

Studio idraulico di dettaglio del tratto terminale del Rio Quattro Stagioni (SV)

Relazione idraulica



Consorzio Cooperative Costruzioni –
CCC Società Cooperativa

Relazione Tecnica

Maggio 2021

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





INDICE

1	Premessa	1
1.1	Sopralluogo e descrizione dell'area di studio	2
1.2	Piano di indagine e rilievo topografico	11
2	Schema degli assetti geometrici e dei dati pregressi	11
3	Analisi idrologica	12
3.1	Premessa	12
3.2	Calcolo delle portate di piena.....	12
3.3	Idrogrammi per assegnato tempo di ritorno	13
4	Analisi idraulica.....	16
4.1	Approccio modellistico generale	16
4.2	Schematizzazione dell'alveo	17
4.2.1	Scabrezza idraulica.....	18
4.2.2	Condizioni al contorno	18
4.3	Messa a punto del setup bidimensionale.....	19
4.3.1	Costruzione della griglia di calcolo.....	19
4.3.2	Scabrezza	20
4.4	Accoppiamento modelli 1D-2D	20
4.5	Risultati della modellazione per eventi ad assegnato tempo di ritorno.....	21
4.5.1	TR50	23
4.5.2	TR200	24
4.5.3	TR500	25
4.6	Verifica di scenari di parzializzazione delle sezioni	26
4.7	Risultati della modellazione in caso di parzializzazione delle sezioni	26
4.7.1	TR50	31
4.7.2	TR200	32
4.7.3	TR500	33
5	Proposta di fasce di pericolosità idraulica	34
6	Scenario di intervento – ripristino arginale	36
7	Conclusione.....	39

ALLEGATI

ALLEGATO A – Tabelle delle grandezze idrodinamiche in alveo

ALLEGATO B – MIKE21 HD

Descrizione tecnica

ALLEGATO C – MIKE HYDRO River

Descrizione tecnica

ALLEGATO D – MIKE HYDRO RR UHM

Descrizione tecnica

ALLEGATO E – Fasce di pericolosità idraulica, scenario di parzializzazione

ALLEGATO F – Fasce di pericolosità idraulica, scenario di progetto

1 Premessa

La Cooperativa Consorzio Costruzioni (C.C.C.) ha incaricato DHI Srl dell'esecuzione del presente approfondimento idraulico del tratto terminale del rio Quattro Stagioni, a partire dal tratto subito a monte della tombinatura di via Fratelli Rey fino a mare. Ad oggi, il rio Quattro Stagioni, che da normativa ricade nel Piano di Bacino del rio Molinero, non risulta indagato idraulicamente e non sono state definite le relative fasce di pericolosità idraulica. La finalità generale dello studio è l'individuazione delle aree inondabili del rio Quattro Stagioni mediante l'utilizzo di un modello idraulico bidimensionale, con particolare attenzione alle condizioni di pericolosità idraulica relativa a una porzione di territorio in sponda destra identificata idonea ad un intervento di riqualificazione urbanistica, delineata in Figura 1.1.

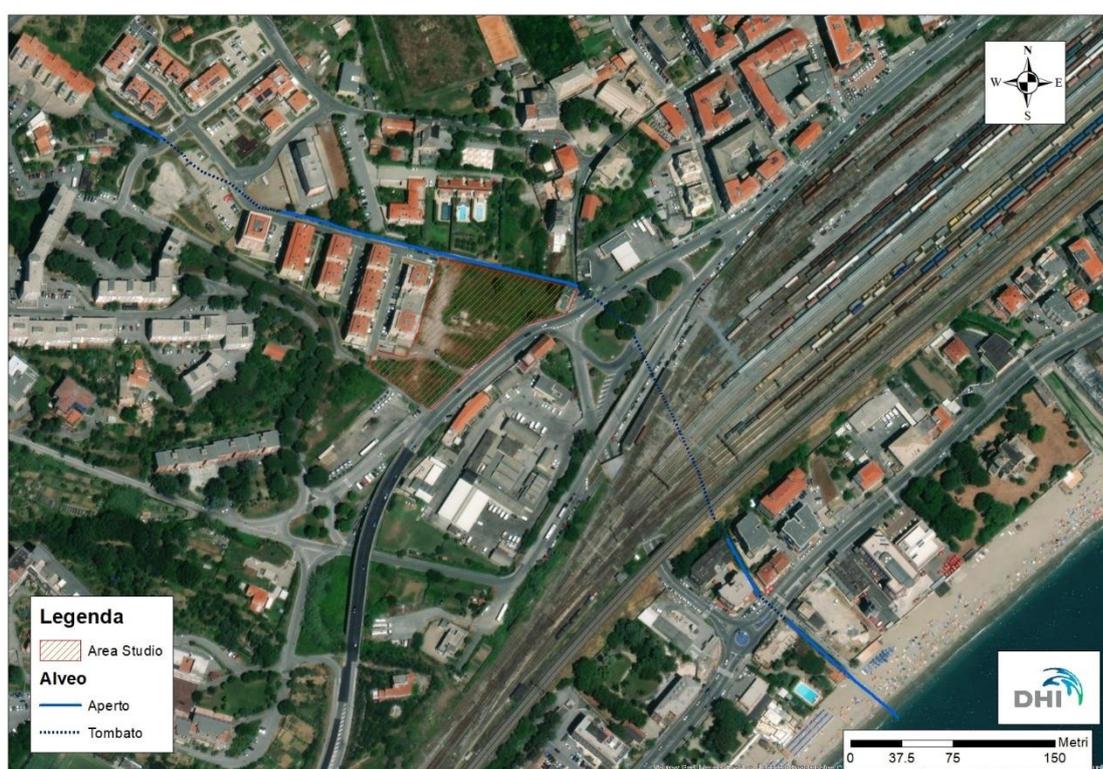


Figura 1.1 Inquadramento del tratto del rio Quattro Stagioni investigato e dell'area di studio.

In dettaglio, le attività previste dall'incarico sono così esplicitate:

- analisi idrologica del bacino del rio Quattro Stagioni, finalizzata al calcolo delle portate al colmo e alla costruzione degli idrogrammi di piena da utilizzare come input al modello idraulico;
- realizzazione di un modello idraulico integrato mono-bidimensionale del rio Quattro Stagioni nella configurazione attuale, con il quale simulare gli eventi di piena con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni;
- generazione delle mappe di tiranti e velocità per diverso tempo di ritorno;
- aggiornamento del modello secondo uno scenario di parzializzazione delle sezioni ed ulteriore analisi idraulica;

- generazione delle mappe di tiranti e velocità per diverso tempo di ritorno in relazione allo scenario di parzializzazione delle sezioni;
- proposta di fasce di pericolosità idraulica in relazione allo scenario di parzializzazione delle sezioni;
- aggiornamento del modello secondo uno stato di progetto che prevede il ripristino del tratto di argine destro danneggiato e di demolizione dell'edificio adiacente al tratto di argine da sistemare ed ulteriore analisi idraulica;
- proposta di fasce di pericolosità idraulica in relazione allo stato di progetto.

1.1 Sopralluogo e descrizione dell'area di studio

Il sopralluogo effettuato dagli scriventi in data 02/02/2021 ha permesso di valutare lo stato attuale del rio e di individuare eventuali elementi condizionanti le dinamiche di deflusso, sia all'interno dell'alveo che sul territorio circostante in caso di esondazioni causate da eventi di piena.

Il tratto del rio Quattro Stagioni oggetto di questo studio presenta una lunghezza di circa 700 m, metà dei quali scorrono al di sotto del manto stradale. Nel suo tratto a cielo aperto, il rio presenta un alveo naturale con geometrie abbastanza regolari e presenza di depositi alluvionali e vegetazione, quest'ultima particolarmente evidente nel tratto a monte della tominatura in corrispondenza della ferrovia e per lo più presso l'arginatura sinistra. Nelle figure seguenti viene presentato il corso del rio partendo da monte fino alla sezione di chiusura a foce.



Figura 1.2 Inizio del tratto studiato del rio Quattro Stagioni, in prossimità di via dell'Oratorio.



Figura 1.3 Imbocco della tombinatura di monte in prossimità di via Ferro.



Figura 1.4 Sbocco della tombinatura di monte in prossimità di via Mangano.



Figura 1.5 Tratto aperto del rio Quattro Stagioni in via Magnano. Si può osservare come questa porzione di alveo presenti una presenza importante di vegetazione.



Figura 1.6 Dettaglio dell'alveo del rio Quattro Stagioni in prossimità di via Magnano.



Figura 1.7 Griglia corrispondente all'inizio della tombinatura centrale del rio Quattro Stagioni, in prossimità di via Silvestre e Allemand.



Figura 1.8 Tratto a valle della tombinatura in prossimità della ferrovia, fotografato da via Nizza. La porzione di destra dell'alveo risulta particolarmente interessata da fenomeni di deposito alluvionale.



Figura 1.9 Tratto terminale del rio Quattro Stagioni, fotografato da via Nizza.

Per quanto riguarda l'area limitrofa al rio e potenzialmente inondabile, durante il sopralluogo è stata annotata la presenza di elementi sovramontanti quali muri e muretti, oltre che alla presenza di cancelli e altre vie di passaggio per il deflusso, in modo da schematizzare in

maniera più accurata possibile la reale conformazione territoriale all'interno del modello numerico. Le foto seguenti mostrano alcuni di questi dettagli rilevati in loco.



Figura 1.10 Muretto presente sul lato destro di via Fratelli Rey.



Figura 1.11 Dettaglio di alcune cancellate e muri divisorii in prossimità di Piazzale Amburgo.

1.2 Piano di indagine e rilievo topografico

L'implementazione del modello idrodinamico del rio Quattro Stagioni si è basata su una serie di dati già disponibili, descritti nel capitolo seguente, a cui è stato ritenuto essenziale integrare ulteriori informazioni al fine di rappresentare al meglio la reale configurazione territoriale. Nello specifico, gli scriventi hanno redatto un piano di indagine dove è stata data indicazione delle aree e dei punti per cui risultava importante un rilievo di dettaglio che restituisse le quote altimetriche con adeguata precisione. Tale rilievo, effettuato dallo Studio Tecnico Prisma nel febbraio 2021 sulla base di quanto indicato piano di indagine riportato in Figura 1.12, ha permesso di ottenere le quote di una nuvola di punti con risoluzione pari a 10 metri relativamente all'area oggetto di riqualificazione urbanistica (poligono evidenziato in rosso in figura), verificare le quote spondali del tratto limitrofo all'area di interesse e rilevare alcune quote lungo le strade individuate come potenziali vie di deflusso per le acque di piena. Il Piano di Indagine è stato riportato con maggiore dettaglio nell'elaborato 22803286-01-00100 già consegnato al Committente.



Figura 1.12 Piano di indagine finalizzato al rilievo topografico sul rio Quattro Stagioni e sul territorio limitrofo.

2 Schema degli assetti geometrici e dei dati progressi

Lo svolgimento del presente approfondimento idraulico ha richiesto in via preliminare l'analisi degli studi e documenti esistenti inerenti al rio Quattro Stagioni, da cui sono state estrapolate informazioni e parametri utilizzati in fase di costruzione del modello idrologico-idraulico. I documenti analizzati sono elencati di seguito:

- Piano di Bacino Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico del rio Molinero (ai sensi dell'art. 1, comma 1, del D.L.180/1998 convertito in L. 267/1998), con ultima variante approvata con DdDG n. 176 del 25/06/2018 in vigore dall'11/07/2018, con particolare riferimento agli allegati delle "Norme di Attuazione".

- Relazione tecnico-illustrativa, redatta dal Dott. Ing. Paolo Gaggero per conto del Consorzio Cooperative Costruzioni C.C.C., denominata "Rilievo, modellazione idraulica e valutazioni conclusive relative all'officialità idraulica del tratto terminale del rio Quattro Stagioni in Savona".

In aggiunta ai suddetti studi, sono stati raccolti i dati geometrici necessari per la corretta rappresentazione del corso d'acqua e dei relativi manufatti di sponda e di attraversamento, oltre che per la definizione dell'altimetria del terreno nelle aree potenzialmente oggetto di allagamento. Come verrà illustrato in dettaglio nei capitoli successivi, le due tipologie di dati citati vengono impiegati per l'implementazione di due distinti modelli idraulici, uno monodimensionale per l'alveo inciso del rio Quattro Stagioni e uno bidimensionale per le aree urbane circostanti.

Per quanto riguarda la componente geometrica monodimensionale, i dati geometrici sono stati acquisiti da un modello implementato in codice HEC-RAS in occasione dello studio idraulico redatto dall'Ing. Gaggero citato precedentemente. Il modello rappresenta l'assetto dell'alveo basato sulle geometrie restituite dal rilievo topografico di dettaglio eseguito sul rio nel 2018, sempre nell'ambito dello stesso studio.

In riferimento al dominio bidimensionale, per la caratterizzazione altimetrica del territorio è stata utilizzata in primo luogo l'informazione topografica ricavata da rilievo LIDAR, reperito dal Ministero dell'Ambiente e caratterizzato da una risoluzione di cella di 1 m su tutto il bacino di studio. L'informazione topografica è stata inoltre dettagliata sulla base del rilievo topografico del territorio descritto nel capitolo precedente.

3 Analisi idrologica

3.1 Premessa

Nel presente capitolo sono riportate le analisi svolte per la determinazione degli idrogrammi di portata, attività propedeutiche alla simulazione idrodinamica della propagazione delle acque di piena in alveo e la loro successiva esondazione sul territorio circostante. Come già detto in precedenza, il rio Quattro Stagioni non risulta indagato dal punto di vista idrologico e idraulico, per cui nel Piano di Bacino non sono specificati i parametri idrologici principali e le portate al colmo per diverso tempo di ritorno.

Nei successivi paragrafi del presente capitolo sono descritte, con particolare riferimento ai dati di input utilizzati, alle ipotesi assunte ed ai risultati ottenuti, le seguenti attività:

- il calcolo delle portate di piena per differente tempo di ritorno, utilizzando la metodologia indicata nel Piano di Bacino del Torrente Molinero;
- la ricostruzione degli idrogrammi di piena per differente tempo di ritorno (TR50, 200 e 500 anni) sul tratto oggetto di studio del rio Quattro Stagioni.

3.2 Calcolo delle portate di piena

Per il calcolo delle portate di piena relative ai tempi di ritorno investigati, si fa riferimento all'allegato 2 delle Norme di Attuazione del Piano di Bacino del rio Molinero, dove viene affermato che: "Per i tratti non indagati e non riportati in relazione si farà riferimento allo Studio sulla caratterizzazione spaziale delle piogge intense e la regionalizzazione delle portate dei corsi d'acqua liguri realizzato dal C.I.M.A dell'Università di Genova per conto della Regione Liguria e datato 1999. Il valore delle portate determinate con il metodo C.I.M.A. per i piccoli

bacini (area compresa tra 0 e 10 Km²) dovrà essere corredato dell'indicazione di tutti i parametri utilizzati per il calcolo.”

Il metodo CIMA prevede che il valore di portata al colmo per dato tempo di ritorno Q_T sia dato dalla formula seguente:

$$Q_T = U_a * K_T * A$$

Dove:

- U_a : contributo unitario per area, espresso in $m^3s^{-1}km^{-2}$, funzione del tipo di bacino e della sua posizione;
- K_T : fattore di frequenza delle portate, funzione del tempo di ritorno;
- A : area sottesa del bacino, espressa in km^2 .

La categoria del bacino viene definita in base alla seguente tabella, estratta dal Piano di Bacino, per cui il bacino del rio Quattro Stagioni è stato classificato come tipo C; in base alla tipologia viene inoltre indicato un valore specifico di Curve Number CN, che verrà utilizzato successivamente nel modello idrologico UHM per la definizione degli idrogrammi di piena.

Tabella 3.1 Classificazione dei bacini idrografici definita del Piano di Bacino del rio Molinero.

tipo	Descrizione	CN
A	Bacini di tipo residenziale, industriale o commerciale caratterizzati da un elevato grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili superiore al 60%.	92
B	Bacini caratterizzati da un medio grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili compresa fra 30% e 60%.	87
C	Bacini caratterizzati da un basso grado di urbanizzazione. Estensione delle aree impermeabili compresa fra 5% e 30%.	75
D	Bacini caratterizzati da estesa copertura arborea. Estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%.	67

La tabella sotto riassume i vari parametri utilizzati per i diversi tempi di ritorno e restituisce le portate al colmo Q_T calcolate, espresse in m^3/s .

Tabella 3.2 Portate al colmo alla sezione di chiusura del bacino del rio Quattro Stagioni.

Calcolo portate di piena (CIMA 1999)			
	TR50	TR200	TR500
U_a	5.8	5.8	5.8
K_t	3.47	5.02	6.04
A	0.91	0.91	0.91
Q_t	18	26	32

3.3 Idrogrammi per assegnato tempo di ritorno

Una volta ottenuti i valori di portate al colmo, si è successivamente proceduto con la definizione degli idrogrammi di piena per differente tempo di ritorno (50, 200 e 500 anni), da utilizzare come condizioni al contorno in ingresso al modello idrodinamico.

Operativamente è stato messo a punto un modello idrologico afflussi-deflussi che implementa il metodo dell'idrogramma unitario, mediante il codice di calcolo MIKE HYDRO River RR – UHM del DHI (di cui è disponibile una descrizione tecnica nell'Allegato D).

Le ipotesi di base per la definizione del modello idrologico sono riassunte in seguito:

- sono stati utilizzati due diversi idrogrammi unitari, ossia quelli adimensionale e triangolare del metodo SCS, al fine di una più approfondita valutazione dei volumi di piena a parità di portata al colmo;
- è stata ipotizzata una portata iniziale di base nulla;
- le perdite idrologiche iniziali sono state calcolate con il metodo SCS a partire dai valori di CN riportati nel Piano di Bacino; il valore di AMC è stato assunto pari a 2;
- il valore di "lag time", non essendo indicato nel Piano di Bacino, è stato calcolato a partire dal tempo di corrivazione e mantenuto costante nella fase di taratura del modello;
- la precipitazione è stata definita secondo idrogrammi rettangolari, con durata pari al tempo di concentrazione del bacino e altezza di pioggia determinata in modo tale da ottenere le portate al colmo ufficiali del Piano di Bacino.

In sintesi, obiettivo del modello idrologico è stata la definizione di idrogrammi di piena coerenti con la caratterizzazione idrologica del Piano di Bacino in termini di portate al colmo per assegnato tempo di ritorno e parametri caratteristici dei bacini (in particolare CN e Lag Time).

Come citato, il Lag Time è stato ottenuto a partire dal tempo di corrivazione del bacino, considerando la relazione

$$T_{lag} = T_c \cdot 0.6$$

A sua volta, il tempo di corrivazione è stato calcolato come media dei valori ottenuti da tre diverse formulazioni, Kirpich, VAPI e Ventura, come riportato in Tabella 3.4. I metodi scelti richiedono come input alcune informazioni caratterizzanti il bacino idrografico che vengono riportate in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 Informazioni relative al bacino del rio Quattro Stagioni, utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione.

Dati bacino idrografico rio Quattro Stagioni				
A (km ²)	H max (m s.m.)	H min (m s.m.)	L (km)	p (%)
0.91	130	0	2.3	5.7

Dove:

- A: area del bacino;
- H max: quota massima del bacino;
- H min: quota minima del bacino;
- L: lunghezza dell'asta principale;
- p: pendenza media dell'asta.

Tabella 3.4 Calcolo del tempo di corrivazione e del tempo di lag.

Tempo di corrivazione Tc e T lag				
Kirpich	VAPI	Ventura	Media	T lag
0.38	0.46	0.51	0.45	0.27

Un'ulteriore valutazione è stata svolta in riferimento alla forma degli idrogrammi e i conseguenti volumi di piena, per i quali il Piano di Bacino non forniva specifiche di dettaglio, con la consapevolezza che un'errata definizione degli stessi, in un modello idraulico di tipo bidimensionale quale quello impiegato, comporterebbe una altrettanto errata definizione delle aree soggette ad allagamento.

Sono stati quindi ricostruiti e confrontati, con il codice di calcolo MIKE HYDRO River – UHM, idrogrammi di piena ottenuti con due differenti idrogrammi unitari, quello adimensionale e quello triangolare del metodo SCS, in modo da valutare la differente evoluzione dei volumi di piena.

Da questa analisi comparativa emerge che gli idrogrammi di piena ottenuti a partire dall'idrogramma unitario triangolare, rapportati a quelli ottenuti da un idrogramma adimensionale, pur presentando fasi ascendenti e discendenti meno prolungate, mostrano però maggiori volumi di piena per gli elevati valori di portate. Da questa osservazione, se ne deduce che la scelta dell'utilizzo degli idrogrammi triangolari è da ritenersi a favore di sicurezza, perché a parità di volume complessivo di piena presenta maggiori volumi di deflusso in corrispondenza di quei valori di portata che effettivamente generano gli allagamenti nelle aree circostanti il corso d'acqua. La seguente figura presenta un confronto tra due idrogrammi di piena omologhi (stesso bacino, tempo di ritorno e portata al colmo) ottenuti con idrogramma unitario rispettivamente triangolare e adimensionale.

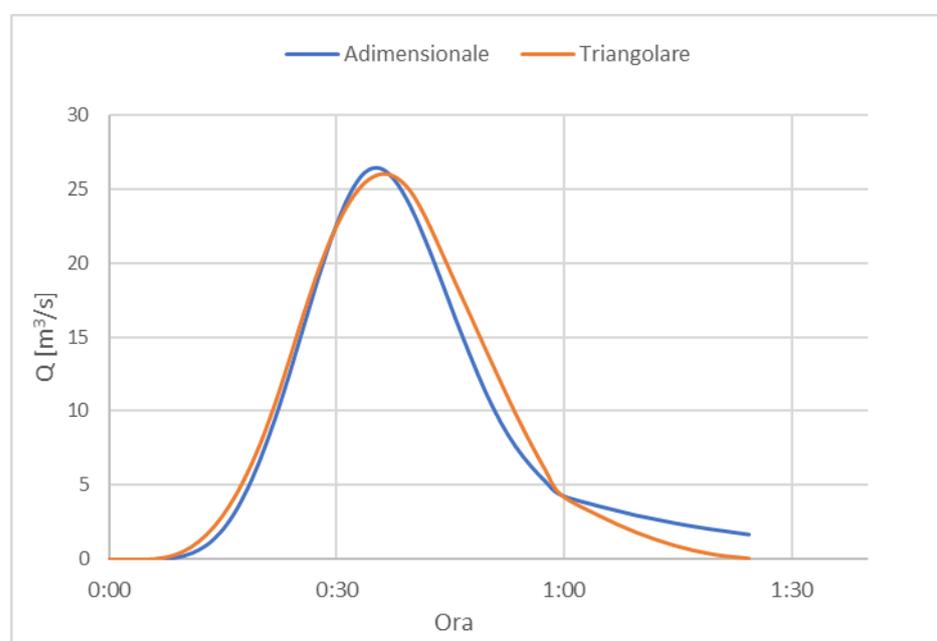


Figura 3.1 Idrogrammi di piena per tempo di ritorno 200 anni alla sezione di chiusura del bacino del rio Quattro Stagioni determinati con idrogramma unitario triangolare e adimensionale del metodo SCS.

In Figura 3.2 sono rappresentati graficamente gli idrogrammi di piena ottenuti per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, i cui valori di portata al colmo sono riportati nella precedente Tabella 3.2.

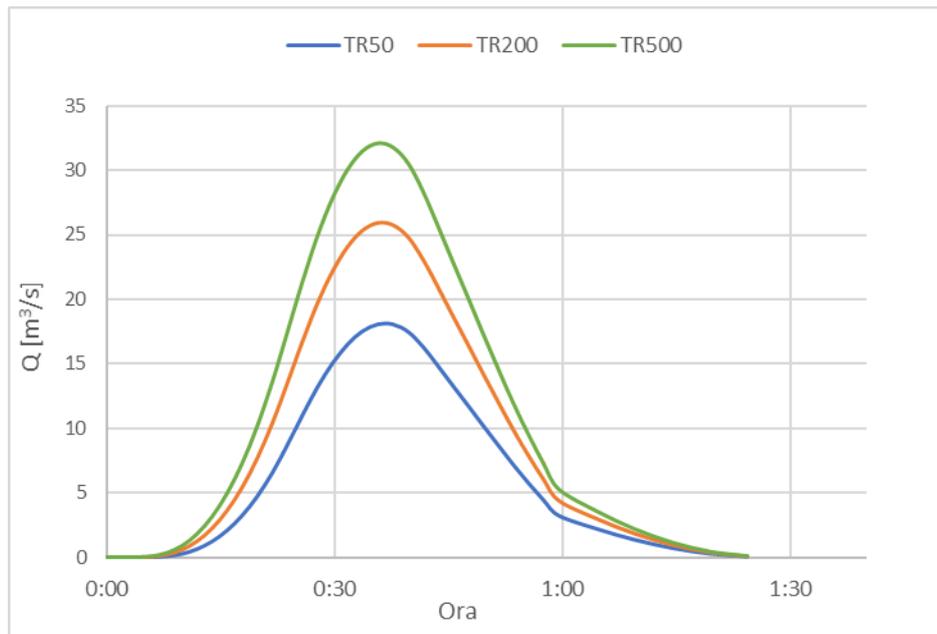


Figura 3.2 Idrogrammi di piena per tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni alla sezione di chiusura del bacino del rio Quattro Stagioni, determinati con idrogramma unitario triangolare del metodo SCS.

4 Analisi idraulica

4.1 Approccio modellistico generale

Sul tratto del rio Quattro Stagioni oggetto di studio è stato messo a punto un modello idrodinamico basato sul codice di calcolo MIKE FLOOD del DHI, uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE HYDRO River e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei quali si rimanda agli allegati B e C).

Il modulo consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE HYDRO River e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: HYDRO River per la simulazione monodimensionale di tratti di alveo incisi e per il deflusso idrodinamico attraverso ponti, tombini, salti di fondo ecc., MIKE 21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso.

MIKE FLOOD presenta le seguenti caratteristiche principali:

- HYDRO River e MIKE 21 rimangono singoli codici indipendenti l'uno dall'altro nella messa a punto, nell'interfaccia grafica e negli input-output;
- una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci di HYDRO River e MIKE 21 per gli scambi di flusso e la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

L'alveo del corso d'acqua è stato modellato con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali disponibili, comprensive delle geometrie delle tombature presenti.

I tratti a cielo aperto dell'alveo sono stati poi collegati dinamicamente alle aree laterali inondabili, sia in sponda destra che in sponda sinistra, mediante speciali funzioni di MIKE FLOOD, nel rispetto delle reali quote di sponda. La modellazione accurata della dinamica di piena, effettuata con approccio bidimensionale, è stata estesa all'intera zona in esame, sia in sponda destra che in sponda sinistra, rappresentata mediante un modello del terreno a celle quadrate, contenente tutte le strutture in grado di avere effetto nella propagazione della piena stessa sul territorio.

Per quanto concerne le modellazioni in alveo, i risultati delle simulazioni condotte sono forniti sotto forma di tabelle contenenti i principali parametri idraulici sezione per sezione. Relativamente alle aree inondate, invece, i risultati ottenuti sono forniti sotto forma di mappe di tiranti idrici e velocità di scorrimento riferite ai loro valori massimi.

4.2 Schematizzazione dell'alveo

Di seguito si illustra in dettaglio la schematizzazione monodimensionale del tratto del rio Quattro Stagioni analizzato. In aggiunta alla descrizione del setup modellistico, si specificano le scelte e le assunzioni che hanno portato a definire alcune caratteristiche specifiche del modello, oltre alle fonti da cui sono state tratte le informazioni associate ai vari aspetti dello stesso.

Il tratto del rio Quattro Stagioni modellato presenta una lunghezza pari a 730 m, di cui 350 circa tombati. Tale tratto è stato caratterizzato dalle sezioni trasversali ricavate dal modello HEC RAS citato nel capitolo 2, relative al rilievo topografico eseguito nel 2018; il numero di sezioni inserite nel modello risulta complessivamente pari a 66, ad esclusione di alcune sezioni interpolate.

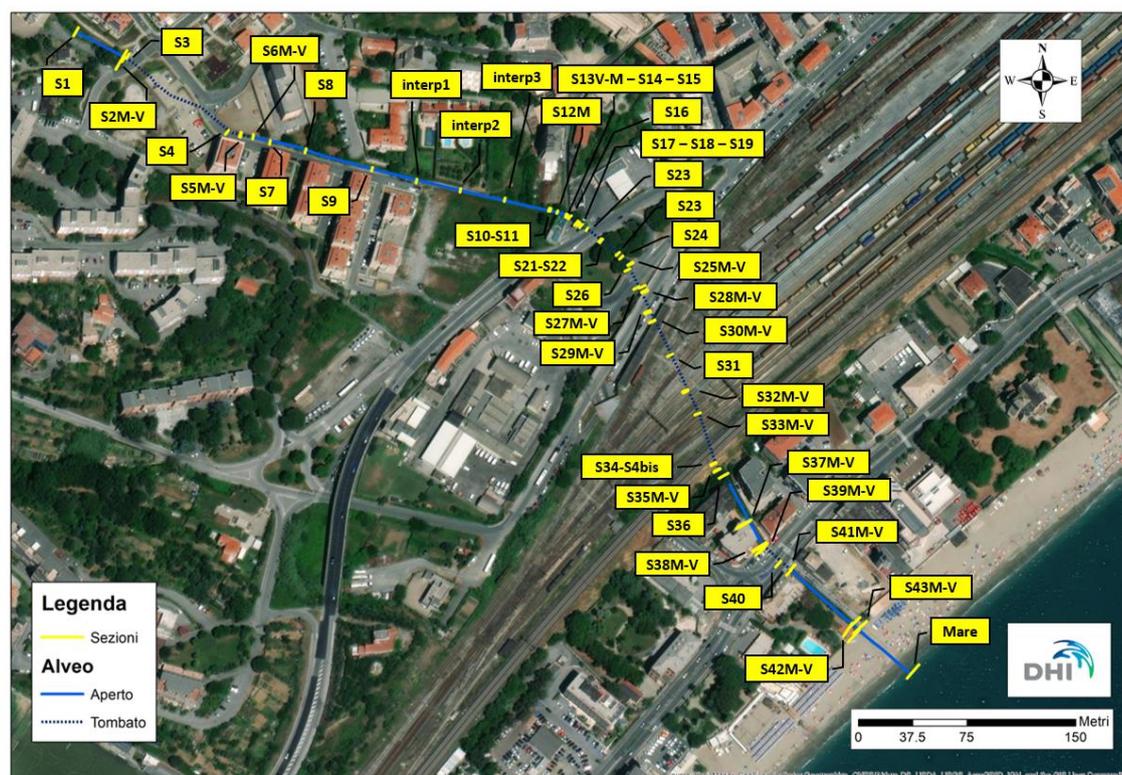


Figura 4.1 Schematizzazione del rio Quattro Stagioni in termini di alveo inciso e sezioni trasversali.

In considerazione dell'accoppiamento tra i modelli monodimensionale del corso d'acqua e bidimensionale del territorio circostante, è stata condotta una verifica comparativa tra i valori di altimetria delle sezioni e del DTM, risultando del tutto congruenti.

4.2.1 Scabrezza idraulica

Di seguito si riportano i coefficienti di scabrezza idraulica utilizzati nel setup 1D. Secondo le indicazioni del Piano di Bacino, in particolare quanto specificato nell'Allegato 3 "Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici" delle Norme di Attuazione del Piano, i valori da adottare per il coefficiente di scabrezza devono far riferimento a quanto definito nella seguente tabella. Come specificato nel documento, tali valori devono rappresentare dei limiti superiori, da ridurre opportunamente in presenza ad esempio di forte apporto di sedimenti dai versanti oppure di macroresistenze al deflusso delle piene.

Tabella 4.1 Valori di riferimento del parametro di scabrezza forniti dal Piano di Bacino.

Descrizione corso d'acqua	Coefficienti di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s ($m^{1/3}s^{-1}$)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee in buono stato)	35-40
Corsi d'acqua con fondo e argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc..) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Il rio Quattro Stagioni può essere generalmente considerato come "corso d'acqua naturale con vegetazione e movimento di materiale sul fondo", a cui sono associati valori di K_s dell'ordine dei 30-35 $m^{1/3} s^{-1}$. Sulla base di quanto osservato in sede di rilievo e considerando i valori già adottati dall'Ing. Gaggero nello studio idraulico pregresso, si è deciso di utilizzare valori particolarmente cautelativi, impostando un valore di K_s pari a 25 per i tratti a cielo aperto e di 30 per i tratti tombati. La scelta è motivata dalla forte presenza di vegetazione in alveo, oltre che alla presenza di aree con evidenti depositi alluvionali, derivanti dal fatto che il bacino idrografico è quasi interamente naturale e quindi potenzialmente contribuente alla presenza di materiale flottante e trasporto solido al fondo.

4.2.2 Condizioni al contorno

Un modello idraulico ha necessità che siano specificate le condizioni al contorno per la definizione della forzante (tipicamente portata liquida) e del comportamento del deflusso al termine del tratto in esame.

La forzante deve essere obbligatoriamente fornita in corrispondenza della prima sezione del tratto (condizione di monte) e opzionalmente lungo segmenti longitudinali (condizione distribuita). La condizione di valle, invece, è costituita generalmente da un livello di pelo libero (costante o tempo-variante) o da una tabella di corrispondenza livello-portata (scala di deflusso). Di seguito si riportano le condizioni al contorno applicate al tratto di corso d'acqua analizzato.

Condizione di monte

La condizione di monte del rio Quattro Stagioni è stata fornita dell'analisi idrologica descritta nel capitolo 3; in particolare, presso la prima sezione del modello idraulico viene applicato l'idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno che considera il contributo dell'intero bacino idrografico.

Condizione di valle

La condizione di valle consente di modellare il deflusso in corrispondenza dell'ultima sezione del modello idrodinamico monodimensionale. Nel caso specifico, tale condizione è stata impostata pari a 0.8 m, ossia al valore medio del mare in caso di situazione meteo marina sfavorevole. Anche in questo caso si evidenzia che il valore prescelto rientra in un'ottica cautelativa.

4.3 Messa a punto del setup bidimensionale

Per la messa a punto del modello MIKE FLOOD, a seguito dell'implementazione del modello monodimensionale dell'alveo inciso con il codice MIKE HYDRO River, si è proceduto alla costruzione del modello bidimensionale delle aree golenali in sponda destra e sinistra, utilizzando il codice di calcolo MIKE 21 HD del DHI descritto nell'Allegato B.

Successivamente, utilizzando il codice MIKE FLOOD, si è proceduto all'accoppiamento dei due modelli (monodimensionale e bidimensionale) mediante collegamenti laterali distribuiti lungo le sponde del torrente. Si precisa che, per entrambi i modelli, si è adottato il Sistema di Coordinate UTM 32 WGS 33N.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le caratteristiche principali del modello.

4.3.1 Costruzione della griglia di calcolo

In un modello bidimensionale alle differenze finite, come MIKE 21, la descrizione geometrica del terreno è eseguita definendo la quota media in ogni cella di calcolo. Tale valore è usualmente calcolato, a partire dai dati rilevati, mediante tecniche di interpolazione. Nel presente caso applicativo, invece, il DTM di input è costituito dal rilievo Lidar predisposto dal Ministero dell'Ambiente, disponibile in tavole con dimensione di cella 1x1m.

In fase di generazione della batimetria di calcolo si è deciso ricampionare il DTM passando a una dimensione di cella di 2x2m, in modo tale da rappresentare l'area col miglior dettaglio riuscendo nel contempo a garantire, in fase di run del modello, tempi di calcolo accettabili.

Va inoltre ricordato che, nell'ambito dell'implementazione di un modello accoppiato 1D-2D, l'alveo attivo risulta schematizzato nel modello monodimensionale e le aree circostanti in quello bidimensionale: per tale motivazione occorre escludere dal dominio di calcolo 2D la porzione di corso d'acqua già schematizzato nel modello 1D, altrimenti l'alveo risulterebbe erroneamente rappresentato due volte. Per evitare ciò, le celle dell'alveo sono state opportunamente selezionate e impostate come inattive. Il modello di simulazione del rio Quattro Stagioni presenta quindi l'alveo escluso come indicato nella seguente immagine.

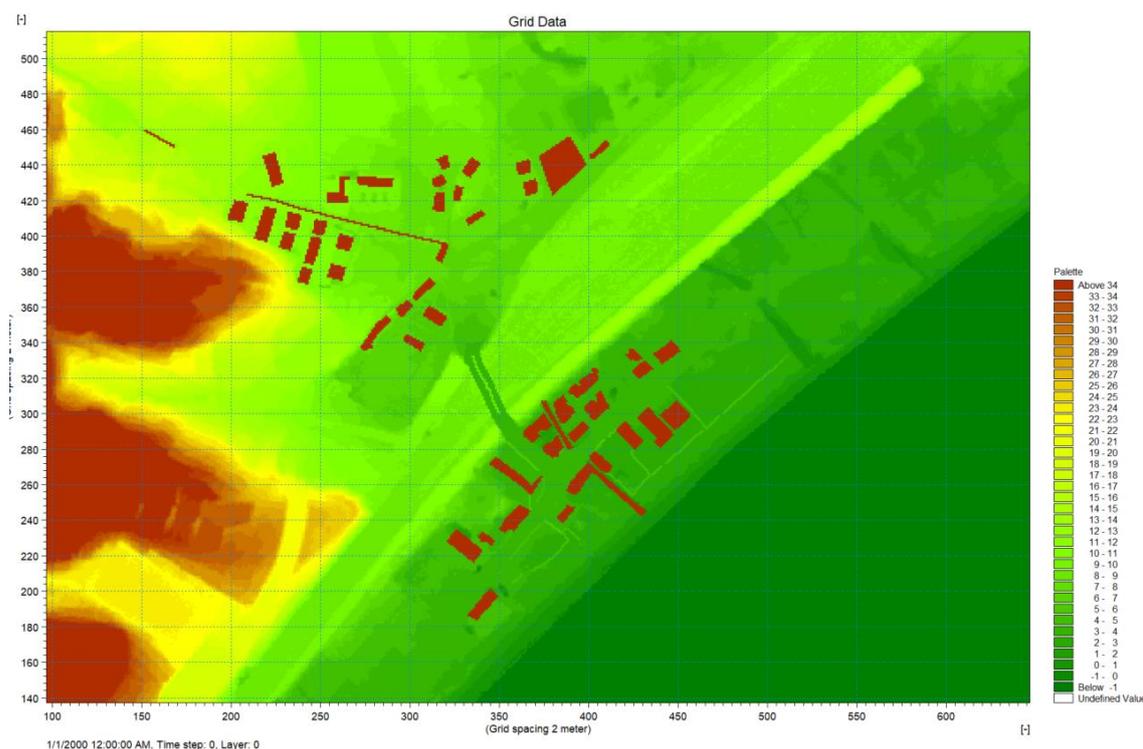


Figura 4.2 Batimetria di calcolo sul tratto di indagine del rio Quattro Stagioni; in rosso sono evidenziate le celle poste come inattive perché escluse o a quote elevate.

Infine, la batimetria di calcolo ottenuta a partire dal DTM secondo la procedura precedentemente descritta è stata opportunamente integrata al fine di recepire il rilievo topografico di dettaglio e le evidenze del sopralluogo in sito. Tale attività ha riguardato in particolare l'interpolazione dei valori tratti dalla nuvola di punti rilevati sull'area di interesse progettuale, come riportato nel piano d'indagine, e la corretta rappresentazione di tutti quei manufatti, quali ad esempio muretti ed edifici, potenzialmente interferenti con le dinamiche di propagazione degli allagamenti.

4.3.2 Scabrezza

Il modello MIKE 21 consente di inserire il parametro di scabrezza sia come valore unitario su tutto il dominio, sia attraverso una mappa di valori distribuiti. La zona modellata in bidimensionale è interamente in ambito urbano con la presenza di alcuni terreni non edificati e giardini, per cui si è adottato un valore medio-basso di scabrezza (medio-alto valore del coefficiente di Gauckler-Strickler). Nel caso in esame, sulla base dei valori ottenuti con un'apposita calibrazione in occasione di altri studi idraulici effettuati dagli scriventi su piccoli bacini liguri simili a quello in esame, si è scelto di associare un valore di Gauckler-Strickler pari a $50 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ sull'intera area (ad esclusione delle celle inattive).

4.4 Accoppiamento modelli 1D-2D

Come descritto in precedenza, i modelli mono e bidimensionale, costruiti originariamente in modo indipendente, sono stati accoppiati all'interno dell'interfaccia MIKE FLOOD. L'accoppiamento richiede la scelta di punti o tratti dove i due modelli si interfaccino, consentendo il trasferimento di volume liquido. Il codice prevede diverse tipologie di interfacciamento, a seconda delle caratteristiche specifiche del collegamento. Nella presente schematizzazione si sono inseriti dei collegamenti longitudinali (denominati "lateral link") lungo tutto il tratto dei corsi d'acqua oggetto di studio, posizionati in corrispondenza delle due sponde,

in modo che l'intero alveo attivo, schematizzato all'interno del modello monodimensionale, fosse compreso al loro interno.

Oltre alla localizzazione delle strutture di collegamento, il codice MIKE FLOOD prevede la definizione della tipologia di connessione tra i due modelli, necessaria al fine di individuare la quota di sormonto spondale da utilizzare nell'interfaccia tra i due domini di calcolo. Nel caso specifico, pur comunque risultando le quote dei due modelli tra loro rispettivamente coerenti, si è preferito dare priorità alle informazioni del modello MIKE HYDRO River, perché più accurate nel rappresentare le quote di sommità di manufatti spondali, non sempre rilevati con la migliore accuratezza dal rilievo LIDAR, in particolare nei casi in cui presentano una dimensione inferiore alla risoluzione del rilievo stesso, pari a 1m.

4.5 Risultati della modellazione per eventi ad assegnato tempo di ritorno

I risultati delle simulazioni per gli eventi associati ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni sono riportati, in termini di livello idrico e franchi minimi riscontrati per ciascuna sezione, nelle tabelle dell'allegato A. Si può osservare che è stata adottata una colorazione semaforica per evidenziare i franchi di diversa entità: verdi se compresi tra 0.5 e 1 m, gialli se compresi tra 0 e 0.5 m, rossi se negativi.

Osservando i valori dei franchi idraulici e i profili longitudinali riportati in Figura 4.3, si evince come già l'evento di piena cinquantennale dà luogo a un sormonto spondale in prossimità dell'imbocco della tombinatura presso via Silvestre e Allemand. Seppur non visibile dal profilo, è stato osservato come gran parte dell'acqua fuoriesce dal rio frontalmente, passando attraverso la grata visibile in Figura 1.7.

Per quanto riguarda gli scenari duecentennale e cinquecentennale, si osserva come il principale punto di esondazione è nuovamente rappresentato dallo stesso imbocco citato precedentemente, a cui si aggiunge un lieve sormonto in sponda sinistra, a livello del parcheggio di via Pietragrossa. Sempre in relazione ai due eventi più gravosi simulati, si nota come due diversi tratti tombati del rio, uno in corrispondenza di via Fratelli Rey e uno in corrispondenza del ponte di via Nizza, vengano messi in pressione dalla piena del fiume. Seppur sia stato verificato che la sovrappressione non sia sufficiente a causare un'eventuale rottura del manto stradale, considerando anche la presenza di ulteriori tratti dove per tutti gli eventi simulati il franco idraulico risulta inferiore al metro, **è stato valutato prudente effettuare ulteriori analisi modellistiche ipotizzando uno scenario di parzializzazione delle sezioni fluviali**. Tali analisi sono riportate in dettaglio nel capitolo 4.6.

Di seguito vengono invece riportati i risultati in termini di dinamica delle esondazioni (mappe dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento), distinti per tempo di ritorno dell'evento di piena.

Si nota come, per tutti gli eventi simulati, l'esondazione interessa principalmente l'area urbana a valle del rilevato ferroviario, attraversando la rotatoria dell'Aurelia per poi incanalarsi nel sottopassaggio di Corso Svizzera, oltre all'area residenziale in via Pietragrossa limitatamente agli eventi duecentennale e cinquecentennale. I tiranti maggiori si osservano principalmente nelle aree depresse, quali accessi a garage e scantinati, lungo il sottopasso della ferrovia e in prossimità del parcheggio in sponda sinistra al rio Quattro Stagioni con accesso da via Nizza.



Figura 4.3 Profili longitudinali associati al passaggio degli eventi di piena con tempo di ritorno di 50 anni (linea rossa), 200 anni (linea arancione) e 500 anni (linea verde) nello scenario di stato attuale.

4.5.1 TR50

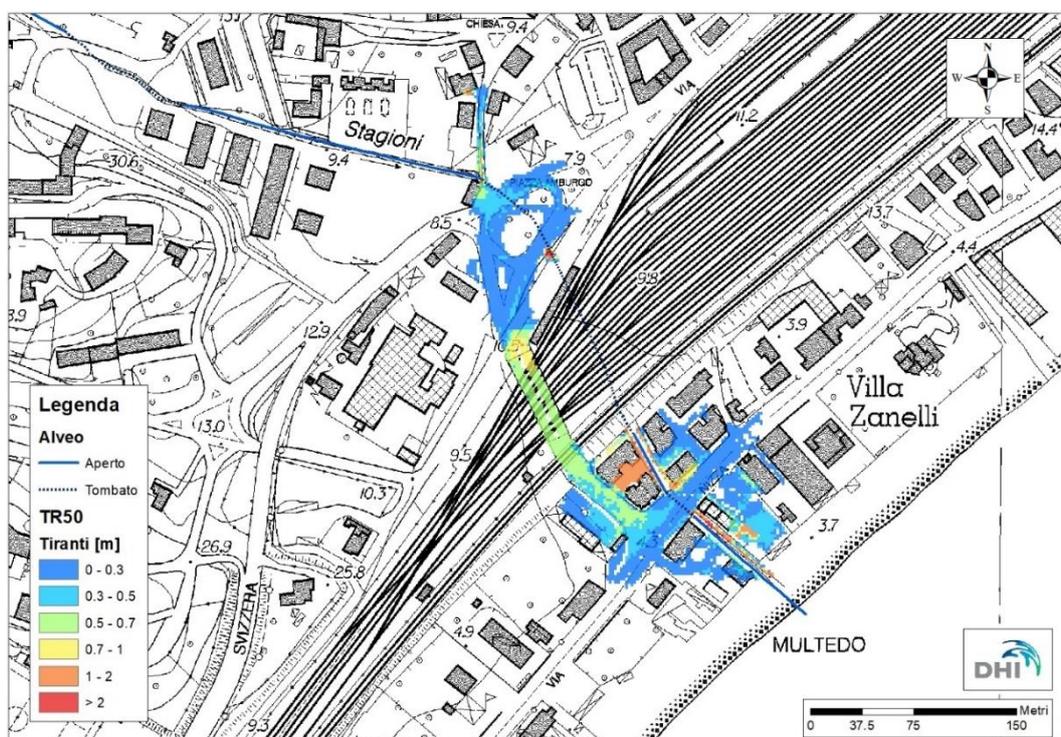


Figura 4.4 Rio Quattro Stagioni - Tiranti massimi in caso di evento cinquantennale nello scenario di stato attuale.

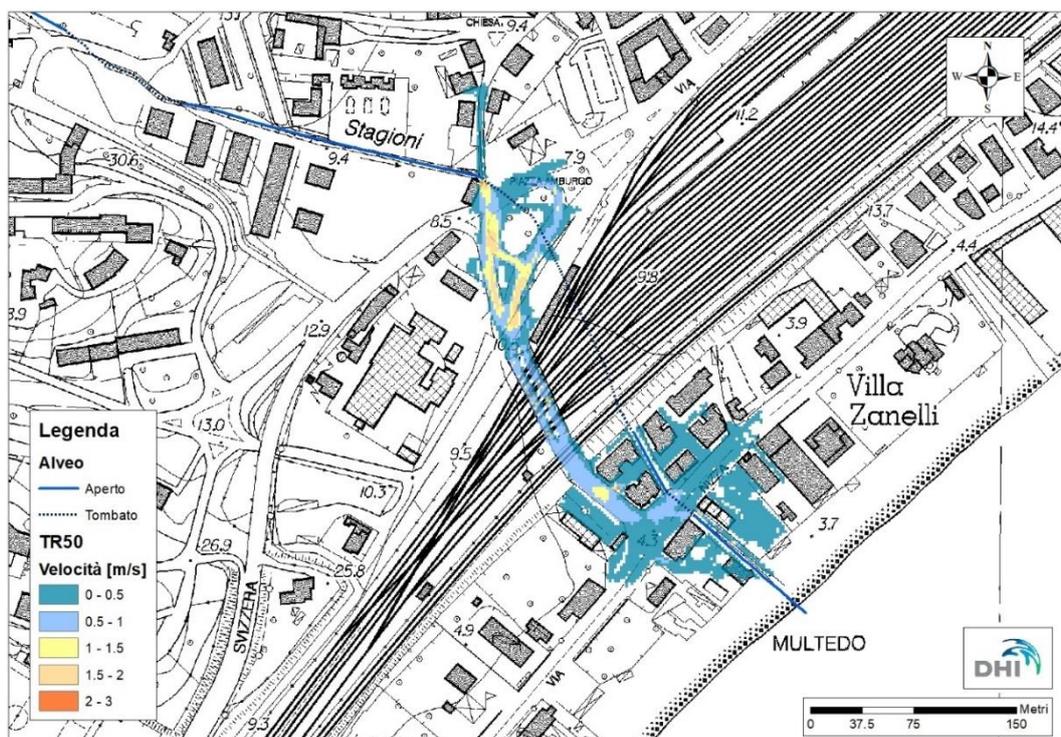


Figura 4.5 Rio Quattro Stagioni – Velocità massime in caso di evento cinquantennale nello scenario di stato attuale.

4.5.2 TR200

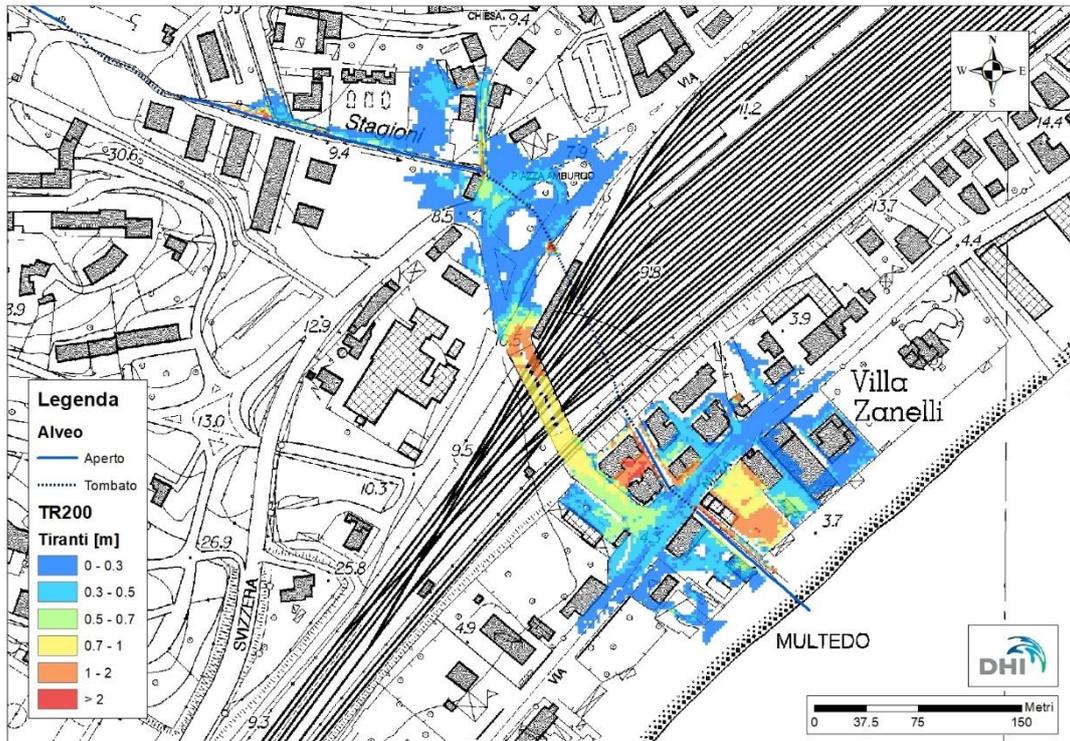


Figura 4.6 Rio Quattro Stagioni - Tiranti massimi in caso di evento duecentennale nello scenario di stato attuale.

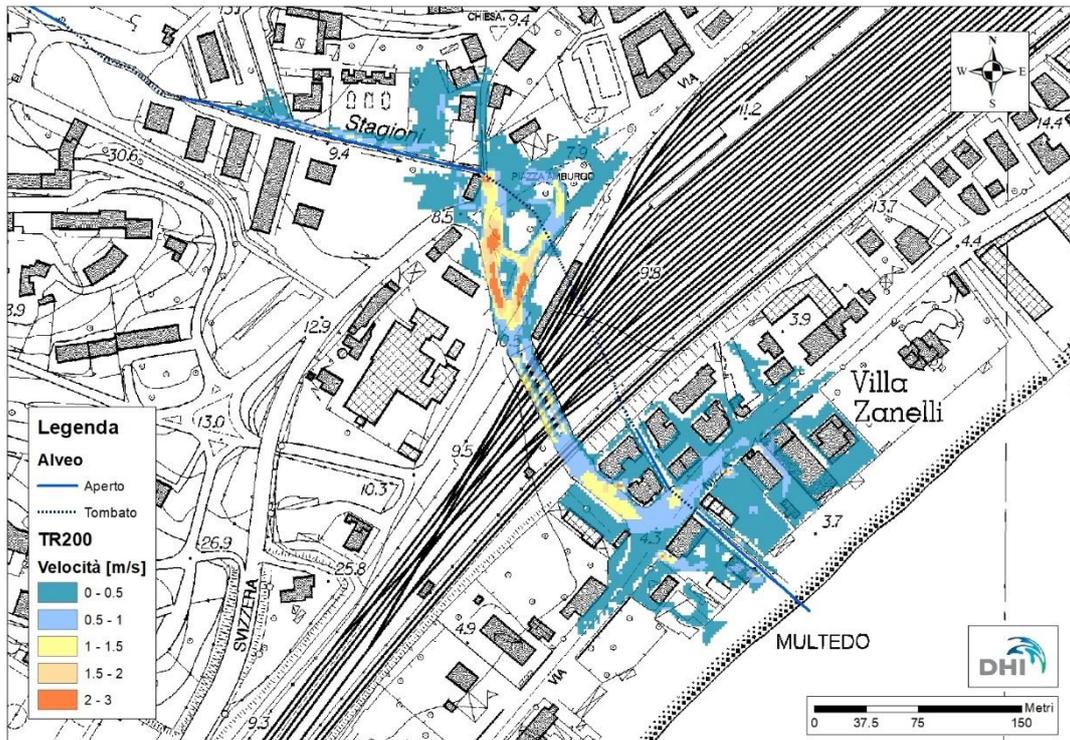


Figura 4.7 Rio Quattro Stagioni – Velocità massime in caso di evento duecentennale nello scenario di stato attuale.

4.5.3 TR500

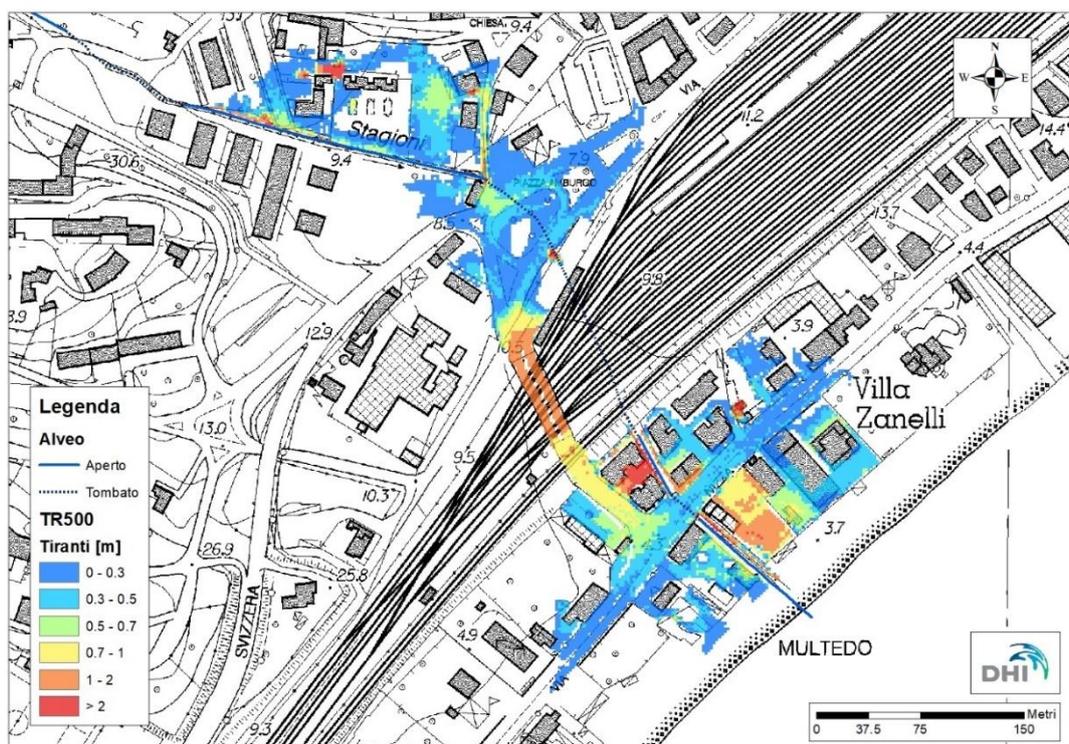


Figura 4.8 Rio Quattro Stagioni - Tiranti massimi in caso di evento cinquecentennale nello scenario di stato attuale.

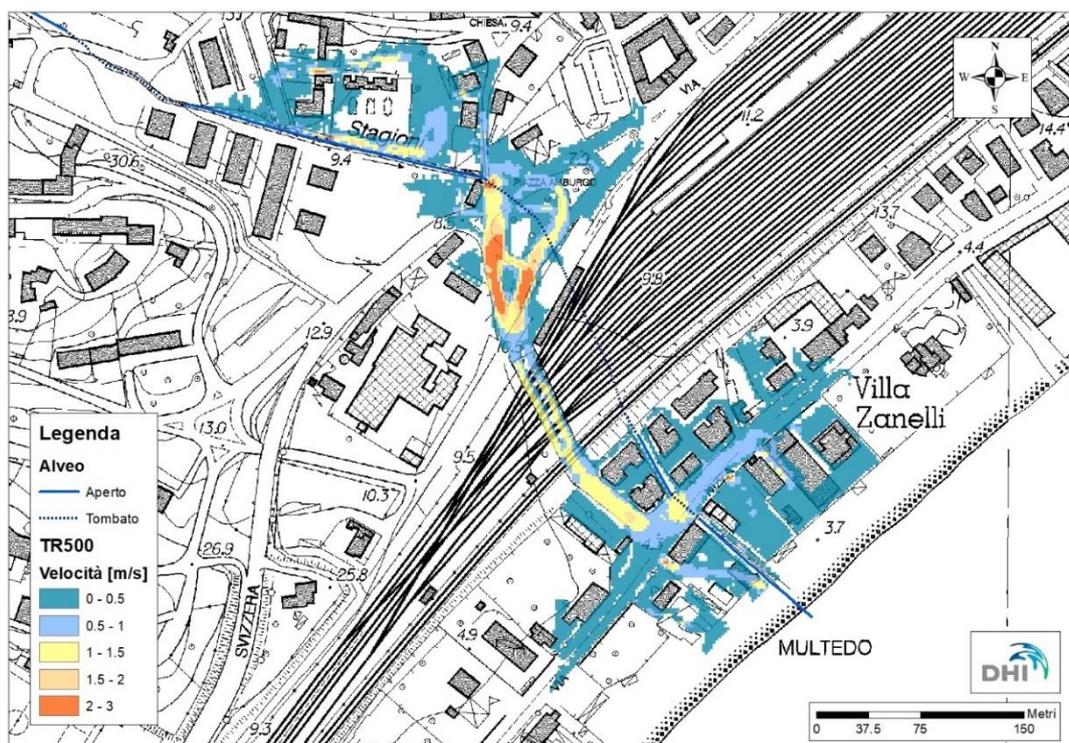


Figura 4.9 Rio Quattro Stagioni – Velocità massime in caso di evento cinquecentennale nello scenario di stato attuale.

4.6 Verifica di scenari di parzializzazione delle sezioni

A seguito del fatto che gli eventi di piena simulati risultano contenuti in alveo ma con franchi localmente ridotti, è stato ritenuto opportuno procedere con la verifica di scenari di parzializzazione delle sezioni trasversali. Questa procedura è indicata nei casi in cui a lato delle sponde con ridotto franco idraulico siano presenti delle aree pianeggianti, potenzialmente inondabili e magari con presenza di infrastrutture e insediamenti, permettendo di introdurre un fattore di sicurezza che possa considerare un eventuale incremento del massimo livello di piena in alveo al fine di appurare quali aree verrebbero conseguentemente allagate.

Operativamente, tale fattore di sicurezza viene introdotto ipotizzando una parzializzazione della sezione, cioè una riduzione della sezione disponibile al deflusso. Tale riduzione viene stimata sulla base di valutazioni legate a fenomenologie fisiche che possono effettivamente comportare una parzializzazione della sezione defluente, ma va più generalmente inteso come un coefficiente di sicurezza che include, in modo complessivo, come è usuale pratica ingegneristica, tutti i possibili fattori di incertezza legati, ad esempio, in primo luogo alla definizione della geometria della sezione e dell'idrogramma di piena e in secondo luogo a quei fenomeni fisici correlati agli eventi di piena che tuttavia non vengono rappresentati nella presente analisi idraulica, quali il trasporto solido, l'evoluzione del fondo dell'alveo, il trasporto di materiale flottante, oscillazioni del livello di piena per fenomeni di natura turbolenta e di elevata velocità, ecc.

Nel caso in esame, nonostante siano già state effettuate scelte cautelative nell'attribuzione dei coefficienti di scabrezza in alveo e della condizione al contorno di valle, si è deciso di valutare l'impatto conseguente dalla parzializzazione equivalente ad una riduzione della larghezza delle sezioni del 10% relativamente agli eventi con tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni. I tratti su cui è stata effettuata la parzializzazione delle sezioni sono quelli per cui i franchi idraulici in caso di evento duecentennale sono risultati inferiori a 1 metro, ossia:

- Tratto 1: dalla sezione S04 (progressiva 127.3 m) alla sezione S27V (progressiva 442 m);
- Tratto 2: dalla sezione S39M (progressiva 642 m) alla sezione S43V (progressiva 730 m).

4.7 Risultati della modellazione in caso di parzializzazione delle sezioni

I risultati delle simulazioni per gli eventi associati ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni nello scenario di parzializzazione delle sezioni sono riportati, in termini di livello idrico e franchi minimi riscontrati per ciascuna sezione, nelle tabelle dell'allegato A. Anche in questo caso è stata adottata una colorazione semaforica per evidenziare i franchi di diversa entità: verdi se compresi tra 0.5 e 1 m, gialli se compresi tra 0 e 0.5 m, rossi se negativi.

In Figura 4.10 e Figura 4.11 vengono riportati i confronti tra i profili dei livelli in alveo nello scenario di stato attuale e nello scenario di parzializzazione delle sezioni, relativamente ai soli eventi di piena cinquantennale e duecentennale, essendo di maggiore interesse dal punto di vista normativo.

Per quanto riguarda l'evento cinquantennale, si può osservare come la parzializzazione non comporta un aumento dei tiranti tale da causare nuovi sormonti spondali. La maggiore fuoriuscita di acqua dall'imbocco della tombinatura di via Silvestre e Allemand ha come principale impatto l'aumento dei tiranti nelle aree già allagate nello scenario di stato attuale, mentre l'estensione delle aree inondate rimane pressoché inalterata.

L'evento duecentennale nello scenario di parzializzazione provoca una nuova fuoriuscita di acqua in sponda sinistra in prossimità della sezione S09, andando ad interessare i caseggiati di via Pietragrossa, come già avviene per l'evento cinquecentennale nello scenario di stato attuale. Al di là di ciò, anche per l'evento duecentennale l'impatto della riduzione della larghezza delle

sezioni si manifesta principalmente con un aumento generalizzato dei tiranti idrici sul terreno inondato. Si nota inoltre che il profilo di corrente nello scenario di parzializzazione risulta inferiore al profilo di corrente nello scenario attuale relativamente tratto tombato intermedio, per entrambi i tempi di ritorno; tale riduzione è giustificata dal fatto che la parzializzazione provoca l'esondazione di un maggiore volume d'acqua nel tratto di monte e quindi di un minor deflusso all'interno della tombinatura.

Anche in questo caso, sono stati valutati i possibili impatti della messa in pressione dei tratti tombati citati nel capitolo precedente ed è stato osservato che, considerando da una parte il livello raggiunto dalla piezometrica e dall'altra quello del manto stradale sovrastante la tombinatura, la pressione non risulta essere tale da comportare il danneggiamento dell'infrastruttura. Con riferimento alla tombinatura di monte, come ulteriore verifica sono state eseguite ulteriori simulazioni che hanno evidenziato che, anche in caso di rottura del manto stradale, non si registrano livelli idrici tali da determinare esondazioni significative.

Si evidenzia infine che i livelli in alveo, nello scenario di parzializzazione delle sezioni, subiscono un incremento decisamente ridotto, in particolare nel tratto a valle della ferrovia. Ciò è dovuto alle criticità risultanti nel tratto di monte, che determinano le esondazioni presso il tratto precedente la tombinatura di via Silvestre e Allemand e portando quindi ad un taglio della portata al colmo.



Figura 4.10 Confronto tra il profilo longitudinale dei livelli idrici in alveo in caso di scenario di stato attuale (linea blu) e scenario di parzializzazione delle sezioni (linea rossa) per l'evento di piena cinquantennale.



Figura 4.11 Confronto tra il profilo longitudinale dei livelli idrici in alveo in caso di scenario di stato attuale (linea blu) e scenario di parzializzazione delle sezioni (linea rossa) per l'evento di piena duecentennale.



Figura 4.12 Profili longitudinali associati al passaggio degli eventi di piena con tempo di ritorno di 50 anni (linea rossa), 200 anni (linea arancione) e 500 anni (linea verde) nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

4.7.1 TR50

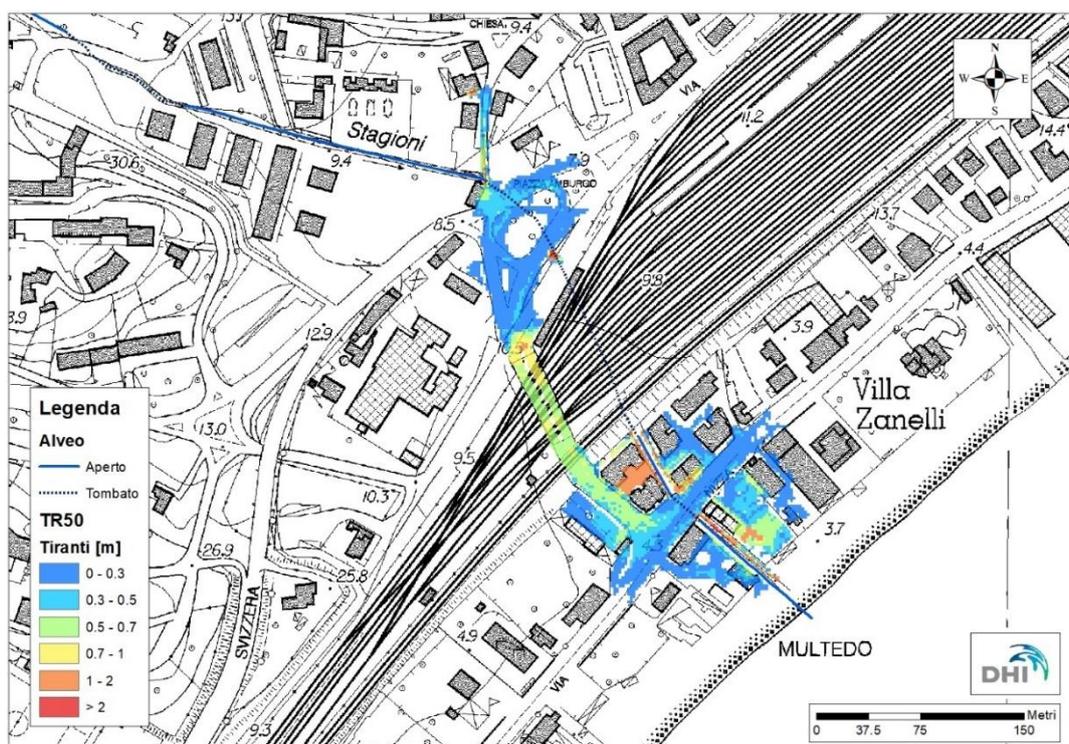


Figura 4.13 Rio Quattro Stagioni – Tiranti massimi in caso di evento cinquantennale nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

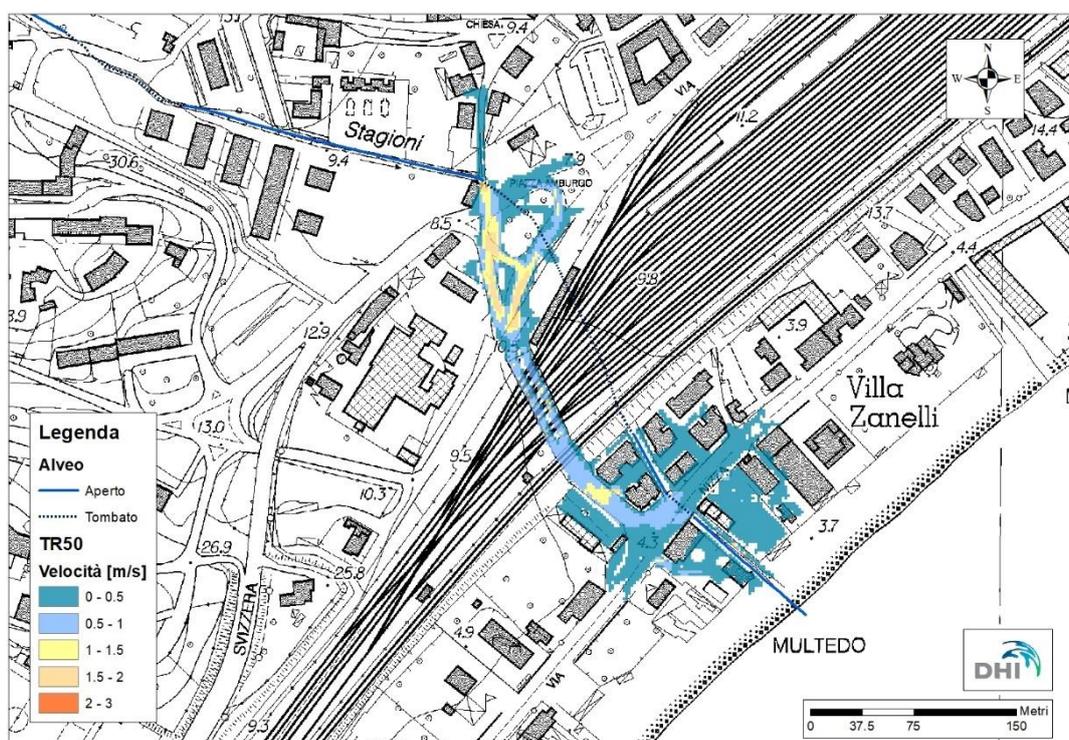


Figura 4.14 Rio Quattro Stagioni – Velocità massime in caso di evento cinquantennale nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

4.7.2 TR200

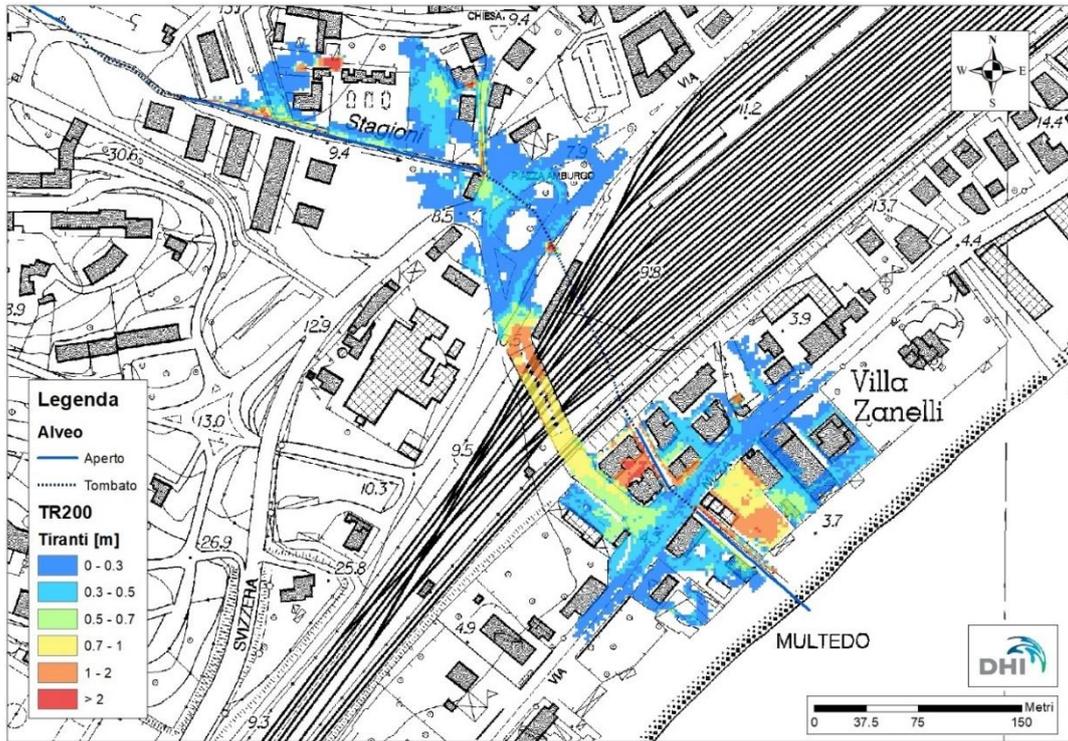


Figura 4.15 Rio Quattro Stagioni – Tiranti massimi in caso di evento duecentennale nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

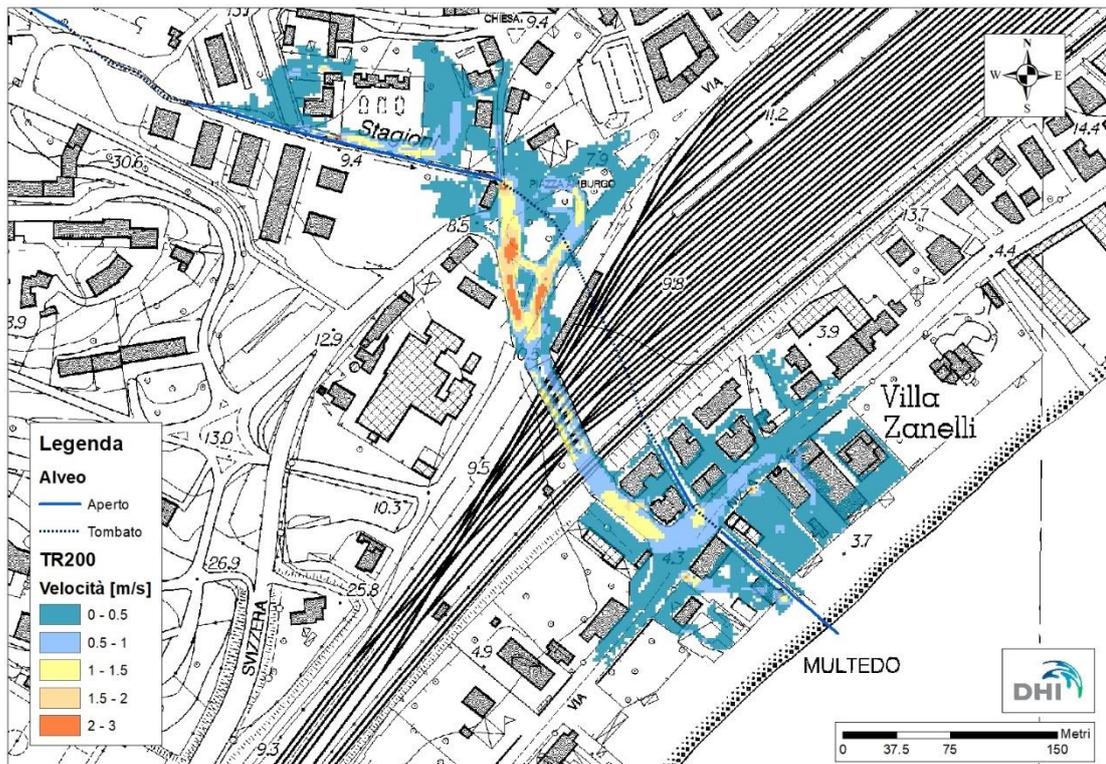


Figura 4.16 Rio Quattro Stagioni – Velocità massime in caso di evento duecentennale nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

4.7.3 TR500

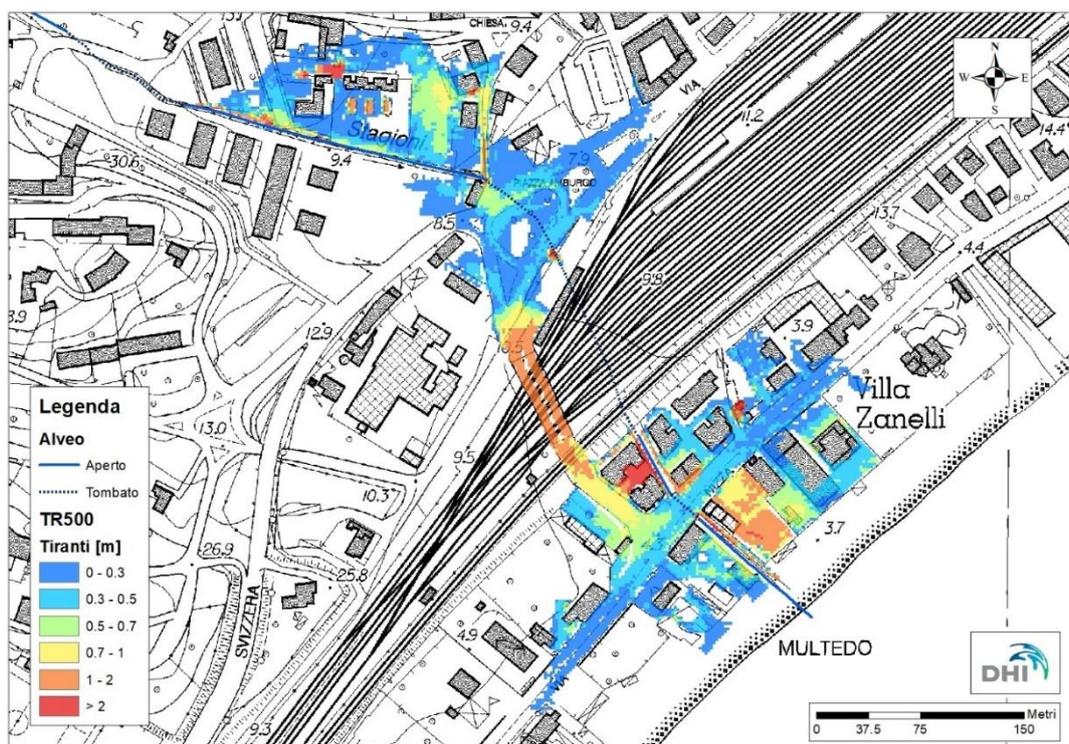


Figura 4.17 Rio Quattro Stagioni – Tiranti massimi in caso di evento cinquecentennale nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

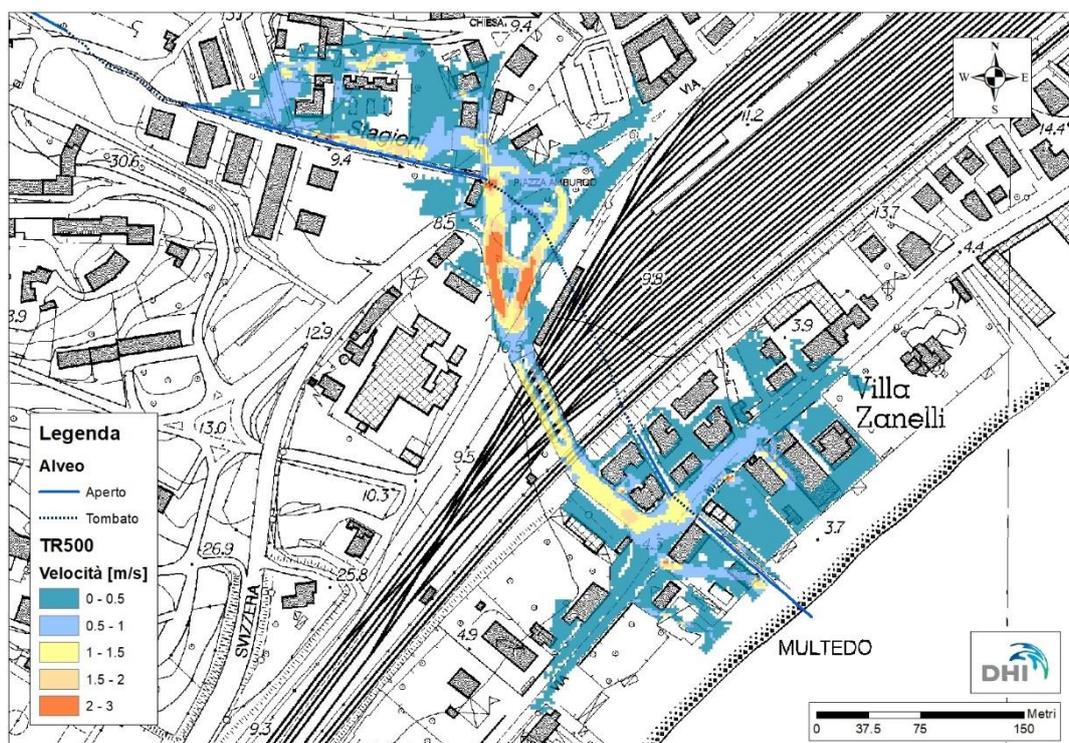


Figura 4.18 Rio Quattro Stagioni – Velocità massime in caso di evento cinquecentennale nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

5 Proposta di fasce di pericolosità idraulica

Sulla base delle risultanze ottenute dallo scenario di parzializzazione delle sezioni del 10%, sono state individuate le aree inondabili per le portate al colmo di piena relative a i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Sulla base di tale determinazione, secondo i criteri dell'Autorità di bacino regionale, è stata prodotta la Carta delle fasce di inondabilità, con la determinazione delle tre fasce:

- Fascia A, aree perfluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=50$ anni.
- Fascia B, aree perfluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=200$ anni.
- Fascia C, aree perfluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T= 500$ anni o, se più estese, aree storicamente inondate.

Come riportato nell'allegato 8 delle Norme di Attuazione del Piano di Bacino del rio Molinero, "All'interno della fascia B possono essere individuate, sulla base delle caratteristiche dell'inondazione a $T=200$ anni, come già previsto dai criteri ex DGR 250/2005, aree a "minor pericolosità relativa", B0, nelle quali sia consentito procedere ad interventi di nuova edificazione e di ristrutturazione urbanistica con la messa in opera di accorgimenti tecnico-costruttivi efficaci per il non aumento del rischio accompagnati dalle adeguate misure di protezione civile. Sulle restanti aree, BB, rimane appropriata la normativa generale di fascia B".

Tali aree a minor pericolosità sono state individuate in base ai criteri rappresentati in figura Figura 5.1, dove vengono definite delle soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale consizionato alla velocità locale della corrente.

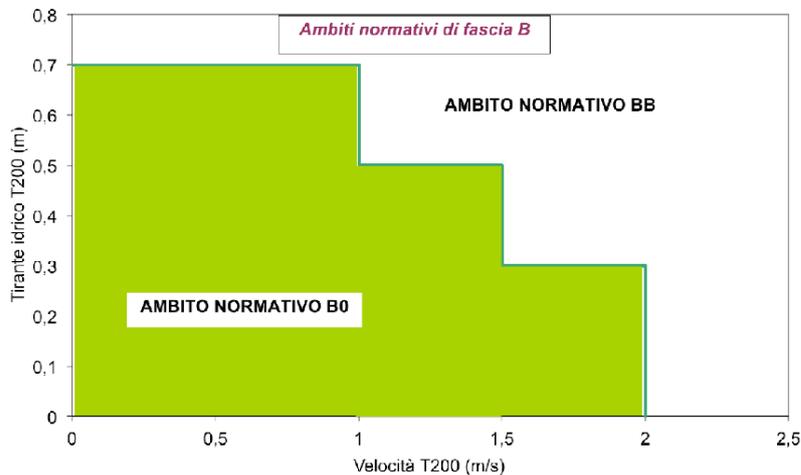


Figura 5.1 Soglie di pericolosità relativa finalizzate alla definizione degli ambiti normativi di fascia B.

La perimetrazione delle fasce di esondabilità relativa allo scenario di parzializzazione delle sezioni viene riportata nella seguente Figura 5.2.

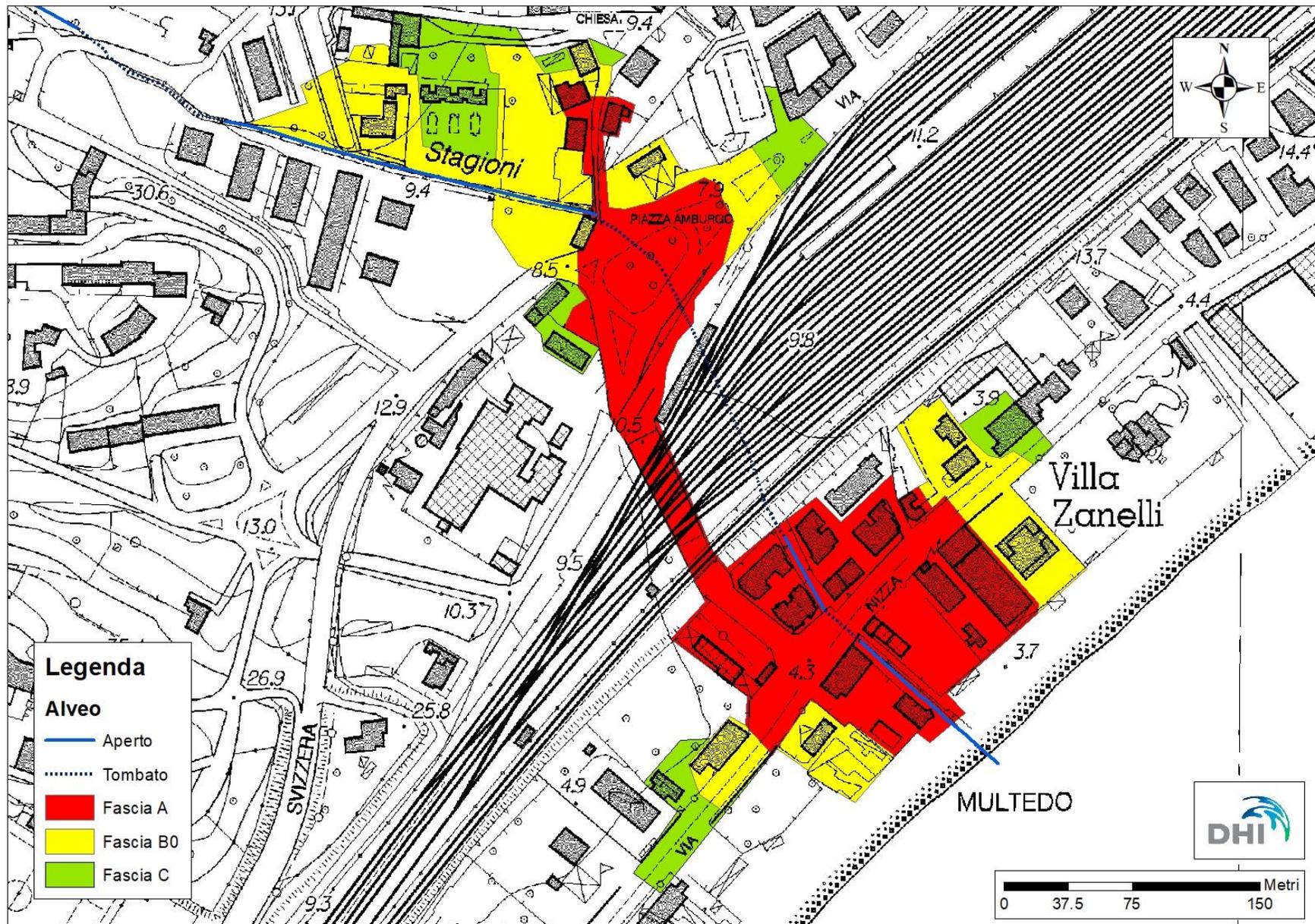


Figura 5.2 Perimetrazione delle fasce di inondabilità relative al rio Quattro Stagioni nello scenario di parzializzazione delle sezioni.

6 Scenario di intervento – ripristino arginale

Nell'ambito degli interventi in progetto sull'area di studio individuata in Figura 1.1, sono in previsione il ripristino della porzione di argine destro ad oggi danneggiato, in prossimità della sezione S11, e la demolizione del rudere adiacente allo stesso argine e situato in Corso Svizzera, visibile in Figura 6.1. Al fine di verificare gli impatti di tali interventi in termini di tiranti idrici, velocità di scorrimento ed estensione delle aree allagabili, il modello del rio Quattro Stagioni già implementato è stato opportunamente modificato e sono state effettuate le simulazioni degli eventi di piena cinquantennale e duecentennale.



Figura 6.1 Inquadramento dell'area oggetto di prossimi interventi di riqualificazione.

Tali simulazioni hanno mostrato che, relativamente all'area oggetto di studio, tali interventi porterebbero ad un miglioramento delle condizioni di pericolosità idraulica, con la riduzione dell'estensione della fascia B come mostrato dal confronto in Figura 6.2.

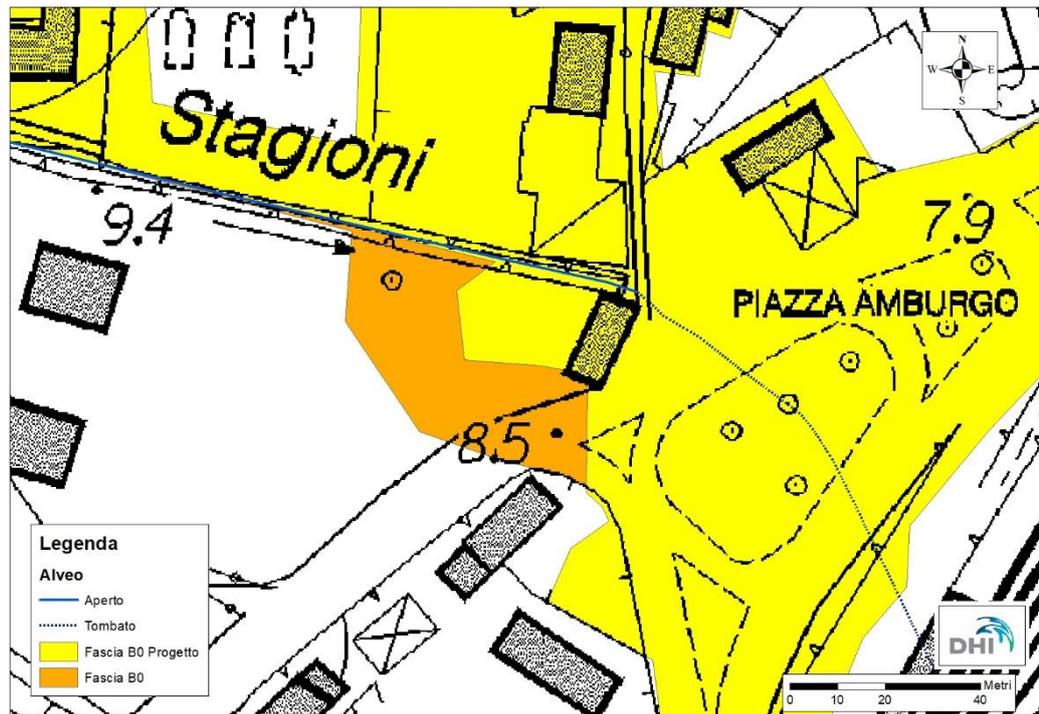


Figura 6.2 Confronto tra le fasce di pericolosità idraulica B0 nello stato di parzializzazione e nello scenario progettuale, zoom sull'area di studio.

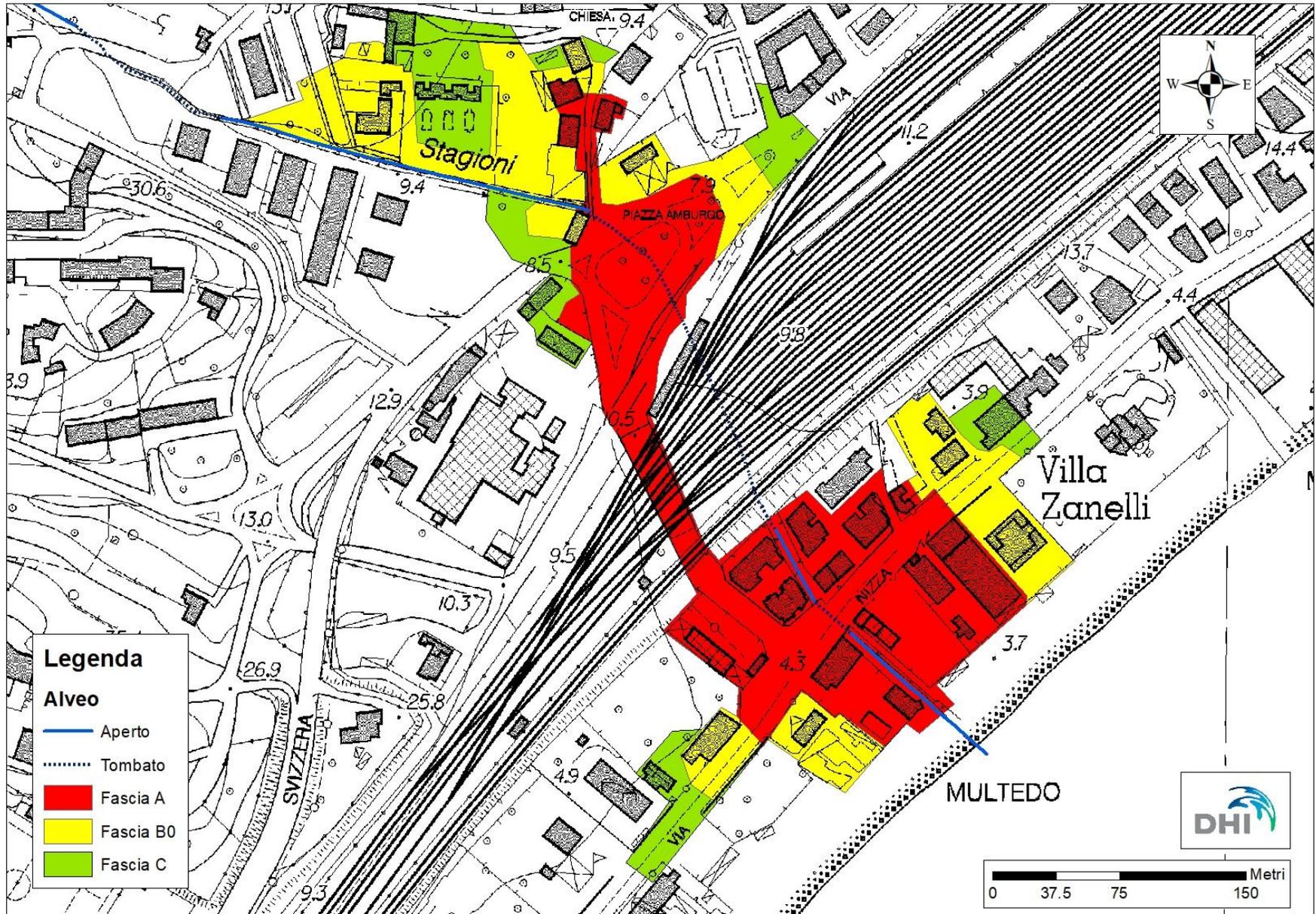


Figura 6.3 Perimetrazione delle fasce di inondabilità relative al rio Quattro Stagioni nello scenario di progetto.

7 Conclusione

Il presente studio ha avuto come obiettivo l'analisi idrologica e idraulica del rio Quattro Stagioni, corso d'acqua del savonese normato dal Piano di Bacino del rio Molinero. Ad oggi il rio non risulta indagato idraulicamente e non sono quindi state definite le fasce di pericolosità idraulica. La finalità principale delle analisi presentate è stata la valutazione dell'entità del fenomeno di esondazione per arrivare alla perimetrazione delle fasce di pericolosità per diversi tempi di ritorno. Una particolare attenzione si è posta sull'area in sponda destra oggetto di prossimi interventi di riqualificazione urbanistica.

Le attività hanno previsto in primo luogo la stesura di un piano di indagine finalizzato a fornire indicazioni per la campagna di rilevamento topografico di una nuvola di punti nell'area di studio e in altri punti di particolare interesse idraulico. Successivamente si è proceduto all'analisi idrologica del bacino, che ha portato alla definizione delle portate di piena e ai relativi idrogrammi per i tre tempi di ritorno investigati (50, 200 e 500 anni). Tali portate hanno costituito il dato di input fornito al modello idraulico accoppiato 1D-2D, realizzato a partire dai dati rilevati e dalle informazioni geometriche già disponibili sull'alveo, utilizzando la piattaforma MIKE FLOOD del DHI.

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate col modello così implementato hanno mostrato una situazione di non contenimento in alveo delle portate di piena relative ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, con franchi residui talvolta inferiori al metro sui tratti non interessati da sormonto spondale. Tale situazione ha reso necessaria un'ulteriore indagine cautelativa considerando uno scenario di parzializzazione delle sezioni dei tratti per cui i franchi residui in caso di evento duecentennale risultano inferiori al metro (larghezza della sezione ridotta del 10%).

Le simulazioni dello scenario di parzializzazione delle sezioni hanno mostrato che l'area oggetto di studio non risulta mai interessata da inondazioni in caso di evento cinquantennale, mentre risulta parzialmente inondata in caso di evento duecentennale. Il limitato valore dei tiranti, sommato alle basse velocità di scorrimento, portano comunque l'area ad essere perimetrata all'interno della fascia di pericolosità B0, non sottoposta quindi a vincolo idraulico come da normativa.

In aggiunta alle analisi appena descritte, è stato valutato un ulteriore scenario di progetto che prevede il ripristino dell'argine destro e la demolizione del manufatto come mostrato in Figura 6.1, in quanto interventi previsti dal progetto di riqualificazione urbana.

Dalla simulazione del modello aggiornato sulla base dello stato di progetto è stato verificato che l'intervento comporterebbe un ulteriore miglioramento della situazione di pericolosità idraulica, portando di fatto alla riduzione della fascia B0 in termini di estensione sull'area di interesse, che risulterebbe quasi interamente asciutta anche in caso di portata duecentennale.

In conclusione alle analisi idrauliche descritte, sono state redatte le mappe con la proposta di perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica relative allo scenario di parzializzazione delle sezioni e allo scenario di progetto, rispettivamente riportate negli allegati E ed F.

Considerando quanto affermato in precedenza ed evidenziando che le presenti analisi idrauliche sono state condotte in un'ottica ampiamente cautelativa, con l'utilizzo di elevati valori di scabrezza in alveo e assumendo uno scenario di parzializzazione delle sezioni, si può concludere che l'area oggetto di studio può ritenersi idraulicamente idonea alla realizzazione degli interventi di riqualificazione urbana previsti.



ALLEGATI



ALLEGATO A – Tabelle delle grandezze idrodinamiche in alveo



A.1 Stato attuale

4STAGIONI - TR50 - STATO ATTUALE											
PROGR.	ID Sezione	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H	Franco	Sponda sinistra	Sponda destra	Intradosso
[m]		[m sm]	[m]	[m sm]	[m/s]	[-]	[m sm]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	S01	11.58	2.16	13.74	2.83	0.61	14.15	1.53	15.28	15.27	-
37.00	S02_M	11.36	1.78	13.14	2.91	0.70	13.57	1.64	15.27	14.78	-
37.50	S02_Mbis	11.27	1.74	13.01	3.15	0.76	13.52	1.77	15.27	14.78	-
38.00	S02_V	11.27	1.73	13.00	3.17	0.77	13.51	1.69	-	-	14.69
39.70	S03	11.26	1.72	12.98	2.81	0.68	13.38	1.69	-	-	14.67
127.30	S04	9.80	2.24	12.04	2.08	0.44	12.26	0.57	-	-	12.61
136.00	S05_M	9.64	2.34	11.98	2.15	0.45	12.22	0.64	-	-	12.62
136.50	S05_V	9.64	2.34	11.98	2.15	0.45	12.22	1.23	13.21	14.13	-
145.00	S06_M	9.27	2.63	11.91	2.22	0.44	12.15	1.31	13.21	14.13	-
145.10	S06_V	9.07	2.82	11.89	2.25	0.43	12.14	1.33	13.21	14.13	-
157.30	S07	8.92	2.82	11.74	2.63	0.50	12.09	1.20	12.94	13.88	-
182.67	S08	8.63	2.60	11.23	2.57	0.51	11.57	0.75	11.98	12.48	-
230.40	S09	7.41	3.20	10.61	2.90	0.52	11.04	0.63	11.24	11.51	-
261.75	interp1	6.93	3.05	9.97	2.92	0.53	10.40	0.71	10.68	10.95	-
293.10	interp2	6.93	2.40	9.33	2.96	0.61	9.77	0.79	10.11	10.39	-
324.45	interp3	5.96	2.72	8.68	3.02	0.58	9.14	0.88	9.55	9.83	-
355.80	S10	5.47	2.52	7.99	3.14	0.63	8.49	1.00	8.99	9.27	-
356.84	S11	5.47	2.48	7.95	3.18	0.64	8.46	-0.08	8.99	7.87	-
361.83	S12_M	5.50	2.32	7.82	3.45	0.72	8.42	-0.37	8.95	7.45	-
368.17	S12_V	5.50	2.13	7.63	3.82	0.84	8.37	-0.18	8.95	7.45	-
368.25	S13_M	4.95	2.68	7.63	3.60	0.70	8.28	-0.24	7.39	7.39	-
368.75	S13_V	4.95	1.55	6.50	4.47	1.15	7.52	0.89	7.39	7.39	-
369.00	S14	4.95	1.53	6.48	4.35	1.12	7.44	-0.12	-	-	6.36
369.20	S15	4.95	1.51	6.46	4.38	1.14	7.43	0.25	-	-	6.70
371.42	S16	4.93	1.39	6.32	2.43	0.66	6.62	0.46	-	-	6.78
377.45	S17	4.88	1.40	6.28	1.88	0.51	6.46	0.36	-	-	6.64
379.12	S18	4.87	1.41	6.28	1.90	0.51	6.46	0.37	-	-	6.65
381.24	S19	4.85	1.40	6.25	2.01	0.54	6.45	0.26	-	-	6.51
385.84	S20	4.63	1.57	6.20	2.17	0.55	6.44	0.36	-	-	6.56
397.80	S21	4.47	1.20	5.67	3.71	1.08	6.37	0.43	-	-	6.10
398.74	S22	4.48	1.14	5.62	3.34	1.00	6.19	0.49	-	-	6.11
413.45	S23	4.24	1.05	5.29	3.84	1.20	6.04	0.78	-	-	6.07
416.87	S24	4.22	0.95	5.17	3.98	1.30	5.98	0.89	-	-	6.06
424.00	S25_M	4.15	0.70	4.85	4.04	1.54	5.68	1.19	-	-	6.04
424.50	S25_V	4.15	0.68	4.83	4.01	1.55	5.65	0.87	-	-	5.70
427.00	S26	3.30	1.39	4.69	1.80	0.49	4.86	0.95	-	-	5.64
441.00	S27_M	3.60	1.00	4.60	2.02	0.64	4.81	0.71	-	-	5.31
442.00	S27_V	3.11	1.48	4.59	2.03	0.53	4.80	2.33	7.10	6.92	-
445.00	S28_M	2.98	1.60	4.58	1.96	0.49	4.77	2.48	7.07	7.06	-
446.00	S28_V	2.98	1.59	4.57	1.97	0.50	4.77	1.97	-	-	6.54
459.00	S29_M	3.40	1.09	4.49	2.00	0.61	4.69	1.91	-	-	6.40
460.00	S29_V	3.40	1.08	4.48	2.03	0.62	4.69	0.67	-	-	5.15
466.50	S30_M	3.28	1.15	4.43	2.04	0.61	4.64	0.68	5.11	5.11	-
467.00	S30_V	3.35	1.07	4.42	2.02	0.62	4.62	2.62	-	-	7.03
493.31	S31	3.07	1.10	4.17	2.18	0.66	4.41	2.34	-	-	6.51
520.00	S32_M	2.79	1.17	3.96	2.15	0.63	4.19	2.05	-	-	6.01
521.00	S32_V	2.78	1.17	3.95	2.18	0.64	4.19	2.53	-	-	6.47
538.41	S33	2.64	1.17	3.81	2.18	0.64	4.05	2.38	-	-	6.19
574.50	S34	2.48	1.02	3.50	2.39	0.76	3.79	2.24	-	-	5.74
575.00	S34bis	2.48	1.01	3.49	2.41	0.76	3.79	2.58	-	-	6.07
579.50	S35M	2.51	0.94	3.45	2.53	0.84	3.77	2.63	-	-	6.07
580.00	S35V	2.35	1.09	3.44	2.23	0.68	3.69	2.56	6.18	6.00	-
585.33	S36	2.31	1.11	3.42	1.47	0.45	3.53	2.59	6.19	6.01	-
621.50	S37M	2.21	1.08	3.29	1.37	0.42	3.38	1.62	4.91	8.00	-
622.00	S37V	2.21	1.06	3.27	1.32	0.41	3.36	1.07	4.91	4.34	-
640.50	S38M	1.99	1.18	3.17	1.65	0.49	3.31	4.82	12.39	7.99	-
641.00	S38V	1.99	1.17	3.16	1.66	0.49	3.30	1.18	12.39	4.34	-
642.00	S39M	1.91	1.26	3.17	1.57	0.45	3.30	1.11	12.39	4.28	-
642.50	S39Mbis	1.91	1.20	3.11	1.70	0.49	3.26	1.17	12.39	4.28	-
642.75	S39V	1.91	1.17	3.08	1.79	0.53	3.24	0.29	-	-	3.38
657.50	S40V	1.91	1.07	2.98	2.04	0.63	3.19	-0.13	-	-	2.85
666.30	S41M	1.87	0.97	2.84	2.59	0.84	3.18	-0.14	-	-	2.70
666.50	S41Mbis	1.87	0.96	2.83	2.54	0.83	3.16	-0.13	-	-	2.70
667.00	S41V	1.87	0.95	2.82	2.11	0.69	3.05	1.01	3.83	7.15	-
723.00	S42M	1.09	1.09	2.18	2.23	0.68	2.44	0.26	2.44	7.14	-
724.00	S42V	1.09	1.07	2.17	2.24	0.69	2.42	0.28	2.44	7.14	-
729.10	S43M	0.95	1.14	2.09	2.44	0.73	2.39	0.62	2.71	7.14	-
730.00	S43V	0.95	1.10	2.05	2.52	0.77	2.37	0.21	2.70	2.26	-
777.00	S44	-1.30	2.11	0.81	0.17	0.04	0.81	-0.11	0.70	0.70	-

4STAGIONI - TR200 - STATO ATTUALE											
PROGR.	ID Sezione	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H	Franco	Sponda sinistra	Sponda destra	Intradosso
[m]		[m sm]	[m]	[m sm]	[m/s]	[-]	[m sm]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	S01	11.58	2.71	14.29	3.16	0.61	14.80	0.98	15.28	15.27	-
37.00	S02_M	11.36	2.29	13.65	3.25	0.69	14.19	1.13	15.27	14.78	-
37.50	S02_Mbis	11.27	2.35	13.62	3.29	0.68	14.17	1.16	15.27	14.78	-
38.00	S02_V	11.27	2.34	13.61	3.30	0.69	14.17	1.08	-	-	14.69
39.70	S03	11.26	2.33	13.59	2.95	0.62	14.03	1.08	-	-	14.67
127.30	S04	9.80	2.98	12.78	2.35	0.43	13.06	-0.17	-	-	12.61
136.00	S05_M	9.64	3.08	12.72	2.45	0.44	13.02	-0.10	-	-	12.62
136.50	S05_V	9.64	3.09	12.73	2.36	0.43	13.01	0.48	13.21	14.13	-
145.00	S06_M	9.27	3.37	12.64	2.48	0.43	12.95	0.57	13.21	14.13	-
145.10	S06_V	9.07	3.55	12.62	2.54	0.43	12.95	0.59	13.21	14.13	-
157.30	S07	8.92	3.55	12.47	2.85	0.48	12.89	0.47	12.94	13.88	-
182.67	S08	8.63	3.27	11.90	2.79	0.49	12.29	0.08	11.98	12.48	-
230.40	S09	7.41	3.88	11.29	3.15	0.51	11.80	-0.05	11.24	11.51	-
261.75	interp1	6.93	3.67	10.60	3.19	0.53	11.11	0.08	10.68	10.95	-
293.10	interp2	5.96	3.93	9.89	3.27	0.53	10.43	0.23	10.11	10.39	-
324.45	interp3	5.47	3.68	9.15	3.40	0.57	9.73	0.41	9.55	9.83	-
355.80	S10	5.47	2.84	8.31	3.70	0.70	9.01	0.68	8.99	9.27	-
356.84	S11	5.47	2.79	8.26	3.63	0.69	8.93	-0.39	8.99	7.87	-
361.83	S12_M	5.50	2.61	8.11	3.65	0.72	8.79	-0.66	8.95	7.45	-
368.17	S12_V	5.50	2.39	7.89	3.52	0.73	8.52	-0.44	8.95	7.45	-
368.25	S13_M	4.95	2.94	7.89	3.44	0.64	8.49	-0.50	7.39	7.39	-
368.75	S13_V	4.95	1.62	6.57	4.56	1.14	7.62	0.82	7.39	7.39	-
369.00	S14	4.95	1.60	6.55	4.55	1.15	7.60	-0.19	-	-	6.36
369.20	S15	4.95	1.57	6.52	4.49	1.14	7.55	0.18	-	-	6.70
371.42	S16	4.93	1.45	6.38	2.48	0.66	6.70	0.40	-	-	6.78
377.45	S17	4.88	1.47	6.35	1.92	0.51	6.53	0.30	-	-	6.64
379.12	S18	4.87	1.47	6.34	1.95	0.51	6.53	0.31	-	-	6.65
381.24	S19	4.85	1.46	6.31	1.81	0.48	6.48	0.20	-	-	6.51
385.84	S20	4.63	1.63	6.26	2.02	0.50	6.47	0.30	-	-	6.56
397.80	S21	4.47	1.25	5.72	3.83	1.09	6.46	0.38	-	-	6.10
398.74	S22	4.48	1.18	5.66	3.41	1.00	6.25	0.45	-	-	6.11
413.45	S23	4.24	1.09	5.33	3.91	1.20	6.11	0.74	-	-	6.07
416.87	S24	4.22	0.99	5.21	3.66	1.17	5.89	0.85	-	-	6.06
424.00	S25_M	4.15	0.74	4.89	4.04	1.49	5.72	1.15	-	-	6.04
424.50	S25_V	4.15	0.72	4.87	4.04	1.52	5.70	0.83	-	-	5.70
427.00	S26	3.30	1.45	4.75	1.84	0.49	4.92	0.89	-	-	5.64
441.00	S27_M	3.60	1.05	4.65	2.06	0.64	4.87	0.66	-	-	5.31
442.00	S27_V	3.11	1.53	4.64	2.08	0.54	4.86	2.28	7.10	6.92	-
445.00	S28_M	2.98	1.65	4.63	2.00	0.50	4.83	2.43	7.07	7.06	-
446.00	S28_V	2.98	1.64	4.62	2.01	0.50	4.83	1.92	-	-	6.54
459.00	S29_M	3.40	1.14	4.54	2.04	0.61	4.75	1.86	-	-	6.40
460.00	S29_V	3.40	1.13	4.53	2.07	0.62	4.75	0.62	-	-	5.15
466.50	S30_M	3.28	1.20	4.48	2.08	0.61	4.70	0.63	5.11	5.11	-
467.00	S30_V	3.35	1.12	4.47	2.09	0.63	4.69	2.56	-	-	7.03
493.31	S31	3.07	1.16	4.23	2.23	0.66	4.48	2.28	-	-	6.51
520.00	S32_M	2.79	1.24	4.02	2.20	0.63	4.27	1.99	-	-	6.01
521.00	S32_V	2.78	1.23	4.01	2.23	0.64	4.26	2.46	-	-	6.47
538.41	S33	2.64	1.24	3.88	2.22	0.64	4.13	2.31	-	-	6.19
574.50	S34	2.48	1.11	3.59	2.44	0.74	3.89	2.15	-	-	5.74
575.00	S34bis	2.48	1.10	3.58	2.46	0.75	3.89	2.49	-	-	6.07
579.50	S35M	2.51	1.03	3.54	2.58	0.81	3.87	2.54	-	-	6.07
580.00	S35V	2.35	1.19	3.54	2.27	0.66	3.80	2.46	6.18	6.00	-
585.33	S36	2.31	1.23	3.54	1.50	0.43	3.66	2.47	6.19	6.01	-
621.50	S37M	2.21	1.24	3.45	1.39	0.40	3.55	1.46	4.91	8.00	-
622.00	S37V	2.21	1.23	3.44	1.32	0.38	3.53	0.90	4.91	4.34	-
640.50	S38M	1.99	1.38	3.37	1.65	0.45	3.51	4.62	12.39	7.99	-
641.00	S38V	1.99	1.38	3.37	1.66	0.45	3.51	0.97	12.39	4.34	-
642.00	S39M	1.91	1.47	3.37	1.57	0.41	3.50	0.91	12.39	4.28	-
642.50	S39Mbis	1.91	1.40	3.31	1.69	0.46	3.45	0.97	12.39	4.28	-
642.75	S39V	1.91	1.37	3.28	1.81	0.49	3.44	0.10	-	-	3.38
657.50	S40V	1.91	1.26	3.17	2.11	0.60	3.40	-0.32	-	-	2.85
666.30	S41M	1.87	1.09	2.96	2.91	0.89	3.39	-0.25	-	-	2.70
666.50	S41Mbis	1.87	0.88	2.75	3.06	1.04	3.22	-0.05	-	-	2.70
667.00	S41V	1.87	1.06	2.93	2.17	0.67	3.17	0.90	3.83	7.15	-
723.00	S42M	1.09	1.20	2.29	2.41	0.70	2.58	0.15	2.44	7.14	-
724.00	S42V	1.09	1.04	2.13	2.56	0.80	2.46	0.31	2.44	7.14	-
729.10	S43M	0.95	0.91	1.86	3.44	1.15	2.46	0.85	2.71	7.14	-
730.00	S43V	0.95	0.93	1.88	3.36	1.11	2.45	0.38	2.70	2.26	-
777.00	S44	-1.30	2.11	0.81	0.22	0.05	0.81	-0.11	0.70	0.70	-

4STAGIONI - TR500 - STATO ATTUALE											
PROGR.	ID Sezione	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H	Franco	Sponda sinistra	Sponda destra	Intradosso
[m]		[m sm]	[m]	[m sm]	[m/s]	[-]	[m sm]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	S01	11.58	3.48	15.06	2.88	0.49	15.48	0.21	15.28	15.27	-
37.00	S02_M	11.36	3.30	14.66	2.72	0.48	15.03	0.12	15.27	14.78	-
37.50	S02_Mbis	11.27	2.70	13.97	3.46	0.67	14.58	0.81	15.27	14.78	-
38.00	S02_V	11.27	2.69	13.96	3.47	0.67	14.58	0.73	-	-	14.69
39.70	S03	11.26	2.68	13.94	3.10	0.61	14.43	0.73	-	-	14.67
127.30	S04	9.80	3.28	13.08	2.87	0.51	13.49	-0.47	-	-	12.61
136.00	S05_M	9.64	3.36	13.00	2.98	0.52	13.45	-0.38	-	-	12.62
136.50	S05_V	9.64	3.36	13.00	2.63	0.46	13.35	0.21	13.21	14.13	-
145.00	S06_M	9.27	3.64	12.91	2.79	0.47	13.30	0.30	13.21	14.13	-
145.10	S06_V	9.07	3.83	12.90	2.80	0.46	13.30	0.31	13.21	14.13	-
157.30	S07	8.92	3.80	12.72	3.36	0.55	13.29	0.22	12.94	13.88	-
182.67	S08	8.63	3.40	12.03	3.06	0.53	12.50	-0.05	11.98	12.48	-
230.40	S09	7.41	3.98	11.39	3.29	0.53	11.94	-0.15	11.24	11.51	-
261.75	interp1	6.93	3.75	10.68	3.22	0.53	11.20	0.00	10.68	10.95	-
293.10	interp2	5.96	4.00	9.96	3.31	0.53	10.52	0.16	10.11	10.39	-
324.45	interp3	5.47	3.74	9.21	3.45	0.57	9.81	0.34	9.55	9.83	-
355.80	S10	5.47	2.89	8.36	3.77	0.71	9.09	0.63	8.99	9.27	-
356.84	S11	5.47	2.84	8.31	3.85	0.73	9.06	-0.44	8.99	7.87	-
361.83	S12_M	5.50	2.66	8.16	4.17	0.82	9.05	-0.71	8.95	7.45	-
368.17	S12_V	5.50	2.44	7.94	4.56	0.93	9.00	-0.49	8.95	7.45	-
368.25	S13_M	4.95	2.99	7.94	4.43	0.82	8.94	-0.55	7.39	7.39	-
368.75	S13_V	4.95	1.63	6.58	4.58	1.14	7.65	0.81	7.39	7.39	-
369.00	S14	4.95	1.61	6.56	4.61	1.16	7.64	-0.20	-	-	6.36
369.20	S15	4.95	1.58	6.53	4.60	1.17	7.61	0.17	-	-	6.70
371.42	S16	4.93	1.47	6.40	2.49	0.66	6.71	0.39	-	-	6.78
377.45	S17	4.88	1.48	6.36	1.92	0.51	6.55	0.28	-	-	6.64
379.12	S18	4.87	1.48	6.35	1.95	0.51	6.54	0.30	-	-	6.65
381.24	S19	4.85	1.47	6.32	2.05	0.54	6.53	0.19	-	-	6.51
385.84	S20	4.63	1.64	6.27	2.23	0.56	6.52	0.29	-	-	6.56
397.80	S21	4.47	1.26	5.73	3.56	1.01	6.37	0.37	-	-	6.10
398.74	S22	4.48	1.19	5.67	3.43	1.00	6.27	0.44	-	-	6.11
413.45	S23	4.24	1.10	5.34	3.93	1.20	6.12	0.73	-	-	6.07
416.87	S24	4.22	1.00	5.22	3.95	1.26	6.02	0.84	-	-	6.06
424.00	S25_M	4.15	0.75	4.90	4.03	1.48	5.73	1.14	-	-	6.04
424.50	S25_V	4.15	0.73	4.88	4.05	1.51	5.72	0.82	-	-	5.70
427.00	S26	3.30	1.46	4.76	1.85	0.49	4.93	0.88	-	-	5.64
441.00	S27_M	3.60	1.07	4.67	2.07	0.64	4.88	0.64	-	-	5.31
442.00	S27_V	3.11	1.55	4.66	2.08	0.53	4.88	2.26	7.10	6.92	-
445.00	S28_M	2.98	1.67	4.65	2.00	0.50	4.85	2.41	7.07	7.06	-
446.00	S28_V	2.98	1.66	4.64	2.02	0.50	4.85	1.90	-	-	6.54
459.00	S29_M	3.40	1.15	4.55	2.05	0.61	4.77	1.85	-	-	6.40
460.00	S29_V	3.40	1.15	4.55	2.07	0.62	4.76	0.61	-	-	5.15
466.50	S30_M	3.28	1.22	4.50	2.09	0.60	4.72	0.61	5.11	5.11	-
467.00	S30_V	3.35	1.14	4.48	2.11	0.63	4.71	2.55	-	-	7.03
493.31	S31	3.07	1.18	4.25	2.23	0.66	4.50	2.26	-	-	6.51
520.00	S32_M	2.79	1.26	4.05	2.20	0.63	4.29	1.96	-	-	6.01
521.00	S32_V	2.78	1.26	4.04	2.23	0.63	4.29	2.44	-	-	6.47
538.41	S33	2.64	1.27	3.91	2.23	0.63	4.16	2.28	-	-	6.19
574.50	S34	2.48	1.15	3.63	2.45	0.73	3.94	2.11	-	-	5.74
575.00	S34bis	2.48	1.15	3.63	2.46	0.73	3.93	2.45	-	-	6.07
579.50	S35M	2.51	1.07	3.58	2.59	0.80	3.92	2.49	-	-	6.07
580.00	S35V	2.35	1.24	3.59	2.27	0.65	3.85	2.41	6.18	6.00	-
585.33	S36	2.31	1.29	3.60	1.50	0.42	3.72	2.41	6.19	6.01	-
621.50	S37M	2.21	1.31	3.52	1.39	0.39	3.62	1.39	4.91	8.00	-
622.00	S37V	2.21	1.30	3.51	1.42	0.40	3.61	0.83	4.91	4.34	-
640.50	S38M	1.99	1.47	3.46	1.65	0.44	3.60	4.53	12.39	7.99	-
641.00	S38V	1.99	1.46	3.46	1.63	0.43	3.59	0.89	12.39	4.34	-
642.00	S39M	1.91	1.55	3.46	1.57	0.40	3.58	0.82	12.39	4.28	-
642.50	S39Mbis	1.91	1.48	3.39	1.69	0.44	3.53	0.89	12.39	4.28	-
642.75	S39V	1.91	1.44	3.35	1.82	0.48	3.52	0.02	-	-	3.38
657.50	S40V	1.91	1.33	3.24	2.28	0.63	3.51	-0.39	-	-	2.85
666.30	S41M	1.87	1.12	2.99	2.81	0.85	3.40	-0.29	-	-	2.70
666.50	S41Mbis	1.87	1.12	2.99	2.82	0.85	3.39	-0.29	-	-	2.70
667.00	S41V	1.87	1.10	2.97	2.23	0.68	3.22	0.86	3.83	7.15	-
723.00	S42M	1.09	1.24	2.33	2.49	0.71	2.64	0.11	2.44	7.14	-
724.00	S42V	1.09	1.22	2.31	2.44	0.71	2.61	0.13	2.44	7.14	-
729.10	S43M	0.95	1.27	2.22	2.71	0.77	2.59	0.49	2.71	7.14	-
730.00	S43V	0.95	1.23	2.18	2.68	0.77	2.55	0.08	2.70	2.26	-
777.00	S44	-1.30	2.11	0.81	0.24	0.05	0.81	-0.11	0.70	0.70	-

7.1 Scenario con parzializzazione del 10%

4STAGIONI - TR50 - PARZIALIZZAZIONE 10%												
PROGR.	ID Sezione	Quota fondo	Y	PL	Delta PL (parz - attuale)	V	Fr	H	Franco	Sponda sinistra	Sponda destra	Intradosso
[m]		[m sm]	[m]	[m sm]	[m]	[m/s]	[-]	[m sm]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	S01	11.58	2.20	13.78	0.04	2.83	0.61	14.19	1.49	15.28	15.27	-
37.00	S02_M	11.36	1.82	13.18	0.04	2.90	0.69	13.61	1.60	15.27	14.78	-
37.50	S02_Mbis	11.27	1.88	13.15	0.13	2.97	0.69	13.59	1.63	15.27	14.78	-
38.00	S02_V	11.27	1.87	13.14	0.14	2.99	0.70	13.59	1.55	-	-	14.69
39.70	S03	11.26	1.86	13.12	0.14	2.65	0.62	13.47	1.56	-	-	14.67
127.30	S04	9.80	2.60	12.40	0.37	2.01	0.40	12.61	0.21	-	-	12.61
136.00	S05_M	9.64	2.71	12.35	0.37	2.09	0.41	12.57	0.27	-	-	12.62
136.50	S05_V	9.64	2.71	12.35	0.37	2.09	0.41	12.57	0.86	13.21	14.13	-
145.00	S06_M	9.27	3.00	12.27	0.37	2.17	0.40	12.51	0.94	13.21	14.13	-
145.10	S06_V	9.07	3.18	12.25	0.37	2.25	0.40	12.51	0.96	13.21	14.13	-
157.30	S07	8.92	3.19	12.11	0.37	2.75	0.49	12.50	0.83	12.94	13.88	-
182.67	S08	8.63	2.96	11.59	0.36	2.50	0.46	11.91	0.39	11.98	12.48	-
230.40	S09	7.41	3.58	10.99	0.38	2.86	0.48	11.41	0.25	11.24	11.51	-
261.75	interp1	6.93	3.39	10.31	0.34	2.91	0.50	10.74	0.36	10.68	10.95	-
293.10	interp2	6.93	2.70	9.63	0.30	2.98	0.58	10.08	0.49	10.11	10.39	-
324.45	interp3	5.96	2.96	8.92	0.24	3.09	0.57	9.40	0.64	9.55	9.83	-
355.80	S10	5.47	2.65	8.12	0.13	3.34	0.65	8.69	0.87	8.99	9.27	-
356.84	S11	5.47	2.59	8.06	0.11	3.11	0.62	8.55	-0.19	8.99	7.87	-
361.83	S12_M	5.50	2.44	7.94	0.12	3.40	0.69	8.53	-0.49	8.95	7.45	-
368.17	S12_V	5.50	2.22	7.72	0.09	3.98	0.85	8.52	-0.27	8.95	7.45	-
368.25	S13_M	4.95	2.76	7.71	0.09	3.94	0.76	8.50	-0.32	7.39	7.39	-
368.75	S13_V	4.95	1.63	6.58	0.08	4.38	1.09	7.56	0.81	7.39	7.39	-
369.00	S14	4.95	1.61	6.56	0.08	4.42	1.11	7.55	-0.20	-	-	6.36
369.20	S15	4.95	1.57	6.52	0.07	4.39	1.12	7.50	0.18	-	-	6.70
371.42	S16	4.93	1.45	6.38	0.06	2.39	0.63	6.67	0.40	-	-	6.78
377.45	S17	4.88	1.47	6.35	0.06	1.84	0.49	6.52	0.30	-	-	6.64
379.12	S18	4.87	1.47	6.34	0.06	1.86	0.49	6.51	0.31	-	-	6.65
381.24	S19	4.85	1.46	6.31	0.06	1.90	0.50	6.49	0.20	-	-	6.51
385.84	S20	4.63	1.63	6.26	0.06	2.10	0.52	6.48	0.30	-	-	6.56
397.80	S21	4.47	1.24	5.71	0.04	3.81	1.09	6.45	0.39	-	-	6.10
398.74	S22	4.48	1.17	5.65	0.03	3.33	0.98	6.21	0.46	-	-	6.11
413.45	S23	4.24	1.07	5.31	0.02	3.86	1.19	6.07	0.76	-	-	6.07
416.87	S24	4.22	0.97	5.19	0.01	4.01	1.30	6.01	0.87	-	-	6.06
424.00	S25_M	4.15	0.69	4.84	-0.01	4.22	1.62	5.75	1.20	-	-	6.04
424.50	S25_V	4.15	0.66	4.81	-0.02	4.25	1.67	5.73	0.89	-	-	5.70
427.00	S26	3.30	1.35	4.65	-0.05	1.90	0.52	4.83	0.99	-	-	5.64
441.00	S27_M	3.60	0.94	4.54	-0.06	2.18	0.72	4.78	0.77	-	-	5.31
442.00	S27_V	3.11	1.42	4.53	-0.06	2.19	0.59	4.78	2.39	7.10	6.92	-
445.00	S28_M	2.98	1.55	4.53	-0.05	1.89	0.49	4.71	2.53	7.07	7.06	-
446.00	S28_V	2.98	1.54	4.52	-0.05	1.91	0.49	4.70	2.02	-	-	6.54
459.00	S29_M	3.40	1.03	4.43	-0.05	1.94	0.61	4.62	1.97	-	-	6.40
460.00	S29_V	3.40	1.02	4.42	-0.05	1.97	0.62	4.62	0.73	-	-	5.15
466.50	S30_M	3.28	1.10	4.38	-0.05	1.98	0.60	4.58	0.73	5.11	5.11	-
467.00	S30_V	3.35	1.02	4.36	-0.05	2.02	0.64	4.57	2.67	-	-	7.03
493.31	S31	3.07	1.05	4.12	-0.05	2.11	0.66	4.34	2.39	-	-	6.51
520.00	S32_M	2.79	1.13	3.91	-0.05	2.07	0.62	4.13	2.10	-	-	6.01
521.00	S32_V	2.78	1.12	3.90	-0.05	2.10	0.63	4.13	2.57	-	-	6.47
538.41	S33	2.64	1.13	3.77	-0.04	2.08	0.62	3.99	2.42	-	-	6.19
574.50	S34	2.48	1.00	3.48	-0.02	2.27	0.73	3.74	2.26	-	-	5.74
575.00	S34bis	2.48	0.99	3.47	-0.02	2.29	0.73	3.74	2.60	-	-	6.07
579.50	S35M	2.51	0.92	3.43	-0.02	2.41	0.80	3.72	2.65	-	-	6.07
580.00	S35V	2.35	1.08	3.43	-0.01	2.11	0.65	3.66	2.57	6.18	6.00	-
585.33	S36	2.31	1.12	3.43	0.01	1.38	0.41	3.53	2.58	6.19	6.01	-
621.50	S37M	2.21	1.12	3.33	0.04	1.25	0.38	3.41	1.58	4.91	8.00	-
622.00	S37V	2.21	1.11	3.32	0.05	1.27	0.38	3.40	1.02	4.91	4.34	-
640.50	S38M	1.99	1.25	3.24	0.07	1.46	0.42	3.35	4.75	12.39	7.99	-
641.00	S38V	1.99	1.25	3.24	0.08	1.46	0.42	3.35	1.10	12.39	4.34	-
642.00	S39M	1.91	1.31	3.22	0.05	1.57	0.44	3.34	1.06	12.39	4.28	-
642.50	S39Mbis	1.91	1.26	3.16	0.05	1.69	0.48	3.31	1.12	12.39	4.28	-
642.75	S39V	1.91	1.23	3.14	0.06	1.74	0.50	3.29	0.24	-	-	3.38
657.50	S40V	1.91	1.12	3.03	0.06	2.22	0.67	3.28	-0.18	-	-	2.85
666.30	S41M	1.87	1.00	2.87	0.03	2.80	0.89	3.27	-0.17	-	-	2.70
666.50	S41Mbis	1.87	0.99	2.86	0.03	2.80	0.90	3.26	-0.16	-	-	2.70
667.00	S41V	1.87	0.98	2.85	0.03	2.15	0.69	3.09	0.98	3.83	7.15	-
723.00	S42M	1.09	1.10	2.19	0.01	2.36	0.72	2.48	0.25	2.44	7.14	-
724.00	S42V	1.09	1.08	2.17	0.01	2.41	0.74	2.47	0.27	2.44	7.14	-
729.10	S43M	0.95	0.88	1.83	-0.26	3.54	1.20	2.47	0.88	2.71	7.14	-
730.00	S43V	0.95	0.94	1.89	-0.16	3.33	1.09	2.45	0.37	2.70	2.26	-
777.00	S44	-1.30	2.12	0.82	0.01	0.13	0.03	0.82	-0.12	0.70	0.70	-

4STAGIONI - TR200 - PARZIALIZZAZIONE 10%												
PROGR.	ID Sezione	Quota fondo	Y	PL	Delta PL (parz - attuale)	V	Fr	H	Franco	Sponda sinistra	Sponda destra	Intradosso
[m]		[m sm]	[m]	[m sm]	[m]	[m/s]	[-]	[m sm]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	S01	11.58	2.81	14.39	0.10	3.07	0.58	14.87	0.88	15.28	15.27	-
37.00	S02_M	11.36	2.45	13.81	0.16	3.09	0.63	14.29	0.97	15.27	14.78	-
37.50	S02_Mbis	11.27	2.52	13.79	0.17	3.11	0.62	14.28	0.99	15.27	14.78	-
38.00	S02_V	11.27	2.51	13.79	0.17	3.12	0.63	14.28	0.91	-	-	14.69
39.70	S03	11.26	2.51	13.77	0.17	2.78	0.56	14.16	0.91	-	-	14.67
127.30	S04	9.80	3.25	13.05	0.27	2.61	0.46	13.40	-0.44	-	-	12.61
136.00	S05_M	9.64	3.33	12.97	0.25	2.72	0.48	13.35	-0.35	-	-	12.62
136.50	S05_V	9.64	3.34	12.99	0.26	2.44	0.43	13.29	0.23	13.21	14.13	-
145.00	S06_M	9.27	3.62	12.89	0.25	2.58	0.43	13.23	0.32	13.21	14.13	-
145.10	S06_V	9.07	3.81	12.88	0.26	2.60	0.42	13.23	0.33	13.21	14.13	-
157.30	S07	8.92	3.79	12.71	0.23	3.18	0.52	13.22	0.23	12.94	13.88	-
182.67	S08	8.63	3.40	12.03	0.14	2.85	0.49	12.45	-0.05	11.98	12.48	-
230.40	S09	7.41	3.99	11.40	0.11	3.08	0.49	11.88	-0.16	11.24	11.51	-
261.75	interp1	6.93	3.76	10.69	0.09	3.05	0.50	11.16	-0.01	10.68	10.95	-
293.10	interp2	6.93	3.03	9.96	0.07	3.15	0.58	10.46	0.16	10.11	10.39	-
324.45	interp3	5.96	3.24	9.19	0.05	3.31	0.59	9.75	0.36	9.55	9.83	-
355.80	S10	5.47	2.84	8.31	-0.01	3.68	0.70	8.99	0.68	8.99	9.27	-
356.84	S11	5.47	2.76	8.23	-0.03	3.40	0.65	8.82	-0.36	8.99	7.87	-
361.83	S12_M	5.50	2.61	8.11	0.00	3.68	0.73	8.80	-0.66	8.95	7.45	-
368.17	S12_V	5.50	2.37	7.87	-0.02	4.21	0.87	8.77	-0.42	8.95	7.45	-
368.25	S13_M	4.95	2.92	7.87	-0.02	4.18	0.78	8.76	-0.48	7.39	7.39	-
368.75	S13_V	4.95	1.67	6.62	0.05	4.43	1.09	7.62	0.77	7.39	7.39	-
369.00	S14	4.95	1.65	6.60	0.05	4.45	1.11	7.61	-0.24	-	-	6.36
369.20	S15	4.95	1.61	6.56	0.04	4.42	1.11	7.55	0.14	-	-	6.70
371.42	S16	4.93	1.49	6.42	0.04	2.41	0.63	6.71	0.36	-	-	6.78
377.45	S17	4.88	1.50	6.38	0.04	1.87	0.49	6.56	0.26	-	-	6.64
379.12	S18	4.87	1.50	6.37	0.04	1.85	0.48	6.55	0.28	-	-	6.65
381.24	S19	4.85	1.50	6.35	0.04	1.92	0.50	6.53	0.16	-	-	6.51
385.84	S20	4.63	1.67	6.30	0.04	2.07	0.51	6.51	0.26	-	-	6.56
397.80	S21	4.47	1.27	5.74	0.02	3.85	1.09	6.49	0.37	-	-	6.10
398.74	S22	4.48	1.20	5.68	0.01	3.37	0.98	6.25	0.44	-	-	6.11
413.45	S23	4.24	1.09	5.33	0.00	3.90	1.19	6.11	0.74	-	-	6.07
416.87	S24	4.22	0.99	5.21	0.00	4.05	1.30	6.04	0.85	-	-	6.06
424.00	S25_M	4.15	0.71	4.86	-0.03	4.24	1.60	5.78	1.18	-	-	6.04
424.50	S25_V	4.15	0.69	4.84	-0.04	4.26	1.64	5.76	0.87	-	-	5.70
427.00	S26	3.30	1.38	4.68	-0.07	1.93	0.52	4.87	0.96	-	-	5.64
441.00	S27_M	3.60	0.97	4.57	-0.08	2.20	0.71	4.82	0.74	-	-	5.31
442.00	S27_V	3.11	1.45	4.56	-0.08	2.22	0.59	4.81	2.36	7.10	6.92	-
445.00	S28_M	2.98	1.58	4.56	-0.07	1.92	0.49	4.74	2.50	7.07	7.06	-
446.00	S28_V	2.98	1.57	4.55	-0.07	1.93	0.49	4.74	1.99	-	-	6.54
459.00	S29_M	3.40	1.07	4.47	-0.07	1.96	0.61	4.66	1.93	-	-	6.40
460.00	S29_V	3.40	1.06	4.46	-0.07	1.99	0.62	4.66	0.69	-	-	5.15
466.50	S30_M	3.28	1.13	4.41	-0.07	2.00	0.60	4.62	0.70	5.11	5.11	-
467.00	S30_V	3.35	0.99	4.34	-0.13	2.30	0.74	4.61	2.70	-	-	7.03
493.31	S31	3.07	1.09	4.16	-0.07	2.13	0.65	4.39	2.35	-	-	6.51
520.00	S32_M	2.79	1.18	3.96	-0.06	2.09	0.62	4.19	2.05	-	-	6.01
521.00	S32_V	2.78	1.18	3.96	-0.06	2.12	0.62	4.18	2.52	-	-	6.47
538.41	S33	2.64	1.20	3.84	-0.04	2.10	0.61	4.06	2.35	-	-	6.19
574.50	S34	2.48	1.09	3.57	-0.02	2.30	0.70	3.84	2.17	-	-	5.74
575.00	S34bis	2.48	1.09	3.57	-0.02	2.31	0.71	3.84	2.51	-	-	6.07
579.50	S35M	2.51	1.01	3.52	-0.01	2.43	0.77	3.82	2.55	-	-	6.07
580.00	S35V	2.35	1.19	3.54	0.00	2.13	0.62	3.77	2.46	6.18	6.00	-
585.33	S36	2.31	1.24	3.55	0.01	1.39	0.40	3.65	2.46	6.19	6.01	-
621.50	S37M	2.21	1.27	3.48	0.03	1.26	0.36	3.56	1.43	4.91	8.00	-
622.00	S37V	2.21	1.26	3.47	0.03	1.30	0.37	3.56	0.87	4.91	4.34	-
640.50	S38M	1.99	1.44	3.43	0.05	1.46	0.39	3.53	4.56	12.39	7.99	-
641.00	S38V	1.99	1.43	3.42	0.05	1.46	0.39	3.53	0.92	12.39	4.34	-
642.00	S39M	1.91	1.51	3.41	0.04	1.47	0.38	3.52	0.87	12.39	4.28	-
642.50	S39Mbis	1.91	1.44	3.35	0.04	1.76	0.47	3.51	0.93	12.39	4.28	-
642.75	S39V	1.91	1.41	3.32	0.04	1.91	0.51	3.50	0.06	-	-	3.38
657.50	S40V	1.91	1.29	3.20	0.04	2.29	0.64	3.47	-0.35	-	-	2.85
666.30	S41M	1.87	1.10	2.97	0.02	3.12	0.95	3.47	-0.27	-	-	2.70
666.50	S41Mbis	1.87	1.10	2.97	0.22	3.11	0.95	3.46	-0.26	-	-	2.70
667.00	S41V	1.87	1.08	2.95	0.01	2.21	0.68	3.20	0.88	3.83	7.15	-
723.00	S42M	1.09	1.20	2.29	0.00	2.50	0.73	2.61	0.15	2.44	7.14	-
724.00	S42V	1.09	1.18	2.27	0.14	2.51	0.74	2.59	0.17	2.44	7.14	-
729.10	S43M	0.95	1.23	2.18	0.32	2.82	0.81	2.58	0.53	2.71	7.14	-
730.00	S43V	0.95	1.18	2.13	0.25	2.91	0.85	2.56	0.13	2.70	2.26	-
777.00	S44	-1.30	2.12	0.82	0.01	0.16	0.03	0.82	-0.12	0.70	0.70	-

4STAGIONI - TR500 - PARZIALIZZAZIONE 10%												
PROGR.	ID Sezione	Quota fondo	Y	PL	Delta PL (parz - attuale)	V	Fr	H	Franco	Sponda sinistra	Sponda destra	Intradosso
		[m sm]	[m]	[m sm]	[m]	[m/s]	[-]	[m sm]	[m]	[m]	[m]	
0.00	S01	11.58	3.14	14.72	-0.34	3.24	0.58	15.25	0.55	15.28	15.27	-
37.00	S02_M	11.36	2.76	14.12	-0.54	3.27	0.63	14.66	0.66	15.27	14.78	-
37.50	S02_Mbis	11.27	2.83	14.10	0.13	3.29	0.62	14.65	0.68	15.27	14.78	-
38.00	S02_V	11.27	2.82	14.09	0.13	3.30	0.63	14.65	0.60	-	-	14.69
39.70	S03	11.26	2.81	14.07	0.13	2.95	0.56	14.52	0.60	-	-	14.67
127.30	S04	9.80	3.50	13.30	0.22	3.19	0.54	13.82	-0.69	-	-	12.61
136.00	S05_M	9.64	3.56	13.20	0.20	3.31	0.56	13.76	-0.58	-	-	12.62
136.50	S05_V	9.64	3.55	13.19	0.19	2.76	0.47	13.58	0.02	13.21	14.13	-
145.00	S06_M	9.27	3.82	13.09	0.18	2.94	0.48	13.53	0.12	13.21	14.13	-
145.10	S06_V	9.07	4.02	13.09	0.19	2.92	0.46	13.52	0.12	13.21	14.13	-
157.30	S07	8.92	3.95	12.87	0.15	3.21	0.52	13.39	0.07	12.94	13.88	-
182.67	S08	8.63	3.45	12.08	0.05	3.09	0.53	12.56	-0.10	11.98	12.48	-
230.40	S09	7.41	4.01	11.42	0.03	3.19	0.51	11.93	-0.18	11.24	11.51	-
261.75	interp1	6.93	3.76	10.69	0.01	3.07	0.50	11.17	-0.01	10.68	10.95	-
293.10	interp2	6.93	3.04	9.96	0.00	3.16	0.58	10.47	0.15	10.11	10.39	-
324.45	interp3	5.96	3.24	9.19	-0.01	3.33	0.59	9.76	0.36	9.55	9.83	-
355.80	S10	5.47	2.85	8.32	-0.04	3.71	0.70	9.02	0.67	8.99	9.27	-
356.84	S11	5.47	2.79	8.26	-0.05	3.42	0.65	8.86	-0.39	8.99	7.87	-
361.83	S12_M	5.50	2.65	8.15	-0.01	3.71	0.73	8.85	-0.70	8.95	7.45	-
368.17	S12_V	5.50	2.42	7.92	-0.02	3.85	0.79	8.67	-0.47	8.95	7.45	-
368.25	S13_M	4.95	2.97	7.92	-0.02	3.82	0.71	8.66	-0.53	7.39	7.39	-
368.75	S13_V	4.95	1.67	6.62	0.04	4.45	1.10	7.63	0.77	7.39	7.39	-
369.00	S14	4.95	1.65	6.60	0.04	4.48	1.11	7.62	-0.23	-	-	6.36
369.20	S15	4.95	1.62	6.57	0.04	4.47	1.12	7.58	0.13	-	-	6.70
371.42	S16	4.93	1.50	6.43	0.03	2.42	0.63	6.72	0.35	-	-	6.78
377.45	S17	4.88	1.51	6.39	0.03	1.87	0.49	6.57	0.25	-	-	6.64
379.12	S18	4.87	1.51	6.38	0.03	1.92	0.50	6.57	0.27	-	-	6.65
381.24	S19	4.85	1.50	6.35	0.03	1.97	0.51	6.55	0.16	-	-	6.51
385.84	S20	4.63	1.67	6.30	0.03	2.13	0.53	6.53	0.26	-	-	6.56
397.80	S21	4.47	1.27	5.74	0.01	3.78	1.07	6.46	0.36	-	-	6.10
398.74	S22	4.48	1.20	5.68	0.01	3.38	0.99	6.26	0.43	-	-	6.11
413.45	S23	4.24	1.09	5.33	0.00	3.92	1.20	6.12	0.74	-	-	6.07
416.87	S24	4.22	0.99	5.21	-0.01	4.07	1.31	6.05	0.85	-	-	6.06
424.00	S25_M	4.15	0.71	4.86	-0.04	4.24	1.60	5.78	1.18	-	-	6.04
424.50	S25_V	4.15	0.69	4.84	-0.05	4.18	1.61	5.73	0.86	-	-	5.70
427.00	S26	3.30	1.38	4.68	-0.08	1.94	0.53	4.87	0.96	-	-	5.64
441.00	S27_M	3.60	0.98	4.58	-0.09	2.21	0.71	4.82	0.73	-	-	5.31
442.00	S27_V	3.11	1.46	4.57	-0.09	2.23	0.59	4.82	2.35	7.10	6.92	-
445.00	S28_M	2.98	1.58	4.56	-0.09	1.92	0.49	4.75	2.50	7.07	7.06	-
446.00	S28_V	2.98	1.57	4.55	-0.09	1.93	0.49	4.74	1.99	-	-	6.54
459.00	S29_M	3.40	1.07	4.47	-0.08	1.97	0.61	4.67	1.93	-	-	6.40
460.00	S29_V	3.40	1.06	4.46	-0.08	1.99	0.62	4.66	0.69	-	-	5.15
466.50	S30_M	3.28	1.14	4.42	-0.08	2.00	0.60	4.62	0.69	5.11	5.11	-
467.00	S30_V	3.35	1.06	4.40	-0.08	2.07	0.64	4.62	2.63	-	-	7.03
493.31	S31	3.07	1.10	4.17	-0.08	2.13	0.65	4.40	2.33	-	-	6.51
520.00	S32_M	2.79	1.20	3.99	-0.06	2.10	0.61	4.21	2.02	-	-	6.01
521.00	S32_V	2.78	1.20	3.98	-0.06	2.12	0.62	4.21	2.50	-	-	6.47
538.41	S33	2.64	1.23	3.87	-0.04	2.11	0.61	4.09	2.32	-	-	6.19
574.50	S34	2.48	1.15	3.62	-0.01	2.30	0.69	3.89	2.11	-	-	5.74
575.00	S34bis	2.48	1.14	3.62	-0.01	2.31	0.69	3.89	2.45	-	-	6.07
579.50	S35M	2.51	1.07	3.58	0.00	2.44	0.75	3.88	2.49	-	-	6.07
580.00	S35V	2.35	1.25	3.60	0.01	2.13	0.61	3.83	2.40	6.18	6.00	-
585.33	S36	2.31	1.31	3.62	0.02	1.99	0.55	3.82	2.39	6.19	6.01	-
621.50	S37M	2.21	1.36	3.57	0.05	1.26	0.35	3.65	1.34	4.91	8.00	-
622.00	S37V	2.21	1.35	3.56	0.05	1.30	0.36	3.64	0.78	4.91	4.34	-
640.50	S38M	1.99	1.53	3.52	0.07	1.46	0.38	3.63	4.47	12.39	7.99	-
641.00	S38V	1.99	1.53	3.52	0.07	1.46	0.38	3.63	0.82	12.39	4.34	-
642.00	S39M	1.91	1.61	3.51	0.06	1.45	0.36	3.62	0.77	12.39	4.28	-
642.50	S39Mbis	1.91	1.53	3.44	0.05	1.68	0.43	3.58	0.84	12.39	4.28	-
642.75	S39V	1.91	1.49	3.40	0.05	1.83	0.48	3.57	-0.02	-	-	3.38
657.50	S40V	1.91	1.37	3.28	0.04	2.24	0.61	3.54	-0.43	-	-	2.85
666.30	S41M	1.87	1.14	3.01	0.02	3.18	0.95	3.52	-0.31	-	-	2.70
666.50	S41Mbis	1.87	1.13	3.00	0.02	3.15	0.94	3.51	-0.30	-	-	2.70
667.00	S41V	1.87	1.11	2.98	0.01	2.27	0.69	3.25	0.85	3.83	7.15	-
723.00	S42M	1.09	1.23	2.33	0.00	2.59	0.74	2.67	0.12	2.44	7.14	-
724.00	S42V	1.09	1.22	2.31	0.00	2.65	0.77	2.66	0.13	2.44	7.14	-
729.10	S43M	0.95	1.26	2.21	-0.02	2.97	0.85	2.65	0.51	2.71	7.14	-
730.00	S43V	0.95	1.21	2.16	-0.02	3.04	0.88	2.63	0.10	2.70	2.26	-
777.00	S44	-1.30	2.11	0.81	0.00	0.17	0.04	0.81	-0.11	0.70	0.70	-

ALLEGATO B
MIKE 21 HD
Descrizione tecnica



PREMESSA

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Modulo Idrodinamico (HD)

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

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

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

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

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

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

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

Equazione di conservazione della massa:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

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;

ρ_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 τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

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

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

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

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

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

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

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

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

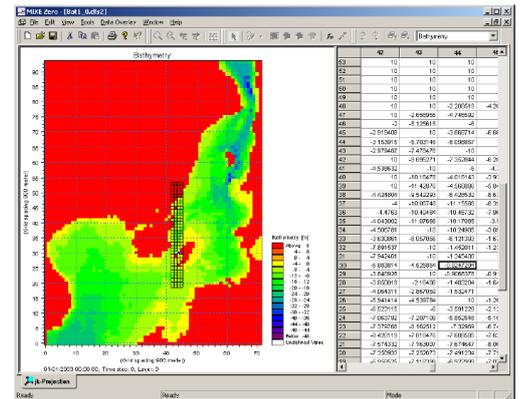
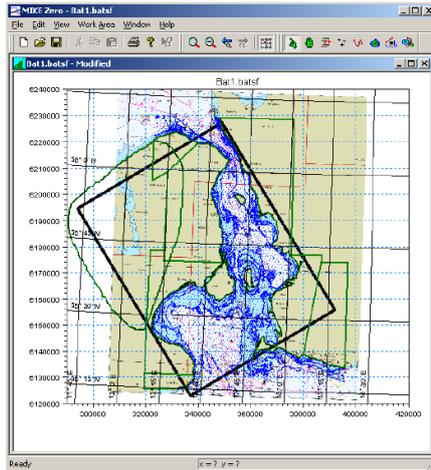
La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ($m^3/s/m$) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m^3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

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

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

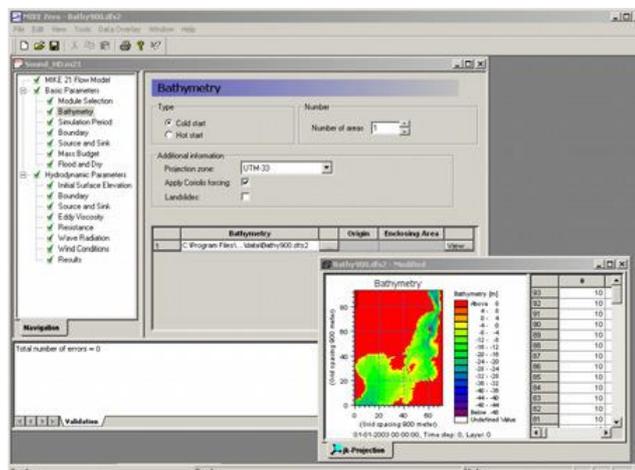
Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione “griglia multipl-nested grid”, che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

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



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

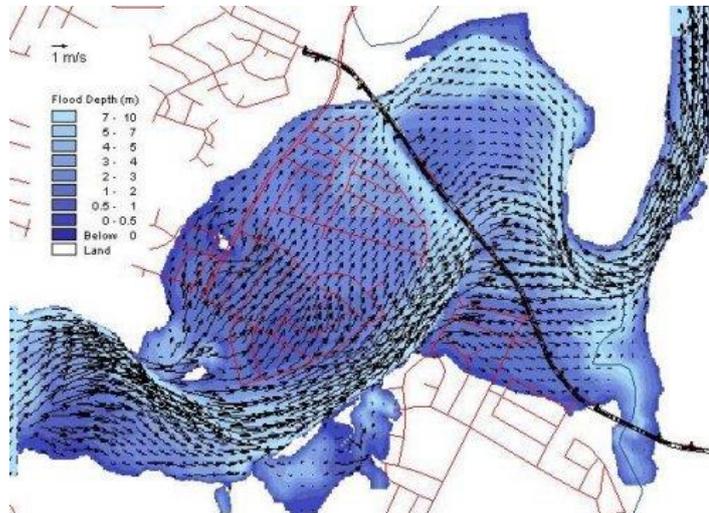
- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento,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



I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

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

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





ALLEGATO C – MIKE HYDRO RIVER

Descrizione tecnica



PREMESSA

MIKE HYDRO River 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. MIKE HYDRO River, che si presenta come il diretto successore del conosciuto MIKE11, 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 HYDRO River 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 HYDRO River 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). Questo modulo è attivabile utilizzando l'interfaccia di MIKE11 classic.
- 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 HYDRO River, 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 HYDRO River HD.

MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE HYDRO River 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 HYDRO River 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 HYDRO River risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

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

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

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

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

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

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

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

dove:

- A = area della sezione bagnata (m²);
- C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);
- g = accelerazione di gravità (m s⁻²);
- h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q = portata (m³/s);
- R = raggio idraulico (m);
- α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q = portata laterale addotta (m² s⁻¹).

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:

Stramazzo a larga soglia (weir)

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.

Tombino (culvert)

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.

Ponte (bridge)

In MIKE HYDRO River 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).

Pompa (pump)

In MIKE HYDRO River una pompa viene descritta specificandone le modalità operative, ossia se lavora a portata costante o seguendo una propria curva caratteristica.

Relazione $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$ (control)

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).

Struttura mobile (gate)

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.

RESISTENZA D'ATTRITO

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

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

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

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

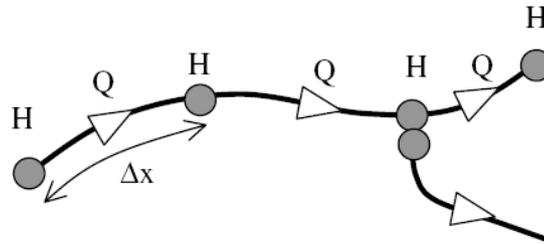
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

CONDIZIONI INIZIALI

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

METODO DI SOLUZIONE

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



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

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

CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE HYDRO River 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;

$\Delta t, \Delta x$ = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Δx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Δt 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 Δx e Δt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Δx in un tempo maggiore di Δt , e cioè:

$$V \cdot \Delta t < \Delta x$$

dove V è velocità media della corrente.

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

Il modello MIKE HYDRO River 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 Δx , vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Δx o meno.



ALLEGATO D
MIKE HYDRO RR UHM
Descrizione Tecnica



Premessa

Il modulo UHM del codice di calcolo MIKE HYDRO del DHI (Danish Hydraulic Institute) simula il deflusso generato su un bacino idrografico da un singolo evento di pioggia attraverso l'utilizzo del metodo dell'idrogramma unitario.

La pioggia netta è calcolata assumendo che le perdite nel bacino per infiltrazione possano essere descritte con un valore iniziale fisso e costante, con un valore variabile proporzionale (di fatto come nel metodo razionale) o con il metodo CN del SCS (Soil Conservation Service, 1972).

La pioggia netta è quindi trasformata in deflusso nel corso d'acqua attraverso il metodo dell'idrogramma unitario. Il modulo UHM permette di utilizzare sia l'idrogramma adimensionale del SCS sia qualsiasi idrogramma definito dall'utente e memorizzato in un database, il quale gestisce anche le condizioni al contorno, ovvero le serie storiche dei dati registrati di precipitazione e di portata.

Modello delle perdite nel bacino

Durante un evento di pioggia parte dell'acqua caduta si infiltra nel suolo. Una grossa parte di tale acqua evapora o raggiunge la rete superficiale come deflusso sotterraneo, quindi dopo un lungo lasso di tempo dalla fine dell'evento.

Quindi risulta ragionevole in questo tipo di modellazione idrologica descrivere la maggior parte dell'infiltrazione come perdita.

La quantità di pioggia che raggiunge il corso d'acqua durante un evento, cioè la precipitazione totale meno la perdita, è definita come pioggia netta.

Il modulo UHM include tre metodi differenti per il calcolo della pioggia netta e sono tutti modelli a parametri concentrati, ovvero che considerano ciascun bacino come un'unità e quindi i parametri utilizzati rappresentano valori medi sul bacino.

Tutti i metodi includono un fattore di aggiustamento areale che tiene conto dell'eventuale distribuzione non uniforme della precipitazione sul bacino.

Perdita proporzionale (metodo razionale)

Le perdite sono assunte proporzionali al tasso di precipitazione; la pioggia netta viene espressa come: $P_{netta} = a \cdot A_f \cdot P$

con

P_{netta} = pioggia netta (mm/ora);

a = coefficiente di deflusso (fra 0 e 1);

A_f = fattore areale;

P = precipitazione totale (mm/ora).

Perdita fissa iniziale e perdita costante

Il metodo prevede che non si produca pioggia netta fino a quando la perdita iniziale, definita a priori dall'utente, non sia stata raggiunta. Di conseguenza la pioggia netta è generata solo quando il tasso di precipitazione è superiore a uno specifico tasso costante di perdita.

$$P_{netta} = \begin{cases} 0 & \text{per } P_{somma} < I_a + I_c \cdot dt \\ A_f \cdot P - I_c & \text{per } P_{somma} > I_a \end{cases}$$

P_{netta} = pioggia netta (mm/ora);

P_{somma} = pioggia cumulata dall'inizio dell'evento (mm);

I_a = perdita iniziale definita dall'utente (mm);

I_c = tasso costante di perdita definito dall'utente (mm/ora);

A_f = fattore areale;

P = precipitazione totale (mm/ora);

dt = passo di tempo di calcolo (ore).

In questo modo il metodo tiene conto del fatto che le perdite sono maggiori all'inizio dell'evento di precipitazione.

Perdita con metodo SCS

Il metodo del U.S. Soil Conservation Service (SCS) è stato sviluppato nel 1972 per il calcolo delle perdite durante un evento di pioggia.

Durante un evento di pioggia, l'altezza di pioggia netta (o deflusso diretto P_e) è sempre minore o uguale all'altezza totale di pioggia P ; perciò, quando inizia il deflusso superficiale, l'altezza d'acqua immagazzinata nel bacino, F_a , è minore o uguale alla massima ritenzione potenziale S .

Si individua una certa quantità di pioggia I_a (perdita iniziale) per la quale non si produce alcun deflusso; in tal modo il deflusso potenziale è definito come $P - I_a$.

L'ipotesi del metodo SCS è che il rapporto fra le quantità attuali e potenziali di perdita e precipitazione sia uguale e cioè:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

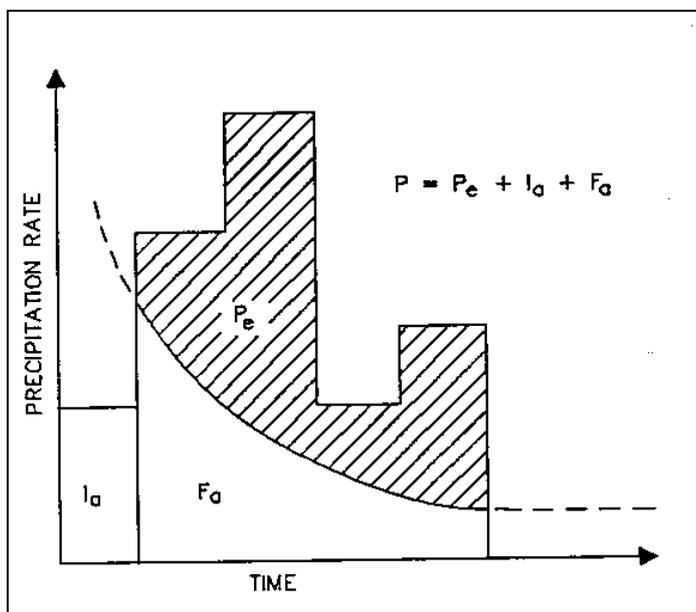
Per il principio di continuità è:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando le precedenti equazioni si ottiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

che è l'equazione base per il calcolo dell'altezza di pioggia netta o deflusso diretto del metodo SCS.



Variabili del metodo SCS

Sono stati utilizzati i risultati di numerosi piccoli bacini sperimentali per ottenere la relazione empirica:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

Ne deriva l'equazione base utilizzata nel modello UHM:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S}$$

Il fattore S, ritenzione massima potenziale del bacino, è calcolato attraverso il parametro adimensionale CN, utilizzando la seguente formula empirica derivata dall'analisi del fenomeno afflussi-deflussi su un gran numero di bacini:

$$S = ((1000/CN) - 10) \cdot 25.4 \quad (\text{mm})$$

Il valore del parametro CN (curve number) dipende dal tipo di suolo, dall'uso del suolo e dalle condizioni precedenti di imbibizione del suolo all'inizio dell'evento di pioggia (confronta tabella 1 allegata). Varia fra 0, cioè nessun deflusso, e 100, cioè pioggia netta pari alla pioggia totale. Per bacini naturali generalmente CN varia fra 50 e 100.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo SCS sono:

- A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.
- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.

- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

Il modello opera considerando tre diverse condizioni precedenti di imbibizione:

AMC (I): condizioni secche, vicine all'appassimento;

AMC (II): condizione medie, vicine alla capacità del suolo;

AMC (III): condizioni bagnate, vicine alla saturazione.

Per ciascun passo di calcolo la pioggia netta è calcolata come la differenza fra la pioggia netta cumulata fra l'inizio e la fine del passo di tempo.

Il metodo SCS è stato sviluppato sulla base di eventi di pioggia giornalieri e di conseguenza il programma considera l'inizio di un nuovo periodo di 24 ore come un nuovo evento, cioè:

- ogni 24 ore AMC è aggiornato di una classe ogni 16 mm di pioggia caduti durante il periodo di simulazione;
- CN e S sono ricalcolati in relazione al valore aggiornato di AMC, utilizzando la tabella 2 allegata;
- il quantitativo di pioggia netta P_e è resettato a zero.

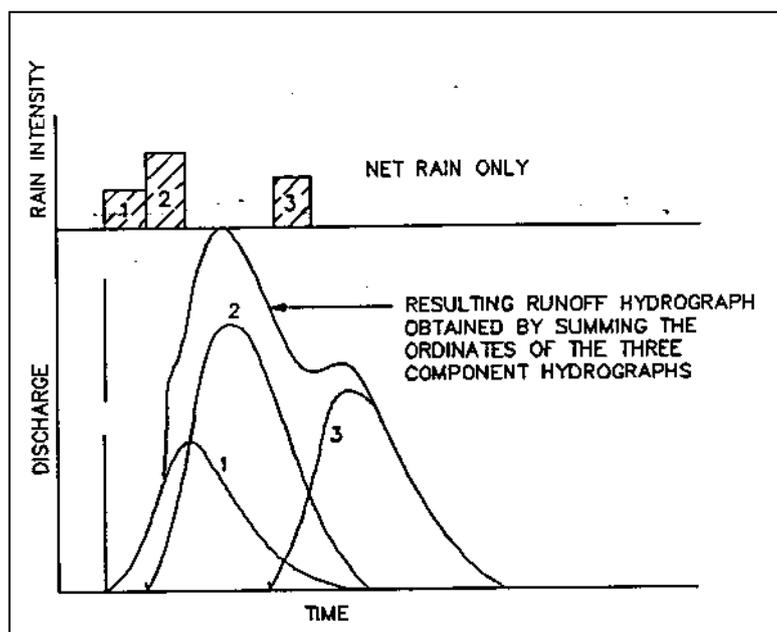
Modello dell'idrogramma unitario

Il metodo dell'idrogramma unitario è un semplice modello lineare che può essere usato per derivare l'idrogramma risultante da un qualsiasi quantitativo di pioggia netta.

L'idrogramma unitario rappresenta la funzione di risposta impulsiva unitaria di un sistema idrologico lineare, ovvero l'idrogramma diretto di portata risultante da un'unità di pioggia netta nella durata t_r .

Le seguenti ipotesi sono la base del metodo:

- la pioggia netta ha intensità costante nella durata effettiva
- la pioggia netta è distribuita uniformemente sull'intero bacino idrografico
- il tempo di base dell'idrogramma di portata risultante da una pioggia netta di data durata è costante
- le ordinate di tutti gli idrogrammi di portata con una comune base di tempo sono direttamente proporzionali all'ammontare totale della pioggia netta rappresentata da ciascun idrogramma
- è applicato il principio di sovrapposizione degli idrogrammi risultanti da periodi in continuo o isolati di pioggia netta a intensità costante
- per un dato bacino, l'idrogramma risultante da una specifica pioggia netta riflette le condizioni invariabili del bacino.



Principio di sovrapposizione degli idrogrammi di portata.

In condizioni naturali le precedenti ipotesi non sono perfettamente soddisfatte. Tuttavia, in molti casi le condizioni idrologiche sono sufficientemente vicine alle ipotesi sopraddette in modo tale da generare risultati soddisfacenti.

In accordo con le sopraddette ipotesi, il modello ad ogni passo di tempo determina l'idrogramma corrispondente alla pioggia netta generata dal modello delle perdite nel bacino nello stesso passo di tempo, e aggiunge tale risposta al contributo di deflusso generato nel passo di tempo precedente.

Tipi di idrogrammi unitari

Un idrogramma unitario è caratterizzato dalla durata della pioggia unitaria (t_r) e dal "lag time" (t_l) definito come la differenza di tempo fra il centro dell'evento unitario di pioggia e il picco di portata.

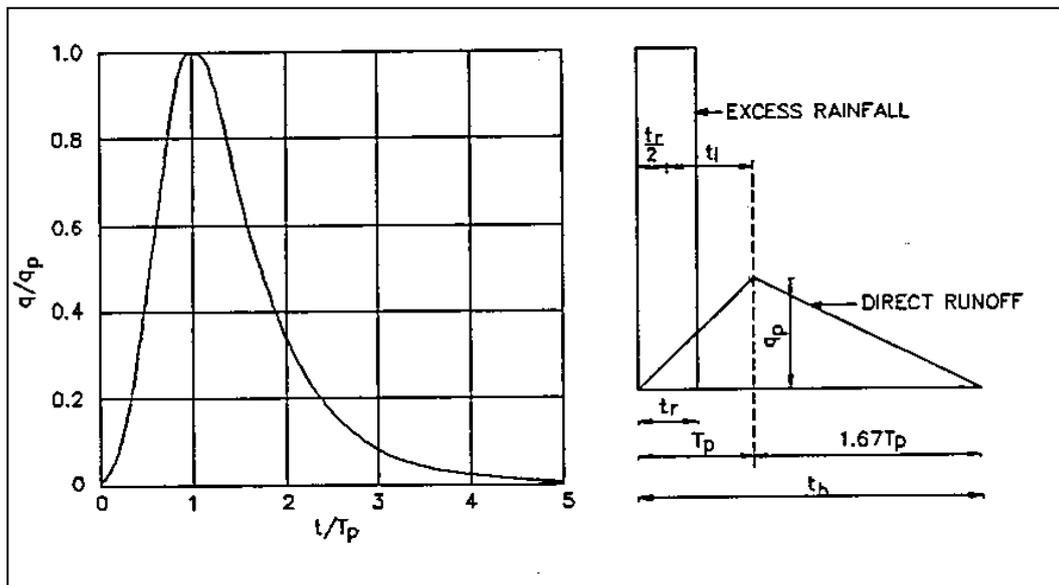
Il tempo di picco (T_p), cioè il tempo dall'inizio dell'evento fino al momento in cui si verifica il picco di portata, può essere calcolato come:

$$T_p = t_r/2 + t_l$$

In realtà l'idrogramma unitario per un dato bacino è unico. Tuttavia, sono stati fatti molti sforzi per sviluppare un idrogramma unitario sintetico che potesse essere più e meno generalmente applicabile.

Nel presente modello sono specificati due tipi di idrogrammi unitari sintetici: l'SCS triangolare e l'SCS adimensionale.

L'utente può sceglierne uno dei due o decidere di utilizzare uno specifico idrogramma preso dal database.



Idrogrammi sintetici del Soil Conservation Service.

Il modello permette di inserire nel database tre tipi di idrogrammi unitari definiti dall'utente:

- un idrogramma adimensionale specificato come: portata diviso portata di picco (q/q_p) funzione del tempo diviso tempo di picco (T/T_p)
- idrogrammi specifici per ciascun bacino, dimensionati e con le corrispondenti durate unitarie di pioggia t_r
- idrogrammi unitari istantanei derivati dal metodo area-tempo.

Gli idrogrammi unitari istantanei sono automaticamente convertiti in idrogrammi, ovvero con una durata unitaria di precipitazione uguale al passo di calcolo dt , attraverso la formula:

$$q_{dt}(t) = (q(t) + q(t - dt)) / 2$$

dove:

$q_{dt}(t)$ è l'ordinata al tempo t dell'idrogramma convertito

$q(t)$ è l'ordinata al tempo t dell'idrogramma istantaneo

t è tempo di calcolo attuale

dt è il passo di tempo di calcolo

L'utente deve specificare il "lag time" che deve essere utilizzato nei calcoli. Il programma mette quindi automaticamente nella giusta scala l'idrogramma applicato, facendo attenzione che l'area sotto la curva risulti unitaria.

Il "lag time" può anche essere calcolato dai dati caratteristici del bacino utilizzando la formula sperimentale del SCS:

$$t_l = \frac{(L \cdot 3,28 \cdot 10^3)^{0.8} \cdot (1000/CN - 9)^{0.7}}{(1900 \cdot Y^{0.5})}$$

dove

t_l = lag time (ore)

L = lunghezza del bacino (km)

CN = SCS curve number

Y = pendenza media del bacino (%)

Un idrogramma unitario derivato dalle curve area-tempo è considerato specifico del bacino. Di conseguenza non si può specificare un lag time arbitrario se si utilizza tale metodo. Il programma utilizza semplicemente il lag time implicitamente dato dalle curve area-tempo.

Il metodo area-tempo implementato nel modulo UHM descrive una pura traslazione dello ietogramma di pioggia netta attraverso la rete di drenaggio superficiale, descritta usando il tempo di percorrenza del canale di flusso. L'idrogramma in uscita ignora quindi gli effetti di immagazzinamento nel bacino.

Passo di tempo di calcolo

Se si utilizza un idrogramma unitario definito dall'utente è l'utente stesso che deve verificare che il passo di tempo specificato corrisponda alla durata unitaria di pioggia dell'idrogramma unitario.

Se si utilizzano gli idrogrammi del SCS è suggerito un passo di tempo selezionato come il 22% del lag time ed in ogni caso non superiore al 27% del lag time.



ALLEGATO E – Fasce di pericolosità idraulica, scenario di parzializzazione delle sezioni



ALLEGATO F – Fasce di pericolosità idraulica, scenario di progetto



