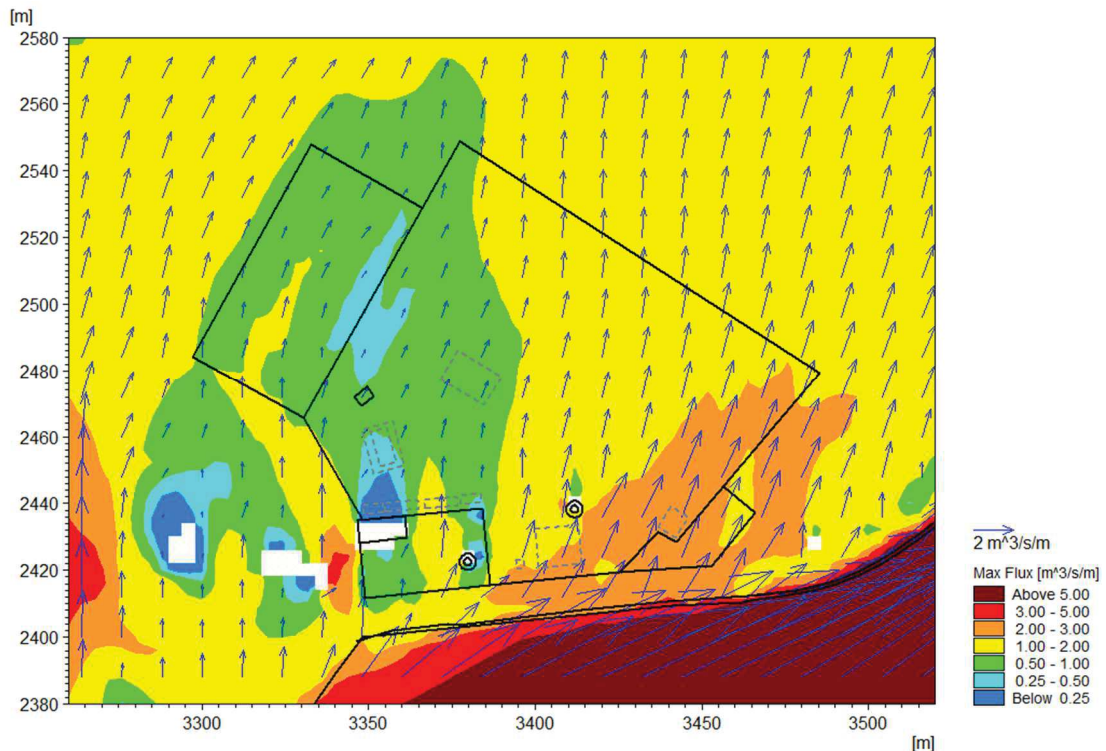


Figura 4.23 Carta della massima densità di flusso nella configurazione di stato attuale, a seguito della demolizione degli edifici, in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la stessa variabile in termini vettoriali di direzione e intensità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di demolizione.

Dall'analisi di questa variabile, unitamente a tiranti idrici e velocità precedentemente illustrate, è possibile esemplificare la dinamica di propagazione delle esondazioni nelle aree della Lega Navale nella configurazione attuale a seguito della demolizione degli edifici esistenti.

In dettaglio, il comportamento idraulico ripercorre sostanzialmente quello precedentemente analizzato della configurazione attuale senza demolizione di edifici, ma con valori più omogenei delle variabili idrauliche. Al di fuori di un intorno sufficientemente ampio rispetto agli edifici oggetto di demolizione, infatti, le dinamiche di deflusso rimangono sostanzialmente inalterate, è quindi possibile affermare che, al di fuori delle aree di pertinenza della Lega Navale, l'effetto della demolizione degli edifici sia sostanzialmente trascurabile. In prossimità di tali manufatti, invece, in questa configurazione si presentano in maniera meno marcata quelle differenze di valori date dal "effetto ombra" degli stessi: questo risulta particolarmente evidente nei valori delle massime velocità, che nella configurazione precedente potevano presentare valori anche più che doppi a distanza di pochi metri, ma si presenta comunque significativo anche per quanto riguarda i massimi tiranti.

In ultimo, confrontando la carta della massima densità di flusso rispetto allo scenario precedente (Figura 4.13), è possibile confermare sia quanto precedentemente illustrato in merito all'effetto della demolizione degli edifici sulla propagazione degli allagamenti, sia più in generale le condizioni di pericolosità idraulica del sito: rimane infatti generalmente più esposta la porzione a est delle aree della Lega Navale, mentre quella a ovest risulta più protetta beneficiando dell'effetto barriera della struttura e del muro di recinzione del depuratore.

Le carte di massimi tiranti idrici, velocità di scorrimento e densità di flusso della presente configurazione risultano particolarmente significative perché costituiscono la base di partenza, in termini di pericolosità idraulica, su cui definire il layout della configurazione di progetto.

## 4.3 Configurazione di progetto

Come evidenziato precedentemente nel Par. 2.2, la configurazione di progetto prevede la realizzazione di alcuni edifici posti in sopraelevazione su pali, con la duplice finalità da una parte di non interagire con la propagazione superficiale delle acque di piena e dall'altra di porre in sicurezza, sopra il livello dell'acqua, le persone e cose in essi eventualmente presenti. Poiché si verificano questi presupposti risulta tuttavia necessario che le quote a cui vengono posati i solai dei locali siano effettivamente maggiori dei livelli raggiunti dalla piena, altrimenti non è possibile affermare dal punto di vista idraulico la piena trasparenza delle stesse alla propagazione degli allagamenti.

La determinazione dei massimi livelli raggiunti delle acque, per ciascuno dei tempi di ritorno investigati, risulta pertanto un input progettuale da determinare mediante l'utilizzo del modello idraulico: per i tempi di ritorno per cui si riesce a mantenere tutte le strutture a quota superiore del livello delle acque, il risultato ottenuto rappresenta effettivamente il comportamento idraulico reale; nei casi in cui, invece, ciò non dovesse accadere, occorre sviluppare un'apposita configurazione del modello idraulico in grado di rappresentare l'ostacolo al deflusso dato dal raggiungimento da parte delle acque di piena dei solai, e quindi i valori conseguentemente raggiunti di tiranti idrici e velocità.

Nei successivi paragrafi 4.3.1 – 4.3.2 – 4.3.3 verranno pertanto rappresentate le condizioni di deflusso nell'ipotesi che gli edifici sopraelevati non vengano mai raggiunti dalle acque di piena, risultando pertanto trasparenti alle esondazioni. Una volta determinati i tiranti idrici secondo tali configurazioni, verrà quindi definito dai progettisti a quale quota impostare i solai e conseguentemente per quali eventi di piena occorrerà rappresentare l'interazione con gli edifici sopraelevati a causa del raggiungimento dei relativi solai da parte dei livelli di esondazione. Tale analisi idraulica aggiuntiva è mostrata nel successivo paragrafo 4.3.4

In ultimo, l'analisi idraulica nella configurazione di progetto risulta utile al fine di identificare i massimi tiranti idrici che si realizzano in prossimità degli edifici posti al piano campagna, in modo da conoscere oltre quale quota occorre disporre le attrezzature all'interno di essi al fine di preservarli dall'essere raggiunti dalle acque di piena.

### 4.3.1 Evento cinquantennale (TR = 50 anni)

In Figura 4.24, Figura 4.25 e Figura 4.26 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di progetto, in caso di evento di piena cinquantennale.

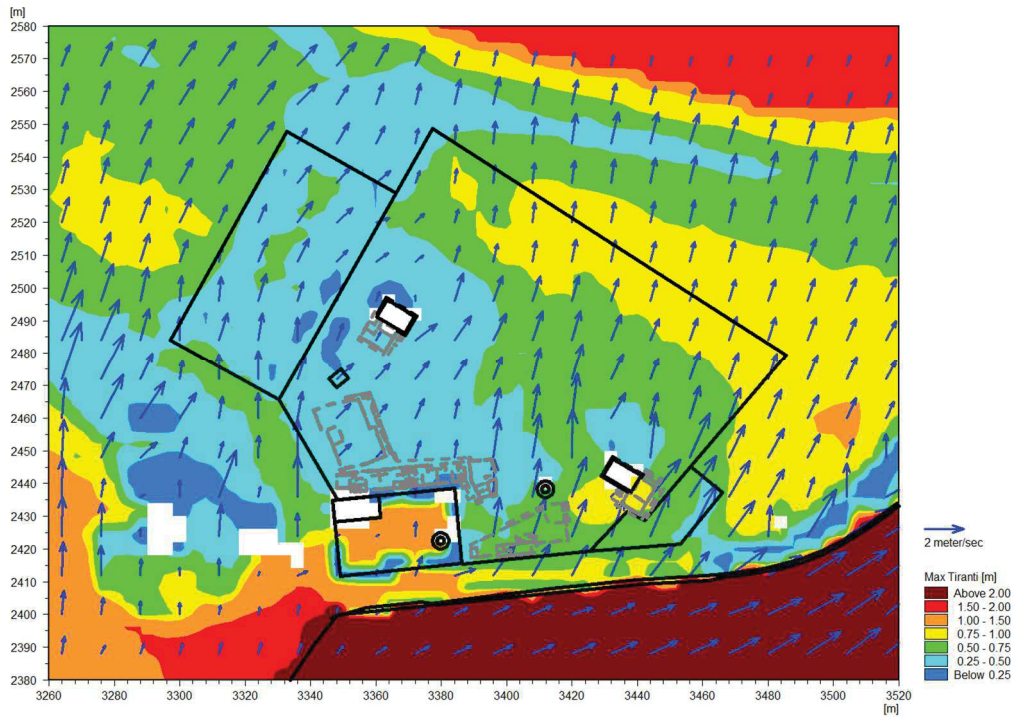


Figura 4.24 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di progetto in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

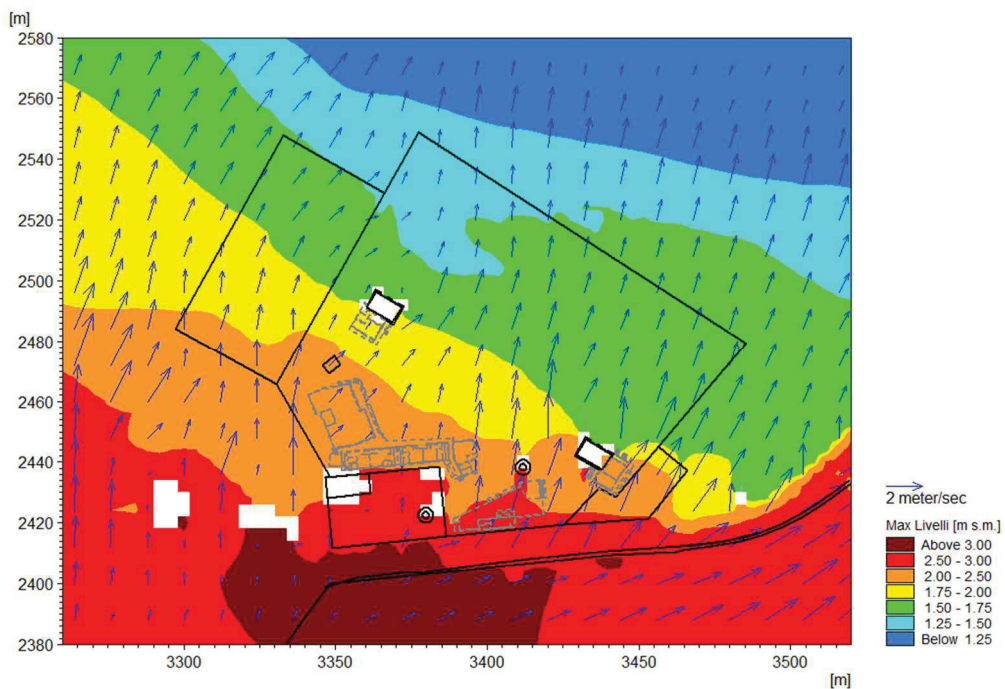


Figura 4.25 Carta dei massimi livelli nella configurazione di progetto in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

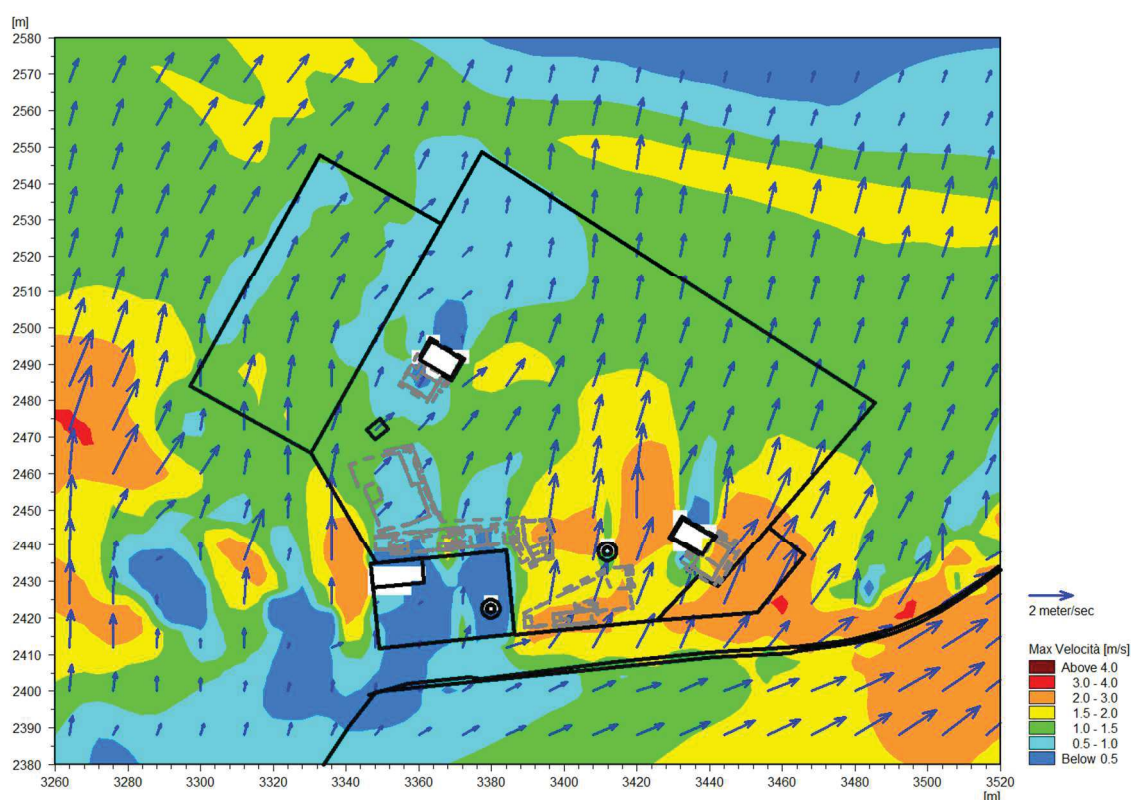


Figura 4.26 Carta delle massime velocità nella configurazione di progetto in caso di evento cinquantennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

#### 4.3.2 Evento centennale (TR = 100 anni)

In Figura 4.27, Figura 4.28 e Figura 4.29 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di progetto, in caso di evento di piena centennale.

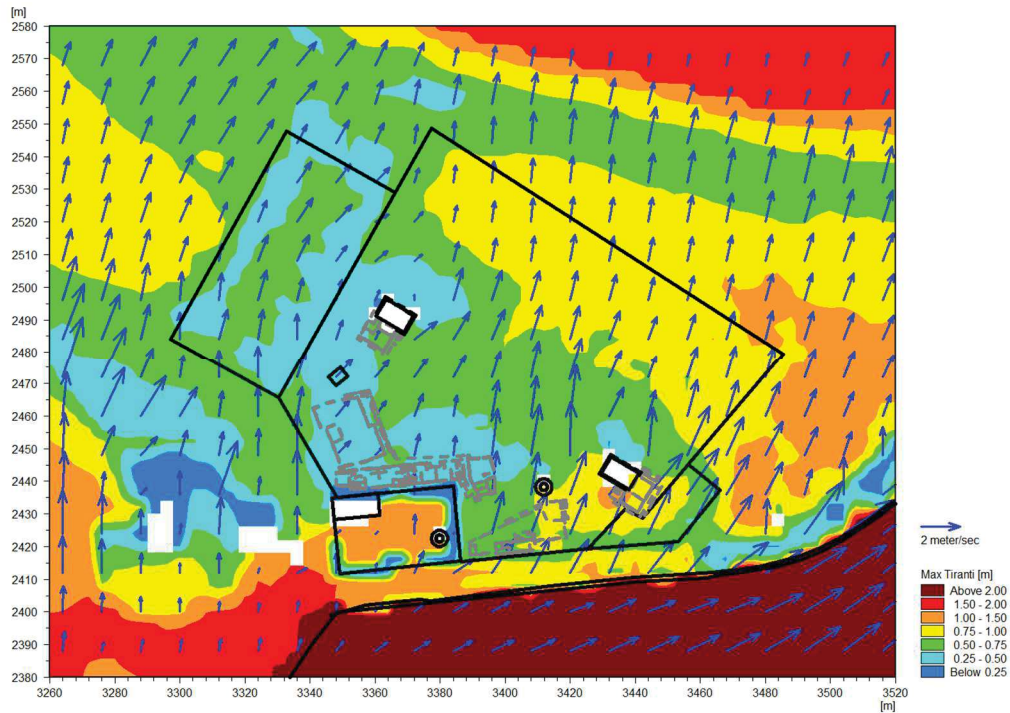


Figura 4.27 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di progetto in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

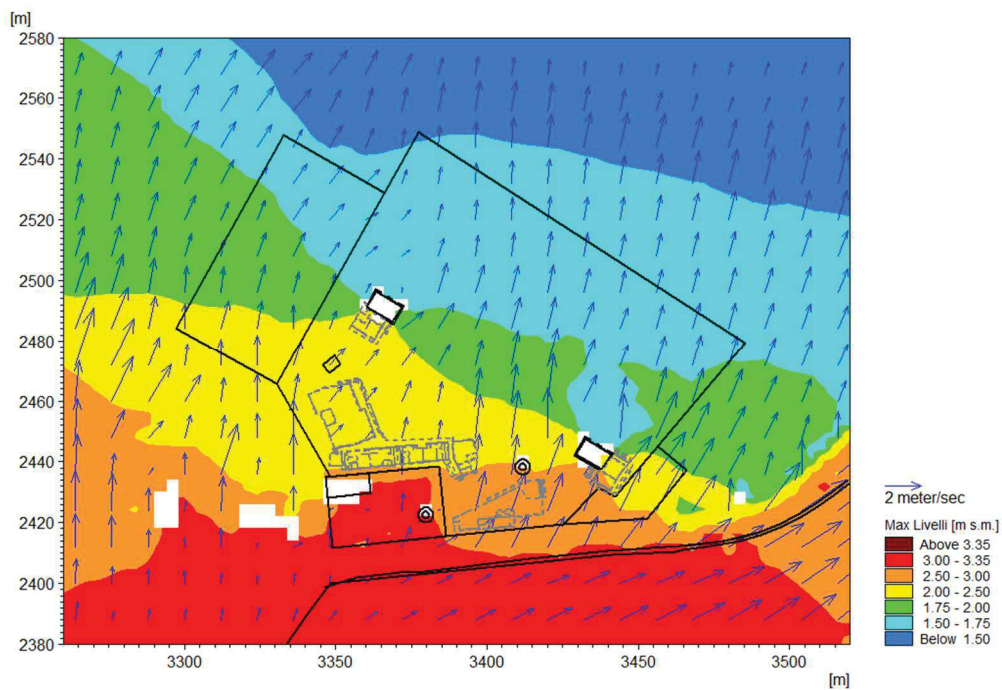


Figura 4.28 Carta dei massimi livelli nella configurazione di progetto in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

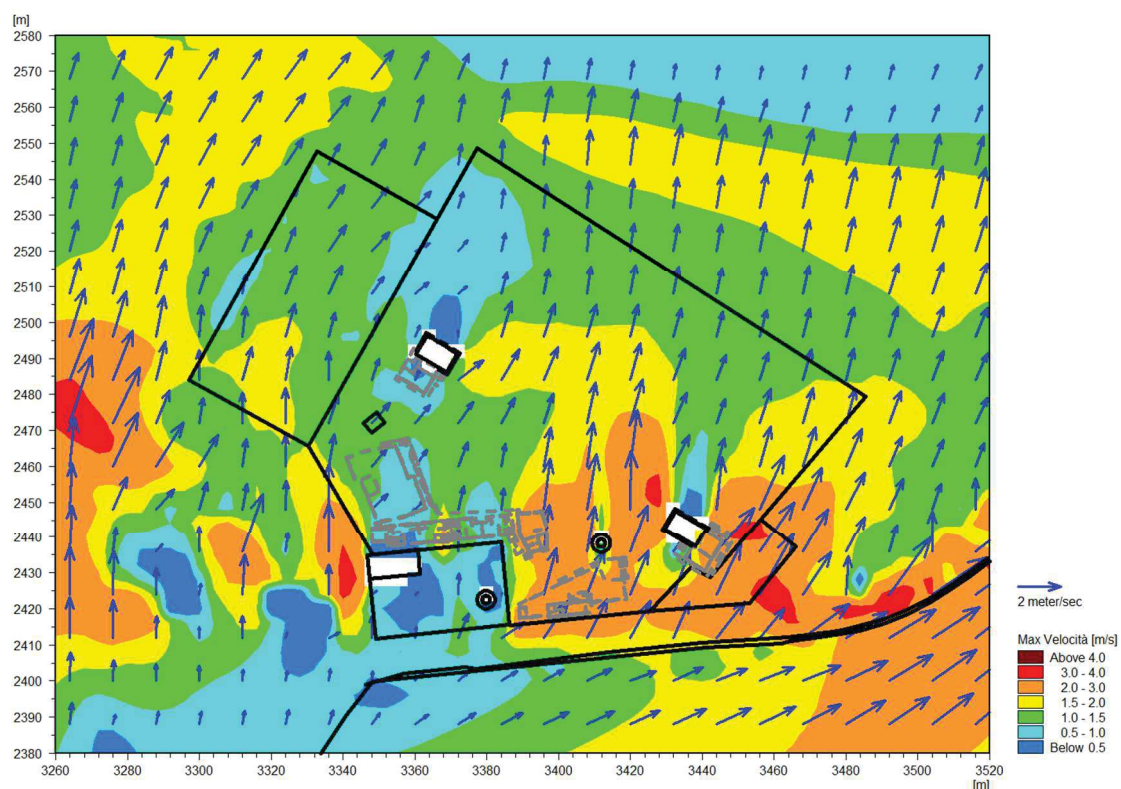


Figura 4.29 Carta delle massime velocità nella configurazione di progetto in caso di evento centennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

### 4.3.3 Evento duecentennale (TR = 200 anni)

In Figura 4.30, Figura 4.31 e Figura 4.32 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di progetto, in caso di evento di piena duecentennale.

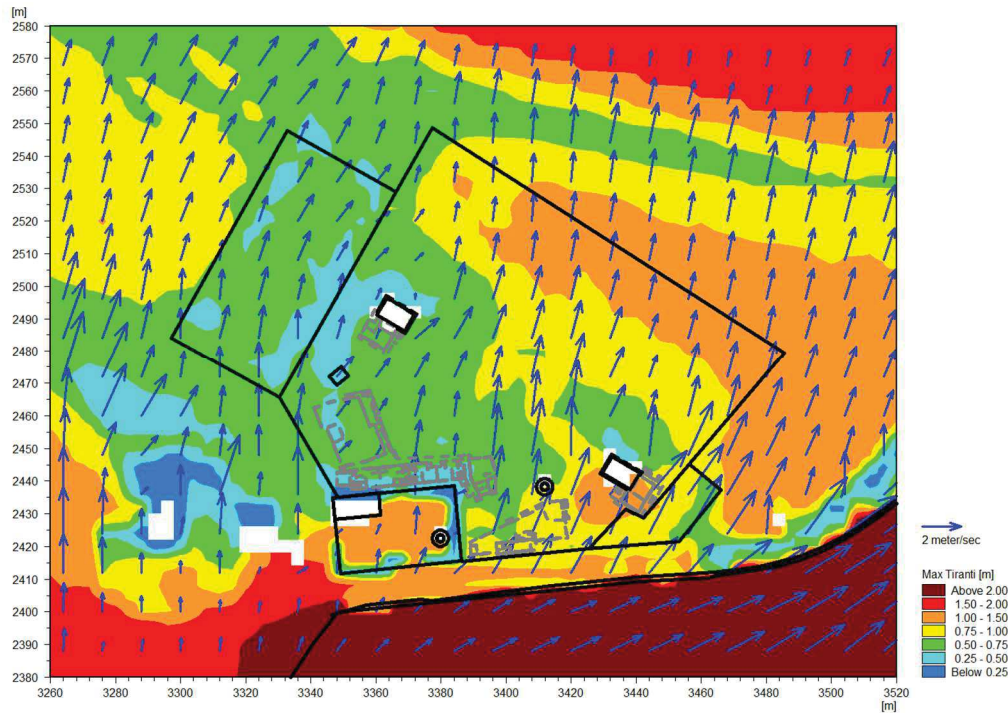


Figura 4.30 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

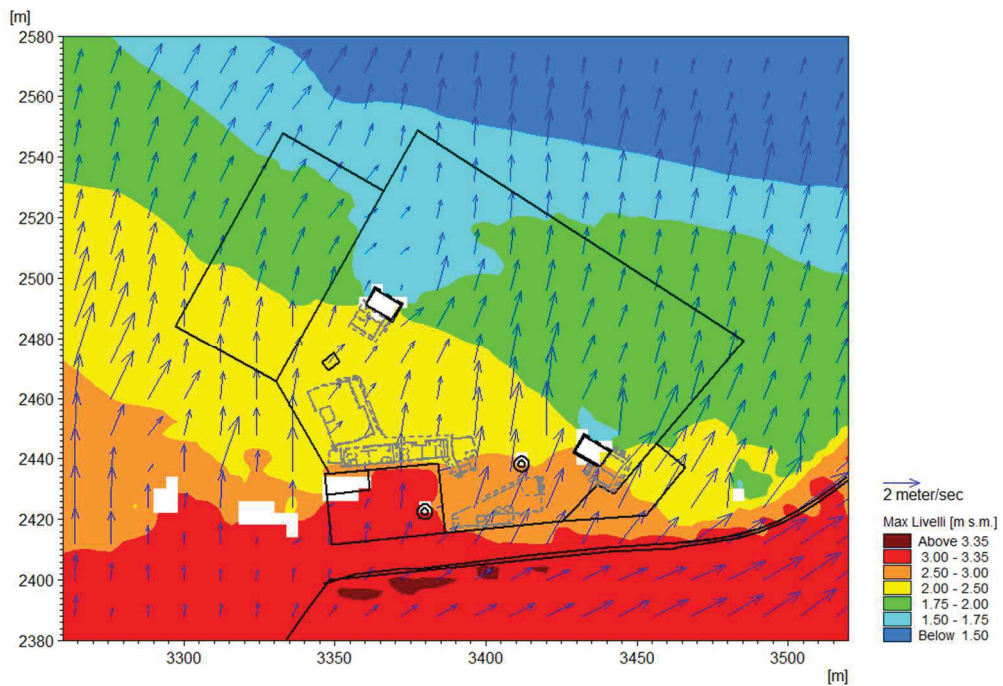


Figura 4.31 Carta dei massimi livelli nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.



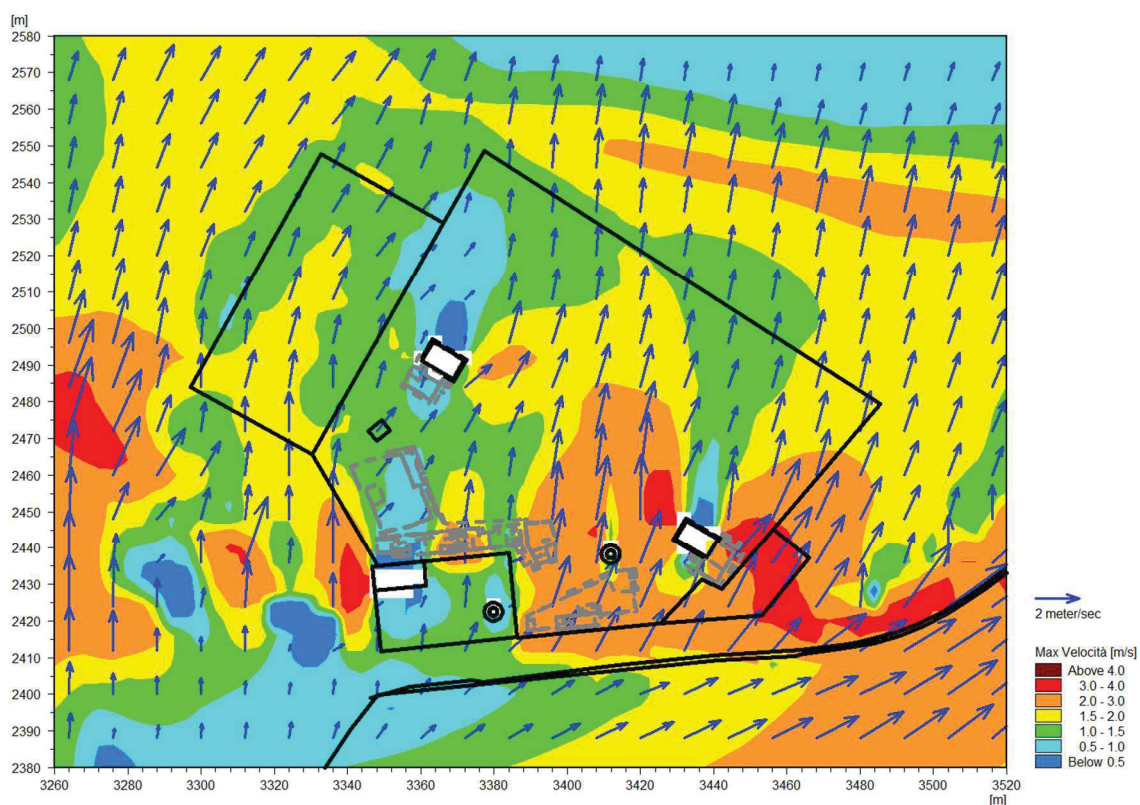


Figura 4.32 Carta delle massime velocità nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

In aggiunta, si riporta di seguito in Figura 4.33 la rappresentazione dei valori massimi della densità di flusso relativamente all'evento duecentennale, rappresentativo, pur con la relativa maggiore magnitudo, delle dinamiche di allagamento anche degli altri due eventi di piena investigati.

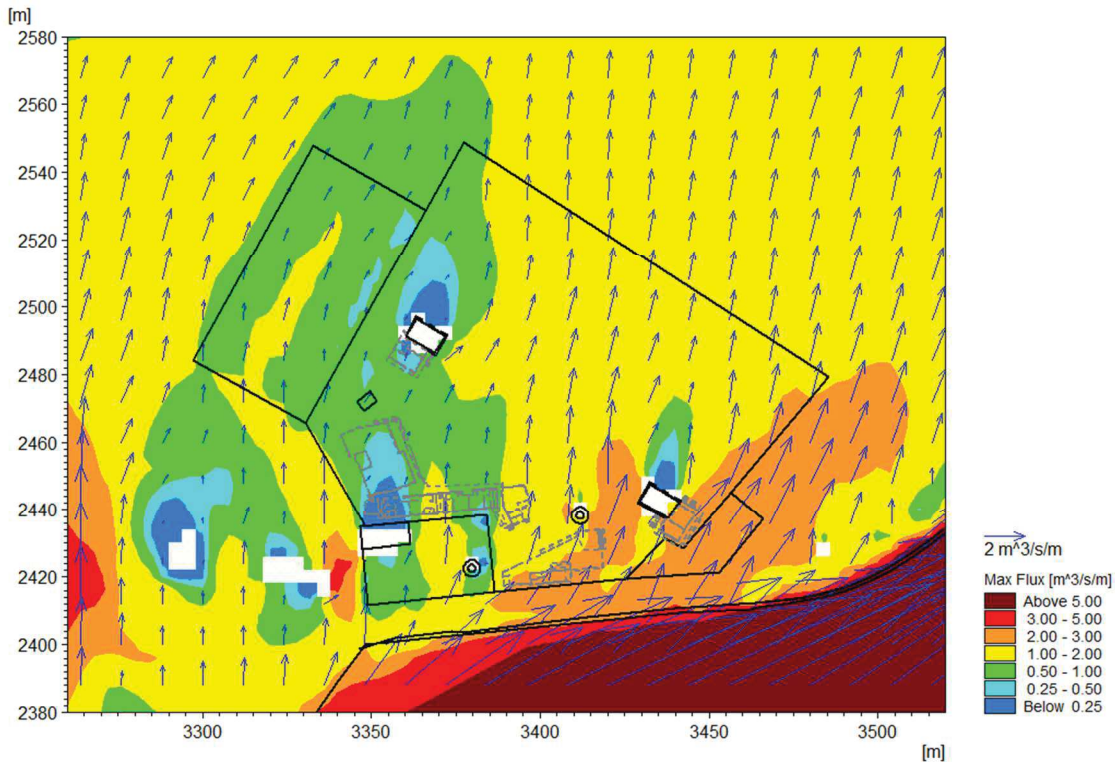


Figura 4.33 Carta della massima densità di flusso nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la stessa variabile in termini vettoriali di direzione e intensità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

Dall'analisi di questa variabile, unitamente a tiranti idrici e velocità precedentemente illustrate, è possibile esemplificare la dinamica di propagazione delle esondazioni nelle aree della Lega Navale nella configurazione di progetto.

Il comportamento idraulico complessivo ripercorre sostanzialmente quello precedentemente analizzato della configurazione attuale, pur con delle differenze a livello locale; in particolare, essendo previsti alcuni edifici posti a piano campagna, nell'intorno di essi si presenta quel "effetto ombra" già evidenziato, pur in posizioni diverse, nella configurazione attuale, con valori localmente maggiormente differenziati di tiranti idrici ma soprattutto velocità di scorrimento.

In termini generali nell'area della Lega Navale i massimi tiranti per l'evento cinquantennale variano da meno di 20 cm a quasi 1m, non superando mai tale valore. Con gli eventi di piena più severi i tiranti idrici risultano progressivamente crescenti, raggiungendo localmente con l'evento duecentennale il massimo valore di circa 1.3m nella porzione più a est, presso l'edificio posto a piano campagna.

Per quanto riguarda le massime velocità invece, i valori risultano molto più differenziati, rispetto ai massimi tiranti, per effetto del comportamento idraulico sopradescritto. Tali valori oscillano infatti da meno di 0.5 m/s a quasi 3 m/s per l'evento cinquantennale, raggiungendo localmente valori al massimo di circa 3.5 m/s per quello duecentennale.

I valori puntualmente raggiunti dai massimi tiranti per ciascuno dei tre eventi di piena ha costituito l'input progettuale con cui definire le quote di posa dei solai degli edifici posti in sopraelevazione su pali. In particolare, come successivamente descritto nel prossimo paragrafo, per tutti gli edifici sopraelevati ad eccezione di uno, destinato a locale di sgombero, è stato preso a riferimento il massimo tirante dell'evento duecentennale, al fine di non avere alcuna interazione della propagazione delle esondazioni con le strutture sopraelevate nemmeno a

fronte dell'evento di piena più severo; per il restante edificio, invece, è stata svolta analogo valutazione ma per l'evento centennale, determinando invece, come descritto nel successivo paragrafo, l'effetto dell'interazione idraulica a fronte dell'evento duecentennale.

#### 4.3.4 Evento duecentennale con interazione con le strutture sopraelevate

A seguito dei risultati ottenuti a fronte di eventi di piena con tempo di ritorno di 50, 100 e 200 anni, i progettisti hanno definito una soluzione progettuale in cui la quota dei solai di tutti gli edifici sopraelevati risultasse superiore ai livelli prodotti dall'evento centennale. In aggiunta a ciò, al fine di garantire un livello ulteriormente elevato di mitigazione del rischio idraulico, sono stati posti anche sopra al livello degli allagamenti dell'evento duecentennale tutti quegli edifici sopraelevati che ospitavano funzioni che avrebbero potuto comportare un affollamento di persone, quali sede sociale, segreteria, spogliatoi, palestra, aree didattiche e aree istruttori. L'unico edificio sopraelevato che per ragioni progettuali risultava complesso porre al di sopra del livello duecentennale risulta destinato a locale di sgombero, quindi una destinazione d'uso tecnica e di scarso affollamento di persone, ubicato all'estremo levante dell'area di studio, a fianco a un locale deposito posizionato quest'ultimo al piano campagna.

Al fine di determinare l'entità dell'interazione idraulica di quest'unica struttura sopraelevata, naturalmente in aggiunta a quelle poste al piano campagna già originariamente previste nella configurazione di progetto, è stato quindi implementato un ulteriore modello idraulico, limitato all'analisi dell'evento duecentennale, essendo privo di significato per gli altri in esame.

In Figura 4.34, Figura 4.35 e Figura 4.36 si riportano rispettivamente le carte dei massimi valori di tiranti, livelli e velocità di scorrimento nell'area della Lega Navale nella configurazione di progetto, in caso di evento di piena duecentennale.

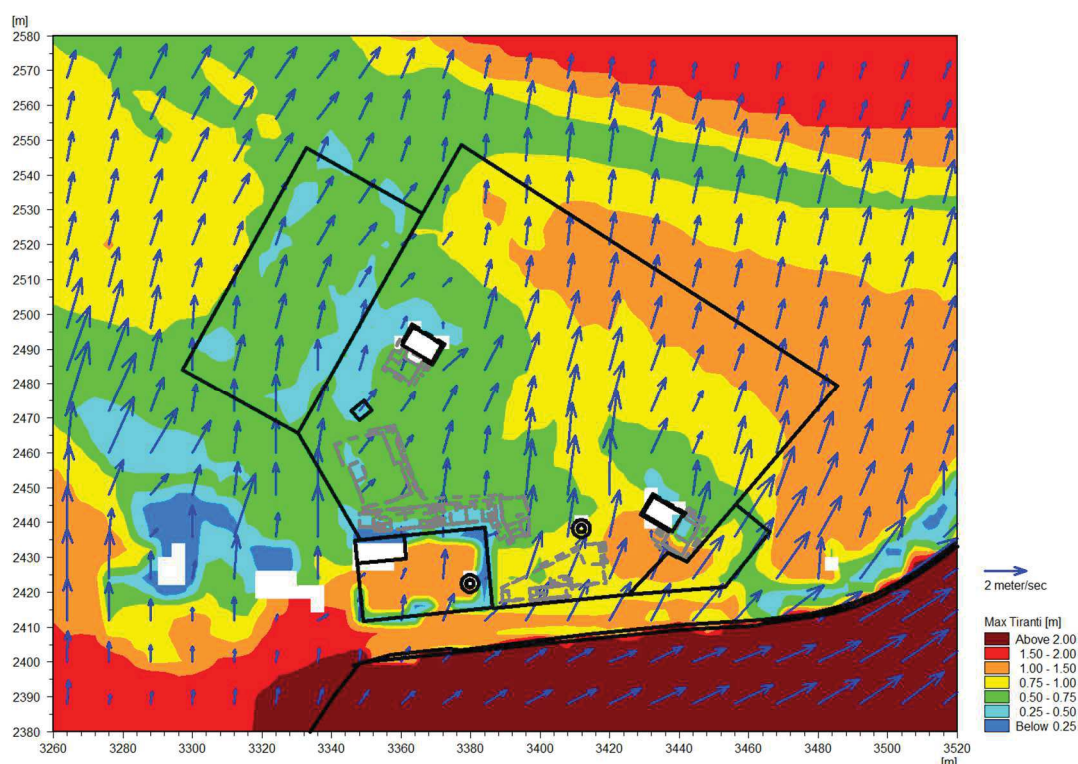


Figura 4.34 Carta dei massimi tiranti nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale con interazione con le strutture sopraelevate. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

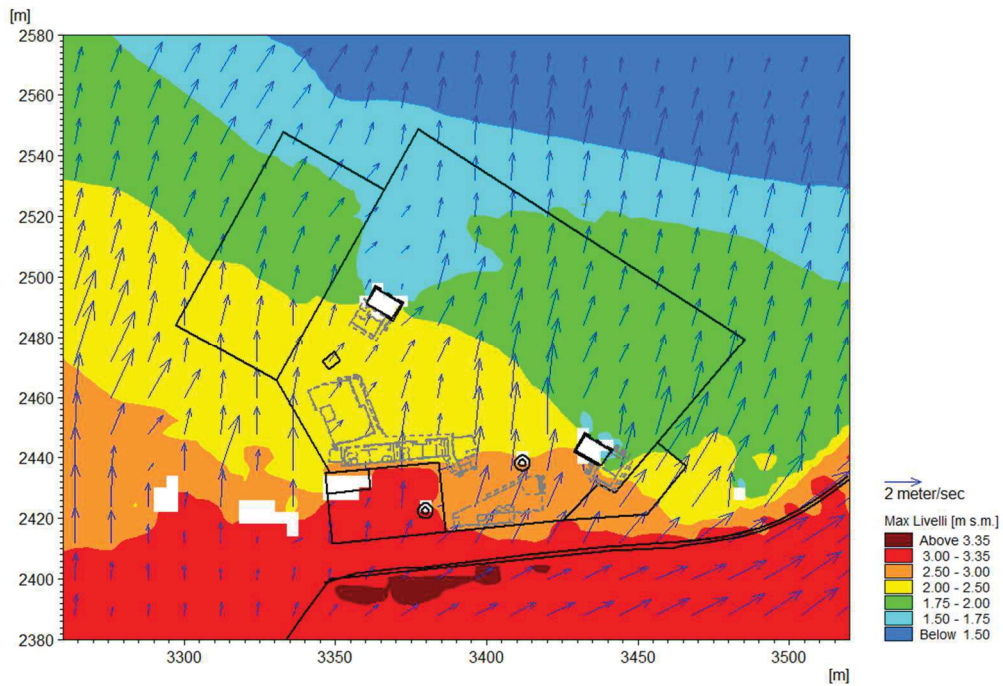


Figura 4.35 Carta dei massimi livelli nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale con interazione con le strutture sopraelevate. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

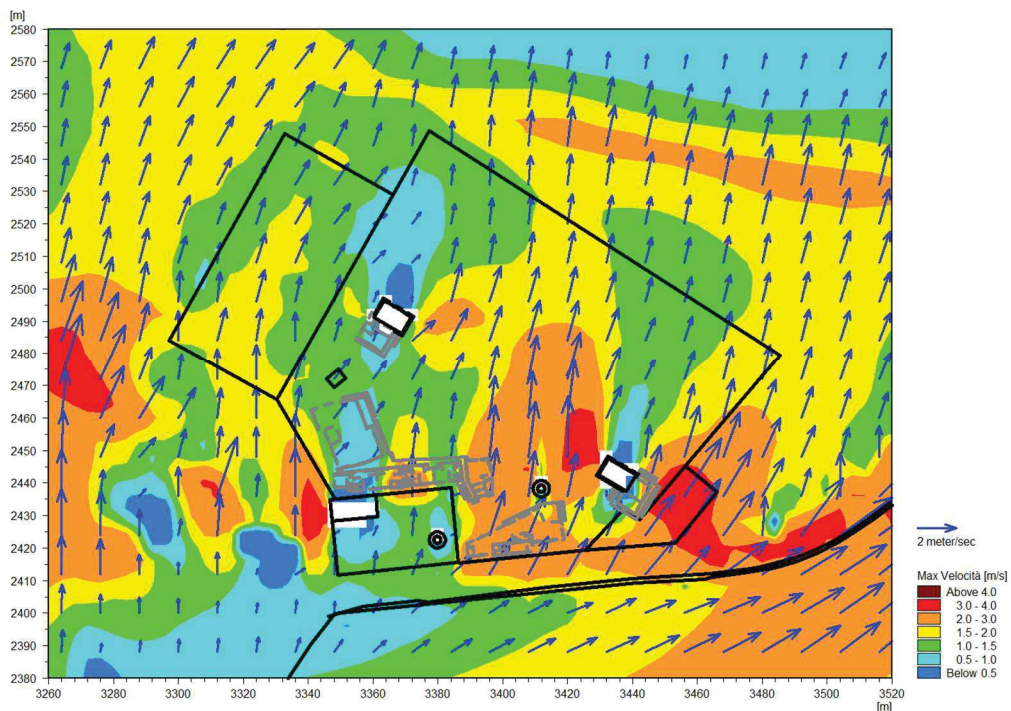


Figura 4.36 Carta delle massime velocità nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale con interazione con le strutture sopraelevate. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la direzione del flusso e l'intensità della velocità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

In aggiunta, si riporta di seguito in Figura 4.37 la rappresentazione dei valori massimi della densità di flusso. Dall'analisi di questa variabile, unitamente a tiranti idrici e velocità precedentemente illustrate, è possibile esemplificare la dinamica di propagazione delle esondazioni nelle aree della Lega Navale nella configurazione di progetto in casi di evento duecentennale, con la presenza di una minima interazione con una delle strutture sopraelevate come in precedenza descritto.

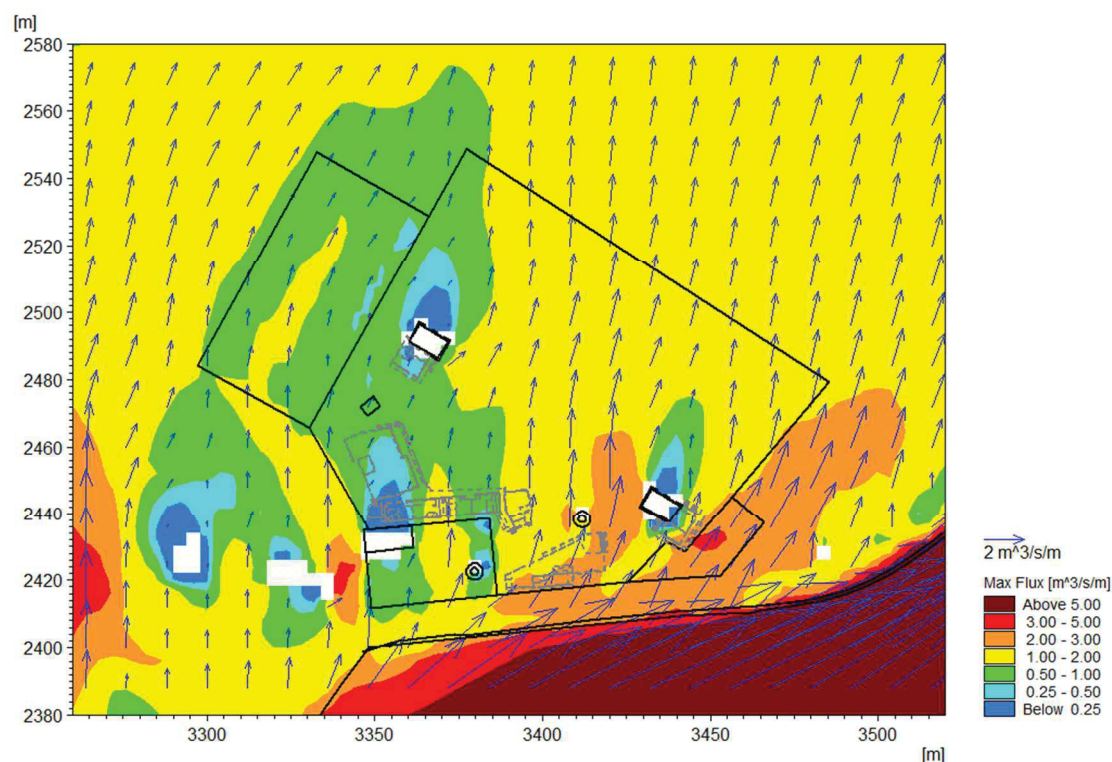


Figura 4.37 Carta della massima densità di flusso nella configurazione di progetto in caso di evento duecentennale con interazione con le strutture sopraelevate. In bianco sono evidenziate le aree edificate non attraversate dall'acqua, mentre le frecce indicano la stessa variabile in termini vettoriali di direzione e intensità massima raggiunta; infine in linea nera sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.), mentre in linea grigia tratteggiata gli edifici oggetto di sopraelevazione su pali.

In dettaglio, il comportamento idraulico complessivo all'interno delle aree della Lega Navale risulta del tutto equivalente a quello mostrato nel precedente paragrafo, riferito alla configurazione di progetto senza interazione con le strutture. L'unica differenza di rilievo riguarda naturalmente l'intorno dell'unico edificio sopraelevato raggiunto dal livello delle esondazioni, ubicato nella porzione più a levante delle aree della Lega Navale. Confrontando infatti i valori delle variabili idrauliche (tiranti e velocità, ben sintetizzati dalla densità di flusso rappresentata per la precedente configurazione in Figura 4.33), si osserva un duplice effetto: da un lato l'impatto, pur modesto, con la struttura, genera a monte un rallentamento delle velocità ed un incremento dei tiranti idrici; dall'altro, il fatto che al di sotto della struttura defluisca una portata inferiore (evidenziato dal valore inferiore della densità di flusso), comporta un lieve incremento della portata che scorre a fianco del manufatto stesso, in particolare sul lato destro essendoci sul lato sinistro l'edificio adiacente posto al piano campagna: ciò risulta evidente dal corrispondente incremento della densità di flusso. Tale locale differenza di comportamento risulta tuttavia già scarsamente apprezzabile a poca distanza dall'edificio sopraelevato, come è possibile osservare dalla corrispondenza di valori di tiranti idrici e velocità che si osservano nelle rispettive carte delle due configurazioni.

## 4.4 Valutazioni conclusive dell'analisi idraulica

Le seguenti immagini mostrano la differenza di tiranti tra la configurazione di progetto e quella attuale per gli eventi di piena con i tre diversi tempi di ritorno considerati, permettendo quindi di valutare l'impatto della soluzione di progetto sulle dinamiche di allagamento e fornire quindi gli elementi utili al fine di valutare l'invarianza idraulica in accordo alle norme del PSDA.

In esse, è indicato in colore grigio una differenza di tiranti di +/- 5 cm che è da ritenersi di entità trascurabile in quanto confrontabile con l'incertezza dei dati di input. Per tutti i tre eventi di piena, pur con diverse intensità, è possibile osservare la stessa dinamica, secondo la quale la maggiore differenza tra la configurazione di progetto e quella attuale è dovuta alla rimozione delle strutture attualmente presenti, tutte a piano campagna, sostituite prevalentemente da altre poste invece sopraelevate. Tale differenza comporta l'eliminazione di quel locale "effetto barriera" che si presenta in prossimità di ciascun edificio, con incrementi a monte e diminuzioni a valle di tiranti, secondo la direzione di flusso, così come analoghi rallentamenti frontalmente e accelerazioni lateralmente si osservano osservando le velocità di scorrimento. Analoghe locali differenze si osservano presso le strutture a piano campagna previste nella configurazione di progetto, qualora ubicate in posizione leggermente differente rispetto agli edifici attualmente esistenti.

Come è possibile osservare dalle immagini, tuttavia, l'entità di queste locali differenze di tiranti risulta sempre complessivamente ridotta, pari al massimo in +/- 50 cm nel caso dell'evento duecentennale. L'ulteriore risultato significativo che emerge da esse, inoltre, risulta il fatto che al di fuori del perimetro della Lega Navale, al netto di pochi metri di distanza, l'effetto dell'intervento dal punto di vista idraulico risulta nullo, non comportando variazioni di tiranti apprezzabili; l'unica variazione degna di nota al di fuori del perimetro della Lega Navale risulta in prossimità della banchina e delle aree del depuratore, in cui però la configurazione di progetto comporta una diminuzione di tiranti, quindi una riduzione della pericolosità idraulica.

Tale risultato fornisce pertanto risposta alla necessità di valutare l'invarianza idraulica dell'intervento così come previsto dalle NdA del PSDA. In termini invece di non incremento della pericolosità idraulica all'interno del sito di studio, è invece importante evidenziare come oltre al non incremento della stessa in termini di variabili idrodinamiche, nella configurazione di progetto le strutture, e le relative cose e persone potenzialmente contenute, risultano sopraelevate e per la maggior parte degli edifici totalmente non coinvolte dagli allagamenti, anche nel caso di evento duecentennale, mentre nella configurazione attuale tutto è disposto al piano campagna e direttamente investito dalla propagazione degli allagamenti.

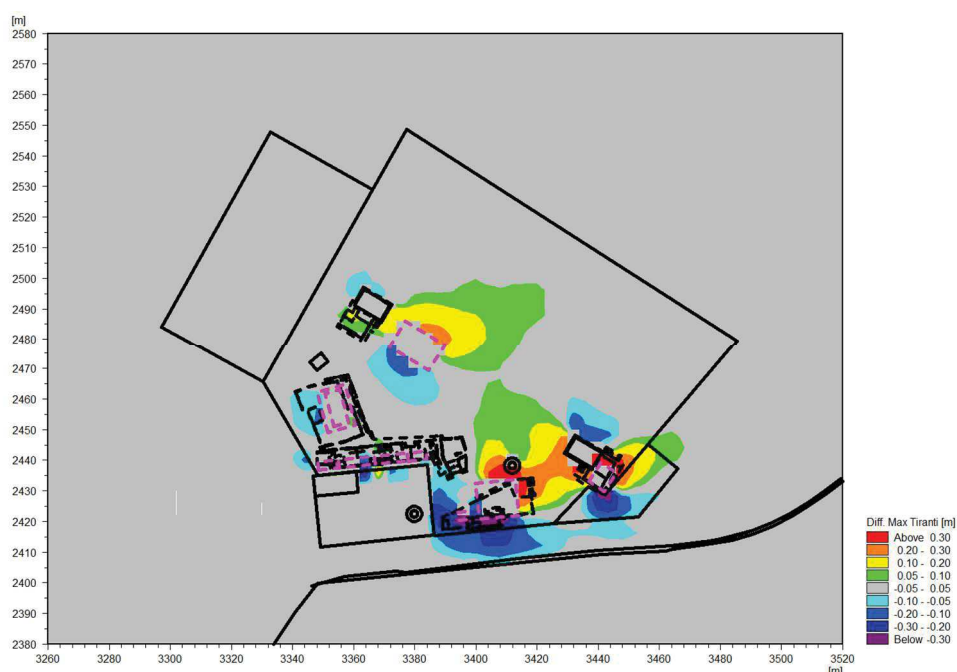


Figura 4.38 Carta della differenza di massimi tiranti tra la configurazione di progetto e quella attuale in caso di evento cinquantennale. In linea nera continua sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.) e gli edifici previsti nella configurazione di progetto a piano campagna, in linea nera tratteggiata quelli previsti sopraelevati su pali ed infine in linea viola tratteggiata quelli attualmente esistenti ma di cui è prevista la demolizione. Si osserva come valori positivi della differenza di tiranti corrispondano a tiranti maggiori nella configurazione di progetto rispetto all'attuale.

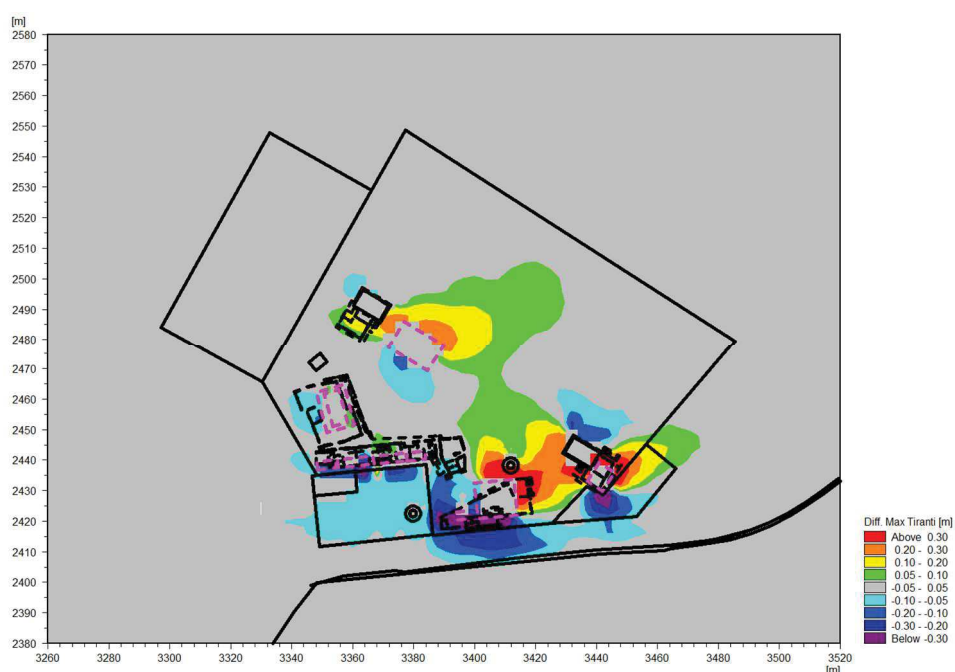


Figura 4.39 Carta della differenza di massimi tiranti tra la configurazione di progetto e quella attuale in caso di evento centennale. In linea nera continua sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.) e gli edifici previsti nella configurazione di progetto a piano campagna, in linea nera tratteggiata quelli previsti sopraelevati su pali ed infine in linea viola tratteggiata quelli attualmente esistenti ma di cui è prevista la demolizione. Si osserva come valori positivi della differenza di tiranti corrispondano a tiranti maggiori nella configurazione di progetto rispetto all'attuale.

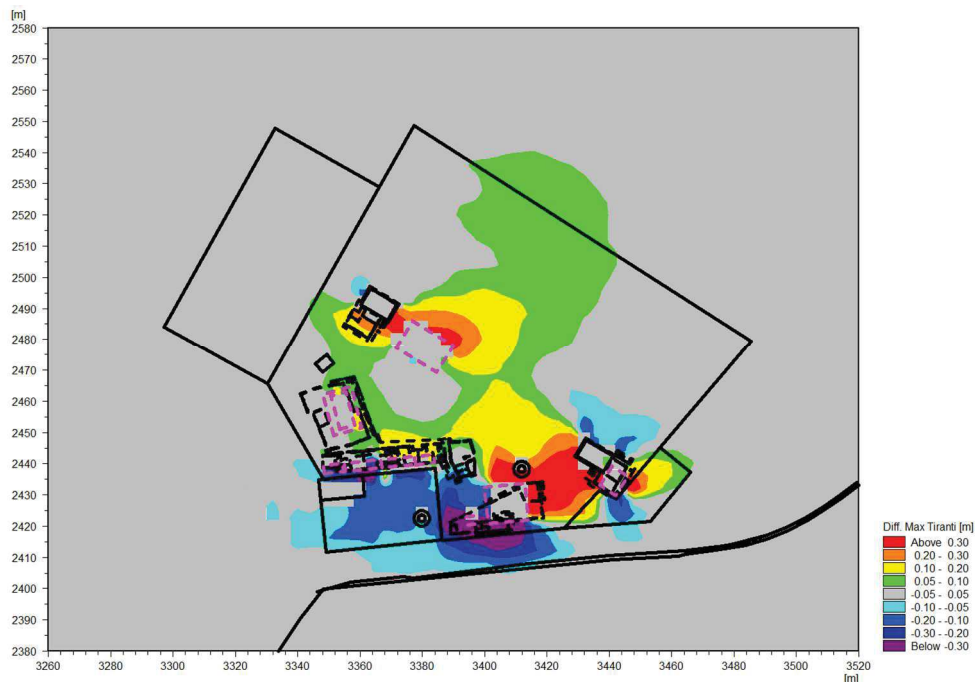


Figura 4.40 Carta della differenza di massimi tiranti tra la configurazione di progetto e quella attuale in caso di evento duecentennale. In linea nera continua sono rappresentati gli elementi distintivi dell'area della Lega Navale (edifici a piano campagna, recinzioni, muretti, ecc.) e gli edifici previsti nella configurazione di progetto a piano campagna, in linea nera tratteggiata quelli previsti sopraelevati su pali ed infine in linea viola tratteggiata quelli attualmente esistenti ma di cui è prevista la demolizione. Si osserva come valori positivi della differenza di tiranti corrispondano a tiranti maggiori nella configurazione di progetto rispetto all'attuale.

## 4.5 Accorgimenti progettuali conseguenti all'analisi idraulica

L'analisi idraulica della configurazione di progetto, così come il relativo confronto con quella dello stato attuale, ha permesso di svolgere un supporto alla progettazione nel definire il layout maggiormente cautelativo dal punto di vista del rischio idraulico, sia in termini di alterazione delle condizioni di deflusso delle acque di esondazione che di condizioni di pericolosità a cui i fabbricati in progetto, così come le persone e cose in essi eventualmente presenti, sarebbero soggetti.

L'impatto del layout progettuale sulla propagazione delle acque di esondazione, rispetto alla configurazione attuale, è stato dettagliatamente descritto nel precedente paragrafo.

In merito invece al livello di pericolosità idraulica in prossimità degli edifici previsti in progetto, il quadro riassuntivo si presenta di seguito descritto.

- Vi sono solamente due edifici posti al piano campagna, destinati a deposito attrezzature quali vele e motori. Il motivo del mantenimento alla quota del piano campagna degli stessi è essenzialmente funzionale, in considerazione della difficile gestione della prevista destinazione d'uso in presenza di significative scale e rampe di accesso.
- Per ciascuno dei due edifici posti al piano campagna, è stato determinato in prossimità degli stessi il massimo valore raggiunto dal tirante idrico in casi di evento duecentennale. Tale valore risulta pari a circa 70 cm per il locale al piano campagna più a ovest (a fianco dell'area istruttori), mentre di circa 130 cm per quello più a est. A livello progettuale è quindi previsto che i due locali vengano opportunamente allestiti al fine di mantenere le attrezzature sempre sopraelevate al di sopra di tali altezze. Questo comporta che anche a fronte del più severo degli eventi previsti, con tempo di ritorno 200 anni, non vi sarebbe



alcun significativo danno economico dato dall'allagamento e conseguente danneggiamento delle attrezzature stoccate nei locali deposito.

- Di tutti gli edifici sopraelevati, solamente uno risulta coinvolto dagli allagamenti, e solamente dall'evento duecentennale. Tale edificio è stato destinato a locale di sgombero, quindi ad una funzione tecnica che non prevede particolari afflussi di persone; presenta un intradosso del solaio sopraelevato di 85 cm dal suolo e in caso di evento duecentennale il livello delle acque risulterebbe al massimo dell'ordine di circa 30 cm oltre il piano di calpestio. Mantenendo pertanto materiali ed attrezzature al di sopra di tale quota, si minimizzerebbe anche l'eventuale danno economico dato dall'allagamento del locale, mentre non vi sussisterebbe in ogni caso rischio concreto per le persone a fronte della limitata entità del tirante idrico all'interno del locale.
- Tutti i locali a maggior frequentazione di persone (sede sociale, palestra, spogliatoi, segreteria, ecc.) sono posti sopraelevati su pali con quota di intradosso del solaio appositamente definita al di sopra del livello di allagamento, perfino dall'evento di piena duecentennale, in modo da risultare del tutto trasparenti alla propagazione delle esondazioni e di minimizzare la pericolosità idraulica e gli eventuali danni economici conseguenti all'allagamento dei locali. In questi termini, va peraltro evidenziato come il livello risulti inferiore dell'intradosso del solaio e che poi il reale piano di calpestio dei locali risulterebbe ulteriormente sopraelevato dell'entità dello spessore del solaio stesso. In dettaglio le quote di intradosso rispetto al suolo previste per i diversi locali risultano di 85 cm per l'edificio della sede sociale, analogamente al locale di sgombero citato in precedenza, mentre per tutti gli altri (segreteria, spogliatoi, ecc) è pari a 60 cm.
- Il layout complessivo della configurazione di progetto, al fine di attenuare il più possibile il livello di rischio complessivo a cui potrebbero essere esposte le persone e cose eventualmente presenti dentro il perimetro dell'area della Lega Navale, ha recepito le indicazioni dell'analisi idraulica anche in termini di definizione generale dell'ubicazione degli edifici, così come delle relative funzioni. Come evidenziato dall'analisi idraulica, infatti, ad esempio con la variabile della densità di flusso, all'interno delle aree della Lega Navale è possibile distinguere una porzione a est maggiormente esposta alle esondazioni ed una a ovest generalmente maggiormente protetta. Il layout progettuale prevede di disporre la maggior parte degli edifici nella porzione maggiormente protetta, ed in particolare in tale area sono stati posizionati la maggior parte degli edifici che prevedono un più significativo afflusso di persone. Inoltre, nella successiva fase di definizione puntuale del progetto e delle modalità di gestione delle aree, tale porzione sarà da privilegiare per l'ubicazione delle vie di accesso ed evacuazione dei locali, fermo restando l'aggiuntiva adozione di tutte le misure non strutturali di prevenzione del rischio, come ad esempio impedire l'accesso ai locali della Lega Navale in presenza di allerte meteo od altre misure analoghe da prevedersi in termini di procedure di protezione civile.
- In ultimo, l'analisi idraulica ha permesso di determinare nella configurazione di progetto le caratteristiche idrodinamiche delle esondazioni, ad esempio in termini di velocità massime della corrente, in corrispondenza delle strutture. Tale informazione risulta di utilità per i progettisti per il dimensionamento e la definizione progettuale delle stesse, così come delle relative opere di fondazione.

## 5 Conclusioni

Lo studio presentato è finalizzato alle analisi di compatibilità idraulica della proposta progettuale che interessa l'area della sezione di Pescara della Lega Navale Italiana.

L'area risulta attualmente perimetrata secondo la pericolosità elevata (P3) e quindi vincolata dalla normativa del PSDA. Come indicato nelle Norme di Attuazione e allegati, si è quindi proceduto a una verifica dell'invarianza idrologica e idraulica, utilizzando l'analisi idraulica anche quale supporto alla progettazione al fine di adottare tutti i possibili accorgimenti volti a ridurre e/o eliminare l'impatto dell'intervento in progetto.

Le analisi effettuate si sono basate sulle indicazioni metodologiche riportate nell'allegato D del PSDA, "Indirizzi per la redazione dello Studio di Compatibilità Idraulica", prendendo inoltre come riferimento la metodologia e i risultati contenuti nello studio idrologico per la valutazione delle piene, anch'esso allegato al PSDA.

Le valutazioni idrauliche di dettaglio sono state effettuate con il modello accoppiato MIKE FLOOD del DHI, sulla base di una griglia di calcolo a maglia 4x4 m e simulando eventi di piena caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni, in modo da valutare diversi gradi di criticità.

Di seguito vengono riportati i principali risultati ottenuti nello studio:

- la valutazione della pericolosità idraulica è stata svolta preliminarmente nello stato di fatto e a valle della demolizione di alcuni manufatti, quest'ultima configurazione intermedia utile a definire quella di progetto;
- l'analisi delle condizioni di deflusso (ad esempio la valutazione delle aree a maggior flusso e la conseguente pericolosità da combinazione di tiranti idrici e velocità) è stata svolta con la duplice finalità sia di inquadrare nel dettaglio la pericolosità idraulica del sito, sia quale supporto alla progettazione per definire il layout di progetto in grado di minimizzare il rischio idraulico;
- l'analisi idraulica della configurazione di progetto, è stata eseguita iterativamente di concerto con i progettisti, al fine di determinare la soluzione progettuale ottimale dal punto di vista idraulico.

La definizione ultima della soluzione progettuale risulta molto soddisfacente dal punto di vista idraulico in relazione agli obiettivi inizialmente posti; i punti di seguito elencati forniscono un quadro sintetico del layout progettuale definito in relazione alla pericolosità idraulica.

- Vi sono solamente due edifici posti al piano campagna, destinati a deposito attrezzature quali vele e motori. Il motivo del mantenimento alla quota del piano campagna degli stessi è essenzialmente funzionale, in considerazione della difficile gestione della prevista destinazione d'uso in presenza di significative scale e rampe di accesso.
- Per ciascuno dei due edifici posti al piano campagna, è stato determinato in prossimità degli stessi il massimo valore raggiunto dal tirante idrico in casi di evento duecentennale. Tale valore risulta pari a circa 70 cm per il locale al piano campagna più a ovest (a fianco dell'area istruttori), mentre di circa 130 cm per quello più a est. A livello progettuale è quindi previsto che i due locali vengano opportunamente allestiti al fine di mantenere le attrezzature sempre sopraelevate al di sopra di tali altezze. Questo comporta che anche a fronte del più severo degli eventi previsti, con tempo di ritorno 200 anni, non vi sarebbe alcun significativo danno economico dato dall'allagamento e conseguente danneggiamento delle attrezzature stoccate nei locali deposito.
- Di tutti gli edifici sopraelevati, solamente uno risulta coinvolto dagli allagamenti, e solamente dall'evento duecentennale. Tale edificio è stato destinato a locale di sgombero, quindi ad

una funzione tecnica che non prevede particolari afflussi di persone; presenta un intradosso del solaio sopraelevato di 85 cm dal suolo e in caso di evento duecentennale il livello delle acque risulterebbe al massimo dell'ordine di circa 30 cm oltre il piano di calpestio. Mantenendo pertanto materiali ed attrezzature al di sopra di tale quota, si minimizzerebbe anche l'eventuale danno economico dato dall'allagamento del locale, mentre non vi sussisterebbe in ogni caso rischio concreto per le persone a fronte della limitata entità del tirante idrico all'interno del locale.

- Tutti i locali a maggior frequentazione di persone (sede sociale, palestra, spogliatoi, segreteria, ecc.) sono posti sopraelevati su pali con quota di intradosso del solaio appositamente definita al di sopra del livello di allagamento, perfino dall'evento di piena duecentennale, in modo da risultare del tutto trasparenti alla propagazione delle esondazioni e di minimizzare la pericolosità idraulica e gli eventuali danni economici conseguenti all'allagamento dei locali. In questi termini va peraltro evidenziato come, mentre il livello si mantiene inferiore all'intradosso del solaio, il reale piano di calpestio all'interno di essi risulti invece ulteriormente sopraelevato, di un'entità pari allo spessore del solaio stesso, fornendo pertanto un ulteriore margine di sicurezza rispetto all'effettiva esondazione dei locali. In dettaglio la quota di intradosso, rispetto al suolo, prevista per i diversi edifici è pari a 85 cm per quello della sede sociale, analogamente al locale di sgombero citato in precedenza, mentre per tutti gli altri (segreteria, spogliatoi, ecc.) è pari a 60 cm.
- Il layout della configurazione di progetto, al fine di attenuare il più possibile il livello di rischio complessivo a cui potrebbero essere esposte le persone e cose eventualmente presenti dentro il perimetro dell'area della Lega Navale, ha recepito le indicazioni dell'analisi idraulica anche in termini di definizione generale dell'ubicazione degli edifici, così come delle relative funzioni. Come evidenziato dall'analisi idraulica, infatti, ad esempio con la variabile della densità di flusso, all'interno delle aree della Lega Navale è possibile distinguere una porzione a est maggiormente esposta alle esondazioni ed una a ovest generalmente più protetta. Il layout progettuale prevede di disporre la maggior parte degli edifici nella porzione più protetta, ed in particolare in tale area sono stati posizionati la maggior parte degli edifici che prevedono un più significativo afflusso di persone. Inoltre, nella successiva fase di definizione puntuale del progetto e delle modalità di gestione delle aree, tale porzione sarà da privilegiare per l'ubicazione delle vie di accesso ed evacuazione dei locali, fermo restando l'aggiuntiva adozione di tutte le misure non strutturali di prevenzione del rischio, come ad esempio impedire l'accesso ai locali della Lega Navale in presenza di allerte meteo od altre misure analoghe da prevedersi in termini di procedure di protezione civile.
- In termini di confronto dei massimi valori di tiranti idrici, tra la configurazione di progetto e quella attuale, si osservano apprezzabili differenze solo a livello locale e solo in alcune aree del sito di studio, con entità sempre complessivamente ridotta, pari al massimo a +/- 50 cm nel caso dell'evento duecentennale. Tali differenze sono da attribuirsi all'effetto barriera che localmente avviene per l'interazione della corrente con le strutture: inserendo o eliminando manufatti posti al piano campagna si va conseguentemente ad aggiungere oppure a rimuovere quella locale alterazione che si osserva dei valori di tiranti idrici e velocità. Poiché la configurazione di progetto prevede, rispetto allo stato attuale, una maggiore presenza di strutture sopraelevate, di fatto le differenze che si osservano corrispondono ad una omogeneizzazione delle variabili idrauliche. Inoltre, al di fuori del perimetro della Lega Navale, l'effetto dell'intervento dal punto di vista idraulico risulta sostanzialmente nullo, non comportando variazioni di tiranti apprezzabili; l'unica variazione degna di nota al di fuori del perimetro della Lega Navale risulta in prossimità della banchina e delle aree del depuratore, in cui però la configurazione di progetto comporta una diminuzione di tiranti, quindi una riduzione della pericolosità idraulica. Tale risultato fornisce pertanto risposta alla necessità di valutare l'invarianza idraulica dell'intervento così come previsto dalle NdA del PSDA.
- In ultimo, in termini di non incremento della pericolosità idraulica all'interno del sito di studio, è importante evidenziare come oltre al non incremento della stessa in termini di variabili idrodinamiche, nella configurazione di progetto le strutture, e le relative cose e persone

potenzialmente contenute, risultano sopraelevate e per la maggior parte degli edifici totalmente non coinvolte dagli allagamenti, anche nel caso di evento duecentennale, mentre nella configurazione attuale tutto è disposto al piano campagna e direttamente investito dalla propagazione degli allagamenti.

## 5.1 Valutazioni sulla compatibilità idraulica del nuovo layout progettuale dell'area della Lega Navale di Pescara

Per tale tipologia di intervento occorre che siano verificate le N.T.A. del PSDA della Regione Abruzzo, con particolare riferimento agli articoli 7, 8 e Capo III e IV, nonché dell'Allegato D.

Nel seguito vengono dettagliati i risultati dello studio idraulico in relazione ai punti richiesti dalle N.T.A al fine di fornire un quadro di risposte completo ed esaustivo.

***(Allegato D) Inquadrare la situazione di pericolosità idraulica attuale, riportando i risultati del PSDA, sia per quanto riguarda la stessa area oggetto di intervento sia per le aree ubicate lungo il tratto di valle del corpo idrico che potrebbero subire le conseguenze degli interventi in progetto.***

Nel capitolo 1 – Premessa, è illustrato l'inquadramento con il P.S.D.A. Il sito risulta in area P3. Va altresì ricordato che successive analisi di dettaglio eseguite sia dagli scriventi che nell'ambito di incarichi di altri professionisti, hanno evidenziato come il sito risulti in area P4. Il sito è quindi, nelle condizioni di stato attuale, in area a pericolosità molto elevata o comunque elevata.

***(Allegato D) Evidenziare le eventuali sottrazioni al fiume di aree idonee all'espansione in caso di eventi eccezionali come quelli presi a riferimento nello studio allegato al PSDA***

L'analisi idraulica mediante modellazione bidimensionale di dettaglio ha evidenziato la non sussistenza di modifiche delle esistenti condizioni di deflusso delle piene del fiume Pescara.

***(Allegato D) Valutare le modificazioni sul regime idrometrico del corso d'acqua che potrebbe avere conseguenza sullo stato di sicurezza del territorio, modificando l'estensione o il livello delle aree aventi pericolosità idraulica***

L'analisi idraulica svolta nell'ambito dello studio di compatibilità idraulica ha permesso di evidenziare come tiranti e velocità attesi nei dintorni del sito di interesse rimangono sostanzialmente invariati nelle condizioni di progetto rispetto a quanto avviene nelle condizioni di stato attuale. Non vi sono quindi modifiche sullo stato di sicurezza del territorio indotte dalla realizzazione dell'intervento in progetto.

***(Art. 7 comma 3) Allo scopo di impedire l'aumento delle situazioni di pericolosità nelle aree di pericolosità idraulica perimetrata dal PSDA tutti i nuovi interventi, opere, attività previsti dallo stesso PSDA ovvero assentiti dopo la sua approvazione devono essere comunque tali da:***

***a. non compromettere la riduzione delle cause di pericolosità, né la sistemazione idraulica a regime***

L'intervento risulta di modesta entità e circoscritto all'area della Lega Navale; non compromette quindi in alcun modo futuri interventi di mitigazione e/o sistemazione idraulica.

***b. conservare o mantenere le condizioni di funzionalità dei corsi d'acqua, facilitare il normale deflusso delle acque ed il deflusso delle piene***

Il progetto non prevede nessun intervento in area fluviale e non modifica l'attuale flusso di esondazione in caso di piena.

***c. non aumentare il rischio idraulico***

L'intervento non modifica le condizioni di rischio idraulico. La frequenza degli allagamenti, i tiranti e le velocità attese per diverso tempo di ritorno, la tipologia e estensione delle aree interessate dagli allagamenti sono sostanzialmente invariate nella condizione di progetto rispetto allo stato attuale dei luoghi.

***d. non ridurre significativamente le capacità di laminazione o invasamento nelle aree interessate***

La modellazione bidimensionale di dettaglio ha permesso di verificare che la configurazione di progetto, che prevede la realizzazione di gran parte degli edifici in sopraelevazione e oltre il livello raggiunto dagli allagamenti dell'evento duecentennale, non interferisce quindi con le dinamiche di propagazione delle acque, non determina sostanziali modifiche alla capacità di laminazione dell'area in oggetto.

***e. favorire quando possibile la formazione di nuove aree inondabili e di nuove aree permeabili***

Non applicabile in quanto il sito in oggetto si trova in piena area urbana.

***f. salvaguardare la naturalità e la biodiversità degli alvei***

Non applicabile in quanto il sito in oggetto si trova in piena area urbana.

**Alla luce degli approfondimenti e delle elaborazioni effettuate nel presente studio, si attesta che l'opera di progetto risulta compatibile alle condizioni idrauliche locali, ai sensi dell'art. 19 comma 1 lett. d) delle NTA del PSDA della Regione Abruzzo.** Come già sottolineato in precedenza, dovrà essere cura dei successivi livelli di progettazione, anche in funzione delle risultanze di dettaglio del presente studio, prevedere gli opportuni accorgimenti strutturali, tecnici e gestionali, ai fini dei piani di protezione civile e della messa in sicurezza idraulica.



ALLEGATI





ALLEGATO A  
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:

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

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

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:

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

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:

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

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) . 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:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{M^2AR^{4/3}}$$

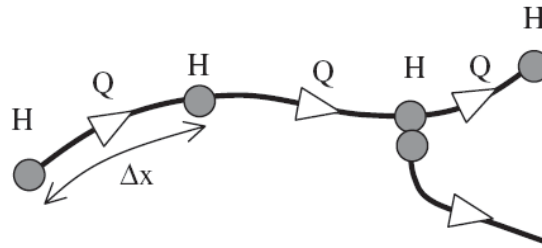
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a 1/n, essendo n il coefficiente di Manning.

### 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 B  
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:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

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:

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

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:

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

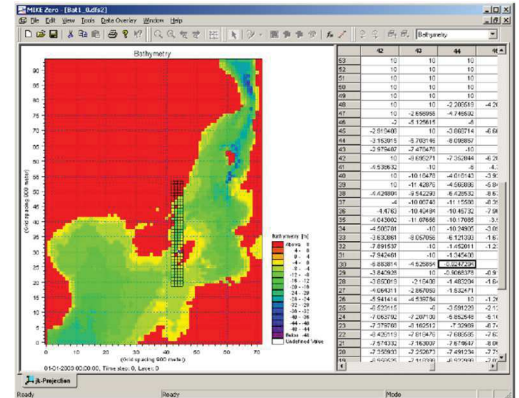
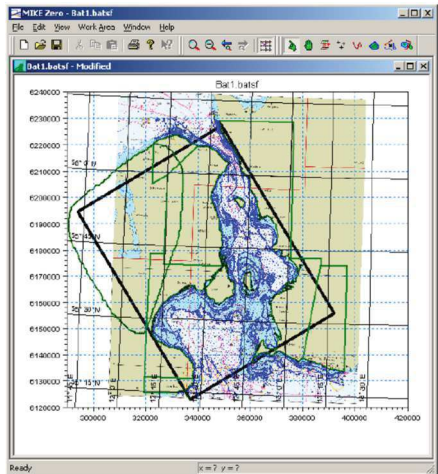
La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ( $m^3/s/m$ ) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva ( $m^3/s$ ) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

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.

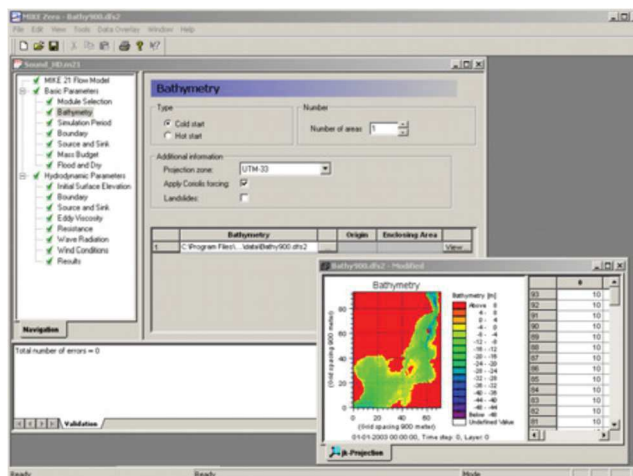
Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione "griglia multipl-nested grid", che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

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'algorithmo 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.

