

# TORRENTE CHIARAVAGNA

**PIANO DI BACINO STRALCIO  
PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO**  
(ai sensi dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998)



***Allegato D – Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità idraulica nell'abitato di Sestri Ponente (2016)***

APPROVAZIONE	Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n. 18 del 30/07/2013
ULTIMA MODIFICA DELL'ELABORATO	Delibera di Giunta Regionale n. 111 del 13/02/2017
ENTRATA IN VIGORE	BURL n. 10 dell'8/03/2017 – parte II



## Torrente Chiaravagna – Analisi idraulica di dettaglio

Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità idraulica nell'abitato di Sestri Ponente (Genova)

Verifica idraulica di dettaglio a completamento dell'istruttoria dell'Autorità di Bacino Regionale



Comune di Genova

Relazione

Maggio 2016

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

ISO 9001  
Management System Certification

BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



# Torrente Chiaravagna – Analisi idraulica di dettaglio

Valutazione degli ambiti normativi e delle fasce di pericolosità idraulica nell'abitato di Sestri Ponente (Genova)

Verifica idraulica di dettaglio a completamento dell'istruttoria dell'Autorità di Bacino Regionale

Committente Comune di Genova  
Referente del Committente ing. Stefano Pinasco



Tratto terminale del torrente Chiaravagna nell'abitato di Sestri Ponente (Genova)

Project manager	Dario Rebagliati
Quality supervisor	Davide Persi
Author	Dario Rebagliati

Codice elaborato	22801360-01-00101
Data di approvazione	23 Maggio 2016
Revisione	2.0
Classificazione	Open





## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Studi pregressi e dati integrativi .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Analisi idraulica nella configurazione attuale .....</b>	<b>3</b>
3.1	Criterio di parzializzazione delle sezioni .....	5
3.2	Definizione delle fasce di pericolosità idraulica e degli ambiti normativi .....	16
<b>4</b>	<b>Analisi idraulica nella configurazione di progetto .....</b>	<b>23</b>
4.1	Premessa .....	23
4.2	Scenario a breve termine .....	23
4.2.1	Definizione dell'assetto del corso d'acqua nella configurazione di progetto .....	23
4.2.2	Riperimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità .....	24
4.3	Scenario a medio termine .....	30
4.4	Analisi idraulica a lungo termine con evoluzione del fondo alveo .....	31

## ALLEGATI

### **ALLEGATO A**

Tabelle idrodinamiche in alveo

### **ALLEGATO B**

#### **MIKE 11 HD**

Descrizione tecnica

### **ALLEGATO C**

#### **MIKE 21 HD**

Descrizione tecnica

### **ALLEGATO D**

Tavole delle Fasce di inondabilità



# 1 Premessa

Oggetto del presente studio idraulico è il tratto terminale del torrente Chiaravagna, dal viadotto autostradale alla foce, nell'abitato di Sestri Ponente nel Comune di Genova. Tale corso d'acqua è già stato oggetto di precedenti analisi idrauliche, di cui il presente studio costituisce un approfondimento, mirato in particolare alla valutazione di alcune osservazioni emerse dall'analisi degli esiti dei pregressi studi. Nel seguito vengono sinteticamente richiamati gli estremi degli studi precedentemente realizzati, dei relativi elaborati prodotti e delle osservazioni poste dal Comitato Tecnico di Bacino a seguito dell'analisi degli stessi.

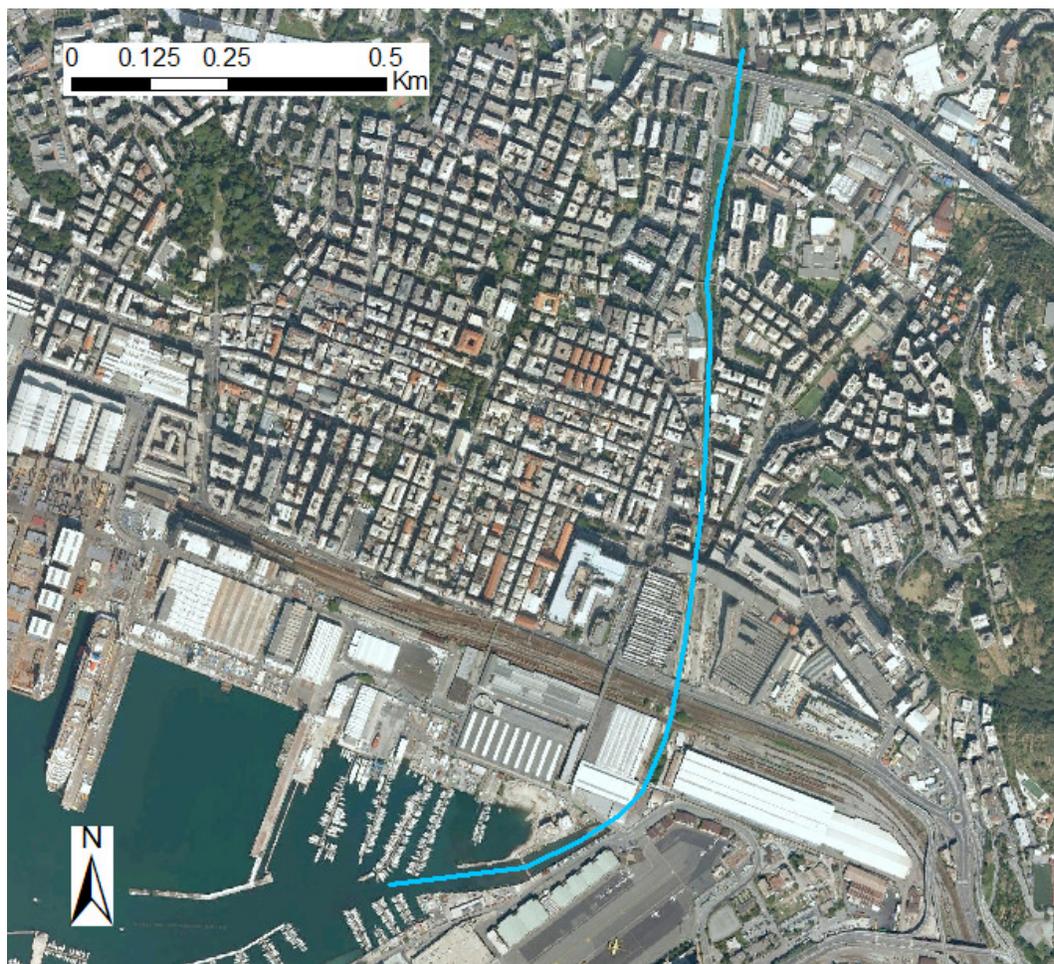


Figura 1.1 Localizzazione dell'area di studio (Sestri Ponente – Comune di Genova) e del tratto di torrente Chiaravagna oggetto di analisi (linea blu).

Il Comitato Tecnico di Bacino (C.T.B.) dell'Autorità di Bacino Regionale della Liguria, nella seduta del 28/01/2016, ha preso in esame i contenuti dello studio inerente l'approfondimento idraulico del Piano di Bacino del torrente Chiaravagna, commissionato dalla ex Provincia di Genova e svolto dai progettisti incaricati (tecnici di DHI in ATI con Art Ambiente Risorse e Territorio). Per ogni riferimento in merito alla metodologia adottata e ai risultati conseguiti nello studio citato si rimanda agli elaborati più significativi in esso prodotto, identificati con codice elaborato "22800503-01-00303" e "22800898-01-00201".

In tale sede sono state evidenziate alcune richieste di integrazione, trasmesse al Comune di Genova – Direzione Opere Idrauliche e sanitarie, con lettera Prot. PG-2016-0023453 del 05/02/2016 del Dipartimento Ambiente della Regione Liguria, in risposta alla nota Prot. PG382768 del 04/12/2015 con cui il Comune di Genova chiedeva l'avvio della procedura di ripermimetrazione delle fasce di inondabilità del torrente Chiaravagna, a seguito degli interventi di mitigazione del rischio idraulico già completati.

La richiesta del Comune di Genova si inserisce e aggiorna la variante di recepimento dello studio idraulico, svolto dai tecnici DHI su affidamento della ex Provincia di Genova, volto alla ricostruzione dell'evento del 2010 e all'implementazione di un nuovo modello idraulico più approfondito, validato sulla base dell'evento stesso.

Il presente documento presenta pertanto risposta ai quesiti espressi dal Comitato Tecnico di Bacino, mantenendo nei contenuti piena continuità e omogeneità di metodologia rispetto all'analisi idraulica svolta nel precedente incarico.

Inoltre il presente documento fornisce al Comune di Genova gli elementi utili al fine di proporre al Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino, contestualmente alla ripermimetrazione delle fasce di inondabilità riferite alla configurazione attuale del corso d'acqua, alcune ipotesi di ripermimetrazione preventiva, riferite a configurazioni di progetto che si prevede vengano raggiunte nel prossimo futuro al completamento di una serie di interventi di sistemazione idraulica del torrente Chiaravagna, già preventivamente investigati dai tecnici DHI nei precedenti incarichi affidati dalla ex Provincia di Genova. Dal punto di vista normativo, la ripermimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità è prevista dalla norma tipo dei Piani di bacino (art.15 c.7), approvata con DGR 1265/2011 e s.m.i.. Inoltre, precisazioni sulle modalità di approvazione, anche preventiva, di ripermimetrazione delle fasce di inondabilità nello stato di progetto, sono fornite con DGR 894/2010, recante indirizzi procedurali e modalità operative per il funzionamento dell'Autorità di Bacino Regionale relativi alle istanze di varianti ai piani di bacino vigenti; in particolare al Par. 2.4 dell'Allegato alla Delibera viene specificata nel dettaglio la procedura nel caso di "ripermimetrazioni preventive".

## 2 Studi pregressi e dati integrativi

La presente analisi è stata svolta in conformità con la metodologia, i risultati prodotti e i dati di input del "Approfondimento idraulico del Piano di Bacino del torrente Chiaravagna" svolto dai tecnici di DHI, in ATI con Art Ambiente Risorse e Territorio, sulla base dell'incarico affidato dalla Provincia di Genova, ufficio Direzione di Pianificazione Generale e di Bacino, con provvedimento di aggiudicazione n°2953/69732 del 28 giugno 2013 e successivamente oggetto di specifica estensione di incarico, come stabilito nella Determinazione n° 2431 del 12 giugno 2014.

In particolare l'attività ha previsto l'utilizzo del modello idrodinamico accoppiato mono-bidimensionale sviluppato con codice DHI MIKE FLOOD nell'ambito dell'incarico precedentemente citato. Ad integrazione delle informazioni in esso contenute, è stato considerato un rilievo topografico di dettaglio, effettuato dalla Società Stegeo nel 2007, rappresentante parte del territorio situato in sponda sinistra al torrente Chiaravagna tra la nuova strada di scorrimento di Via Albareto e Via Siffredi. Si evidenzia in particolare che in tale area, negli anni recenti, sono stati realizzati diversi interventi urbanistici di riconversione delle aree e l'informazione contenuta nel rilievo Lidar, utilizzato nel precedente incarico, aveva mostrato, in tale aree, alcune incongruenze; pertanto si è ritenuto opportuno considerare il rilievo di dettaglio citato quale fonte di ulteriore validazione e aggiornamento del DTM.



Figura 2.1 Vista area dell'area in sponda sinistra del torrente Chiaravagna oggetto in anni recenti di importanti interventi di trasformazione urbanistica, prima (a sinistra) e dopo (a destra).

Inoltre, essendo il presente studio una forma di approfondimento di maggior dettaglio di quanto svolto in precedenza, è stato anche occasione per una verifica mirata e puntuale della conformazione del territorio in prossimità delle aree soggette ad allagamento per gli eventi di piena considerati.

In merito alla configurazione di progetto, che considera la realizzazione di una serie di interventi di sistemazione idraulica della parte terminale del torrente Chiaravagna, si è fatto riferimento agli elaborati progettuali appositamente forniti dal Comune di Genova, Committente delle opere, che tuttavia sono coincisi, per tutti gli interventi, con gli elaborati allo stesso livello di progettazione forniti dalla Provincia di Genova nell'ambito del precedente incarico e relativa estensione. Nella definizione degli assetti geometrici del corso d'acqua, pertanto, si fa sempre riferimento a configurazioni geometriche di progetto già acquisite e a conoscenza della Provincia.

Quale ulteriore elemento, considerato in termini cautelativi nella valutazione della pericolosità idraulica, per tutti gli interventi di progetto che prevedevano un incremento della sezione defluente, sia per allargamento della stessa che per abbassamento del fondo, è stata mantenuta cautelativamente una quota di fondo pari a quella attuale, nell'ipotesi che tale beneficio venga neutralizzato per la carenza di manutenzione del corso d'acqua, e relative opere, oppure che negli ultimi livelli di progettazione tale porzione di intervento venga stralciato.

Si fa peraltro notare che gli interventi di adeguamento idraulico già realizzati sono stati completati con il ripristino delle quote di fondo pre-intervento, in attesa del possibile intervento conclusivo di abbassamento del profilo di fondo ad oggi indicato nel piano di interventi del Piano di Bacino vigente.

Infine, analoga conformità sugli elaborati progettuali considerati nel presente studio e in quelli pregressi è applicabile anche alla configurazione di progetto di definitiva sistemazione idraulica del corso d'acqua in cui, in aggiunta agli interventi della configurazione progettuale precedente, tutti a livello di progettazione definitiva e con realizzazione in corso, imminente o prossima, va aggiunto l'intervento di abbassamento del fondo di tutto il tratto terminale del torrente Chiaravagna. Tale intervento, alla data odierna, risulta ancora non finanziato e al livello progettuale dello studio preliminare.

### 3 Analisi idraulica nella configurazione attuale

La configurazione attuale presa a riferimento per la valutazione del presente incarico è quella considerata alla data del precedente studio di approfondimento idraulico, con il quale è stato

avviato l'iter di aggiornamento del Piano di Bacino che porterà, tra gli altri aspetti, alla revisione delle fasce di pericolosità idraulica. Tale configurazione si può sinteticamente riferire all'anno 2014 e, in riferimento alla serie di interventi avviati, conclusi o in via di esecuzione a seguito dell'evento dell'Ottobre 2010, include in particolare i seguenti interventi, già considerati nel precedente studio di approfondimento idraulico:

- demolizione degli edifici localizzati in alveo, a monte e valle dell'attraversamento di via Giotto;
- costruzione di una nuova passerella pedonale a valle dell'edificio ELSAG, con struttura caratterizzata dall'assenza di pile in alveo e con una quota di intradosso superiore a quella dell'edificio antistante, con contestuale demolizione di quella precedentemente esistente;
- eliminazione del muro realizzato all'imbocco del nuovo fornice in alveo situato in corrispondenza degli attraversamenti di via Albareto e delle linee ferroviarie, al fine di incrementare la sezione utile al deflusso.

A titolo informativo, è opportuno specificare che questa configurazione non prende in considerazione interventi che alla data del succitato incarico non risultavano ancora avviati ma che invece attualmente, a seconda del caso, risultano conclusi, collaudati o in via di esecuzione. In particolare si citano tre interventi in tale situazione che riguardano rispettivamente:

- la demolizione del cosiddetto "ponticello Piaggio", passerella localizzata a monte della tombinatura sopra la quale insiste parte dello stabilimento Piaggio, ad oggi conclusa e collaudata;
- la realizzazione della vasca di sedimentazione cosiddetta "di monte", per differenziarla da quella realizzata alla foce, posta immediatamente a valle del viadotto autostradale e alla data odierna conclusa e collaudata;
- il complesso intervento localizzato presso la confluenza del rio Ruscarolo, che prevede sinteticamente il rifacimento dell'attraversamento di via Manara e un ampliamento della sezione defluente in corrispondenza dell'attiguo edificio ELSAG, i cui lavori sono attualmente in corso di esecuzione.

Nella configurazione attuale sopradescritta è stata condotta un'analisi idraulica con metodologia del tutto analoga con quanto effettuato nei precedenti incarichi affidati agli scriventi dalla ex Provincia di Genova, in particolare utilizzando il codice di calcolo DHI MIKE FLOOD e l'assetto di configurazioni geometriche e parametri determinato in tali incarichi e seguito di un dettagliato processo di valutazione e taratura degli stessi.

Gli aggiornamenti apportati, citati nel precedente paragrafo, costituiscono un approfondimento di dettaglio teso a una migliore rappresentazione della conformazione del territorio e delle dinamiche di esondazione, circoscritto tuttavia a porzioni di tessuto urbano o elementi puntuali estremamente limitati, non costituendo pertanto una sostanziale variazione di quanto in precedenza sviluppato.

Con esplicito riferimento alla nota Prot. PG-2016-0023453 della Regione Liguria trasmessa al Comune, in cui si evidenzia la possibilità di recepire nella procedura di ripermimetrazione delle fasce di inondabilità eventuali interventi di mitigazione idraulica nel frattempo conclusi e collaudati, si evidenzia che rientrerebbero in questa condizione i due interventi sopracitati della vasca di sedimentazione e del ponticello Piaggio. Essi tuttavia, pur essendo indubbiamente interventi di mitigazione idraulica che non incrementano l'entità degli allagamenti nel tessuto urbano circostante, al contempo non forniscono nemmeno in termini strettamente idrodinamici una loro sostanziale attenuazione.

Il recepimento di questi ultimi due interventi, pertanto, non comporterebbe evidenti variazioni rispetto alla configurazione del corso d'acqua investigata nei precedenti incarichi e

sinteticamente riferibile all'anno 2014. In considerazione di ciò si ritiene pertanto più opportuno mantenere quale assetto geometrico di riferimento quanto già precedentemente analizzato dal Comitato Tecnico di Bacino, senza introdurre variazioni legate alle ultime opere realizzate e collaudate, osservando peraltro che tale valutazione risulta a favore di sicurezza e in ogni caso riferita a variazioni di scarso rilievo.

### 3.1 Criterio di parzializzazione delle sezioni

Come specificato nella lettera Prot. PG-2016-0023453 del 05/02/2016 del Dipartimento Ambiente della Regione Liguria e trasmessa al Comune di Genova, nella seduta del 28/01/2016 del Comitato Tecnico di Bacino è stato preso dettagliatamente in esame lo studio di approfondimento idraulico del torrente Chiaravagna elaborato dai tecnici DHI in precedenti incarichi. In tale sede è emersa la necessità di verificare, in coerenza con i criteri dell'Autorità di Bacino Regionale, la sensitività del modello alla carenza di "franco idraulico", precisando che, in riferimento alla perimetrazione delle aree inondabili, *"[...] la sua entità fornisce una valutazione del grado di vulnerabilità e rischio corrispondente al passaggio di una portata di piena attraverso una determinata sezione. Tale parametro rappresenta, in generale, la stima di un "coefficiente di sicurezza" da assumere rispetto agli esiti delle mere modellazioni matematiche, e ha pertanto lo scopo di tenere conto di tutte le incertezze legate alla modellazione idrologico-idraulica (concettuale, matematica e numerica) e ai vari fenomeni che possono occorrere durante eventi di piena, dei quali la modellazione non tiene conto. [...]"*.

Inoltre, nello stesso documento, è specificato come la valutazione dell'adeguatezza del "franco idraulico" con cui sono determinate le possibili esondazioni è, *"[...] di norma, demandata alle analisi del progettista, che in relazione ai singoli casi specifici, deve assumere le adeguate ipotesi ed effettuare gli opportuni approfondimenti sulla base delle caratteristiche del bacino, del corso d'acqua e del deflusso di piena previsto, in coerenza con i criteri regionali sopra ricordati [...]"*.

Nel presente incarico è stata svolta la valutazione che nel documento viene demandata alle analisi del progettista e nel presente paragrafo è illustrata la metodologia adottata.

La caratterizzazione del torrente Chiaravagna e del suo bacino idrografico è stata dettagliatamente svolta nei precedenti studi, in cui, in particolare, è stata condotta l'analisi della risposta idrologica per eventi di piena, una stima dell'afflusso di sedimenti nel tratto terminale del corso d'acqua e l'evoluzione morfologica dello stesso, anche in riferimento alla definitiva configurazione di progetto e ad alcuni interventi progettuali in essa previsti, come ad esempio la vasca di sedimentazione di monte. Inoltre l'analisi dell'assetto delle sezioni di deflusso in differenti configurazioni, ad esempio prima e durante l'evento di piena del 2010, nello stato attuale e nelle diverse configurazioni progettuali previste, ha fornito ulteriori elementi utili al fine della presente valutazione. Per maggiori dettagli in proposito si vedano gli elaborati denominati "22800503-01-00303" e "22800898-01-00201".

Naturalmente elemento cardine di tale approfondimento idraulico è stata la determinazione delle condizioni di deflusso di eventi di piena per assegnato tempo di ritorno in differenti configurazioni geometriche del corso d'acqua, da cui è derivata sia una stima delle relative condizioni di sicurezza, sinteticamente espresse dal parametro del franco idraulico, sia dei conseguenti allagamenti in caso di insufficienza delle stesse.

Gli elementi salienti emersi nei precedenti studi ed utili per la valutazione di un "coefficiente di sicurezza" complessivo determinato da un'analisi sito-specifica, sono:

- entità del franco idraulico per eventi di piena con tempo di ritorno 50 e 200 anni;
- configurazione delle sezioni attuali e di progetto presso gli attraversamenti;
- condizioni di deposito di sedimenti nell'alveo del corso d'acqua;

La valutazione effettiva del coefficiente è stata basata sulle seguenti valutazioni:

- valutazione globale sull'intero corso d'acqua;
- confronto qualitativo con il potenziale apporto di sedimenti del bacino;
- analisi di sensitività del criterio di riduzione delle sezioni.

#### Entità del franco idraulico per eventi di piena con tempo di ritorno 50 e 200 anni

Poiché la valutazione del criterio di parzializzazione delle sezioni nasce dall'osservazione del Comitato Tecnico di Bacino di valutare la sensitività del modello alla carenza di franco idraulico, si è ritenuto opportuno procedere, quale primo elemento, all'analisi dei valori effettivamente riscontrati di tale parametro e conseguentemente di correlare in un certo modo ad esso il criterio di parzializzazione delle sezioni. Osservando i risultati delle analisi idrauliche svolte nei precedenti incarichi, riferendosi in particolare agli eventi di piena con tempo di ritorno 50 e 200 anni nella configurazione attuale, si possono ricavare i seguenti elementi.

In primo luogo si osserva che in generale il valore del carico cinetico risulta per larga parte delle sezioni inferiore al metro, o al rispettivo valore previsto dai criteri dell'Autorità di Bacino nel caso di presenza di strutture di attraversamento, pertanto è lecito concentrare l'analisi direttamente al confronto tra quota del pelo libero e minima quota di sponda o impalcato.

Tabella 3.1 Tabella estratta dal Cap. 7 dell'elaborato 22800503-01-00303, in cui sono rappresentati i livelli di intradosso, estradosso, pelo libero e franco idraulico degli attraversamenti del torrente Chiaravagna nella configurazione attuale, per i tre tempi di ritorno considerati.

Struttura			Stato attuale							
Nome Sezione	PROGR.	SEZIONE	Intradosso [m]	Estradosso [m]	TR50		TR200		TR500	
	[m]	ID			P.L. [m.s.m.]	Franco [m]	P.L. [m.s.m.]	Franco [m]	P.L. [m.s.m.]	Franco [m]
	Ponte De Simone	106.02			CHI_26m	16.60	17.00	13.65	2.95	13.99
Passerella via VIII Società Case	333.99	CHI_23m	12.30	12.80	10.98	1.32	11.58	0.72	11.89	0.41
Passerella via Leonardi	484.97	CHI_21m	11.95	12.72	10.05	1.90	10.78	1.17	11.07	0.88
Ponte obliquo via Chiaravagna	603.11	CHI_19m	8.56	9.79	9.42	-0.86	10.37	-1.81	10.70	-2.14
Ponte via Giotto	687.58	CHI_17.6m	7.37	8.50	8.27	-0.90	9.22	-1.85	9.54	-2.17
Ponte via Manara	761.7	CHI_16	6.61	8.22	7.11	-0.50	8.14	-1.55	8.63	-2.02
Passerella ELSAG	793.32	CHI_14a	6.55	7.68	6.07	0.48	7.12	-0.57	7.61	-1.06
Ponte via Albareto	968.78	CHI_11	4.50	6.10	4.79	-0.29	6.08	-1.58	6.55	-2.05
Ponte ferrovia GE-XXMiglia	988.79	CHI_10a	4.34	8.00	4.60	-0.26	5.61	-1.27	5.98	-1.64
1° Ponte ILVA	1002.19	CHI_09a	4.11	8.00	4.52	-0.41	5.53	-1.42	5.88	-1.77
2° Ponte ILVA	1027.16	CHI_08b	4.15	5.40	4.32	-0.17	5.22	-1.07	5.54	-1.39
Ponticello Poggio	1135.66	CHI_06	3.50	4.90	3.71	-0.21	4.73	-1.23	5.07	-1.57
Tombinatura Poggio	1144.89	CHI_05a	2.93	8.00	3.67	-0.74	4.64	-1.71	4.97	-2.04
Ponte via Marsiglia	1226.45	CHI_04b	2.90	3.83	2.35	0.55	2.62	0.29	2.70	0.20

Presso gli attraversamenti, nella configurazione attuale analizzata, si può osservare come, ad eccezione dei primi tre attraversamenti (Ponte De Simone, Passerella via VIII Società Case e Passerella via Leonardi), in generale per tutte le strutture e per tutti i tempi di ritorno i franchi idraulici risultano negativi.

Osservando in seguito i valori di tale parametro sulla globalità delle sezioni aperte, cioè quelle non interessate da attraversamenti o tombinature, nella configurazione attuale, si osserva quanto segue:

- per l'evento cinquantennale si osserva per la maggior parte delle sezioni franchi idraulici prossimi o superiori al metro, con eccezioni situate in prevalenza in prossimità di ponti e tombinature;
- situazione nettamente differente si osserva per l'evento duecentennale, in cui è possibile descrivere una situazione differenziata: tra il viadotto autostradale e il ponte obliquo, si osservano generalmente franchi positivi con valori molto prossimi o superiori al metro; nel tratto successivo, dal ponte obliquo all'attraversamento via Manara/ELSAG, i franchi

risultano mediamente prossimi a zero, perché anche quando positivi sono generalmente di ridotta entità; successivamente nel tratto adiacente al fabbricato ABB tornano nuovamente ad essere superiori al metro ma, da poco a monte del ponte di via Albareto fino alla foce, risultano generalmente con valori prossimi a zero o comunque di ridotta entità.

Volendo estendere l'analisi presso gli attraversamenti anche ai risultati nella configurazione definita in tale studio come "di progetto" (sostanzialmente comprensiva della maggior parte degli interventi previsti ad eccezione del ponte di Via Chiaravagna e dell'abbassamento del fondo) si continua ad osservare franchi idraulici ridotti e inadeguati rispetto ai criteri dell'A.d.B, pur se con valori certamente maggiori rispetto alla configurazione attuale. In particolare risultano limitati a valori mediamente dell'ordine dei 50 cm, a valle del ponte di via Giotto, per l'evento cinquantennale e generalmente debolmente negativi, oppure positivi ma inferiori ai 50cm, per l'evento duecentennale.

In analogia agli attraversamenti, anche per il complesso delle sezioni aperte si osserva un incremento dei valori del franco idraulico trasponendo l'analisi dallo stato attuale alla configurazione di progetto, incremento quantificabile mediamente sulle sezioni e globalmente sui due eventi di piena considerati in circa 50-60 cm.

Da questa analisi complessiva dei valori di franco idraulico per differenti eventi di piena, emerge come vi siano ampi tratti e numero di sezioni con franchi negativi o di entità ridotta, per le quali si può considerare quanto segue:

- per le sezioni con franco idraulico negativo, anche minime riduzioni della sezione defluente possono comportare un incremento delle esondazioni;
- per le sezioni con franco idraulico positivo, si è osservato come tale valore sia comunque in media pari a poche decine di centimetri e pertanto una modesta riduzione di sezione comporterebbe il passaggio da una situazione di assenza di esondazioni a una di fenomeni di allagamento diffusi.

In considerazione di ciò non appare necessario introdurre riduzioni di sezione eccessivamente gravose per raggiungere condizioni di insufficienza idraulica, anche per gli eventi meno estremi.

### Configurazione delle sezioni attuali e di progetto presso gli attraversamenti

Il tratto terminale del torrente Chiaravagna risulta caratterizzato dalla presenza di numerosi e frequenti attraversamenti, la maggior parte dei quali con pile in alveo. Alcuni di essi, che rappresentavano storicamente le situazioni di maggior criticità in termini di riduzione delle sezioni di deflusso, sono stati progressivamente demoliti o ricostruiti nel recente passato al fine di migliorare le condizioni di deflusso della corrente. Altri interventi simili sono di prossima realizzazione ma, anche limitatamente ai manufatti attualmente esistenti, è possibile affermare che non rappresentano essi stessi situazioni di particolare ed evidente criticità isolate rispetto al generale contesto del corso d'acqua.

Dalla valutazione complessiva di tutti questi elementi si è pertanto propensi a considerare una parzializzazione diffusa sulla totalità delle sezioni, piuttosto che concentrate in alcune sezioni critiche, poiché tutto il tratto di corso d'acqua nel suo complesso è caratterizzato da insufficienza idraulica e potenzialmente affetto da riduzione di sezione e non vi sono ragioni evidenti per circoscrivere tale circostanza alle sole sezioni degli attraversamenti.

### Condizioni di deposito di sedimenti nell'alveo del corso d'acqua

Il tratto terminale del torrente Chiaravagna, come documentato nei diversi documenti ed elaborati consultati nel precedente incarico, nella situazione precedente all'evento del 2010 risultava caratterizzato da numerosi anni da condizioni di sovralluvionamento. A partire da tale situazione sono stati elaborati diversi interventi di sistemazione idraulica, di cui il progetto preliminare del 2001 rappresenta un quadro organico.

Tra le diverse opere, di significativa importanza in relazione al trasporto solido è la realizzazione della vasca di sedimentazione di monte, che ad oggi risulta collaudata e attiva; nella valutazione dell'apporto delle possibili fonti di riduzione della sezione è senz'altro da tenere in considerazione la sua esistenza nell'ottica della valutazione complessiva del "coefficiente di sicurezza", che non può prescindere da condizioni oggettive quali la presenza di opere di questa natura. La sua presenza, pur con tutte le ipotesi cautelative su un'eventuale assenza di manutenzione, rappresenta comunque un'attenuazione dell'apporto di sedimenti al tratto terminale.



Figura 3.1 Vasca di sedimentazione realizzata immediatamente a valle del viadotto autostradale.

### Coefficiente di sicurezza globale per la riduzione delle sezioni

Da un'analisi complessiva del corso d'acqua, delle condizioni di deflusso delle piene e del bacino di appartenenza, è stato possibile effettuare una stima del criterio di parzializzazione delle sezioni. Valutando in termini generali un coefficiente di sicurezza globale, senza legare in modo troppo diretto la sua quantificazione a specifiche fenomenologie fisiche, si tratta quindi di esprimere con un coefficiente l'incertezza complessiva a cui i risultati dell'analisi idraulica possono essere affetti.

In tale ottica il tratto terminale del torrente Chiaravagna mostra una situazione di forte criticità, affrontata ormai da anni dagli Enti preposti con un significativo impegno che ha comportato la progettazione, finanziamento o realizzazione della maggior parte degli interventi previsti dal principale studio di sistemazione idraulica definitiva del corso d'acqua, datato 2001.

Inoltre il tratto in oggetto del torrente Chiaravagna si inserisce in un contesto urbano, dato dal centro dell'abitato di Sestri Ponente, in cui l'insufficienza idraulica del corso d'acqua comporta una situazione di elevata pericolosità che coinvolge un'ampia porzione di tessuto urbano nella quale sia risiedono un elevato numero di persone, sia sono presenti attività industriali e infrastrutture di rilievo. In tale contesto, con un esposto così importante, è senz'altro opportuno non sottovalutare i potenziali effetti legati ai fattori di incertezza dell'analisi idraulica, introducendo un coefficiente di sicurezza "robusto" che, attraverso la sua applicazione, comporti una perimetrazione delle fasce di inondabilità tale da tutelare il notevole esposto presente. Al contempo tale coefficiente non deve risultare sovrastimato, perché risulta evidente come nella configurazione territoriale in cui è collocato il tratto terminale del Chiaravagna, caratterizzato da

una fascia pianeggiante costiera pressoché continua di alcuni chilometri, si potrebbe facilmente incrementare a dismisura l'estensione delle relative fasce di inondabilità al crescere di tale coefficiente, finendo poi per divergere dal reale significato delle stesse.

Nella stima del coefficiente è stata pertanto:

- effettuata una valutazione complessiva del corso d'acqua;
- tale valutazione è stata successivamente validata mediante un'analisi di sensitività, andando a valutare come la variazione di tale parametro impatti sugli esiti della modellazione idraulica;
- ad ulteriore validazione dello stesso, è stato rapportato agli effetti di alcuni processi fisici che possono potenzialmente generare una riduzione della sezione defluente.

Sulla modalità di applicazione di tale coefficiente si ritiene più cautelativo applicarlo al complesso delle sezioni in quanto il corso d'acqua evidenzia un'insufficienza idraulica in modo generalizzato e non circoscritto a singole specifiche sezioni o manufatti, applicando pertanto a tutte una riduzione della sezione defluente. Tale valutazione giunge anche a seguito di quanto espresso in precedenza nel presente paragrafo in merito alla configurazione delle sezioni presso gli attraversamenti.

In merito al criterio geometrico con cui definire tale riduzione, anche a seguito di una valutazione di quali fenomenologie fisiche potrebbero causarlo, si è ritenuto più appropriato applicarla come una riduzione dell'altezza utile al deflusso e quindi nella pratica un innalzamento della quota di fondo. Per la quantificazione di tale innalzamento, si è ritenuto più adeguato definirlo in senso assoluto, come incremento di quota da applicare indistintamente a tutto il corso d'acqua, piuttosto che come incremento percentuale, che sarebbe pertanto risultato variabile da sezione a sezione in funzione della rispettiva geometria, con il risultato di un profilo di fondo da considerare nelle analisi idrauliche poco coerente con la realtà.

In considerazione del contesto del torrente Chiaravagna, si è ritenuto adeguato considerare, quale fattore di incertezza sui livelli di piena, una riduzione dell'altezza utile al deflusso di 50 cm. A tal riguardo si ritiene che incrementare maggiormente tale valore sarebbe risultato per molte sezioni, in particolare per quelle di attraversamenti e tombinature con area defluente fortemente ridotta, eccessivamente peggiorativo.

A conclusione della stima del parametro con cui esprimere il "coefficiente di sicurezza" richiesto dalle osservazioni del Comitato Tecnico di Bacino, si è voluto parametrare la parzializzazione di sezione proposta anche a un valore percentuale medio dell'area defluente. Operativamente si è verificato che nel caso specifico del tratto in esame l'applicazione di un incremento medio del fondo di 50 cm risulta equivalente a una riduzione media della massima area defluente delle sezioni di circa il 10%

Infine, poiché un parametro di comune utilizzo per la verifica delle condizioni di deflusso in corrispondenza di nuove opere è il franco idraulico, si è ritenuto opportuno commisurare il "coefficiente di sicurezza" anche a tale parametro, che si assume usualmente pari al metro, come differenza tra il livello di piena e la minima quota spondale o la quota di intradosso dell'impalcato degli attraversamenti. In considerazione di ciò, il "coefficiente di sicurezza" adottato risulta pari a metà del valore di franco idraulico richiesto per le nuove opere.

#### **Apporto potenziale di sedimenti del bacino**

Nel precedente incarico, citato in premessa, ed in particolare nella sua estensione, è stata condotta un'analisi approfondita del comportamento del torrente Chiaravagna e del suo bacino in riferimento all'apporto potenziale di sedimenti e alla dinamica del loro trasporto nel tratto terminale del corso d'acqua. Per ulteriori approfondimenti in merito si rimanda all'elaborato *22800898-01-00201* redatto in tale studio.

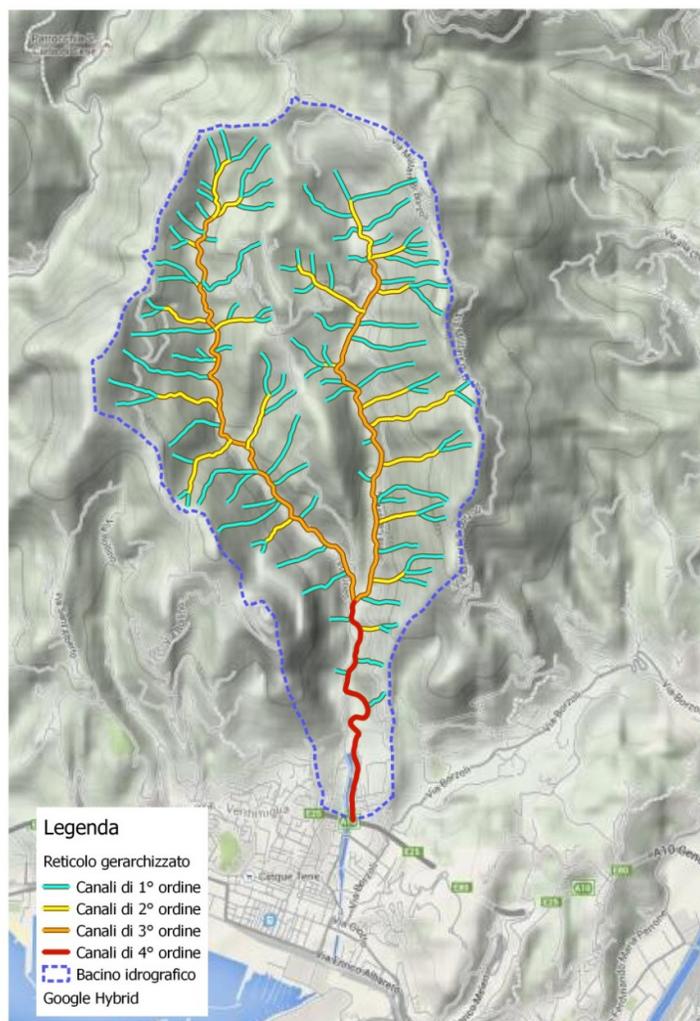


Figura 3.2 Immagine estratta dal Cap. 6 dell'elaborato 22800898-01-00201, rappresentante il bacino del torrente Chiaravagna, con il relativo reticolo gerarchizzato, chiuso alla sezione di attraversamento dell'autostrada.

Da tale analisi emerge come la stima dell'apporto potenziale di volume medio annuo di sedimenti di tutto il bacino sia dell'ordine dei 4000 metri cubi. Ragionando invece in termini di eventi estremi, è stato determinato che la capacità di trasporto di un evento con tempo di ritorno 200 anni risulta dello stesso ordine di grandezza, anch'esso di circa 4000 metri cubi.

Tali stime coincidono inoltre con il volume di dimensionamento della vasca di sedimentazione di monte, realizzata poco a valle del viadotto autostradale, che pertanto nell'ipotesi di trovarsi mantenuta in condizioni di piena efficienza, cioè priva di materiale solido al suo interno, immediatamente prima di un evento duecentennale, risulterebbe a seguito di esso nuovamente esaurita nella sua capacità di trattenere sedimenti.

Nell'ipotesi, assolutamente cautelativa, che tale evento estremo risulti in tempi ravvicinati susseguito da analogo evento, senza che nel frattempo la vasca sia stata ripristinata in condizioni di piena efficienza, il volume di sedimenti da esso trasportato, stimato come detto in circa 4000 metri cubi, raggiungerebbe il tratto sottostante di corso d'acqua fino alla foce, andandosi a sedimentare sulla base delle locali condizioni di deposito o erosione che la corrente

andrebbe a generare. Stessa condizione si avrebbe naturalmente in conseguenza dell'apporto di volumi di sedimenti medi annui.

Sulla base di questa ipotesi si è pertanto calcolato l'incremento di quota del fondo alveo che l'apporto potenziale di sedimenti associato genererebbe nell'ipotesi in cui si distribuisse in modo omogeneo sul tratto terminale del corso d'acqua. Operativamente è stato determinato suddividendo tale volume per un'area equivalente, determinata dal prodotto dell'estensione longitudinale di tale tratto, pari a poco più di 1 km, per una larghezza trasversale media del corso d'acqua, determinata in circa 23 m, ottenendo in questo modo un incremento di circa 17 cm. Risulta opportuno specificare come nella realtà questo calcolo empirico risulti fortemente conservativo, perché equivale ad assumere che l'apporto potenziale di sedimenti dell'intero bacino del torrente Chiaravagna, pari a circa 11 kmq, depositi la totalità del suo contributo esclusivamente nel breve tratto di circa un 1 km nella parte terminale del corso d'acqua.

L'entità dell'incremento della quota di fondo così determinato porta ad assumere che, a livello potenziale, il criterio di parzializzazione delle sezioni adottato, pari mediamente al 10% dell'area defluente ed equivalente ad un innalzamento medio del fondo di 50 cm, corrisponde approssimativamente a un contributo di sedimenti di circa tre volte superiore a quanto precedentemente quantificato e sempre nell'ipotesi di completa assenza di alcuna manutenzione delle vasche di sedimentazione realizzate. Tale stima porta a ritenere il coefficiente di parzializzazione adottato sufficientemente cautelativo, anche in riferimento a uno specifico fenomeno fisico (il trasporto solido di fondo) che, in modo particolare, potrebbe concretamente generare una riduzione delle sezioni utili al deflusso per innalzamento della quota di fondo alveo.

#### Analisi di sensitività del criterio di riduzione delle sezioni

Il criterio di riduzione delle sezioni adottato nella presente analisi e precedentemente descritto è stato oggetto di specifica analisi di sensitività. Essa è stata condotta confrontando in primo luogo gli allagamenti generati senza e con la riduzione di sezione definita, in modo da quantificarne l'impatto sia come estensione delle aree soggette ad allagamento sia come incremento dei tiranti, rispettivamente per gli eventi con tempo di ritorno 50 e 200 anni.

In seguito è stato condotto analogo confronto tra il criterio adottato e una versione ulteriormente peggiorativa, al fine di quantificare quale impatto avrebbe avuto sugli allagamenti un eventuale errore di sottovalutazione del "coefficiente di sicurezza" così come esposto in precedenza: di fronte a un notevole impatto sugli allagamenti sarebbe risultato opportuno una rivalutazione più approfondita dello stesso, a favore di sicurezza, poiché minime variazioni avrebbero potuto comportare rilevanti conseguenze in termini di allagamenti; di fronte invece a incrementi marginali si può ritenere adeguato quanto assunto.

Nello svolgere tale analisi di sensitività, si è ipotizzato di considerare il 150% del valore assunto; ciò comporta ipotizzare un innalzamento medio della quota di fondo alveo delle sezioni pari a circa 75 cm, da cui si ricava una corrispondente percentuale media di riduzione dell'area defluente delle sezioni pari circa al 15%.

Di seguito sono rappresentati gli esiti della comparazione dei risultati delle simulazioni idrauliche, per eventi di piena con tempo di ritorno 50 e 200 anni, in termini di estensione e differenze di tiranti degli allagamenti.

Tale comparazione è stata svolta in primo luogo tra la simulazione idraulica senza alcuna parzializzazione delle sezioni e quella con il criterio adottato (innalzamento medio del fondo di 50 cm equivalente a una percentuale media di riduzione delle sezioni del 10%) e in secondo luogo tra quella col criterio scelto e quella con lo stesso amplificato del 50% (cioè con innalzamento medio di 75 cm ed equivalente a una riduzione media dell'area circa del 15%).

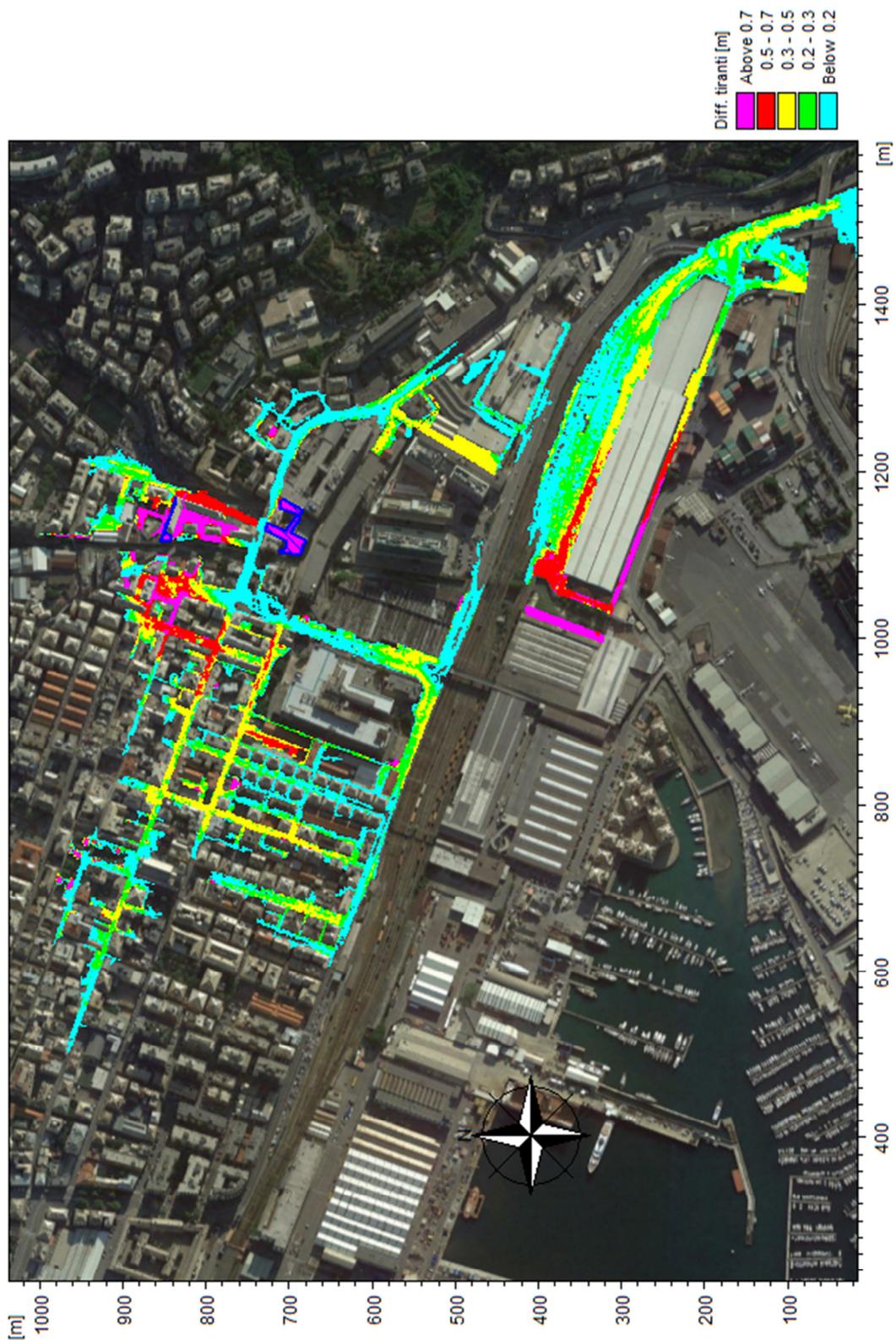


Figura 3.3 Torrente Chiaravagna – Evento con tempo di ritorno 50 anni nella configurazione attuale – Differenza di tiranti tra la simulazione idraulica con l'adozione del criterio di parzializzazione delle sezioni e quella con sezioni inalterate; con linea blu è mostrata la perimetrazione degli allagamenti nel caso di sezioni inalterate.

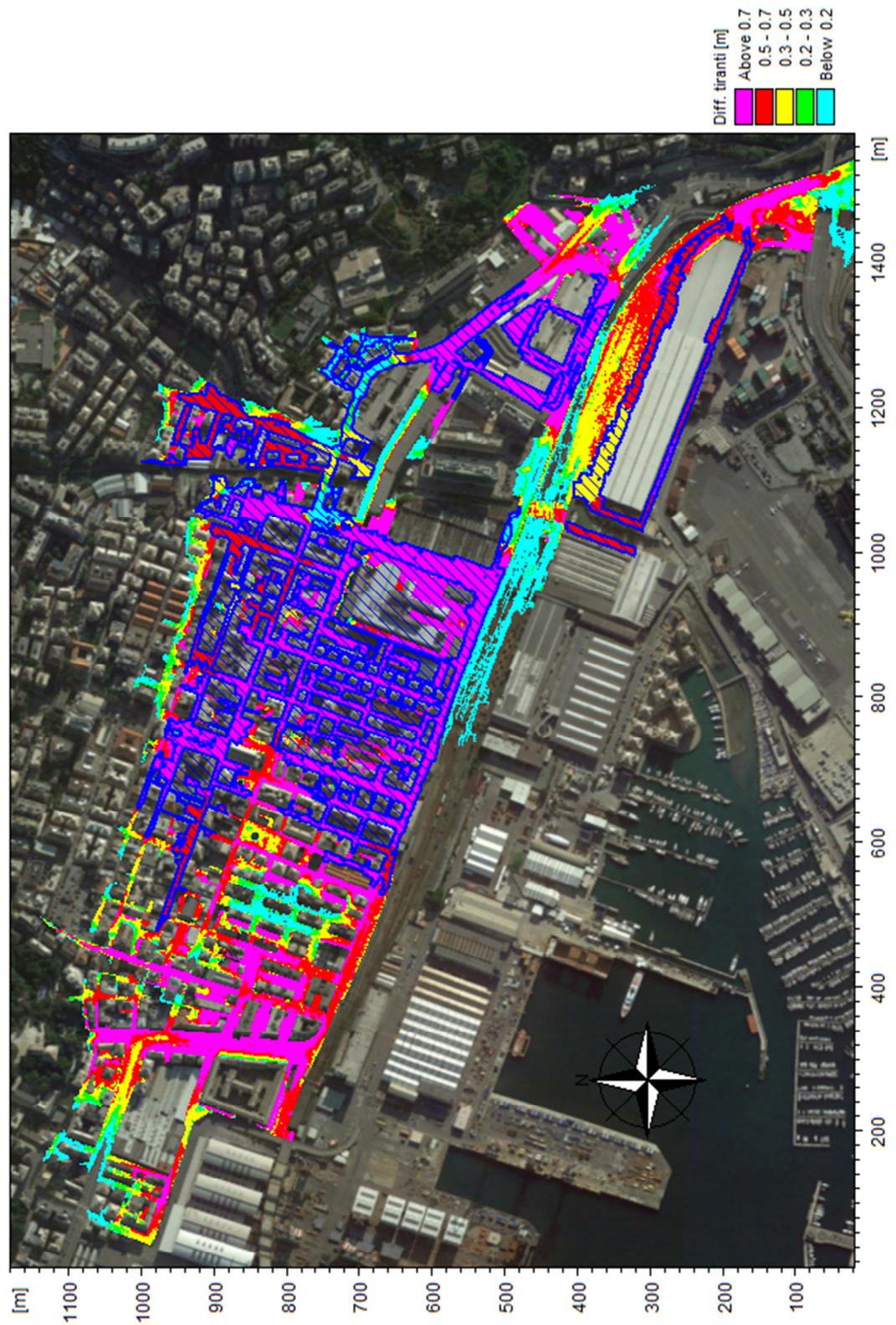


Figura 3.4 Torrente Chiaravagna – Evento con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione attuale – Differenza di tiranti tra la simulazione idraulica con l'adozione del criterio di parzializzazione delle sezioni e quella con sezioni inalterate; con linea blu è mostrata la perimetrazione degli allagamenti nel caso di sezioni inalterate.

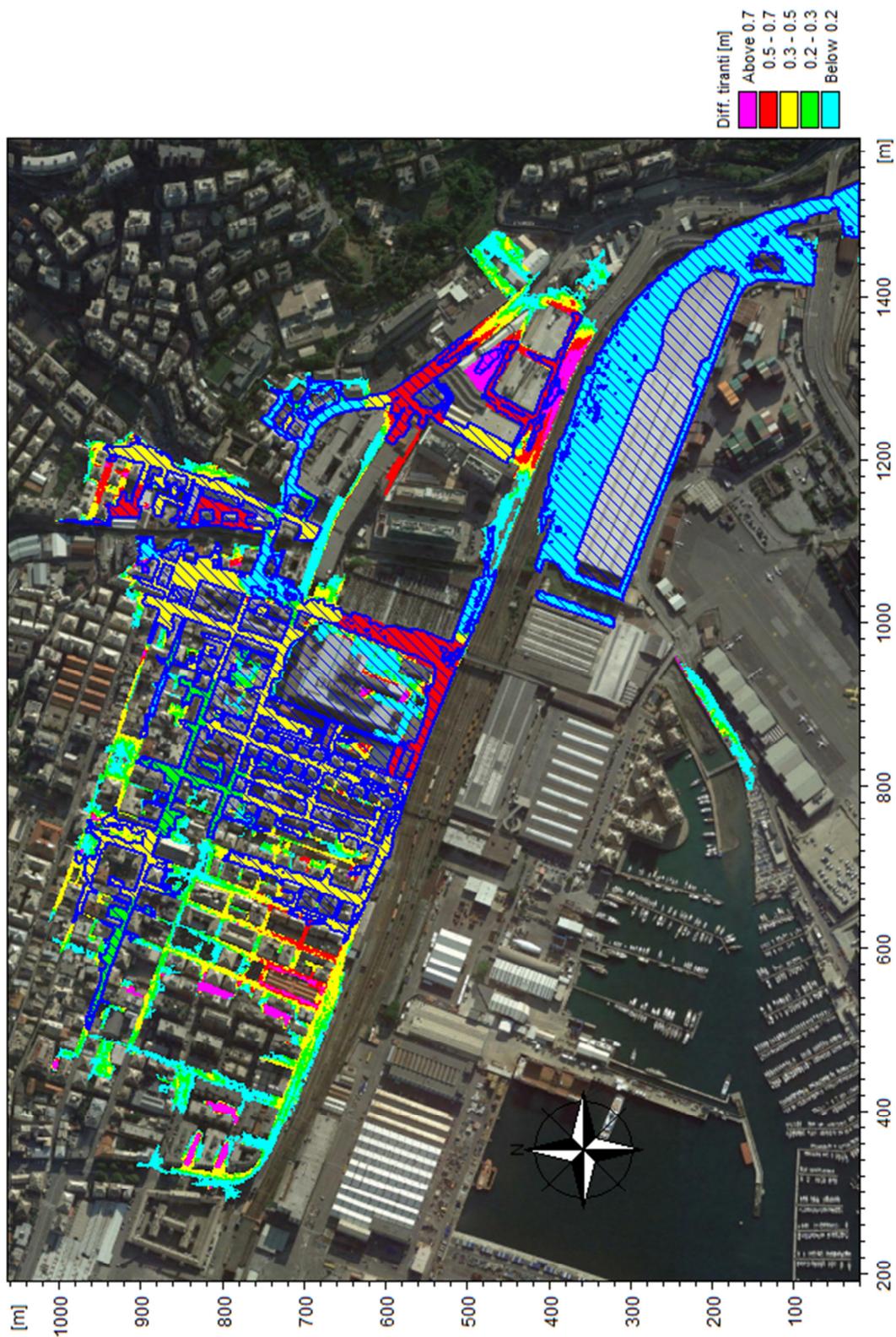


Figura 3.5 Torrente Chiaravagna – Evento con tempo di ritorno 50 anni nella configurazione attuale – Differenza di tiranti tra la simulazione idraulica con il criterio di parzializzazione delle sezioni prescelto (10%) e quella con criterio maggiorato (15%); con linea blu è mostrata la perimetrazione degli allagamenti nel caso del criterio di parzializzazione adottato (10%).

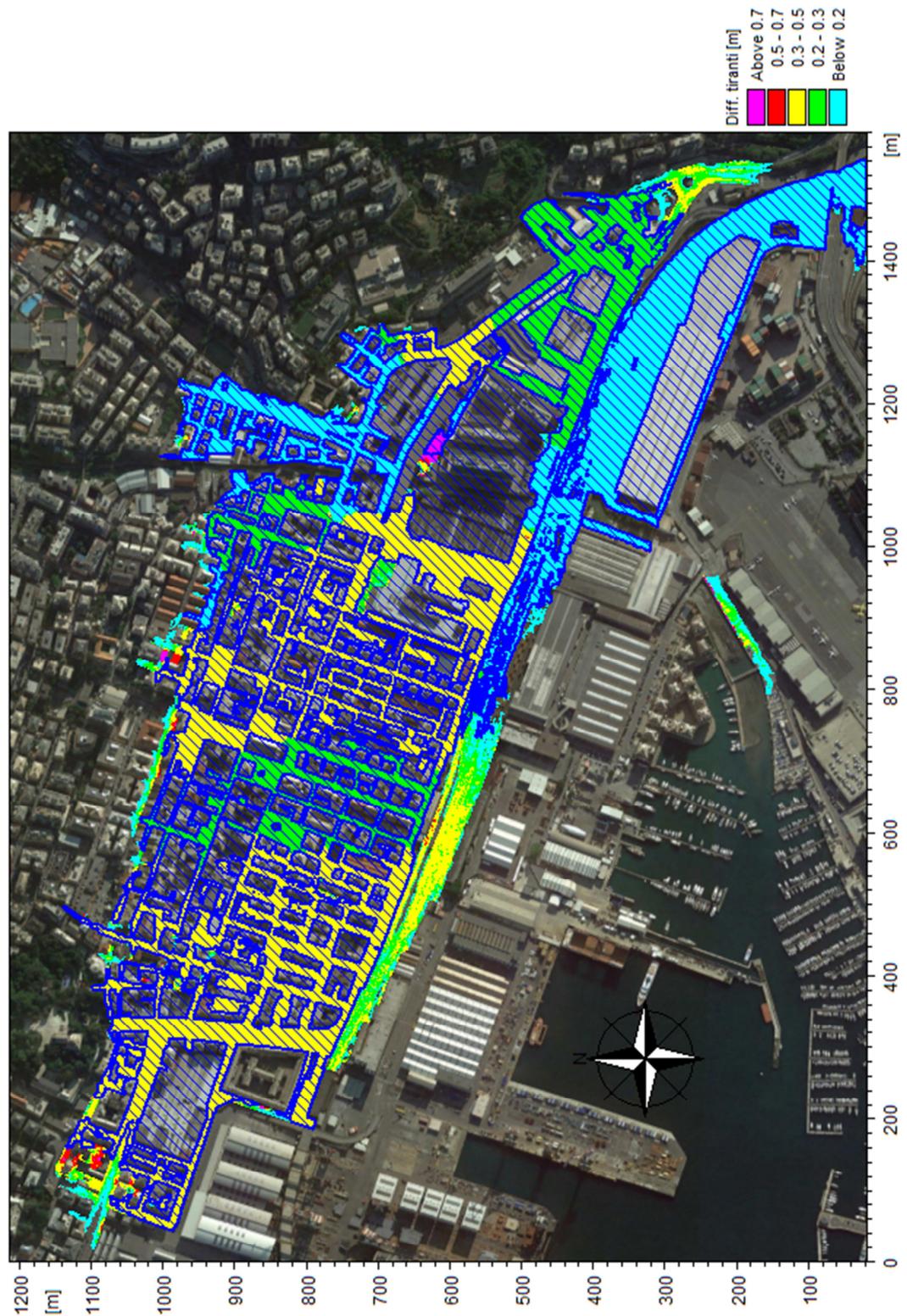


Figura 3.6 Torrente Chiaravagna – Evento con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione attuale – Differenza di tiranti tra la simulazione idraulica con il criterio di parzializzazione delle sezioni prescelto (10%) e quella con criterio maggiorato (15%); con linea blu è mostrata la perimetrazione degli allagamenti nel caso del criterio di parzializzazione adottato (10%).

Dall'analisi delle prime due immagini sopra riportate (Figura 3.3 e Figura 3.4) emerge come, per entrambi gli eventi con tempo di ritorno 50 e 200 anni, l'incremento degli allagamenti introducendo il criterio adottato, rispetto alle sezioni inalterate, è molto rilevante: si osserva infatti un ampio incremento dell'estensione e dei tiranti in modo generalizzato e, in aggiunta a ciò e con particolare riferimento alle aree raggiunte dagli allagamenti solo con sezioni parzializzate, in esse i tiranti risultano in larga parte elevati, in modo particolare nel caso dell'evento duecentennale in cui si osservano diffusi valori anche superiori al metro.

Questo risultato conferma l'effettiva necessità dell'introduzione di un coefficiente di sicurezza e l'adeguatezza della sua entità qui determinata che, infatti, evidenzia come, a seguito di una variabilità della capacità di deflusso dell'alveo, le conseguenze sugli allagamenti sarebbero rilevanti, in piena coerenza con il principio di "coefficiente di sicurezza" adottato. Questa considerazione appare ancor più evidente nel caso dell'evento cinquantennale che, senza parzializzazione di sezioni, risulta pressochè ovunque contenuto in alveo pur se con franchi idraulici minimi, mentre è stato sufficiente introdurre un coefficiente di sicurezza, e nello specifico ben calibrato, per ribaltare completamente tale valutazione, osservando al contrario larga parte dell'abitato di Sestri Ponente coinvolto dagli allagamenti. Nel caso dell'evento duecentennale l'incremento di allagamenti è notevole, anche se è comunque opportuno specificare che già con sezioni non parzializzate si osservavano ampie esondazioni.

Osservando invece il confronto delle successive due immagini (Figura 3.5 e Figura 3.6), raffiguranti gli incrementi di allagamenti dovuti a un peggioramento del 50% del criterio di parzializzazione delle sezioni, è evidente constatare come l'impatto di tale incremento sia complessivamente modesto. In termini di estensione, l'ulteriore propagazione risulta molto limitata nel caso dell'evento cinquantennale e quasi impercettibile per quello duecentennale; osservando invece gli incrementi di tiranti, essi risultano certamente variegati a seconda delle zone di interesse, ma in particolare si osservano i valori maggiori prevalentemente in aree comunque già oggetto di allagamento (e quindi ad esempio già perimetrate in fascia A), mentre nell'estensione, a seguito dell'ulteriore incremento della riduzione di sezione, appaiono generalmente modesti e in larga parte inferiori ai 50 cm per entrambi gli eventi.

Questa analisi di sensitività porta pertanto a ritenere adeguate le ipotesi assunte e ragionevole il criterio di parzializzazione delle sezioni adottato, la cui diminuzione comporterebbe una possibile ampia sottostima degli allagamenti, mentre non altrettanto si può affermare in caso di incremento, i cui effetti sulle esondazioni risulterebbero contenuti.

## 3.2 Definizione delle fasce di pericolosità idraulica e degli ambiti normativi

Definito il criterio di parzializzazione delle sezioni è stata condotta l'analisi idraulica nella configurazione attuale, così come definita ad inizio del Cap.3, impiegando una metodologia del tutto analoga con quanto svolto nei precedenti incarichi, in particolare in termini di definizione del modello idrodinamico accoppiato mono-bidimensionale MIKE FLOOD, con cui sono stati schematizzati il deflusso di piena in alveo e le conseguenti esondazioni nel territorio circostante per eventi di piena del torrente Chiaravagna con tempo di ritorno 50 e 200 anni.

Di seguito sono sinteticamente riportati, mediante alcune immagini, i risultati delle simulazioni idrauliche, mentre nell'Allegato A sono riportate in tabella i valori delle principali grandezze idrodinamiche in alveo in corrispondenza delle sezioni. Dal punto di vista dei risultati in alveo del modello monodimensionale, le seguenti immagini di Figura 3.7 e Figura 3.8 rappresentano i profili di corrente che si realizzano per i due eventi di piena considerati.

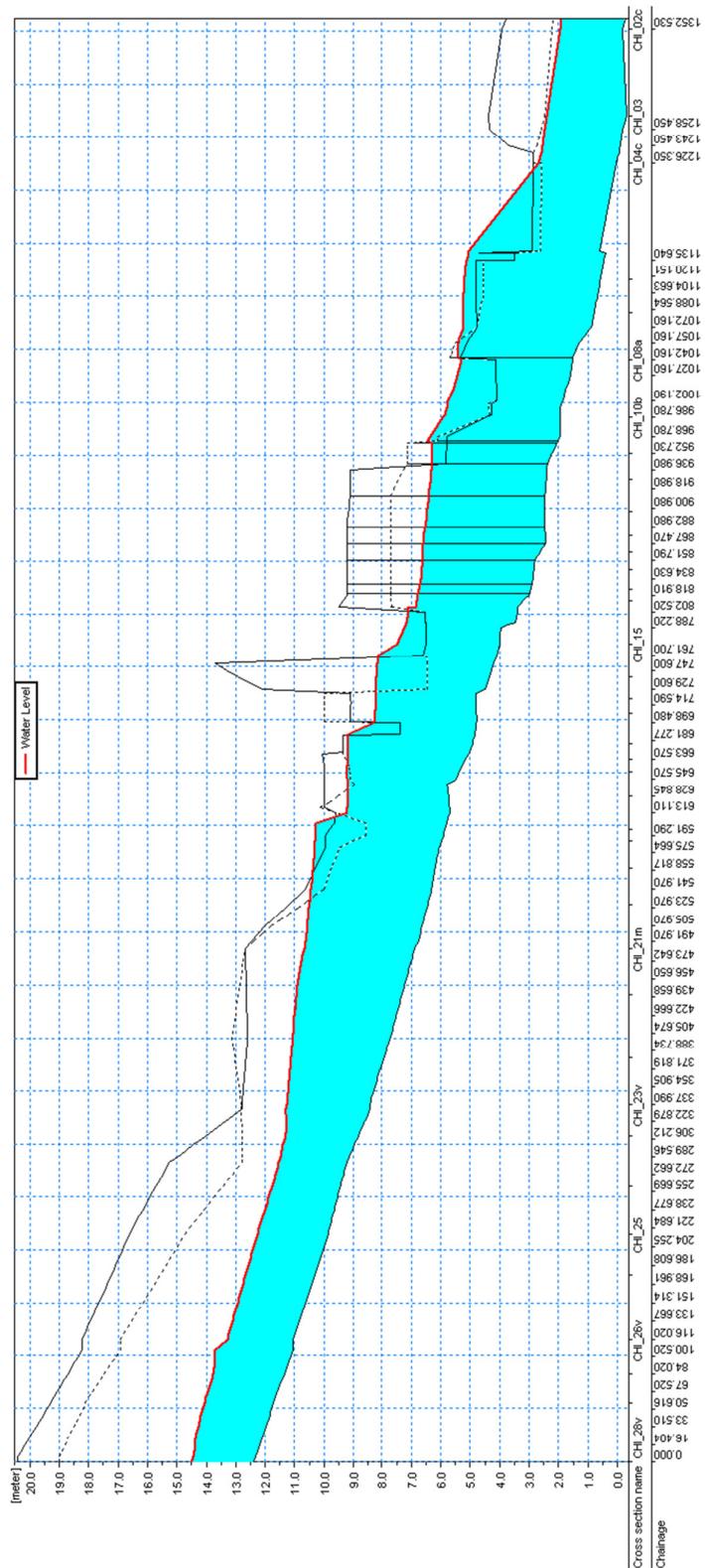


Figura 3.7 Torrente Chiaravagna – Profilo di corrente nella configurazione attuale con l’applicazione del criterio di parzializzazione delle sezioni per un evento di piena con tempo di ritorno 50 anni. Le linee presenti rappresentano: in rosso il massimo livello simulato, la linea nera continua il profilo della sponda destra, la linea nera tratteggiata il profilo della sponda sinistra.

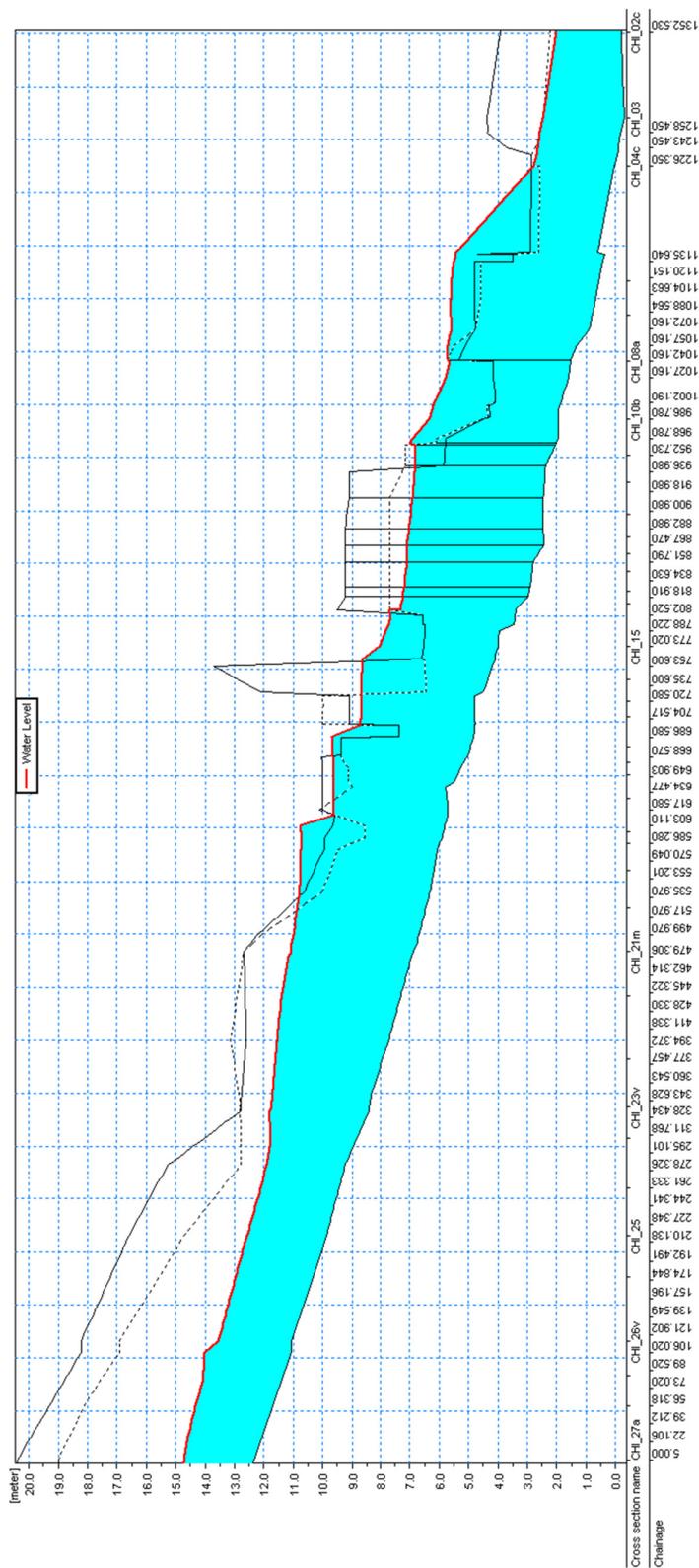


Figura 3.8 Torrente Chiaravagna – Profilo di corrente nella configurazione attuale con l'applicazione del criterio di parzializzazione delle sezioni per un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni. Le linee presenti rappresentano: in rosso il massimo livello simulato, la linea nera continua il profilo della sponda destra, la linea nera tratteggiata il profilo della sponda sinistra.

Le seguenti immagini rappresentano invece, in riferimento al dominio bidimensionale, i valori massimi di tiranti idrici e velocità di scorrimento che si realizzano nel tessuto urbano circostante al torrente Chiaravagna, per i due eventi di piena analizzati.



Figura 3.9 Torrente Chiaravagna – Massimi tiranti degli allagamenti con tempo di ritorno 50 anni nella configurazione attuale con sezioni parzializzate.

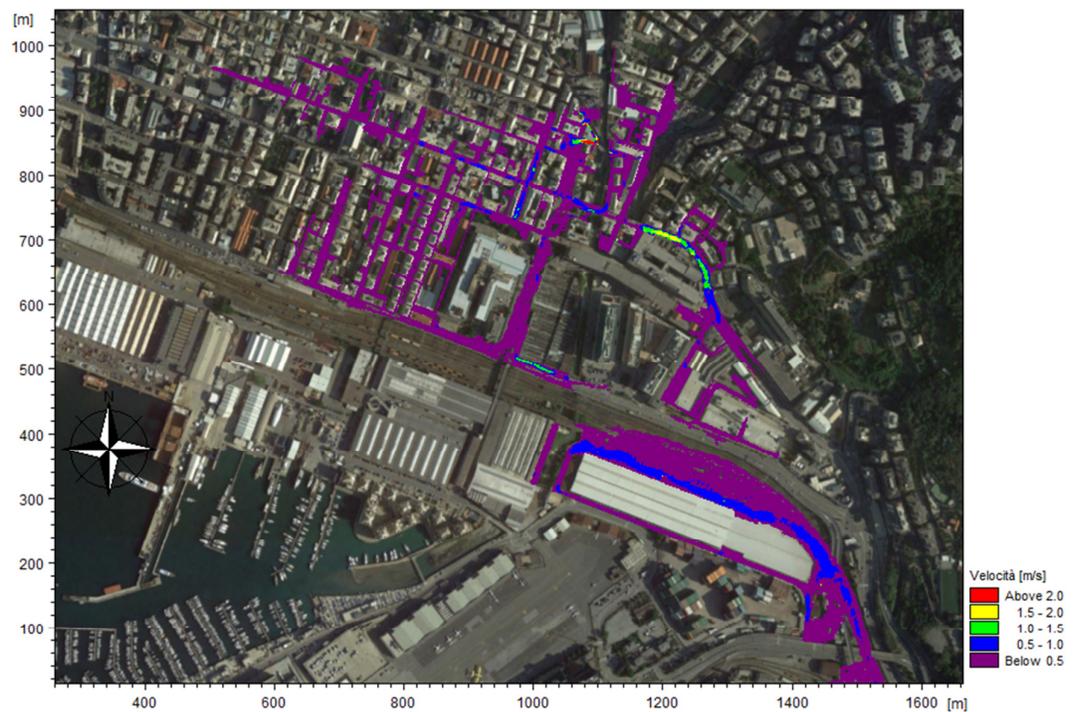


Figura 3.10 Torrente Chiaravagna – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti con tempo di ritorno 50 anni nella configurazione attuale con sezioni parzializzate.

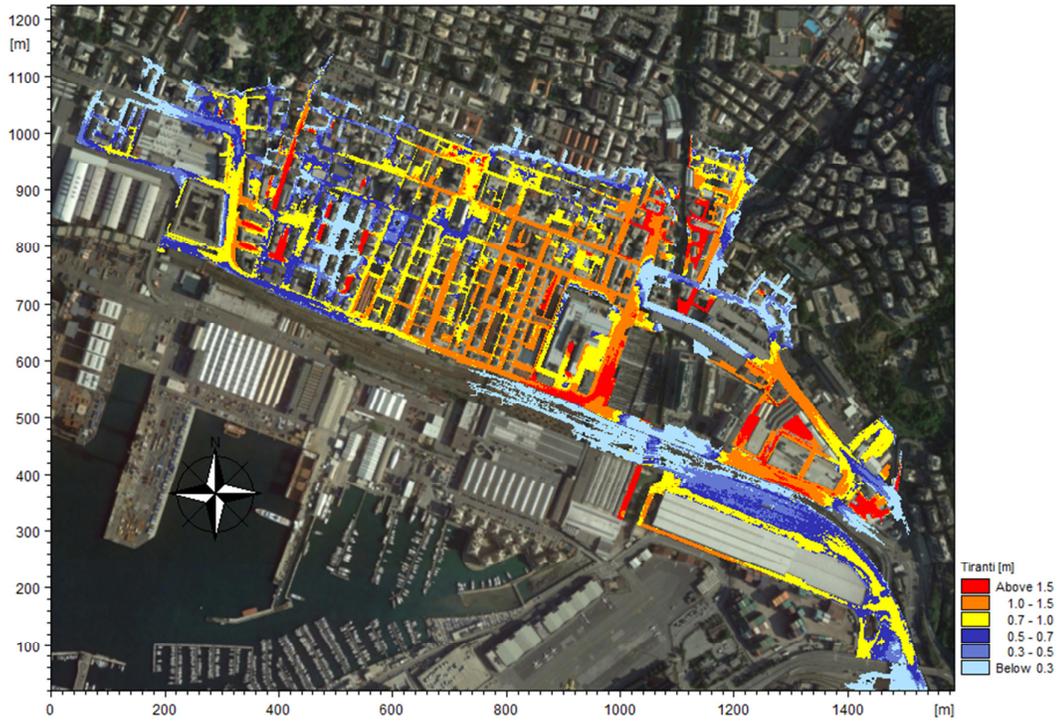


Figura 3.11 Torrente Chiaravagna – Massimi tiranti degli allagamenti con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione attuale con sezioni parzializzate.



Figura 3.12 Torrente Chiaravagna – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione attuale con sezioni parzializzate.

Come definito nell'Allegato 1 alla D.G.R. del 1/02/2013 (*Criteria per l'individuazione di aree a minor pericolosità relativa e di ambiti normativi nella Fascia B dei Piani di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*) la fascia di pericolosità idraulica B prevede un'ulteriore suddivisione in ambiti normativi BB e B0, quest'ultimo associato a aree a "minor pericolosità relativa". La distinzione avviene in funzione dei valori di massimo tirante idrico e velocità, sulla base del criterio raffigurato in Figura 3.13.

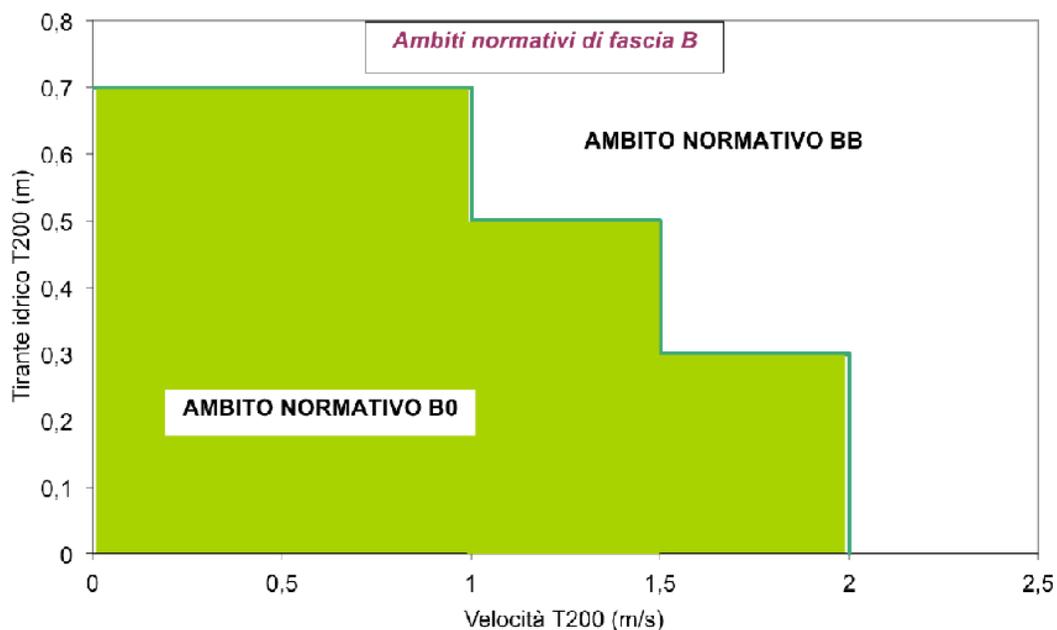


Figura 3.13 Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale  $h_{200}$  condizionato alla velocità locale della corrente  $v_{200}$  ai fini della definizione degli ambiti normativi in fascia B.

A seguito dell'applicazione di tale criterio, a partire dai risultati delle simulazioni idrauliche effettuate, è possibile elaborare una proposta di fasce di inondabilità e di ambiti normativi di fascia B riferiti alla configurazione attuale del torrente Chiaravagna, sinteticamente illustrate in Figura 3.14 e più dettagliatamente rappresentate nella tavola in ALLEGATO D.

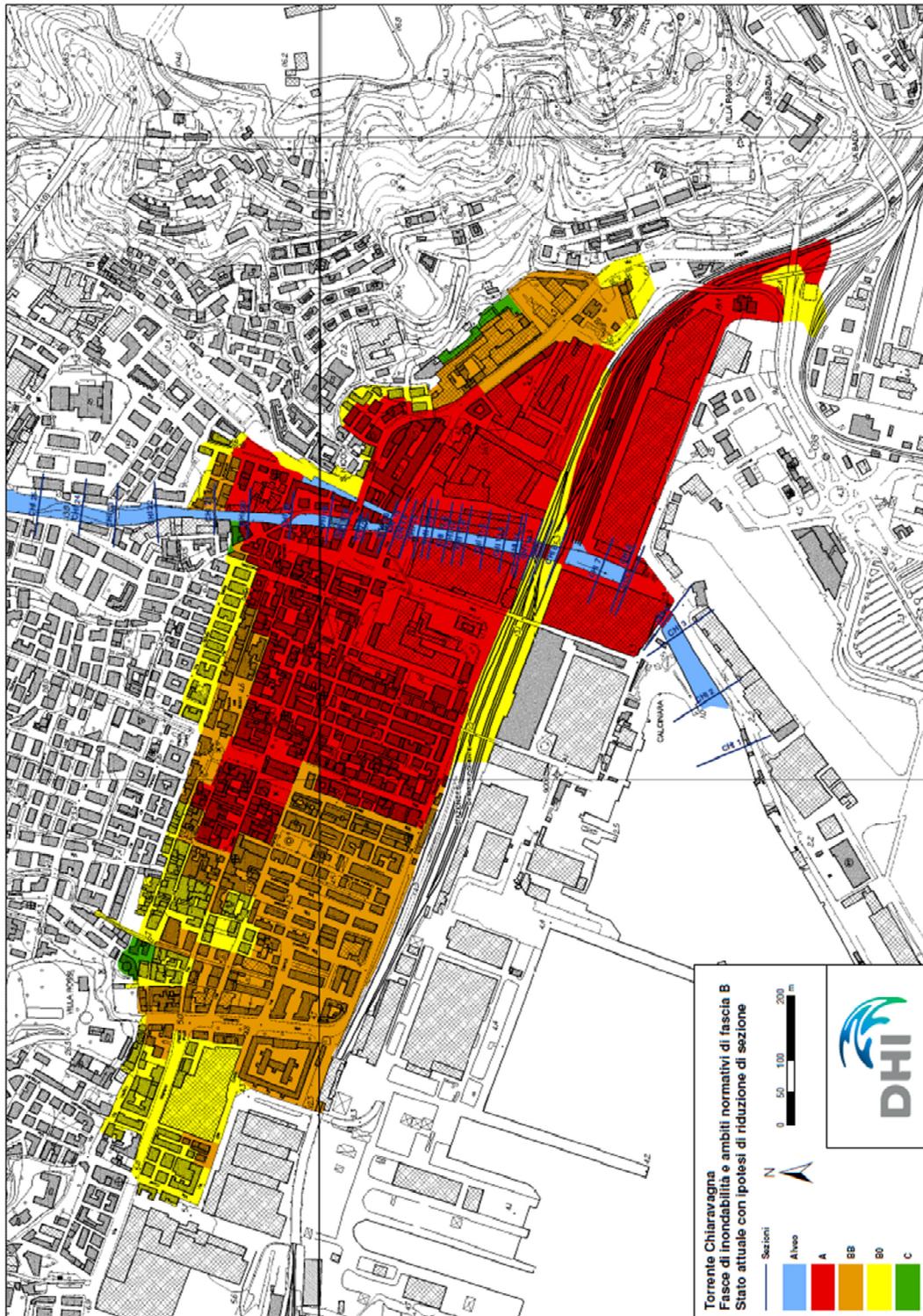


Figura 3.14 Torrente Chiaravagna – Fasce di inondabilità e ambiti normativi di fascia B proposti a seguito dell'applicazione del criterio di riduzione delle sezioni proposto.

## 4 Analisi idraulica nella configurazione di progetto

### 4.1 Premessa

Nel presente Capitolo, contestualmente agli approfondimenti richiesti dal Comitato Tecnico di Bacino, si presentano alcune ulteriori analisi idrauliche di interesse del Comune di Genova. La finalità principale è valutare, conformemente con la metodologia esposta nel precedente Cap. 3, la pericolosità idraulica del torrente Chiaravagna a seguito della realizzazione di una serie di interventi, di prossima esecuzione, con la conseguente valutazione delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi di fascia B di cui richiedere ripermetrazione preventiva ai sensi della norma tipo dei Piani di bacino (art.15 c.7), approvata con DGR 1265/2011 e s.m.i.; oltre che di quanto specificato nella DGR 894/2010, recante indirizzi procedurali e modalità operative per il funzionamento dell'Autorità di Bacino Regionale relativi alle istanze di varianti ai piani di bacino vigenti, con particolare riferimento al Par 2.4 dell'Allegato, relativo alle "riperimetrazioni preventive".

Successivamente sono mostrati ulteriori approfondimenti su configurazioni progettuali riferibili a orizzonti temporali più lontani, per le quali si risponde anche alle osservazioni espresse in merito dal Comitato Tecnico di Bacino.

Ai fini di un inquadramento e razionalizzazione delle configurazioni progettuali prese in esame, nel seguito del Capitolo le stesse sono state così definite:

- Scenario a breve termine: configurazione di progetto che considera la realizzazione di tutti gli interventi ad oggi finanziati e che presumibilmente vedrà la sua effettiva concretizzazione nei prossimi anni, indicativamente a fine 2018;
- Scenario a medio termine: configurazione di progetto che prende in considerazione l'ipotesi di realizzazione dell'intervento di abbassamento del fondo dell'alveo di tutto il tratto terminale del torrente Chiaravagna, corrispondente alla definitiva sistemazione idraulica del corso d'acqua già presa in esame nei precedenti incarichi;
- Scenario a lungo termine: analisi idraulica basata sull'evoluzione morfologica di lungo periodo della configurazione progettuale denominata di "medio termine" e comprensiva dell'intervento di abbassamento del fondo dell'alveo, così come implementata nei precedenti incarichi della ex Provincia e per la quale sono state specificatamente richieste dal Comitato Tecnico di Bacino ulteriori analisi di approfondimento.

### 4.2 Scenario a breve termine

#### 4.2.1 Definizione dell'assetto del corso d'acqua nella configurazione di progetto

La configurazione di progetto presa in esame e denominata "a breve termine" si differenzia da quella di stato attuale, considerata nel Cap. 3, per l'inserimento dei seguenti interventi, di cui si dettaglia di seguito il relativo stato di avanzamento stimato, sulla base delle attuali previsioni del Comune di Genova.

- Interventi ad oggi già conclusi e collaudati, non considerati nella configurazione attuale poiché riferita al 2014: demolizione del ponticello Piaggio e realizzazione della vasca di sedimentazione di monte.
- Rifacimento del ponte obliquo di Via Chiaravagna: intervento finanziato, eseguita la progettazione definitiva, in attesa del parere di competenza da parte del C.T.B., stima di avvio dei lavori nel Gennaio 2017 con conclusione degli stessi nel Gennaio 2018.

- Rifacimento del ponte di Via Giotto: intervento finanziato, eseguita la progettazione definitiva, stima di avvio dei lavori nel Luglio 2016 con conclusione a fine 2017.
- Intervento nel nodo di confluenza con il rio Ruscarolo, comprensivo del rifacimento del ponte di Via Manara e dell'ampliamento della sezione defluente presso l'edificio ELSAG (complessivi 2 lotti di intervento): lavori in corso di esecuzione con conclusione stimata a fine 2016 (non considerando alcune componenti dell'intervento non inerenti alla sezione idraulica di deflusso).
- Intervento di ampliamento della sezione defluente nel tratto adiacente allo stabilimento ILVA: intervento finanziato, eseguita la progettazione definitiva, stima di avvio dei lavori nel Marzo 2016 con conclusione degli stessi a fine 2017.
- Intervento di ampliamento della sezione defluente presso la tombinatura sottostante allo stabilimento Piaggio: intervento finanziato, eseguita la progettazione definitiva, stima di avvio dei lavori nel Gennaio 2017 con conclusione degli stessi a fine 2018.

E' opportuno specificare che tutti gli interventi citati erano già stati considerati nel precedente studio, affidato dalla ex Provincia, per i quali erano state fornite dall'Ente tutte le informazioni a livello di progettazione definitiva, in totale analogia con la presente analisi. Negli elaborati prodotti in tale incarico erano specificati nel dettaglio gli estremi di tutti i Progetti Definitivi consultati e in questa analisi riconfermati.

Inoltre, poiché tra gli interventi considerati non è presente quello di abbassamento del fondo dell'alveo, considerata nel successivo scenario "a medio termine", a fini cautelativi sono stati considerati gli interventi sopracitati solo in termini di nuove geometrie degli impalcati degli attraversamenti e in generale di nuove sezioni di deflusso, mantenendo però sempre una quota di fondo corrispondente a quella dello stato attuale.

A tal proposito è opportuno specificare che mentre per alcuni interventi, già a livello di progettazione, risulta esplicitamente definita la volontà di ripristinare le attuali quote di fondo, in altri, aventi per oggetto il tratto più prossimo alla foce del corso d'acqua (cioè quelli riferiti ai tratti adiacenti agli stabilimenti ILVA e Piaggio), i rispettivi progetti prevedono esplicitamente l'abbassamento della quota di fondo alveo al livello previsto nella sistemazione definitiva del progetto preliminare del 2001, abbassamento in questa sede cautelativamente non considerato.

#### 4.2.2 Riperimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità

A partire dalla definizione della configurazione di progetto specificata nel paragrafo precedente, sono state condotte le analisi idrauliche coerentemente con quanto illustrato nel precedente Cap. 3 in riferimento alla configurazione attuale. In particolare è stato adottato lo stesso criterio di parzializzazione delle sezioni e impiegata la stessa metodologia in termini di definizione del modello idrodinamico accoppiato mono-bidimensionale MIKE FLOOD e di eventi di piena del torrente Chiaravagna di cui valutare il deflusso in alveo e gli allagamenti nel territorio circostante, rispettivamente con tempo di ritorno pari a 50 e 200 anni.

Di seguito sono sinteticamente riportati, mediante alcune immagini, i risultati delle simulazioni idrauliche, mentre nell'Allegato A sono riportate in tabella i valori delle principali grandezze idrodinamiche in alveo in corrispondenza delle sezioni. Dal punto di vista dei risultati in alveo del modello monodimensionale, la seguente Figura 4.1 rappresenta i profili di corrente che si realizzano per i due eventi di piena considerati.

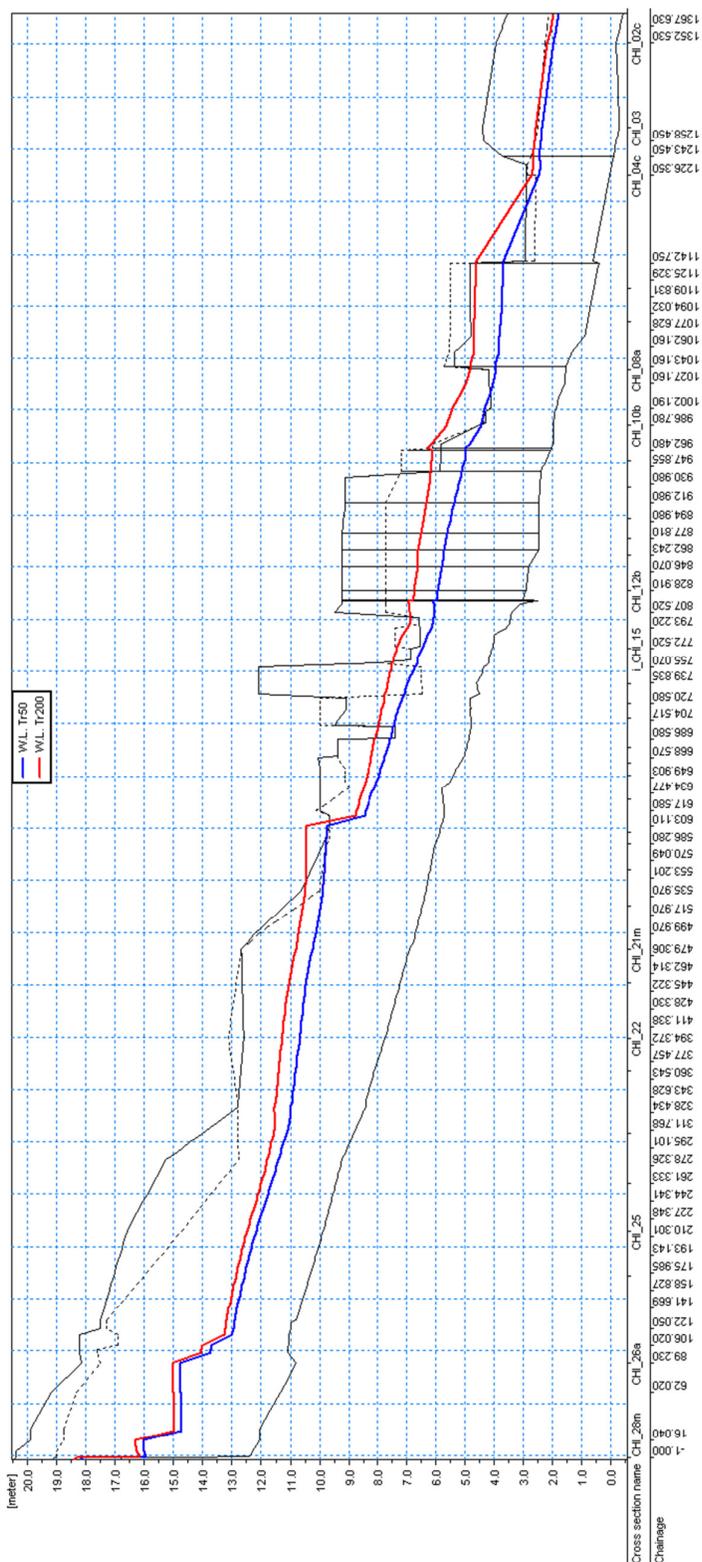


Figura 4.1 Torrente Chiaravagna – Profili di corrente nella configurazione di progetto denominata “a medio termine”, con applicazione del criterio di parzializzazione delle sezioni, per un evento di piena con tempo di ritorno 50 anni (con linea blu) e 200 anni (con linea rossa). Le altre linee presenti rappresentano: in linea nera continua il profilo di fondo e quello di sponda destra, in linea nera tratteggiata quello di sponda sinistra.

Le seguenti immagini rappresentano invece, in riferimento al dominio bidimensionale, i valori di tiranti idrici e velocità di scorrimento che si realizzano nel tessuto urbano circostante al torrente Chiaravagna, per i due eventi di piena analizzati.

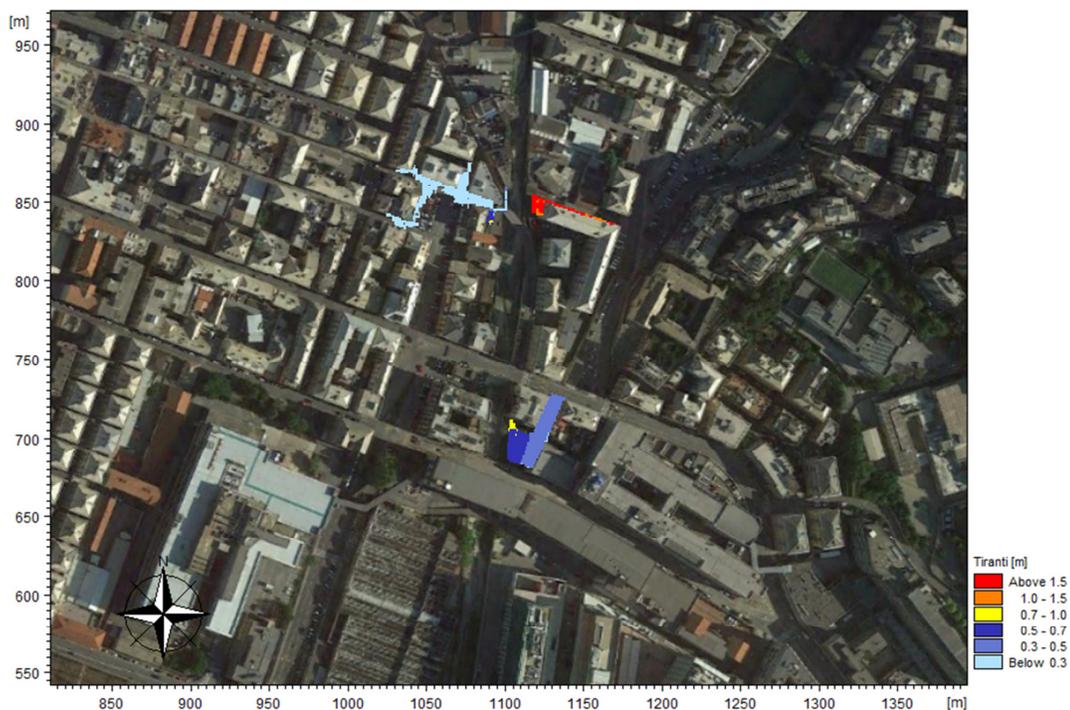


Figura 4.2 Torrente Chiaravagna – Massimi tiranti degli allagamenti con tempo di ritorno 50 anni nella configurazione di progetto con sezioni parzializzate.

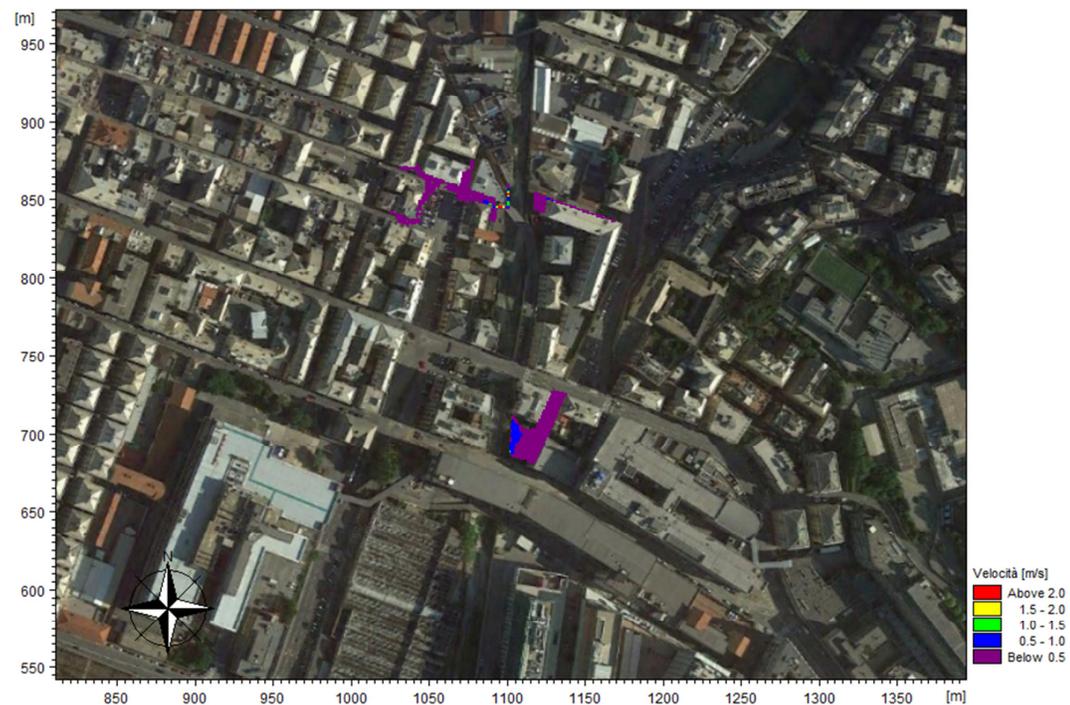


Figura 4.3 Torrente Chiaravagna – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti con tempo di ritorno 50 anni nella configurazione di progetto con sezioni parzializzate.

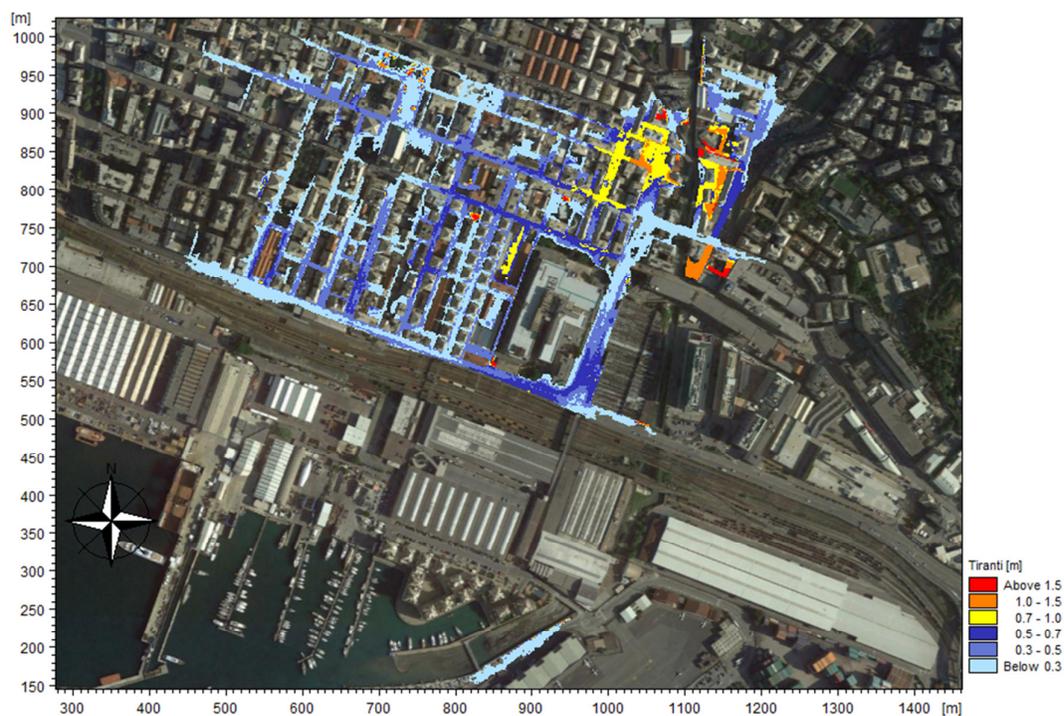


Figura 4.4 Torrente Chiaravagna – Massimi tiranti degli allagamenti con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione di progetto con sezioni parzializzate.



Figura 4.5 Torrente Chiaravagna – Massime velocità di scorrimento degli allagamenti con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione di progetto con sezioni parzializzate.

A titolo informativo è opportuno specificare che, preliminarmente alle analisi idrauliche con parzializzazione delle sezioni, sono state condotte le stesse con sezioni inalterate, verificando l'inadeguatezza del franco idraulico, da cui la necessità di procedere con la riduzione delle

sezioni conformemente con il criterio definito nella configurazione di stato attuale. A titolo esemplificativo si mostra nella seguente Figura 4.6 gli allagamenti dell'evento duecentennale, a testimonianza del fatto che, in assenza di riduzione delle sezioni, entrambi gli eventi con tempo di ritorno 50 e 200 anni nella configurazione di progetto risultano sostanzialmente contenuti in alveo. Gli allagamenti visibili nell'immagine si riferiscono infatti alla confluenza con il rio Ruscarolo e di fatto risultano circoscritti ad aree non appartenenti al tessuto urbano.



Figura 4.6 Torrente Chiaravagna – Massimi tiranti degli allagamenti con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione di progetto senza parzializzazione delle sezioni.

In analogia a quanto svolto per la configurazione attuale, a seguito dell'applicazione del criterio definito nell'Allegato 1 alla D.G.R. del 1/02/2013 già citato al Par. 3.2, a partire dai risultati delle simulazioni idrauliche effettuate è possibile elaborare una proposta di fasce di inondabilità e di ambiti normativi di fascia B del torrente Chiaravagna, da considerarsi come proposta di ripermimetrazione preventiva a seguito del completamento degli interventi citati al precedente Par. 4.2.1, ai sensi della DGR 1265/2011 (art.15 c.7) e s.m.i. e della precedente DGR 894/2010.

In particolare, sulla base delle stime di cronoprogramma dei lavori riportati in precedenza, tale configurazione di progetto potrebbe concretizzarsi indicativamente ad inizio 2019, entro cui tutti gli interventi citati potrebbero risultare conclusi e collaudati, con data di avvio lavori dell'ultimo intervento stimata nel Gennaio 2017 (Piaggio e ponte Via Chiaravagna).

Le proposte di fasce di inondabilità e ambiti normativi di fascia B per i quali si richiede la ripermimetrazione preventiva sono sinteticamente illustrate in Figura 4.7 e più dettagliatamente rappresentate nella tavola in ALLEGATO D.

Al riguardo è opportuno specificare che non si è proceduto ad alcun aggiornamento della fascia C, che risulta pertanto analoga alla proposta relativa alla configurazione attuale, nonostante gli interventi di sistemazione idraulica considerati.

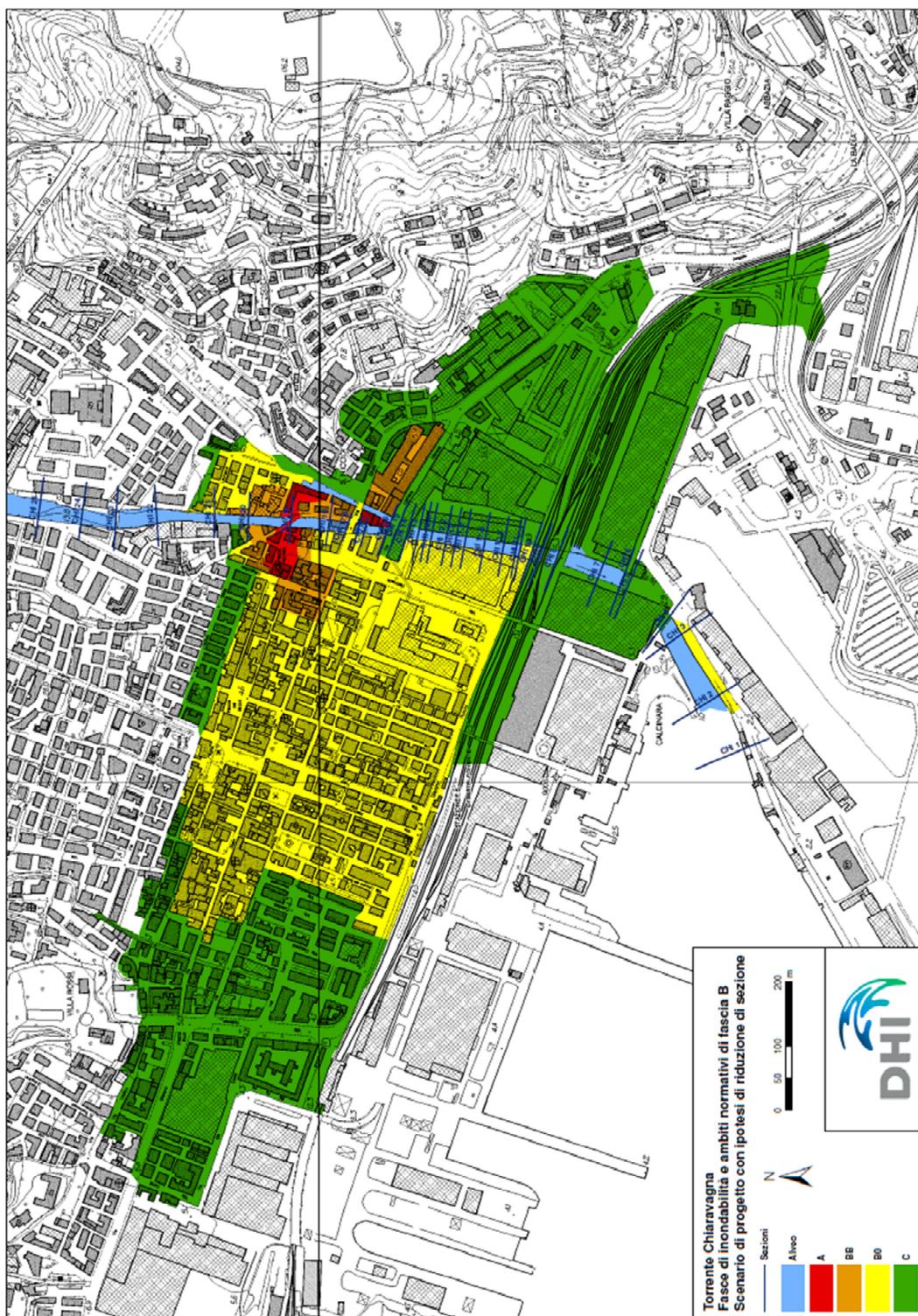


Figura 4.7 Torrente Chiaravagna – Fasce di inondabilità e ambiti normativi di fascia B proposti per la ripermimetrazione preventiva e riferiti alla configurazione di progetto denominata “a breve termine”.

### 4.3 Scenario a medio termine

In appendice alle analisi idrauliche svolte nello scenario a breve termine, è di interesse del Comune di Genova investigare la conformazione che le fasce di inondabilità potrebbero assumere nell'ipotesi di realizzazione di tutti gli interventi previsti per la definitiva messa in sicurezza del torrente Chiaravagna, così come originariamente ipotizzato nel progetto preliminare del 2001 e, con i dovuti aggiornamenti, già analizzati dai tecnici DHI nell'estensione dell'incarico affidato in precedenza dall'ex Provincia. Questa configurazione progettuale, denominata nel presente elaborato come scenario "a medio termine", si differenzia da quanto descritto nel precedente Par. 4.2 essenzialmente per la sola aggiunta dell'intervento di abbassamento del fondo, che ad oggi non risulta ancora finanziato.

Nel precedente incarico, a proposito della configurazione di progetto definitiva, si era verificato come anche l'evento duecentennale defluisca in alveo mantenendo un franco idraulico superiore al metro in tutte le sezioni. Svolgendo una valutazione di maggior dettaglio, è possibile differenziare tale analisi a partire dalla più complessa definizione del franco idraulico definita nei criteri dell'Autorità di Bacino Regionale della Liguria rispetto alle nuove opere, secondo i quali occorre in primo luogo quantificare l'entità del carico cinetico da confrontare con i valori di franco idraulico riportati in tabella, in secondo luogo differenziare la sua entità tra sezioni con difese spondali, per le quali il valore di riferimento è 50-100 cm, ponti e attraversamenti fino a 12 m di estensione longitudinale, per i quali è 100-150 cm, ed infine ponti o tombinature di estensione maggiore ai 12 m, per i quali vale 150-200 cm.

In questa sede si è pertanto valutata la capienza certa in alveo della portata di massima piena, valutando l'entità del franco idraulico con un'ulteriore differenziazione tra la tipologia delle diverse sezioni e relativi manufatti presenti (sponde, attraversamenti, ecc.), ritenendo tale capienza accertata se i franchi idraulici risultano non solo superiori al metro, ma anche ai valori maggiori che, per svolgere un parallelismo con un criterio espresso dall'AdB pur se in un diverso contesto, vengono richiesti per la verifica delle nuove opere in presenza di attraversamenti. In questi termini si mantiene l'approccio dell'AdB nel considerare adeguati tali valori se, presso gli attraversamenti, risultano soddisfatti per almeno 2/3 della luce e comunque per almeno 40 m, nel caso di luci di ampiezza superiore.

Nel caso in esame, osservando in particolare le tabelle poste nell'Allegato A dell'Elaborato 22800898-01-00201, si può verificare in primo luogo la minor entità del carico cinetico rispetto ai valori di franco idraulico sopra specificati per tutte le sezioni; in secondo luogo, il soddisfacimento del criterio di valutazione della capienza certa dell'alveo in tutte le sezioni anche per l'evento con tempo di ritorno 200 anni. Al riguardo è opportuno specificare, mantenendo il parallelismo con il criterio di verifica delle nuove opere dell'AdB, come vi siano alcune sezioni che non rispettano pienamente i valori massimi espressi, rispettando tuttavia quelli minimi chesi ritiene possano pienamente considerarsi applicabili nella configurazione di sistemazione definitiva del tratto terminale del Chiaravagna, in considerazione del ridotto apporto di trasporto solido per effetto della vasca di sedimentazione, il generale elevato livello di sistemazione idraulica e gli ampi franchi (spesso superiori ai 2 metri) nel tratto a cavallo delle sezioni con valori ridotti.

In conclusione si può ritenere che, in questa configurazione progettuale definita "di medio termine" del torrente Chiaravagna, le condizioni di deflusso della portata di massima piena in alveo siano da considerarsi assicurate, senza la necessità di introdurre ulteriori coefficienti di sicurezza così come invece effettuato rispetto alla configurazione attuale (secondo la metodologia descritta nel precedente Cap.3).

Di conseguenza è pertanto possibile affermare che in tale configurazione non verrebbe più perimetrata in fascia di inondabilità A e B alcuna area del territorio circostante, per effetto del torrente Chiaravagna. Non si è proceduto invece ad alcun aggiornamento della fascia C, che pertanto rimarrebbe l'unica presente, come sinteticamente illustrato in Figura 4.8 e più dettagliatamente rappresentato nella tavola in ALLEGATO D.

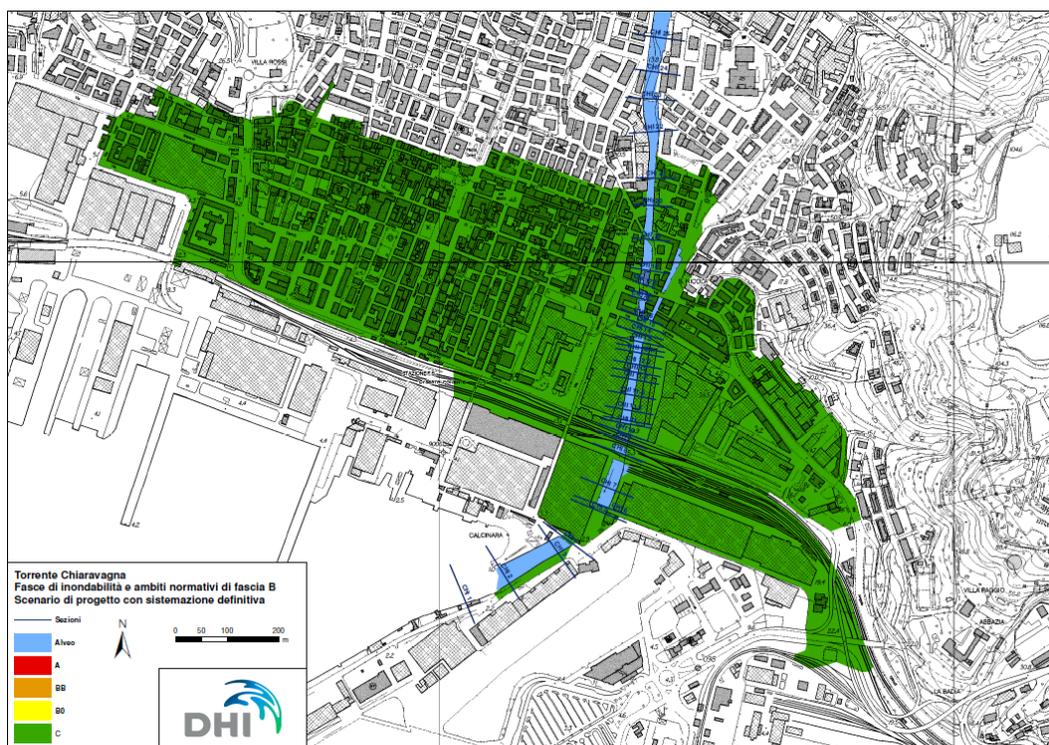


Figura 4.8 Torrente Chiaravagna – Ipotesi di fasce di inondabilità e ambiti normativi di fascia B nella configurazione di progetto di definitiva sistemazione del corso d'acqua.

#### 4.4 Analisi idraulica a lungo termine con evoluzione del fondo alveo

Nella seduta del 28/01/2016 del Comitato Tecnico di Bacino, alla quale ha fatto seguito la lettera Prot. PG-2016-0023453 del 05/02/2016 del Dipartimento Ambiente della Regione Liguria e trasmessa al Comune di Genova, è emersa la necessità di un ulteriore approfondimento relativo all'intervento previsto nel progetto preliminare del 2001 di abbassamento del fondo per un tratto rilevante del corso d'acqua, per il quale erano stati condotte analisi dettagliate nel precedente incarico della ex Provincia affidato ai tecnici DHI. In esso, oltre a verificare l'effettiva definitiva messa in sicurezza del corso d'acqua a seguito di tutti gli interventi previsti, abbassamento del fondo compreso, era stata condotta un'analisi morfologica con cui stimare l'evoluzione di lungo periodo del fondo dell'alveo, con particolare riferimento ai fenomeni di erosione e deposito dei sedimenti.

Il profilo di lungo periodo del fondo del corso d'acqua, nello studio citato, era stato determinato mediante un'analisi morfologica a fondo mobile, realizzata a partire dai dati idrologici del periodo 2001-2014, con i quali è stata costruita una serie pseudo-storica di portate, caratterizzata dai 5 colmi di piena principali e una ventina di piene ordinarie rappresentative ai fini morfologici dei circa 13 anni di dati idrologici, ai quali è stato escluso l'evento estremo del 2010 poiché avrebbe alterato la stima dell'evoluzione morfologica del corso d'acqua. Inoltre tale analisi è stata condotta nell'ipotesi di due configurazioni, in cui la vasca di sedimentazione di monte risultasse rispettivamente vuota o piena di sedimenti, cioè regolarmente mantenuta e pienamente efficiente oppure con capacità nulla di trattenere sedimenti per assenza di manutenzione.

La richiesta del Comitato Tecnico di Bacino consiste pertanto nel condurre un'ulteriore analisi idraulica con il profilo di fondo di lungo periodo determinato in assenza di manutenzione della vasca di sedimentazione, con il quale determinare il profilo di corrente, e gli eventuali relativi allagamenti, per gli eventi ad assegnato tempo di ritorno di riferimento.

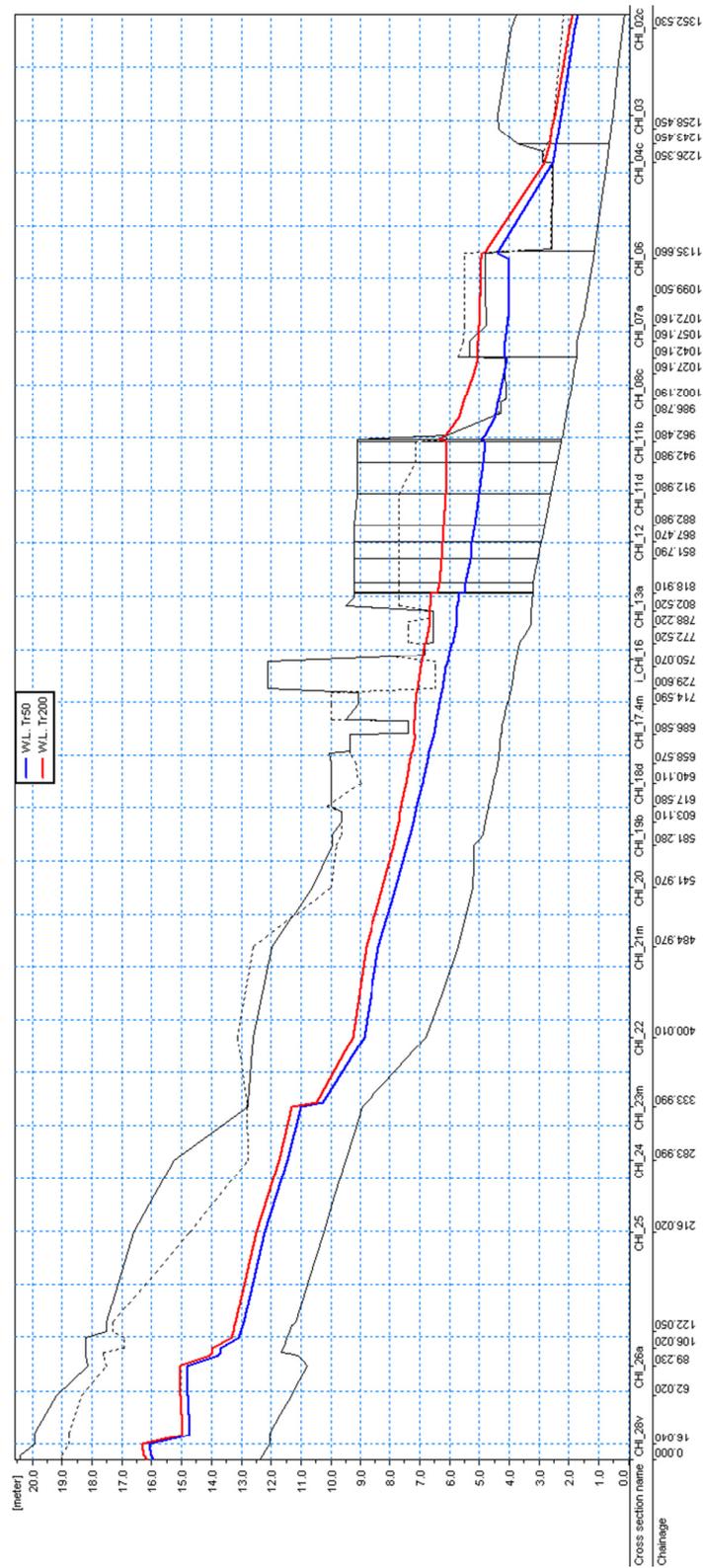


Figura 4.9 Torrente Chiaravagna – Profili di corrente nella configurazione di lungo periodo degli eventi con tempo di ritorno 50 anni (in blu) e 200 anni (in rosso). Le altre linee presenti rappresentano: in linea nera continua il profilo di fondo e quello di sponda destra, in linea nera tratteggiata quello di sponda sinistra.

La Figura 4.9 mostra i profili di corrente degli eventi con tempo di ritorno 50 e 200 anni nella configurazione di lungo periodo, mentre la seguente Figura 4.10 rappresenta gli allagamenti determinati per l'evento duecentennale.

I risultati evidenziano come l'evento di piena cinquantennale, pur non rispettando i valori di sicurezza del franco idraulico, risulta completamente contenuto in alveo, mentre quello duecentennale mostra localmente dei sormonti spondali, anche se circoscritti a brevi tratti e, conseguentemente, degli allagamenti. In Allegato A sono mostrati in forma tabellare i risultati dell'analisi idraulica dei due eventi di piena.



Figura 4.10 Torrente Chiaravagna – Massimi tiranti degli allagamenti con tempo di ritorno 200 anni nella configurazione di lungo periodo.

La seguente Figura 4.11 mostra invece un interessante confronto, in termini sia di profilo di corrente dell'evento duecentennale, sia di profilo di fondo alveo, tra tre diverse configurazioni: lo stato attuale, la configurazione di progetto definitiva con abbassamento del fondo (denominata in questo elaborato anche come "a medio termine") ed infine la stessa configurazione di progetto ma a seguito dell'evoluzione morfologica di lungo periodo, così come determinata nello studio precedente in assenza di manutenzione della vasca di sedimentazione.

In riferimento all'approfondimento richiesto dal Comitato Tecnico di Bacino, sulla base dei seguenti risultati è possibile affermare che, ad esempio con riferimento all'evento duecentennale, per ampia parte del tratto in esame ed in particolare fino approssimativamente agli attraversamenti di via Albareto e della linea ferroviaria, il profilo di corrente risulta ancora significativamente minore rispetto a quello della configurazione attuale, con l'assenza di allagamenti pur senza il rispetto dei franchi idraulici di sicurezza. Al contrario nel tratto più a valle, approssimativamente dalla linea ferroviaria alla foce, l'assenza di manutenzione della vasca porterebbe sul lungo periodo ad avere un profilo di fondo che comporterebbe livelli di piena prossimi a quelli attuali, vanificando gli effetti dell'intervento di abbassamento del fondo.

Complessivamente, tuttavia, i benefici di tale intervento si manterrebbero comunque rilevanti, anche in assenza di manutenzione, per un ampio tratto del corso d'acqua e per un significativo numero di anni.

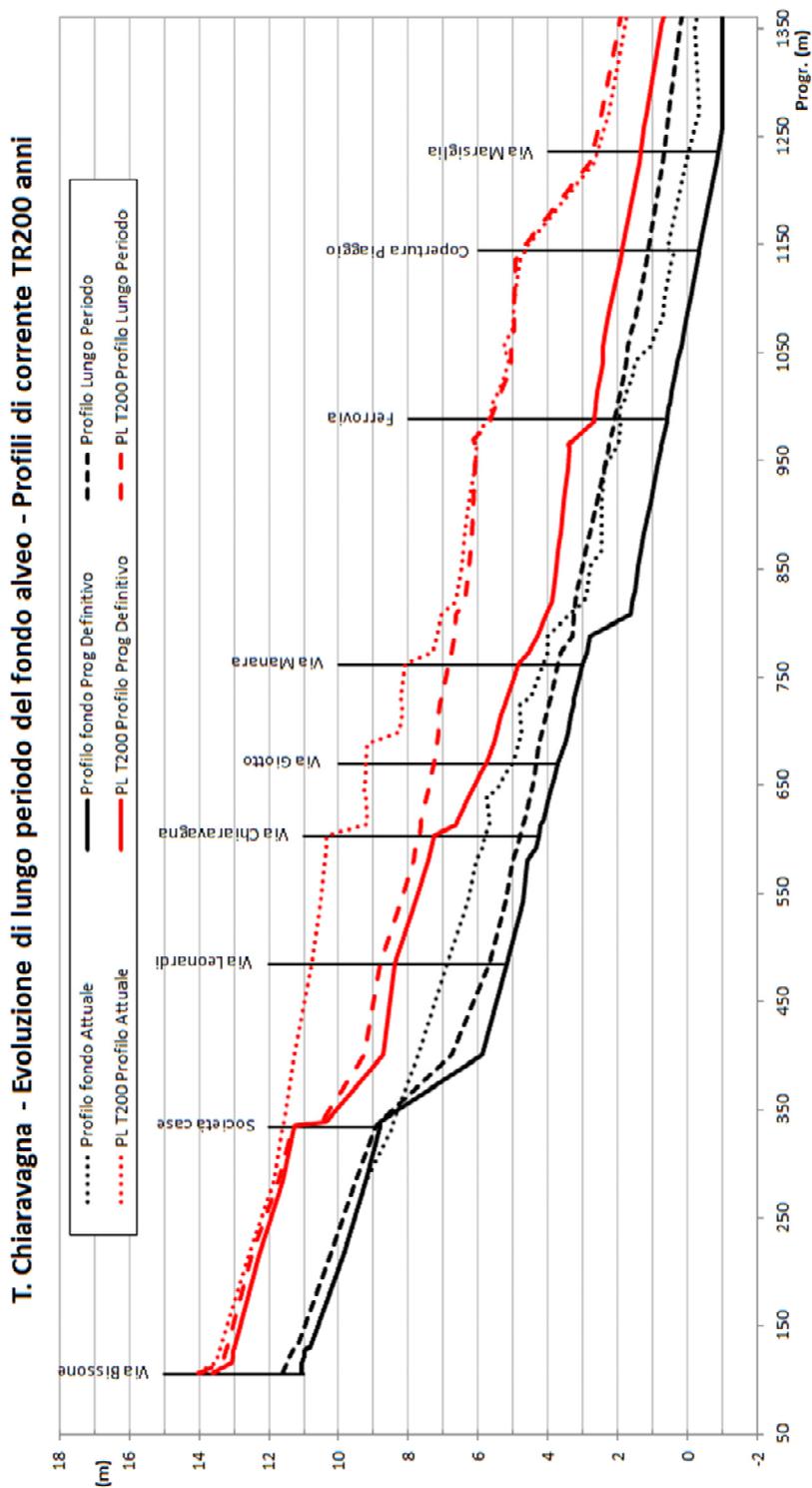


Figura 4.11 Torrente Chiaravagna – Profili di fondo e di corrente dell'evento duecentennale nelle tre configurazioni geometriche: stato attuale (linea punteggiata), configurazione definitiva di progetto (linea continua), configurazione di lungo periodo (linea tratteggiata).

## ALLEGATI



## ALLEGATO A

Tabelle idrodinamiche in alveo



Di seguito si riportano le tabelle relative ai valori idrodinamici in alveo per tutti i tratti considerati. Le tabelle riportano le seguenti informazioni:

- Progressiva: valore di posizionamento della sezione trasversale, come distanza progressiva in [m] a partire dall'inizio del tratto;
- ID sezione: identificativo della sezione trasversale;
- PL: livello del pelo libero in [m s.l.m.];
- V: velocità della corrente in [m/s];
- H: valore del carico totale in [m s.l.m.].

**Configurazione attuale con parzializzazione delle sezioni del 10% – Tr = 50 – 200 anni**

PROGR.	ID SEZIONE	Tr = 50 anni			Tr = 200 anni		
		PL	V	H	PL	V	H
[m]		[m sm]	[m/s]	[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]
-49	CHI_29	18.99	4.31	19.94	19.22	4.74	20.36
-1	CHI_28m	18.14	4.67	19.25	18.35	5.09	19.67
0	CHI_28v	14.51	4.12	15.38	14.77	4.58	15.85
5	CHI_27	14.45	2.92	14.88	14.70	3.30	15.26
62.02	CHI_26m	14.01	3.62	14.67	14.27	3.80	15.01
106.02	CHI_26v	13.69	2.54	14.02	14.02	2.69	14.39
116.02	CHI_25	13.29	3.31	13.85	13.55	3.51	14.18
216.02	CHI_24	12.27	4.15	13.15	12.58	4.45	13.59
283.99	CHI_23m	11.54	3.86	12.30	11.92	4.02	12.75
333.99	CHI_23v	11.30	2.57	11.64	11.79	2.58	12.13
337.99	CHI_22	11.26	2.63	11.62	11.75	2.64	12.10
400.01	CHI_21m	11.07	2.78	11.46	11.55	2.79	11.94
484.97	CHI_21v	10.66	3.53	11.29	11.08	3.97	11.88
541.97	CHI_20	10.44	3.18	10.96	10.80	3.64	11.47
581.28	CHI_19c	10.31	3.17	10.82	10.73	3.33	11.30
591.29	CHI_19b	10.29	3.06	10.77	10.73	3.28	11.27
603.11	CHI_19m	10.27	3.10	10.76	10.77	3.11	11.26
613.11	CHI_19v	9.23	3.94	10.02	9.62	3.96	10.42
617.58	CHI_18.5v	9.21	3.90	9.99	9.61	3.92	10.39
640.11	CHI_18d	9.19	3.50	9.81	9.61	3.51	10.24
645.57	CHI_18c	9.21	3.17	9.72	9.63	3.17	10.14
658.57	CHI_18b	9.20	2.96	9.65	9.64	2.98	10.09
668.57	CHI_18a	9.19	2.86	9.60	9.64	2.96	10.09
670.67	CHI_18	9.19	2.82	9.59	9.64	2.92	10.08
686.58	CHI_17.6a	9.17	2.64	9.53	9.70	2.64	10.06
687.58	CHI_17.6m	9.17	2.57	9.51	9.70	2.61	10.05
698.48	CHI_17.4m	8.29	4.60	9.37	8.73	4.88	9.94
699.48	CHI_17.4a	8.27	3.61	8.94	8.71	3.67	9.40
714.59	CHI_17.2	8.19	3.75	8.91	8.66	3.77	9.38
715.59	CHI_17a	8.19	3.75	8.90	8.65	3.77	9.38
725.57	CHI_17	8.19	3.66	8.87	8.67	3.71	9.37
729.6	CHI_16d	8.22	3.19	8.74	8.69	3.30	9.25

PROGR.	ID SEZIONE	Tr = 50 anni			Tr = 200 anni		
		PL	V	H	PL	V	H
		[m sm]	[m/s]	[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]
[m]							
753.6	CHI_16c	8.15	3.35	8.72	8.65	3.39	9.24
761	CHI_16b	8.12	3.39	8.71	8.64	3.39	9.23
761.7	CHI_16	8.12	3.37	8.70	8.64	3.38	9.22
773.02	CHI_15	7.48	4.78	8.64	8.02	4.81	9.20
788.22	CHI_14c	7.26	5.09	8.57	7.81	5.19	9.18
793.22	CHI_14b	7.17	4.42	8.17	7.73	4.56	8.79
793.32	CHI_14a	7.18	4.34	8.13	7.73	4.48	8.76
802.52	CHI_13b	7.10	4.46	8.11	7.65	4.55	8.71
807.52	CHI_13a	7.12	4.33	8.07	7.71	4.40	8.70
808.08	CHI_13	6.84	4.21	7.74	7.32	4.27	8.24
818.91	CHI_12d	6.77	4.04	7.60	7.24	4.04	8.07
820.11	CHI_12c	6.77	4.00	7.58	7.24	4.00	8.06
828.91	CHI_12b	6.71	3.91	7.49	7.18	3.92	7.97
851.79	CHI_12a	6.61	3.66	7.29	7.10	3.67	7.79
867.47	CHI_12	6.60	3.11	7.10	7.10	3.11	7.59
882.98	CHI_11e	6.53	3.20	7.05	7.03	3.20	7.55
912.98	CHI_11d	6.41	3.29	6.96	6.92	3.30	7.47
942.98	CHI_11c	6.30	3.36	6.87	6.82	3.36	7.40
962.48	CHI_11b	6.29	3.15	6.79	6.82	3.20	7.34
964.58	CHI_11a	6.46	2.47	6.77	7.01	2.50	7.33
968.78	CHI_11	6.37	2.65	6.73	6.92	2.66	7.28
986.78	CHI_10b	5.93	2.72	6.31	6.34	2.82	6.75
988.79	CHI_10a	5.86	2.87	6.28	6.31	2.89	6.74
999.79	CHI_09b	5.77	3.13	6.26	6.20	3.20	6.72
1002.19	CHI_09a	5.75	3.17	6.26	6.17	3.25	6.71
1013.19	CHI_08c	5.60	3.17	6.11	6.00	3.45	6.61
1027.16	CHI_08b	5.43	2.80	5.83	5.80	3.05	6.27
1042.16	CHI_08a	5.31	2.73	5.69	5.66	2.99	6.11
1043.16	CHI_07c	5.39	2.18	5.63	5.71	2.30	5.98
1057.16	CHI_07b	5.40	2.04	5.61	5.72	2.24	5.97
1072.16	CHI_07a	5.23	2.63	5.59	5.58	2.73	5.96
1099.5	CHI_07	5.23	2.57	5.56	5.60	2.63	5.95
1135.64	CHI_06a	5.13	2.89	5.55	5.51	2.90	5.94
1135.66	CHI_06	5.13	2.86	5.54	5.51	2.89	5.94
1142.65	CHI_05c	5.05	3.06	5.53	5.43	3.14	5.93
1144.89	CHI_05a	5.07	2.98	5.52	5.42	3.12	5.92
1226.35	CHI_04c	2.69	3.68	3.38	2.79	3.78	3.51
1226.45	CHI_04b	2.69	3.68	3.38	2.79	3.77	3.51
1236.45	CHI_04a	2.59	3.73	3.30	2.69	3.81	3.43
1243.45	CHI_03c	2.56	2.61	2.91	2.65	2.66	3.01
1258.45	CHI_03b	2.48	2.71	2.85	2.57	2.77	2.96
1258.95	CHI_03a	2.48	2.70	2.85	2.57	2.77	2.96
1271.45	CHI_03	2.42	2.73	2.79	2.49	2.84	2.90
1352.53	CHI_02c	1.96	3.13	2.46	2.03	3.25	2.57
1366.53	CHI_02b	1.87	2.96	2.32	1.93	3.09	2.42
1367.63	CHI_02a	1.86	2.94	2.30	1.93	3.07	2.41
1592.52	CHI_01	0.55	0.86	0.59	0.55	0.94	0.59

**Configurazione di progetto nello scenario a breve termine con parzializzazione delle sezioni del 10% – Tr = 50 – 200 anni**

PROGR.	ID SEZIONE	Tr = 50 anni			Tr = 200 anni		
		PL	V	H	PL	V	H
[m]		[m sm]	[m/s]	[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]
-49	CHI_29	18.94	4.46	19.95	19.16	4.89	20.38
-1	CHI_28m	18.14	4.67	19.25	18.35	5.09	19.67
0	CHI_28v	15.93	2.23	16.18	16.15	2.63	16.50
5	CHI_27a	16.02	1.48	16.14	16.27	1.76	16.43
62.02	CHI_27	14.78	1.54	14.90	15.03	1.81	15.19
106.02	CHI_26m	13.69	2.21	13.94	14.02	2.39	14.31
116.02	CHI_26v	13.00	3.32	13.57	13.27	3.52	13.91
216.02	CHI_25	12.18	4.37	13.15	12.48	4.70	13.61
283.99	CHI_24	11.41	4.16	12.29	11.79	4.28	12.72
333.99	CHI_23m	11.01	2.80	11.41	11.56	2.83	11.97
337.99	CHI_23v	10.96	2.91	11.39	11.50	2.93	11.94
400.01	CHI_22	10.68	3.15	11.18	11.28	3.15	11.79
484.97	CHI_21m	10.24	4.08	11.09	10.82	4.27	11.75
541.97	CHI_20	9.88	3.86	10.64	10.49	3.95	11.28
581.28	CHI_19c	9.78	3.40	10.37	10.47	3.42	11.06
591.29	CHI_19b	9.76	3.25	10.30	10.47	3.26	11.01
603.11	CHI_19m	9.75	3.04	10.23	10.47	3.05	10.94
613.11	CHI_19v	8.47	4.34	9.43	8.79	4.64	9.88
617.58	CHI_18.5v	8.42	4.39	9.40	8.74	4.68	9.86
640.11	CHI_18d	8.11	4.95	9.36	8.48	5.14	9.83
645.57	CHI_18c	8.02	4.59	9.09	8.41	4.80	9.58
658.57	CHI_18b	7.86	4.48	8.89	8.29	4.70	9.42
668.57	CHI_18a	7.75	4.45	8.76	8.22	4.68	9.33
670.67	CHI_18	7.73	4.43	8.73	8.20	4.66	9.31
686.58	CHI_17.6a	7.54	4.38	8.52	8.08	4.61	9.16
687.58	CHI_17.6m	7.53	3.85	8.28	8.07	4.53	9.12
698.48	CHI_17.4m	7.43	4.04	8.27	7.95	4.56	9.01
699.48	CHI_17.4a	7.43	4.06	8.26	7.94	4.47	8.96
714.59	CHI_17.2	7.27	4.37	8.25	7.83	4.64	8.93
715.59	CHI_17a	7.26	4.38	8.24	7.83	4.62	8.92
725.57	CHI_17	7.13	4.44	8.14	7.74	4.71	8.87
729.6	CHI_16d	7.07	4.30	8.01	7.73	4.60	8.80
750.07	i_CHI_16c	6.78	4.68	7.90	7.54	4.87	8.75
755.07	i_CHI_16b	6.69	4.86	7.89	7.50	4.91	8.73
760.07	i_CHI_16a	6.61	3.26	7.15	7.47	3.27	8.02
761.7	CHI_16	6.59	3.23	7.12	7.41	3.36	7.99
762.7	i_CHI_15b	6.60	3.06	7.07	7.42	3.31	7.97
772.52	i_CHI_15a	6.44	3.08	6.92	7.32	3.10	7.81
773.02	CHI_15	6.42	3.09	6.91	7.31	3.11	7.80
788.22	CHI_14c	6.27	3.43	6.87	7.13	3.54	7.77

PROGR.	ID SEZIONE	Tr = 50 anni			Tr = 200 anni		
		PL	V	H	PL	V	H
[m]		[m sm]	[m/s]	[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]
793.22	CHI_14b	6.13	3.73	6.84	6.94	3.74	7.65
796.72	CHI_14a	6.09	3.20	6.62	6.88	3.30	7.44
802.52	CHI_13b	6.05	3.28	6.60	6.88	3.29	7.43
807.52	CHI_13a	6.03	3.19	6.54	6.88	3.23	7.41
815.91	i_CHI_12a	6.02	2.95	6.46	6.88	3.08	7.36
818.91	CHI_12d	6.11	2.48	6.42	6.96	2.71	7.33
820.11	CHI_12c	5.96	2.97	6.41	6.77	3.24	7.31
828.91	CHI_12b	5.90	3.12	6.40	6.72	3.31	7.28
851.79	CHI_12a	5.76	3.51	6.38	6.61	3.59	7.27
867.47	CHI_12	5.71	3.29	6.26	6.59	3.62	7.26
882.98	CHI_11e	5.59	3.56	6.23	6.49	3.85	7.25
912.98	CHI_11d	5.36	3.95	6.15	6.32	4.11	7.19
942.98	CHI_11c	5.09	4.04	5.92	6.16	4.17	7.04
962.48	CHI_11b	4.94	3.77	5.66	6.10	3.92	6.88
964.58	CHI_11a	4.98	3.13	5.48	6.27	3.31	6.83
968.78	CHI_11	4.83	2.84	5.24	6.13	3.06	6.60
986.78	CHI_10b	4.43	3.32	4.99	5.58	3.94	6.37
988.79	CHI_10a	4.41	3.23	4.94	5.58	3.92	6.36
999.79	CHI_09b	4.33	3.23	4.86	5.44	4.00	6.25
1002.19	CHI_09a	4.31	3.28	4.85	5.41	3.98	6.21
1013.19	CHI_08c	4.18	3.17	4.69	5.20	4.05	6.03
1027.16	CHI_08b	4.03	3.01	4.49	4.96	3.57	5.61
1042.16	CHI_08a	3.94	3.12	4.43	4.81	3.49	5.42
1043.16	CHI_07c	3.94	2.39	4.23	4.77	3.03	5.24
1057.16	CHI_07b	3.81	2.85	4.22	4.68	3.25	5.22
1072.16	CHI_07a	3.80	2.77	4.19	4.68	2.78	5.07
1099.5	CHI_07	3.72	2.77	4.11	4.63	2.79	5.03
1135.66	CHI_06	3.66	2.63	4.02	4.60	2.75	4.99
1142.65	CHI_05b	3.66	2.57	3.99	4.60	2.65	4.96
1144.89	CHI_05a	3.65	2.52	3.98	4.60	2.60	4.94
1226.35	CHI_04c	2.45	3.12	2.95	2.71	3.49	3.33
1226.45	CHI_04b	2.45	3.11	2.94	2.71	3.49	3.33
1236.45	CHI_04a	2.45	3.09	2.93	2.68	3.50	3.30
1243.45	CHI_03c	2.45	2.10	2.67	2.68	2.50	2.99
1258.45	CHI_03b	2.39	2.25	2.65	2.61	2.53	2.94
1258.95	CHI_03a	2.39	2.24	2.64	2.61	2.53	2.94
1271.45	CHI_03	2.35	2.22	2.60	2.56	2.53	2.89
1352.53	CHI_02c	1.96	2.83	2.37	2.15	3.18	2.67
1366.53	CHI_02b	1.85	3.11	2.34	2.03	3.51	2.66
1367.63	CHI_02a	1.84	3.09	2.33	2.03	3.48	2.64
1592.52	CHI_01	0.55	0.89	0.59	0.55	1.13	0.61

**Analisi idraulica nello scenario a lungo termine con evoluzione fondo – Tr = 50 – 200 anni**

			Tr = 50 anni			Tr = 200 anni		
PROGR.	ID SEZIONE	Quota Fondo	PL	V	H	PL	V	H
[m]		[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]
-49	CHI_29	17.03	18.92	4.53	19.97	19.14	4.96	20.40
-1	CHI_28m	16.8	18.14	4.68	19.25	18.35	5.09	19.67
0	CHI_28v	12.4	15.93	2.24	16.19	16.15	2.63	16.50
5	CHI_27a	12.29	16.03	1.48	16.14	16.27	1.76	16.43
62.02	CHI_27	11.33	14.79	1.55	14.91	15.03	1.81	15.20
106.02	CHI_26m	11.59	13.68	2.52	14.00	13.98	2.72	14.35
116.02	CHI_26v	11.47	13.07	3.64	13.75	13.32	3.86	14.08
216.02	CHI_25	10.23	12.20	4.39	13.19	12.50	4.74	13.64
283.99	CHI_24	9.51	11.45	3.90	12.22	11.75	4.19	12.64
333.99	CHI_23m	8.94	11.01	2.97	11.46	11.31	3.22	11.84
337.99	CHI_23v	8.82	10.26	4.79	11.42	10.48	5.05	11.78
400.01	CHI_22	6.79	8.87	3.34	9.44	9.26	3.55	9.90
484.97	CHI_21m	5.7	8.37	4.54	9.42	8.80	4.59	9.87
541.97	CHI_20	5.23	7.81	4.55	8.86	8.24	4.95	9.49
581.28	CHI_19c	5.17	7.42	4.62	8.50	7.87	4.95	9.12
591.29	CHI_19b	4.88	7.31	4.29	8.24	7.81	4.64	8.91
603.11	CHI_19m	4.8	7.20	4.20	8.10	7.69	4.57	8.75
613.11	CHI_19v	4.73	7.14	4.21	8.04	7.66	4.53	8.71
617.58	CHI_18.5v	4.68	7.10	4.25	8.02	7.63	4.58	8.70
640.11	CHI_18d	4.53	6.90	4.00	7.72	7.46	4.26	8.38
645.57	CHI_18c	4.48	6.86	4.04	7.69	7.43	4.30	8.37
658.57	CHI_18b	4.38	6.76	4.14	7.63	7.34	4.46	8.36
668.57	CHI_18a	4.34	6.69	4.31	7.63	7.27	4.58	8.34
670.67	CHI_18	4.33	6.67	4.34	7.62	7.25	4.55	8.31
686.58	CHI_17.6a	4.27	6.52	4.54	7.57	7.20	4.62	8.28
687.58	CHI_17.6m	4.26	6.51	3.95	7.30	7.20	4.19	8.09
698.48	CHI_17.4m	4.2	6.43	4.00	7.25	7.16	4.25	8.08
699.48	CHI_17.4a	4.19	6.43	3.99	7.24	7.16	4.24	8.07
714.59	CHI_17.2	4.07	6.34	4.00	7.15	7.13	4.26	8.05
715.59	CHI_17a	4.05	6.33	3.98	7.14	7.13	4.24	8.04
725.57	CHI_17	3.96	6.26	4.10	7.12	7.09	4.27	8.02
729.6	CHI_16d	3.93	6.23	4.14	7.11	7.07	4.29	8.01
750.07	i_CHI_16c	3.81	6.11	4.41	7.10	6.95	4.53	8.00
755.07	i_CHI_16b	3.78	6.07	4.50	7.10	6.94	4.53	7.98
760.07	i_CHI_16a	3.75	6.03	2.70	6.40	6.90	2.72	7.27
761.7	CHI_16	3.74	6.03	2.70	6.40	6.90	2.72	7.27
762.7	i_CHI_15b	3.73	6.03	2.64	6.38	6.90	2.66	7.25
772.52	i_CHI_15a	3.64	5.92	2.67	6.29	6.82	2.73	7.20
773.02	CHI_15	3.64	5.88	2.79	6.28	6.79	2.81	7.19
788.22	CHI_14c	3.29	5.79	3.02	6.26	6.68	3.06	7.16
793.22	CHI_14b	3.28	5.77	3.07	6.25	6.67	3.10	7.15

PROGR.	ID SEZIONE	Quota Fondo	Tr = 50 anni			Tr = 200 anni		
			PL	V	H	PL	V	H
[m]		[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]	[m sm]	[m/s]	[m sm]
796.72	CHI_14a	3.27	5.77	2.81	6.18	6.67	2.98	7.12
802.52	CHI_13b	3.26	5.73	2.93	6.17	6.66	2.94	7.10
807.52	CHI_13a	3.25	5.73	2.81	6.13	6.66	2.87	7.08
815.91	i_CHI_12a	3.22	5.69	2.90	6.12	6.64	2.91	7.07
818.91	CHI_12d	3.21	5.69	2.85	6.10	6.64	2.86	7.05
820.11	CHI_12c	3.21	5.50	3.27	6.05	6.39	3.60	7.05
828.91	CHI_12b	3.2	5.45	3.41	6.04	6.34	3.69	7.04
851.79	CHI_12a	3.03	5.30	3.66	5.99	6.26	3.90	7.03
867.47	CHI_12	2.92	5.24	3.70	5.94	6.24	3.91	7.02
882.98	CHI_11e	2.81	5.16	3.84	5.91	6.19	4.01	7.01
912.98	CHI_11d	2.6	5.01	3.81	5.74	6.13	4.04	6.96
942.98	CHI_11c	2.4	4.87	3.76	5.59	6.09	3.97	6.89
962.48	CHI_11b	2.27	4.80	3.78	5.52	6.07	3.96	6.87
964.58	CHI_11a	2.27	4.96	2.50	5.27	6.34	3.19	6.85
968.78	CHI_11	2.2	4.81	2.99	5.26	6.14	3.75	6.85
986.78	CHI_10b	2.1	4.45	3.92	5.23	5.65	4.00	6.47
988.79	CHI_10a	2.09	4.45	3.65	5.12	5.65	4.02	6.47
999.79	CHI_09b	2.03	4.38	3.50	5.01	5.53	4.26	6.46
1002.19	CHI_09a	1.99	4.36	3.52	4.99	5.51	4.27	6.44
1013.19	CHI_08c	1.92	4.27	3.47	4.88	5.37	4.28	6.30
1027.16	CHI_08b	1.84	4.17	3.29	4.72	5.20	4.05	6.03
1042.16	CHI_08a	1.75	4.16	3.29	4.71	5.06	3.90	5.84
1043.16	CHI_07c	1.74	4.16	2.58	4.50	5.06	2.94	5.50
1057.16	CHI_07b	1.73	4.12	2.69	4.49	5.04	2.80	5.44
1072.16	CHI_07a	1.61	4.05	2.91	4.48	4.99	2.92	5.43
1099.5	CHI_07	1.39	4.03	2.93	4.47	4.96	2.96	5.41
1135.66	CHI_06	1.19	4.03	2.87	4.45	4.94	3.00	5.40
1142.65	CHI_05b	1.15	4.39	1.11	4.45	4.91	3.06	5.39
1144.89	CHI_05a	1.16	4.33	1.49	4.44	4.75	3.52	5.38
1226.35	CHI_04c	0.72	2.55	3.49	3.18	2.82	3.87	3.58
1226.45	CHI_04b	0.72	2.55	3.45	3.16	2.82	3.86	3.57
1236.45	CHI_04a	0.68	2.46	3.60	3.12	2.72	3.95	3.52
1243.45	CHI_03c	0.65	2.43	2.41	2.72	2.66	2.71	3.03
1258.45	CHI_03b	0.58	2.35	2.68	2.71	2.57	2.95	3.01
1258.95	CHI_03a	0.57	2.34	2.67	2.71	2.57	2.94	3.01
1271.45	CHI_03	0.53	2.26	2.79	2.66	2.48	3.09	2.96
1352.53	CHI_02c	0.2	1.80	2.97	2.25	1.99	3.31	2.55
1366.53	CHI_02b	0.12	1.69	3.27	2.24	1.88	3.60	2.54
1367.63	CHI_02a	0.12	1.70	3.18	2.21	1.88	3.57	2.52
1592.52	CHI_01	-2.5	0.55	0.75	0.58	0.55	0.94	0.59

### Analisi idraulica nello scenario a lungo termine con evoluzione del fondo – Comparazione tra differenti configurazioni

- Configurazione di Progetto: scenario denominato “a medio termine”.
- Configurazione di Lungo Periodo (L.P.): scenario denominato “a lungo termine”.
- (\*): valori ottenuti per interpolazione

Progr.	Quota fondo Attuale	Quota fondo Progetto	Quota fondo Lungo Periodo	P.L. T200 Config. Attuale	P.L. T200 Config. Progetto	P.L. T200 Config. Lungo Periodo	Diff. Quota fondo Progetto / Attuale	Diff. Quota fondo L.P. / Progetto	Diff. P.L. T200 Progetto / Attuale	Diff. P.L. T200 L.P. / Progetto
(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m)	(m)
106.02	11.06	11.07	11.59	14.02	13.60	13.98	0.01	0.52	-0.42	0.38
116.02	11.06	11.05	11.47	13.54	13.08	13.32	-0.01	0.42	-0.46	0.24
122.05	11.00	11.00	11.39	13.48 (*)	13.04	13.26	0.00	0.39	-0.44	0.21
127.23	11.00	11.00	11.33	13.43 (*)	13.01	13.21	0.00	0.33	-0.42	0.20
130.23	10.80	10.80	11.18	13.40 (*)	12.99	13.19	0.00	0.38	-0.41	0.19
216.02	9.87	9.87	10.23	12.55	12.29	12.50	0.00	0.36	-0.27	0.22
283.99	9.23	9.23	9.51	11.84	11.61	11.75	0.00	0.27	-0.23	0.14
333.99	8.43	8.80	8.94	11.59	11.27	11.31	0.37	0.14	-0.32	0.04
337.99	8.43	8.79	8.83	11.54	10.35	10.48	0.36	0.04	-1.19	0.13
400.01	7.73	5.90	6.79	11.29	8.71	9.26	-1.83	0.89	-2.58	0.55
484.97	6.89	5.20	5.70	10.79	8.38	8.80	-1.69	0.50	-2.41	0.41
541.97	6.31	4.74	5.23	10.51	7.82	8.24	-1.57	0.49	-2.69	0.42
581.28	6.06	4.58	5.02	10.38	7.43	7.87	-1.48	0.44	-2.95	0.44
591.29	5.91	4.35	4.88	10.36	7.34	7.81	-1.56	0.53	-3.02	0.47
603.11	5.81	4.26	4.80	10.37	7.26	7.69	-1.55	0.54	-3.11	0.43
613.11	5.70	4.22	4.73	9.22	6.63	7.66	-1.48	0.51	-2.59	1.04
617.58	5.70	4.15	4.68	9.20	6.58	7.63	-1.55	0.53	-2.62	1.04
640.11	5.78	3.97	4.53	9.23	6.26	7.46	-1.81	0.56	-2.96	1.20
645.57	5.47	3.93	4.48	9.25	6.19	7.43	-1.54	0.55	-3.06	1.24
658.57	5.27	3.82	4.38	9.22	5.99	7.34	-1.45	0.56	-3.23	1.35
670.67	5.00	3.73	4.33	9.21	5.76	7.25	-1.27	0.60	-3.45	1.49
687.58	4.83	3.50	4.26	9.20	5.57	7.20	-1.33	0.75	-3.63	1.62
699.48	4.78	3.41	4.19	8.27	5.47	7.16	-1.37	0.77	-2.80	1.69
714.59	4.80	3.34	4.07	8.19	5.34	7.13	-1.46	0.73	-2.85	1.79
725.57	4.80	3.28	3.96	8.21	5.24	7.09	-1.52	0.68	-2.97	1.85
729.60	4.50	3.25	3.93	8.21	5.20	7.07	-1.25	0.68	-3.01	1.88
761.70	4.15	3.00	3.74	8.09	4.84	6.86	-1.15	0.74	-3.25	2.02
773.02	4.01	2.90	3.64	7.29	4.55	6.79	-1.11	0.74	-2.74	2.23

Progr.	Quota fondo Attuale	Quota fondo Progetto	Quota fondo Lungo Periodo	P.L. T200 Config. Attuale	P.L. T200 Config. Progetto	P.L. T200 Config. Lungo Periodo	Diff. Quota fondo Progetto / Attuale	Diff. Quota fondo L.P. / Progetto	Diff. P.L. T200 Progetto / Attuale	Diff. P.L. T200 L.P. / Progetto
(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m)	(m)
788.22	4.00	2.79	3.29	7.18	4.32	6.68	-1.21	0.50	-2.86	2.36
807.52	3.39	1.63	3.26	7.06	4.07	6.66	-1.76	1.63	-2.99	2.59
820.11	2.98	1.58	3.21	6.65	3.90	6.39	-1.40	1.63	-2.75	2.50
828.91	2.90	1.53	3.20	6.59	3.86	6.34	-1.37	1.67	-2.73	2.48
851.79	2.80	1.41	3.03	6.48	3.77	6.26	-1.39	1.62	-2.71	2.49
867.47	2.45	1.33	2.92	6.44	3.71	6.24	-1.12	1.59	-2.73	2.53
882.98	2.46	1.24	2.81	6.37	3.65	6.19	-1.22	1.57	-2.73	2.54
912.98	2.46	1.06	2.60	6.25	3.54	6.13	-1.40	1.54	-2.72	2.60
942.98	2.38	0.88	2.40	6.10	3.44	6.09	-1.50	1.52	-2.66	2.65
962.48	2.05	0.76	2.27	6.07	3.39	6.07	-1.29	1.51	-2.69	2.69
964.58	2.01	0.75	2.27	6.28	3.42	6.34	-1.26	1.52	-2.85	2.91
968.78	1.95	0.72	2.20	6.15	3.28	6.14	-1.23	1.48	-2.87	2.86
986.78	1.94	0.61	2.10	5.78	2.68	5.65	-1.33	1.49	-3.10	2.97
988.79	1.95	0.60	2.09	5.67	2.68	5.65	-1.35	1.49	-2.99	2.97
999.79	1.92	0.53	2.03	5.60	2.65	5.53	-1.39	1.50	-2.95	2.89
1002.19	1.85	0.52	1.99	5.58	2.64	5.51	-1.33	1.47	-2.95	2.88
1013.19	1.78	0.45	1.92	5.44	2.57	5.37	-1.33	1.47	-2.86	2.79
1027.16	1.58	0.37	1.84	5.27	2.50	5.20	-1.21	1.47	-2.78	2.70
1042.16	1.52	0.29	1.75	5.16	2.42	5.05	-1.23	1.46	-2.74	2.63
1057.16	1.07	0.19	1.73	5.26	2.42	5.04	-0.88	1.54	-2.84	2.62
1072.16	0.88	0.10	1.61	5.00	2.34	4.99	-0.78	1.51	-2.66	2.65
1080.16	0.73	0.05	1.50	4.99 (*)	2.31	4.99	-0.68	1.45	-2.68	2.69
1099.50	0.69	-0.07	1.39	4.96	2.17	4.96	-0.76	1.46	-2.79	2.79
1135.66	0.45	-0.27	1.19	4.79	1.93	4.94	-0.72	1.46	-2.86	3.01
1142.75	0.38	-0.32	1.15	4.70	1.87	4.76	-0.70	1.47	-2.83	2.88
1144.89	0.60	-0.34	1.16	4.69	1.87	4.75	-0.94	1.50	-2.83	2.88
1226.35	0.03	-0.82	0.72	2.66	1.38	2.82	-0.85	1.54	-1.28	1.44
1258.45	-0.18	-1.00	0.58	2.37	1.27	2.57	-0.82	1.58	-1.10	1.30
1271.45	-0.31	-1.00	0.53	2.28	1.19	2.48	-0.69	1.53	-1.09	1.29
1352.53	-0.19	-1.00	0.20	1.80	0.74	1.99	-0.81	1.20	-1.06	1.25
1366.53	-0.32	-1.00	0.12	1.70	0.62	1.88	-0.68	1.12	-1.08	1.26

ALLEGATO B  
MIKE 11 HD  
Descrizione tecnica



## PREMESSA

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

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

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

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

MIKE 11 è costituito dai seguenti moduli:

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

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

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

Di seguito si descrive il codice MIKE 11 HD.

### MODULO IDRODINAMICO (HD)

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

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

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

### DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

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

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

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

### EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

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

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

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

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

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

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

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

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

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 adottata (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 $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$*

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

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

#### *Tipo 6. Strutture mobili*

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

#### *Tipo 7. Ponti*

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

### RESISTENZA D'ATTRITO

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

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

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

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

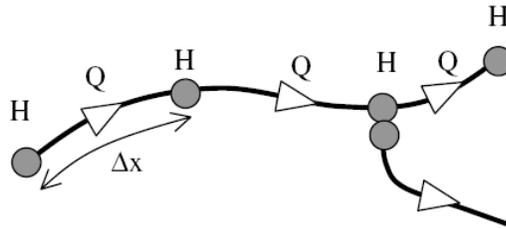
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

### CONDIZIONI INIZIALI

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

### METODO DI SOLUZIONE

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



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

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

### CONDIZIONI AL CONTORNO

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

### DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

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

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

#### 1) Criterio di Courant

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

dove:

- Cr = numero di Courant;
- d = altezza d'acqua media;
- V = velocità media della corrente;
- g = accelerazione di gravità;

$Dt, Dx$  = passi di calcolo.

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

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

#### 2) Criterio della velocità.

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

$$V *Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

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

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



ALLEGATO C  
MIKE 21 HD  
Descrizione tecnica



## PREMESSA

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

### Modulo Idrodinamico (HD)

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

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

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

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

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

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

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

Equazione di conservazione della massa:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

nelle quali:

$h(x,y,t)$  = profondità dell'acqua;

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

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

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

$G$  = accelerazione di gravità;

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

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

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

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

$\rho_w$  = densità dell'acqua;

$x,y$  = coordinate spaziali;

$t$  = tempo;

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

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

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

1. dipendente dal flusso locale:

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

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

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

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

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

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

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

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

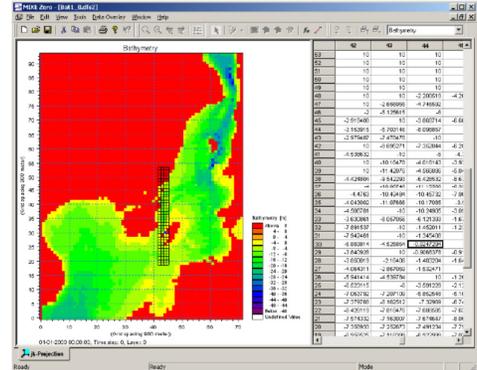
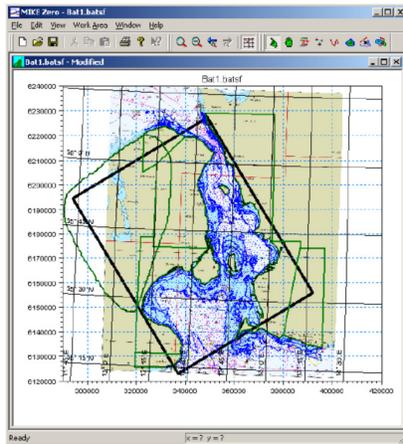
La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m<sup>3</sup>/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m<sup>3</sup>/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

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.

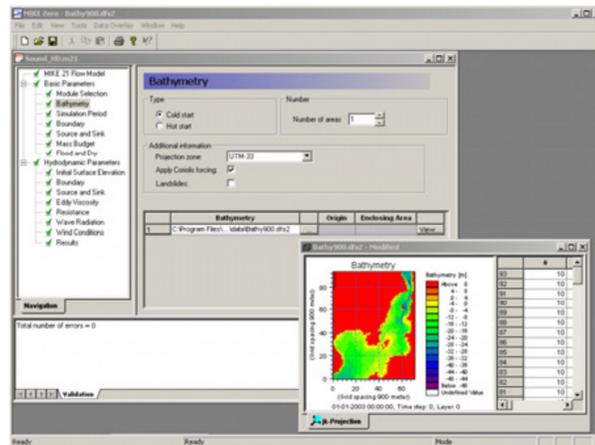
Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione "griglia multipl-nested grid", che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

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'algorithm 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).

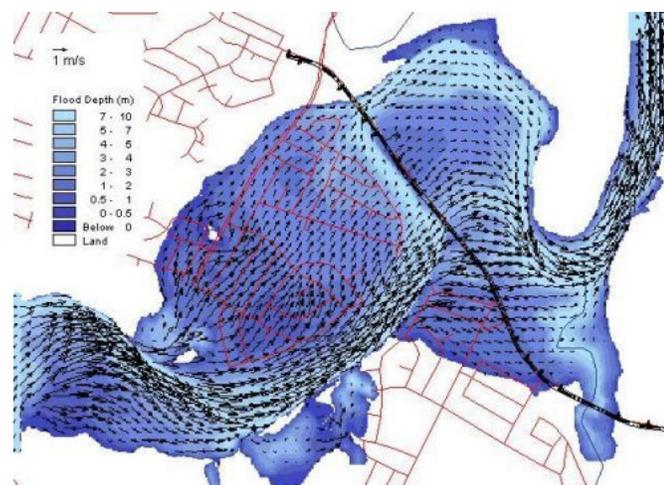


I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed

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.





## ALLEGATO D

### Tavole delle Fasce di inondabilità



Di seguito si riportano le tavole delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi di fascia B del torrente Chiaravagna riferite alle differenti configurazioni analizzate nel presente elaborato. A completamento del quadro informativo, le stesse sono integrate con ulteriori tavole riferite a risultanze di studi e documenti pregressi. In dettaglio sono rappresentate:

1. Fasce di inondabilità pubblicate nel Piano di Bacino attualmente vigente.
2. Proposta di fasce di inondabilità, riferite alla configurazione attuale, elaborata nel precedente incarico affidato dalla ex Provincia ed ottenute sulla base della perimetrazione degli allagamenti per eventi ad assegnato tempo di ritorno senza alcun coefficiente di riduzione delle sezioni.
3. Fasce di inondabilità e degli ambiti normativi di fascia B, riferite alla configurazione attuale e con l'introduzione del coefficiente di riduzione delle sezioni, come illustrato nel Cap. 3 del presente elaborato.
4. Fasce di inondabilità e degli ambiti normativi di fascia B, riferite alla configurazione di progetto denominata "a breve termine" e con l'introduzione del coefficiente di riduzione delle sezioni, come illustrato nel Par. 4.2 del presente elaborato.
5. Fasce di inondabilità e degli ambiti normativi di fascia B, riferite alla configurazione di progetto di sistemazione definitiva, denominata "a medio termine", come illustrato nel Par. 4.3 del presente elaborato.