Committente:

Comune di San Colombano Certenoli

Città Metropolitana di Genova

Oggetto:

Interventi di mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico del torrente Lavagna in loc. Calvari, demolizione e ricostruzione del Ponte "Rachele Lagomarsino", raccordi con la viabilità esistente

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA-ECONOMICA

Titolo elaborato:

STUDIO IDRAULICO SUL TORRENTE LAVAGNA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEL NUOVO ATTRAVERSAMENTO A CALVARI

(documento redatto da DHI S.r.l)

Studi e progetto idraulico:

Ing. Riccardo Giammarini

STUDIOELB Ingegneri Associati

Corso Torino 17/6 sc.A - 16129 Genova Tel. 010.5740568 - fax : 010.4211059
e-mail: inge@studioelb.it - PEC: studio@pec.studioelb.it - C.F. e P. I.V.A.: 01933110999

Progetto strutturale:

Ing. Marino Monteverde

Via Scaruglia 39 - 16040 San Colombano Certenoli (GE) Tel. 0185.358630
e-mail: studio@monteverdemarino.191.it

Firmato digitalmente da

Riccardo Giammarini

O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova
C = IT

Firmato digitalmente da:
MONTEVERDE MARINO
Firmato il 19/11/2024 16:09
Seriale Certificato: 1529928
Valido dal 09/06/2022 al 09/06/2025
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

0	14.10.2024	RG	RG	MM-RG	
Revisione	Data	Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:	Descrizione

Data: R02.00_Studio-idraulico	Scala: -	B48 PF R02

Studio idraulico sul torrente Lavagna a supporto della progettazione del nuovo attraversamento a Calvari (GE).

Relazione tecnica



STUDIOELB Ingegneri Associati

Nota tecnica

Aprile 2019

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



Studio idraulico sul torrente Lavagna a supporto della progettazione del nuovo attraversamento a Calvari (GE).

Relazione tecnica

Committente STUDIOELB Ingegneri Associati

Referente del Committente ing. Riccardo Gianmarini



Vista verso monte del ponte
Rachele Lagomarsino sul t. Lavagna

Project manager	Alice Armaleo
Quality supervisor	Davide Persi
Author	Alice Armaleo

Codice progetto - elaborato	22802136-01-00100
Data di approvazione	30/04/2018
Revisione	1.0
Classificazione	Open

DHI S.r.l. a socio unico• Via Bombrini 11 12 • 16149 Genova • Italy •
Telefono: +39 010 8481 220 • dhi-italia@dhi-italia.it • www.dhi-italia.it

INDICE

1 Premessa 3

2 Inquadramento territoriale e rilievo topografico 5

3 Descrizione del modello numerico 8

4 Analisi dei risultati 10
4.1 Scenario di stato attuale 10
4.2 Scenario di progetto 10

5 Conclusioni 22

ALLEGATI

ALLEGATO A – MIKE 1D HD
Descrizione tecnica

ALLEGATO B – MIKE 21 HD
Descrizione tecnica

1 Premessa

La presente nota tecnica, commissionata a DHI srl da StudioELB Ingegneri Associati, descrive le attività svolte ed i risultati ottenuti in relazione all'analisi idraulica di dettaglio del tratto del torrente Lavagna in prossimità dell'abitato di Calvari (GE).

L'area in oggetto risulta attualmente caratterizzata da una elevata criticità idraulica, ricadendo in larga parte in fascia A e B secondo la perimetrazione delle aree inondabili vigente riportata nel Piano di Bacino stralcio del torrente Lavagna (Figura 1.1). Al fine di migliorare la situazione in termini di rischio idraulico, è stata individuata dalla committenza una configurazione di progetto che prevede il rifacimento del ponte Rachele Lagomarsino, situato subito a valle dell'abitato di Calvari e adiacente agli impianti sportivi, e l'allargamento del letto del torrente nel tratto subito a monte e a valle dell'attraversamento. L'intervento, oltre a garantire un maggior deflusso delle acque in alveo, permetterebbe di rimediare al fenomeno di deterioramento che sta compromettendo la soletta del manufatto.

In quest'ottica, il presente studio ha lo scopo di fornire un quadro conoscitivo delle condizioni idrauliche dell'area tramite l'utilizzo di strumenti modellistici, supportando così la progettazione dell'intervento e permettendo di verificarne gli effetti migliorativi sulle condizioni locali di deflusso.

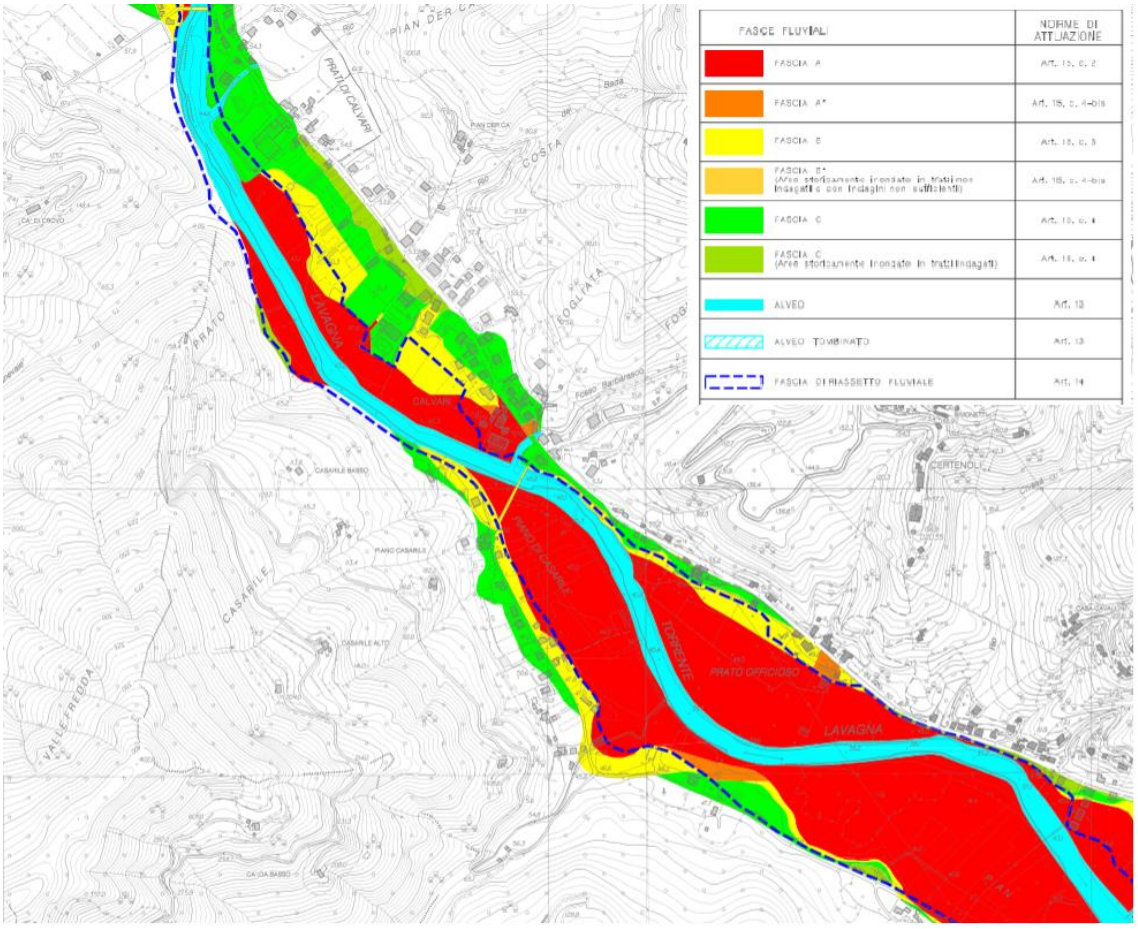


Figura 1.1 Perimetrazione attuale delle aree a diversa pericolosità idraulica relativamente al t.Lavagna.

Nel 2015 DHI ha svolto per la Città Metropolitana di Genova uno studio idraulico di dettaglio del torrente Lavagna nel tratto compreso tra il ponte della SP58 in località Pian dei Manzi, nel Comune di Coreglia Ligure, e la confluenza con il torrente Graveglia. In quella sede era stato realizzato un

modello integrato mono-bidimensionale, implementato mediante il codice di calcolo MIKE FLOOD del DHI, con il quale erano stati simulati gli eventi di piena con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni e conseguentemente calcolati i tiranti e le velocità di deflusso nelle aree di esondazione.

Nell'ambito del presente incarico, il modello mono-bidimensionale del t.Lavagna è stato aggiornato sulla base del nuovo rilievo topografico di dettaglio fornito dal Committente e utilizzato per simulare gli eventi di piena con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni in caso di configurazione di stato attuale e di progetto. In particolare, sulla base dei risultati ottenuti da una prima analisi della situazione geometrica attuale, i Progettisti hanno potuto ottimizzare il dimensionamento dell'opera prevista, fornendo agli scriventi, in una seconda fase, le geometrie delle sezioni allargate e del nuovo ponte per la simulazione dello scenario progettuale.

2 Inquadramento territoriale e rilievo topografico

Come accennato in premessa, il tratto del t.Lavagna oggetto di sistemazione idraulica si estende tra l'abitato di Calvari e Piano di Casarile, a cavallo del ponte Rachele Lagomarsino, per una lunghezza complessiva di circa 300 m. Il manufatto di attraversamento è realizzato su 3 pile collocate in alveo e altre 8, di dimensioni inferiori, situate in golena destra, come mostrato in Figura 2.1 e Figura 2.2.

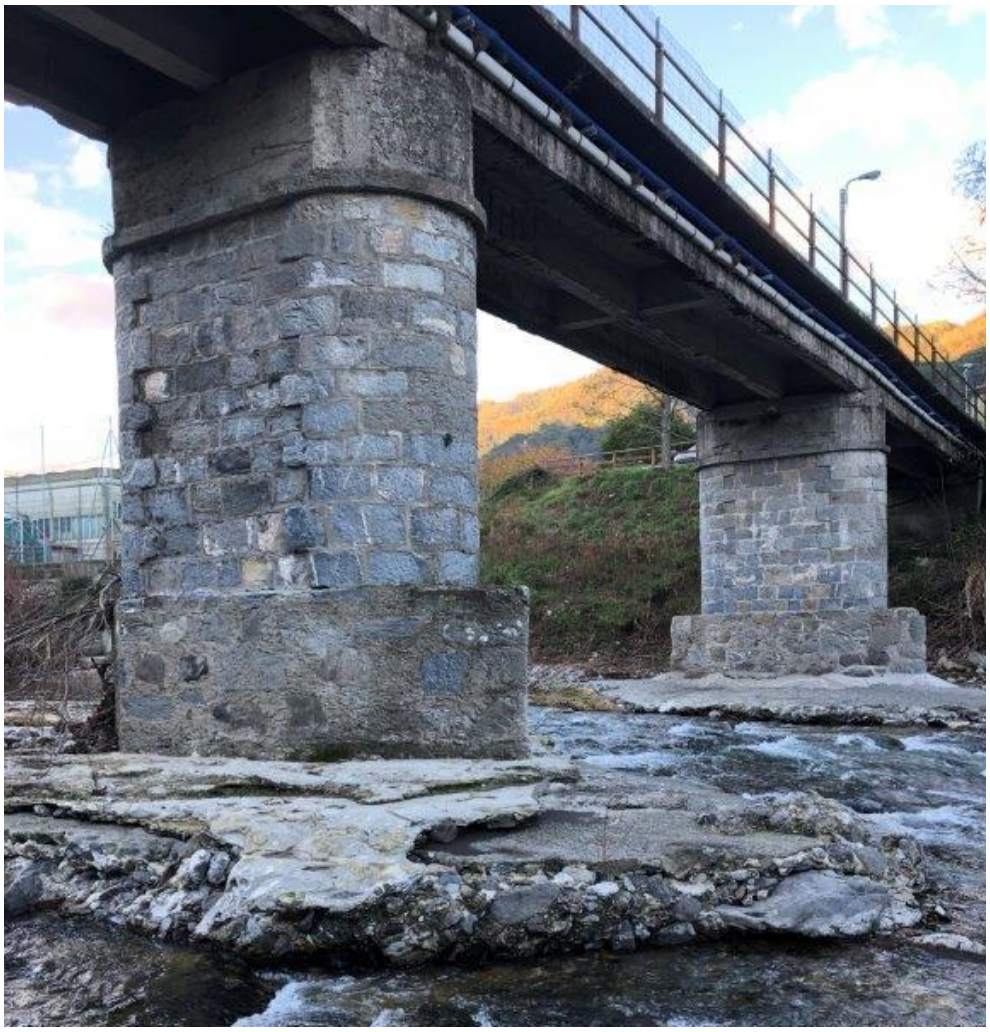


Figura 2.1 Primo piano di due delle tre pile del ponte Rachele Lagomarsino collocate nell'alveo del t.Lavagna.



Figura 2.2 Pile del ponte Rachele Lagomarsino in appoggio sulla golena destra del t.Lavagna.

La golena in destra è caratterizzata principalmente da aree erbose pianeggianti, come l'area depressa formata dall'allargamento della golena a valle del ponte, ad esclusione dello stabilimento industriale situato nel tratto più a monte e della strada ciclabile che corre parallela all'argine. La golena sinistra, che parte ampia e pianeggiante per poi stringersi e alzarsi di quota a valle della confluenza con il fosso Barbarasco, ospita invece parte dell'abitato di Calvari ed ulteriori aree verdi.



Figura 2.3 Impianti sportivi presenti in sponda sinistra subito a monte del ponte Rachele Lagomarsino.

La porzione di torrente appena descritta è stata recentemente oggetto di una campagna di rilevamento topografico, durante la quale sono state rilevate 16 sezioni trasversali con codice da 42,3 a 40, riportate planimetricamente in Figura 2.4. Oltre all'alveo, è stata anche ottenuta la geometria di dettaglio del ponte Rachele Lagomarsino e le quote di alcuni punti localizzati in golena destra e sinistra.



Figura 2.4 Planimetria delle sezioni rilevate sul t.Lavagna.

3 Descrizione del modello numerico

Per la simulazione degli eventi con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni è stato utilizzato il modello idrodinamico implementato dagli scriventi nell'ambito dello studio del torrente Lavagna commissionato dalla Città Metropolitana di Genova nel 2015. Il modello è 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 11 e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei quali si rimanda agli allegati A e B).

MIKE FLOOD presenta le seguenti caratteristiche principali:

- MIKE 11 e MIKE 21 rimangono singoli codici indipendenti l'un l'altro nella messa a punto, nell'interfaccia grafica e nell'input-output;
- una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci di MIKE 11 e MIKE 21 per gli scambi di flusso e la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

L'alveo del torrente è stato poi collegato dinamicamente alle aree laterali inondabili 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 di lato 5x5 m, contenente gli edifici e tutte le strutture in grado di avere effetto nella propagazione della piena stessa sul territorio.

Per l'utilizzo odierno, il modello è stato aggiornato in due diverse versioni, relative rispettivamente alle configurazioni di stato attuale e di progetto. Per quanto riguarda la configurazione di stato attuale, sono state considerate le geometrie delle sezioni derivanti dal nuovo rilievo topografico, mentre per la configurazione di progetto sono stati recepiti gli interventi previsti dagli schemi progettuali forniti dal committente, relativi all'abbassamento del letto del torrente e al rifacimento del manufatto di attraversamento. A titolo di esempio, in Figura 3.1 si riporta un confronto tra la schematizzazione di stato attuale e di progetto relativamente a una delle sezioni situate nel tratto di interesse.

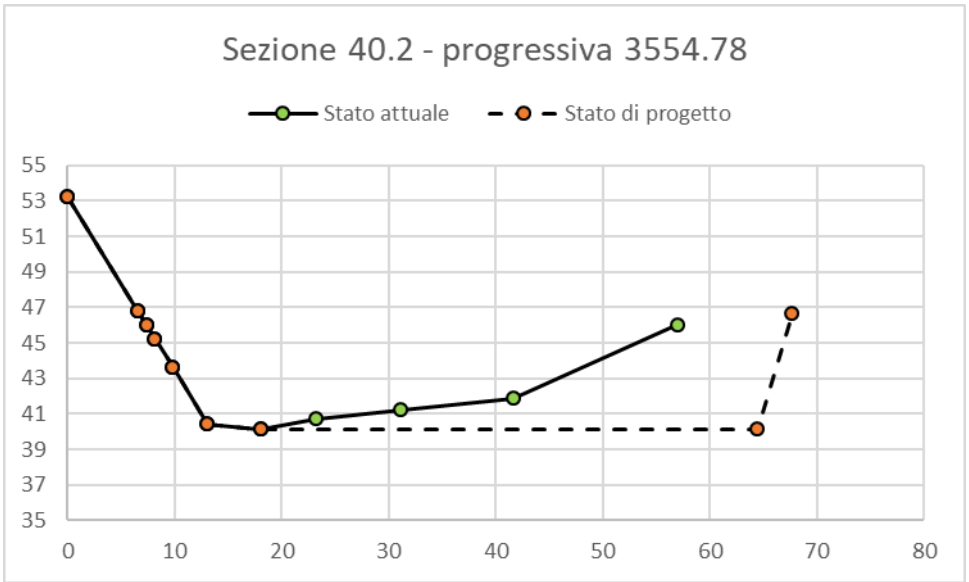


Figura 3.1 Confronto tra gli assetti geometrici di stato attuale e di progetto per la sezione 40.2 del modello.

Per quanto riguarda la parte bidimensionale, atta a schematizzare il territorio circostante il torrente, sono state verificate le quote della griglia di calcolo esistente e, dove necessario,

apportate le dovute modifiche, aggiustando manualmente le quote del terreno e degli elementi sovramontanti riscontrati nell'area di studio. In Figura 3.2 è riportato il dettaglio dell'area di studio così come schematizzata nel modello 2D nella configurazione di stato attuale.

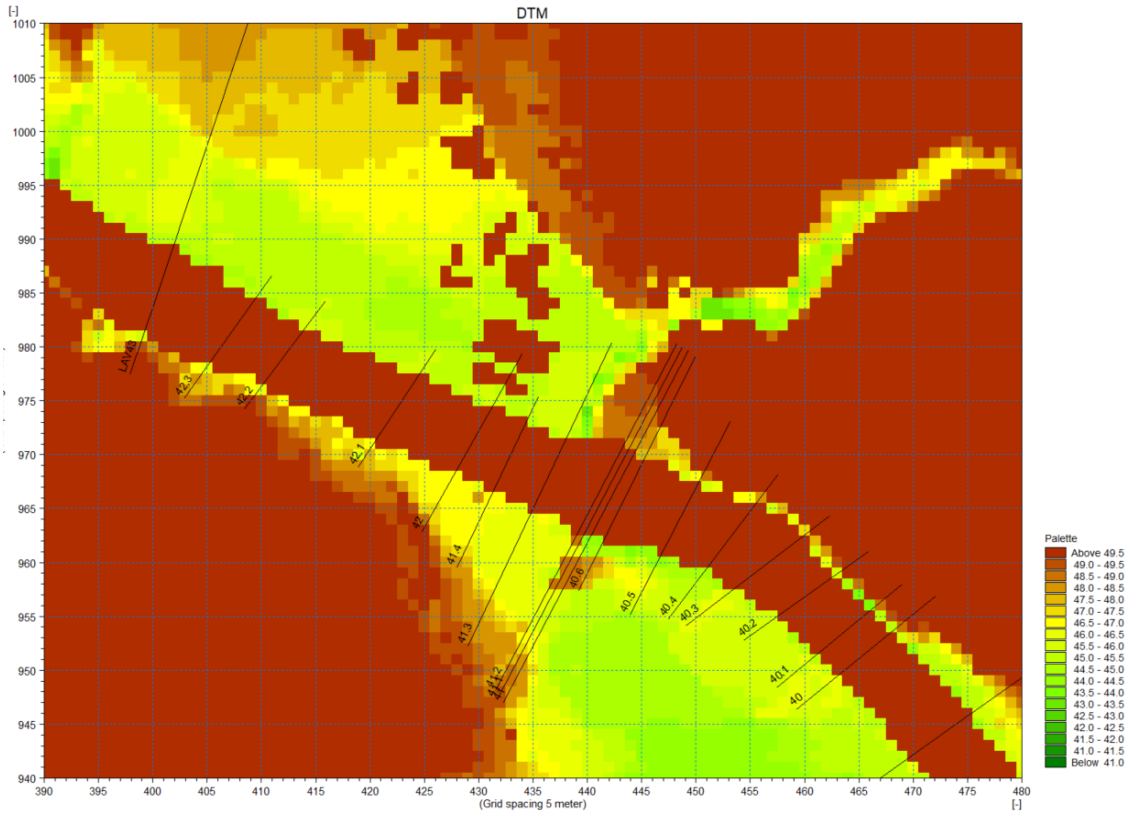


Figura 3.2 Dettaglio dell'area di studio schematizzata nella griglia di calcolo bidimensionale per la configurazione di stato attuale. In rosso sono rappresentate le celle della griglia escluse dal calcolo (inclusi gli edifici e l'alveo inciso).

Il modello aggiornato come precedentemente descritto è stato utilizzato per simulare gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni, fornendo come input gli idrogrammi di piena calcolati in occasione dell'approfondimento idraulico del Piano di Bacino del torrente Lavagna svolto dagli scriventi nel 2015.

4 Analisi dei risultati

4.1 Scenario di stato attuale

I risultati dello scenario di stato attuale sono riportati in termini di grandezze idrodinamiche in alveo per i tre tempi di ritorno studiati rispettivamente in Tabella 4.1, Tabella 4.2 e Tabella 4.3, mentre i massimi tiranti e livelli idrici sono riportati rispettivamente in Figura 4.1 e Figura 4.3 in relazione all'evento di piena cinquantennale, in Figura 4.5 e Figura 4.7 in relazione all'evento di piena duecentennale e Figura 4.9 e Figura 4.11 in relazione all'evento di piena cinquecentennale.

I risultati confermano quando già evidente dall'attuale perimetrazione delle aree a diversa pericolosità idraulica adottata dal PdB del t.Lavagna. Il transito della portata cinquantennale provoca già importanti inondazioni delle aree a quota minore su entrambe le sponde, raggiungendo tiranti fino a 3 m nella piana in sponda sinistra. In prossimità del ponte si verificano esondazioni limitatamente alla sponda destra, dove l'acqua raggiunge un livello inferiore ai 47 m slm per tiranti nell'ordine dei 70 cm.

La portata duecentennale comporta un forte aggravamento della situazione, sia in termini di estensione degli allagamenti che di tiranti idrici. L'avvallamento in golena destra subito a valle dell'attraversamento presenta tiranti superiori a 2 m, portando il livello sopra a 48 m slm. In sinistra idraulica l'esondazione arriva a interessare tutto l'abitato e si espande fino a coinvolgere l'imbocco del ponte.

In caso di evento cinquecentennale, tutta la porzione di territorio a monte del manufatto viene inondata raggiungendo livelli superiori a 49 m slm e tiranti quasi ovunque superiori a 3 m.

4.2 Scenario di progetto

I risultati dello scenario di progetto sono riportati, in termini di grandezze idrodinamiche in alveo per i tre tempi di ritorno studiati, rispettivamente in

Tabella 4.4,

Tabella 4.5 e Tabella 4.6, mentre i massimi tiranti e livelli idrici sono riportati rispettivamente in Figura 4.2 e Figura 4.4 in relazione all'evento di piena cinquantennale, in Figura 4.6 e Figura 4.8 in relazione all'evento di piena duecentennale e in Figura 4.10 e Figura 4.12 in relazione all'evento di piena cinquecentennale.

Risulta di immediata evidenza, per tutti e tre i tempi di ritorno analizzati, l'impatto positivo degli interventi di sistemazione idraulica sullo stato di pericolosità dell'area. In relazione all'evento cinquantennale, si nota come la nuova configurazione progettuali porti alla totale mancanza di esondazioni in sponda destra relativamente al tratto di studio, mentre in sinistra idraulica si verificano esondazioni limitate alla sola fascia limitrofa all'argine e caratterizzate da tiranti sempre inferiori a 2 m. Anche in caso di piena duecentennale lo scenario è decisamente migliorativo, anche rispetto alle esondazioni risultanti dall'evento cinquantennale visto precedentemente nella configurazione di stato attuale. In particolare nei pressi dell'attraversamento sulla golena destra l'acqua rimane al di sotto dei 70 cm di tirante, mantenendo un livello inferiore a 47 m slm. Per quanto riguarda l'evento cinquecentennale, si nota che l'estensione delle esondazioni rimane invariata in sponda destra, a fronte di un aumento generale dei tiranti. In sinistra le acque vanno a bagnare una porzione maggiore di territorio, senza però mai raggiungere gli intorni del ponte.

Al fine di quantificare più accuratamente l'impatto degli interventi progettuali, in Figura 4.13 e Figura 4.14 sono riportate le mappe delle differenze dei massimi tiranti nella configurazione di progetto e in quella di stato attuale, limitatamente alla portata di piena cinquantennale e

duecentennale (portate di riferimento in fase di progettazione). Ugualmente, le differenze relative ai livelli massimi registrati in alveo sono riportate in tabella Tabella 4.7.

In caso di evento cinquantennale, l'azione migliorativa delle opere si osserva particolarmente in sponda sinistra, dove, a valle del ponte, si ha una diminuzione dei tiranti fino a 1.5 m. In sponda destra l'esondazione risulta meno gravosa soprattutto in prossimità dell'attraversamento, mostrando un livello di 1 m più basso nella configurazione di progetto. Allo stesso modo, le esondazioni derivanti dall'evento duecentennale presentano notevoli decrementi su entrambe le sponde del tratto studiato, in particolare a monte del ponte, dove la riduzione dei livelli idrici arriva fino a 2 m in sponda destra e 2.5 m in sponda sinistra.

Tabella 4.1 T.Lavagna - Grandezze idrodinamiche relative al tratto analizzato in caso di transito della portata di piena cinquantennale nella configurazione di stato attuale.

Progressiva	ID Sez.	Quota fondo	Quota argine sx	Quota argine dx	Pelo libero	Velocità	Froude	Portata	Carico tot
[m]	[-]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	[m/s]	[-]	[m³/s]	[m s.m.]
3259.9	LAV42.3	40.42	45.19	45.31	47.70	3.62	0.57	668	48.37
3287.3	LAV42.2	41.63	45.83	46.10	47.65	3.71	0.63	656	48.35
3344.5	LAV42.1	41.96	45.73	45.85	47.41	3.72	0.67	709	48.12
3382.1	LAV42	41.38	46.04	46.75	47.15	4.12	0.66	780	48.01
3400.1	LAV41.4	41.64	46.09	46.61	47.00	4.39	0.72	803	47.98
3419.9	LAV41.3	41.57	42.05	46.42	46.90	4.55	0.71	829	47.95
3444	LAV41.2	41.37	46.35	46.16	47.08	3.39	2.94	828	47.67
3444.6	LAV41.1	41.19	49.04	47.34	47.08	3.40	1.01	825	47.67
3451	LAV41	41.15	48.80	44.02	46.21	4.40	1.02	826	47.20
3456.2	LAV40.6	40.51	48.05	44.37	46.27	4.08	0.62	821	47.12
3483.5	LAV40.5	40.60	45.02	44.90	46.03	4.60	0.81	824	47.10
3508.5	LAV40.4	40.96	45.74	45.29	46.14	3.81	0.60	829	46.88
3531.2	LAV40.3	41.00	45.39	45.59	45.97	4.19	0.71	826	46.86
3554.8	LAV40.2	40.15	46.03	46.03	45.86	4.39	0.76	826	46.84
3578.8	LAV40.1	39.50	47.06	46.12	45.69	4.73	0.91	827	46.83
3592.8	LAV40	39.97	46.90	45.92	45.60	4.87	0.95	827	46.81

Tabella 4.2 T.Lavagna - Grandezze idrodinamiche relative al tratto analizzato in caso di transito della portata di piena duecentennale nella configurazione di stato attuale.

Progressiva	ID Sez.	Quota fondo	Quota argine sx	Quota argine dx	Pelo libero	Velocità	Froude	Portata	Carico tot
[m]	[-]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	[m/s]	[-]	[m³/s]	[m s.m.]
3259.9	LAV42.3	40.42	45.19	45.31	50.06	3.58	0.57	885	50.71
3287.3	LAV42.2	41.63	45.83	46.10	50.04	3.61	0.66	834	50.71
3344.5	LAV42.1	41.96	45.73	45.85	49.56	3.73	0.67	967	50.27
3382.1	LAV42	41.38	46.04	46.75	48.98	4.43	0.66	1173	49.98
3400.1	LAV41.4	41.64	46.09	46.61	48.72	4.89	0.72	1221	49.94
3419.9	LAV41.3	41.57	42.05	46.42	48.47	5.26	0.71	1315	49.88
3444	LAV41.2	41.37	46.35	46.16	48.64	4.00	2.95	1333	49.45
3444.6	LAV41.1	41.19	49.04	47.34	48.64	3.96	1.01	1324	49.44
3451	LAV41	41.15	48.80	44.02	47.09	5.82	1.02	1325	48.82
3456.2	LAV40.6	40.51	48.05	44.37	47.12	5.54	0.79	1320	48.68
3483.5	LAV40.5	40.60	45.02	44.90	46.96	5.73	0.95	1314	48.63
3508.5	LAV40.4	40.96	45.74	45.29	46.93	4.98	0.90	1298	48.20
3531.2	LAV40.3	41.00	45.39	45.59	46.74	5.29	0.83	1286	48.16
3554.8	LAV40.2	40.15	46.03	46.03	46.62	5.35	0.89	1276	48.08
3578.8	LAV40.1	39.50	47.06	46.12	46.52	5.49	1.06	1270	48.05

3592.8	LAV40	39.97	46.90	45.92	46.43	5.62	1.11	1256	48.04

Tabella 4.3 T.Lavagna - Grandezze idrodinamiche in alveo in caso di transito della portata di piena cinquecentennale nella configurazione di stato attuale.

Progressiva	ID Sez.	Quota fondo	Quota argine sx	Quota argine dx	Pelo libero	Velocità	Froude	Portata	Carico tot
[m]	[-]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	[m/s]	[-]	[m³/s]	[m s.m.]
3259.9	LAV42.3	40.42	45.19	45.31	51.60	3.77	0.58	1081	52.32
3287.3	LAV42.2	41.63	45.83	46.10	51.59	3.69	0.66	992	52.29
3344.5	LAV42.1	41.96	45.73	45.85	50.94	3.75	0.67	1178	51.66
3382.1	LAV42	41.38	46.04	46.75	50.15	4.77	0.67	1494	51.31
3400.1	LAV41.4	41.64	46.09	46.61	49.82	5.31	0.72	1563	51.25
3419.9	LAV41.3	41.57	42.05	46.42	49.50	5.76	0.71	1695	51.19
3444	LAV41.2	41.37	46.35	46.16	49.62	4.46	2.94	1741	50.63
3444.6	LAV41.1	41.19	49.04	47.34	49.62	4.43	1.01	1735	50.62
3451	LAV41	41.15	48.80	44.02	47.93	6.55	1.02	1736	50.11
3456.2	LAV40.6	40.51	48.05	44.37	47.94	6.34	0.85	1738	49.98
3483.5	LAV40.5	40.60	45.02	44.90	47.82	6.42	1.00	1734	49.92
3508.5	LAV40.4	40.96	45.74	45.29	47.72	5.52	0.76	1708	49.27
3531.2	LAV40.3	41.00	45.39	45.59	47.51	5.86	0.87	1668	49.26
3554.8	LAV40.2	40.15	46.03	46.03	47.40	5.94	0.91	1636	49.19
3578.8	LAV40.1	39.50	47.06	46.12	47.30	6.03	1.10	1611	49.15
3592.8	LAV40	39.97	46.90	45.92	47.21	6.16	1.14	1568	49.15

Tabella 4.4 T.Lavagna - Grandezze idrodinamiche relative al tratto analizzato in caso di transito della portata di piena cinquantennale nella configurazione di progetto.

Progressiva	ID Sez.	Quota fondo	Quota argine sx	Quota argine dx	Pelo libero	Velocità	Froude	Portata	Carico tot
[m]	[-]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	[m/s]	[-]	[m³/s]	[m s.m.]
3259.9	LAV42.3	40.42	45.19	45.31	46.37	5.91	0.90	795	48.15
3287.3	LAV42.2	41.63	45.83	46.10	46.22	6.08	0.98	798	48.11
3344.5	LAV42.1	41.96	45.73	47.21	45.92	5.39	0.94	820	47.40
3382.1	LAV42	41.38	46.04	46.79	45.71	5.59	0.97	838	47.30
3400.1	LAV41.4	41.64	46.09	46.59	45.61	5.42	0.96	842	47.11
3419.9	LAV41.3	41.57	42.05	46.40	45.50	5.09	0.91	844	46.82
3444.0	LAV41.2	41.37	46.35	46.16	45.50	4.37	0.87	847	46.47
3444.6	LAV41.1	41.19	49.04	48.34	45.62	3.74	0.62	847	46.33
3451.0	LAV41	41.15	48.80	48.96	45.48	4.04	1.32	847	46.31
3456.2	LAV40.6	40.51	48.05	48.65	45.55	3.81	0.63	847	46.29
3483.5	LAV40.5	40.60	45.02	46.60	45.58	3.60	0.57	847	46.24
3508.5	LAV40.4	40.96	45.74	46.06	45.70	2.90	0.47	848	46.13
3531.2	LAV40.3	41.00	45.39	46.11	45.58	3.26	0.85	848	46.12
3554.8	LAV40.2	40.15	46.03	46.93	45.65	2.80	0.41	848	46.05
3578.8	LAV40.1	39.50	47.06	46.26	45.62	2.86	0.41	849	46.03
3592.8	LAV40	39.97	46.90	46.22	45.52	3.12	0.44	849	46.02

Tabella 4.5 T.Lavagna - Grandezze idrodinamiche relative al tratto analizzato in caso di transito della portata di piena duecentennale nella configurazione di progetto.

Progressiva	ID Sez.	Quota fondo	Quota argine sx	Quota argine dx	Pelo libero	Velocità	Froude	Portata	Carico tot
[m]	[-]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	[m/s]	[-]	[m³/s]	[m s.m.]
3259.9	LAV42.3	40.42	45.19	45.31	47.60	7.01	0.97	1287	50.11
3287.3	LAV42.2	41.63	45.83	46.10	47.47	7.19	1.01	1281	50.10
3344.5	LAV42.1	41.96	45.73	47.21	47.17	6.64	1.01	1351	49.42
3382.1	LAV42	41.38	46.04	46.79	46.94	7.06	1.07	1431	49.48
3400.1	LAV41.4	41.64	46.09	46.59	46.82	6.96	1.08	1454	49.29
3419.9	LAV41.3	41.57	42.05	46.40	46.69	6.76	1.00	1475	49.02
3444.0	LAV41.2	41.37	46.35	46.16	46.57	5.85	0.89	1485	48.31
3444.6	LAV41.1	41.19	49.04	48.34	46.64	5.54	0.79	1485	48.20
3451.0	LAV41	41.15	48.80	48.96	46.55	5.49	1.32	1485	48.08
3456.2	LAV40.6	40.51	48.05	48.65	46.56	5.43	0.81	1485	48.07
3483.5	LAV40.5	40.60	45.02	46.60	46.55	5.17	0.75	1486	47.92
3508.5	LAV40.4	40.96	45.74	46.06	46.71	4.05	0.59	1479	47.55
3531.2	LAV40.3	41.00	45.39	46.11	46.52	4.45	0.85	1470	47.53
3554.8	LAV40.2	40.15	46.03	46.93	46.60	4.08	0.56	1467	47.44
3578.8	LAV40.1	39.50	47.06	46.26	46.51	4.26	0.58	1467	47.43
3592.8	LAV40	39.97	46.90	46.22	46.34	4.51	0.61	1458	47.38

Tabella 4.6 T.Lavagna - Grandezze idrodinamiche relative al tratto analizzato in caso di transito della portata di piena cinquecentennale nella configurazione di progetto.

Progressiva	ID Sez.	Quota fondo	Quota argine sx	Quota argine dx	Pelo libero	Velocità	Froude	Portata	Carico tot
[m]	[-]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	[m/s]	[-]	[m³/s]	[m s.m.]
3259.9	LAV42.3	40.42	45.19	45.31	48.59	7.99	1.02	1727	51.85
3287.3	LAV42.2	41.63	45.83	46.10	48.46	8.14	1.05	1744	51.84
3344.5	LAV42.1	41.96	45.73	47.21	48.16	7.77	1.08	1887	51.24
3382.1	LAV42	41.38	46.04	46.79	47.92	8.05	1.15	2025	51.22
3400.1	LAV41.4	41.64	46.09	46.59	47.80	8.12	1.16	2054	51.16
3419.9	LAV41.3	41.57	42.05	46.40	47.67	8.08	1.09	2089	51.00
3444.0	LAV41.2	41.37	46.35	46.16	47.54	6.89	0.95	2113	49.96
3444.6	LAV41.1	41.19	49.04	48.34	47.60	6.33	0.92	2114	49.64
3451.0	LAV41	41.15	48.80	48.96	47.53	6.39	1.32	2115	49.61
3456.2	LAV40.6	40.51	48.05	48.65	47.52	6.38	0.92	2115	49.60
3483.5	LAV40.5	40.60	45.02	46.60	47.47	6.32	0.85	2105	49.51
3508.5	LAV40.4	40.96	45.74	46.06	47.64	4.92	0.66	2074	48.87
3531.2	LAV40.3	41.00	45.39	46.11	47.41	5.29	1.21	2036	48.83
3554.8	LAV40.2	40.15	46.03	46.93	47.48	4.97	0.64	2011	48.74
3578.8	LAV40.1	39.50	47.06	46.26	47.36	5.18	0.67	1992	48.72
3592.8	LAV40	39.97	46.90	46.22	47.18	5.42	0.70	1960	48.67

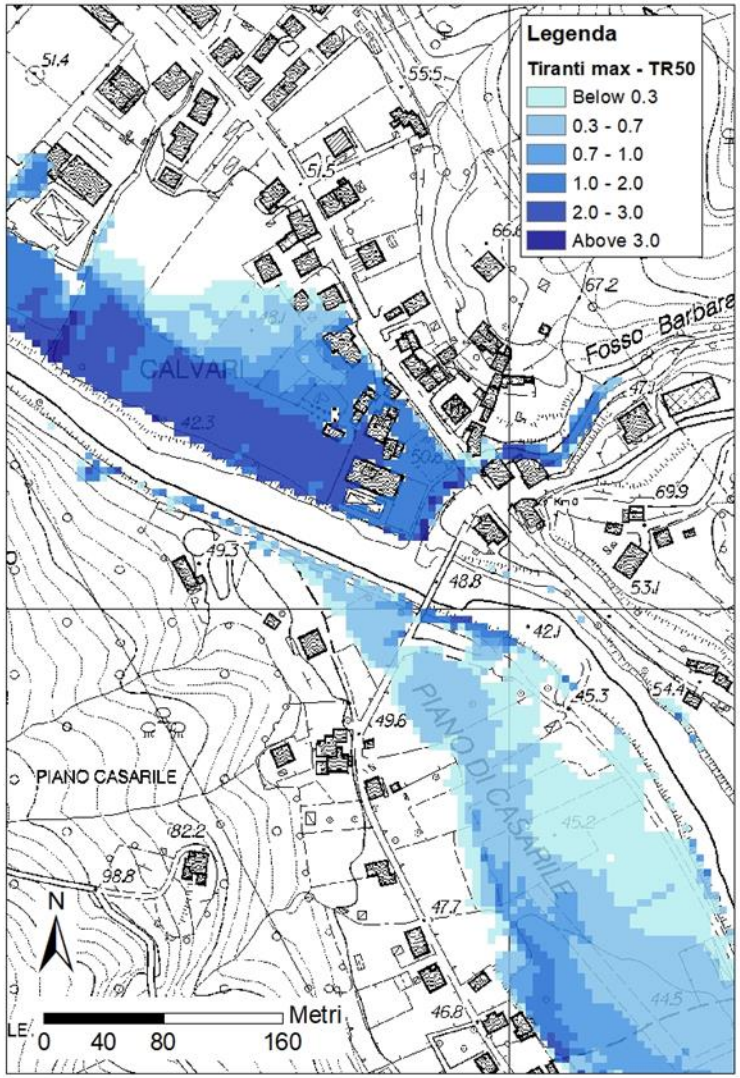


Figura 4.1 T.Lavagna – Tiranti massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquantennale nella configurazione di stato attuale.

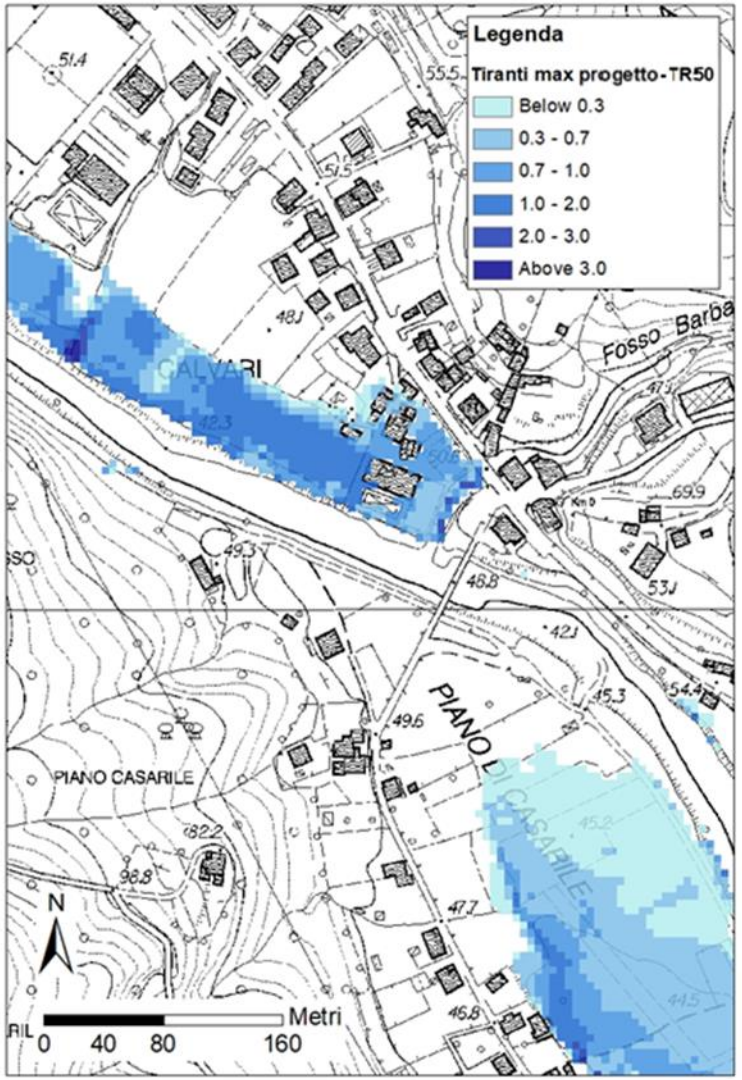


Figura 4.2 T.Lavagna – Tiranti massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquantennale nella configurazione di progetto.

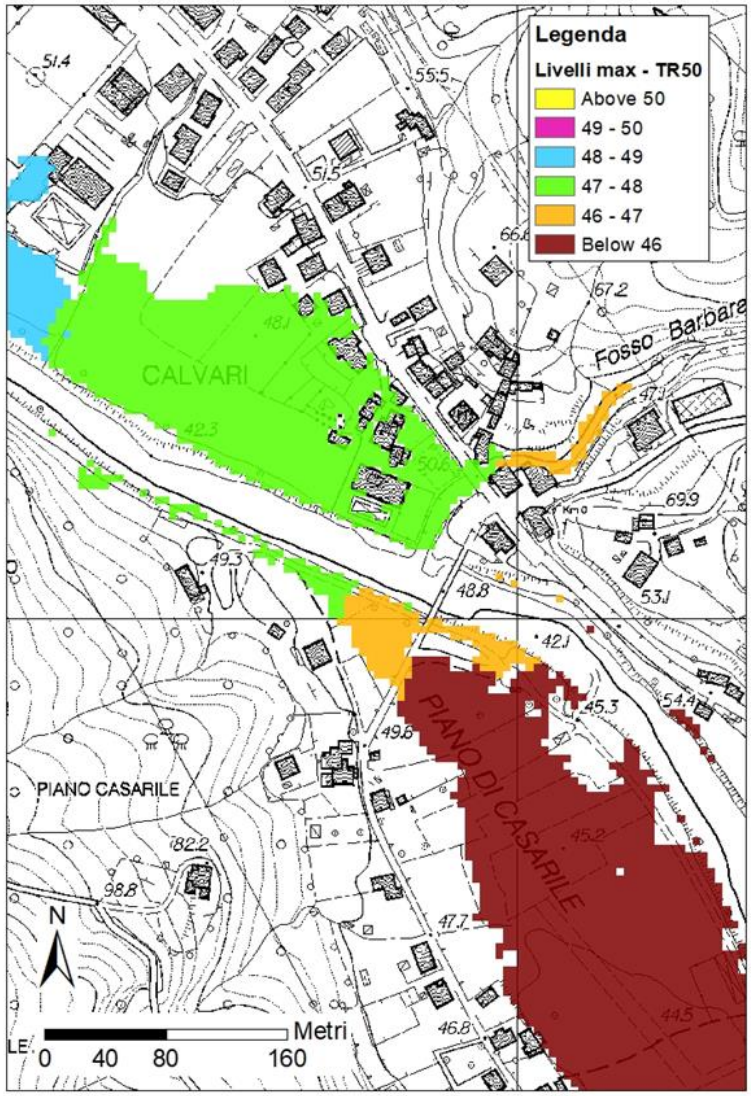


Figura 4.3 T.Lavagna – Livelli massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquantennale nella configurazione di stato attuale.

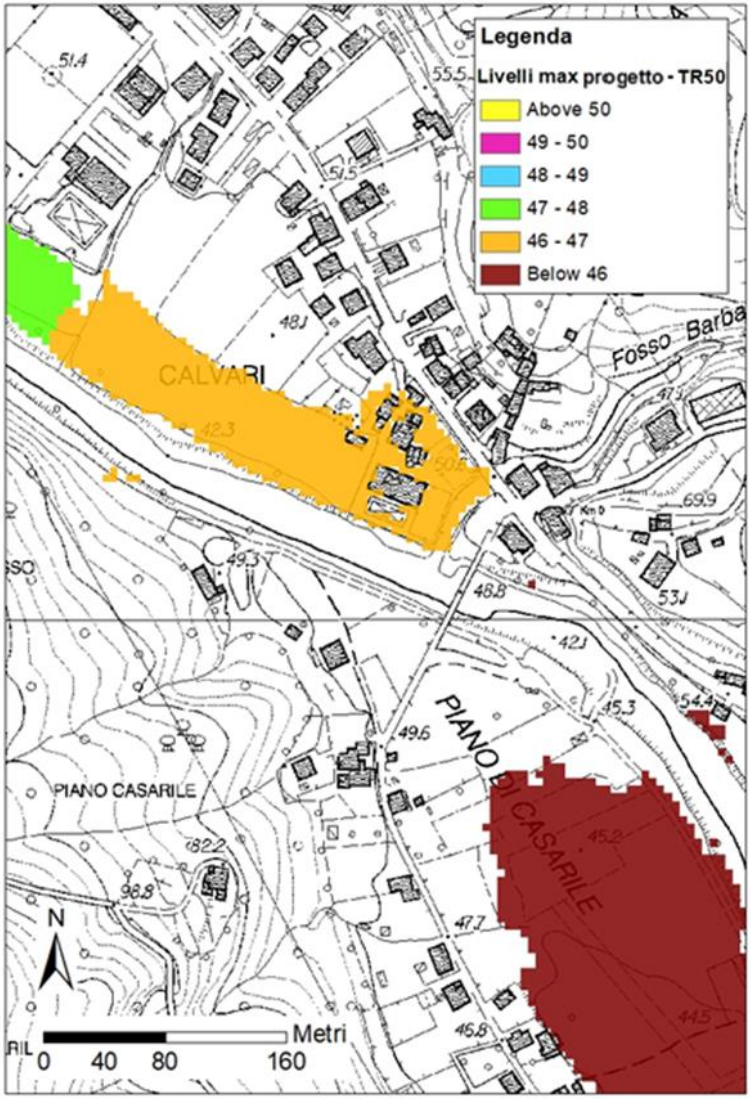


Figura 4.4 T.Lavagna – Livelli massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquantennale nella configurazione di progetto.

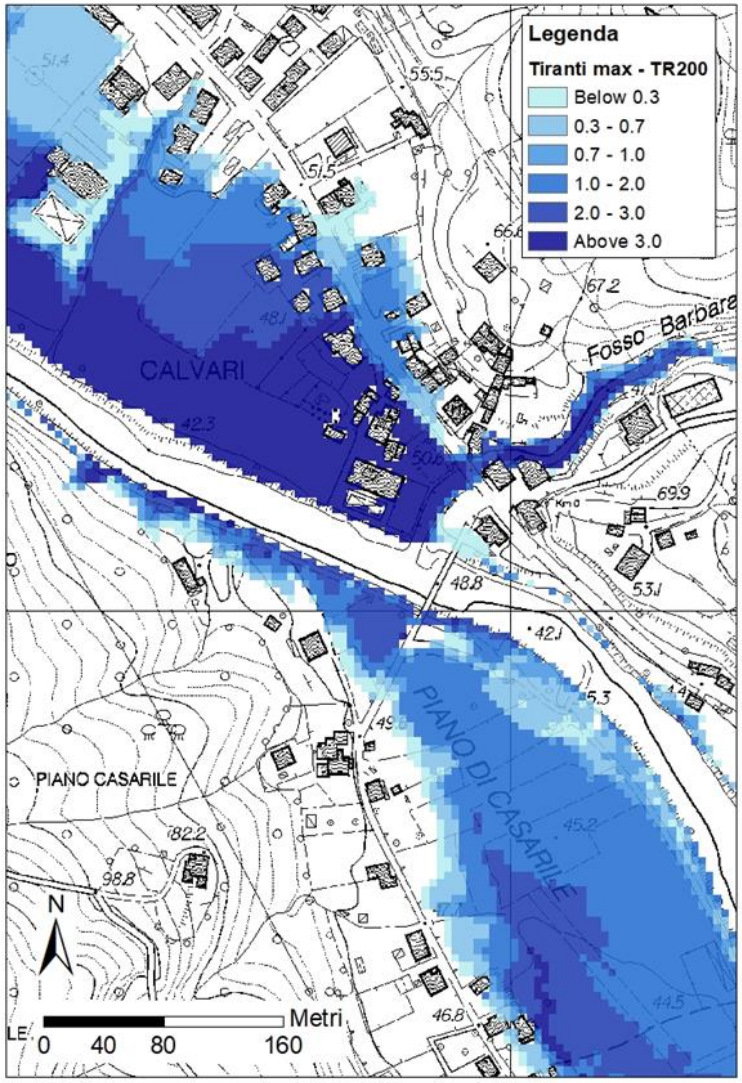


Figura 4.5 T.Lavagna – Tiranti massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena duecentennale nella configurazione di stato attuale.

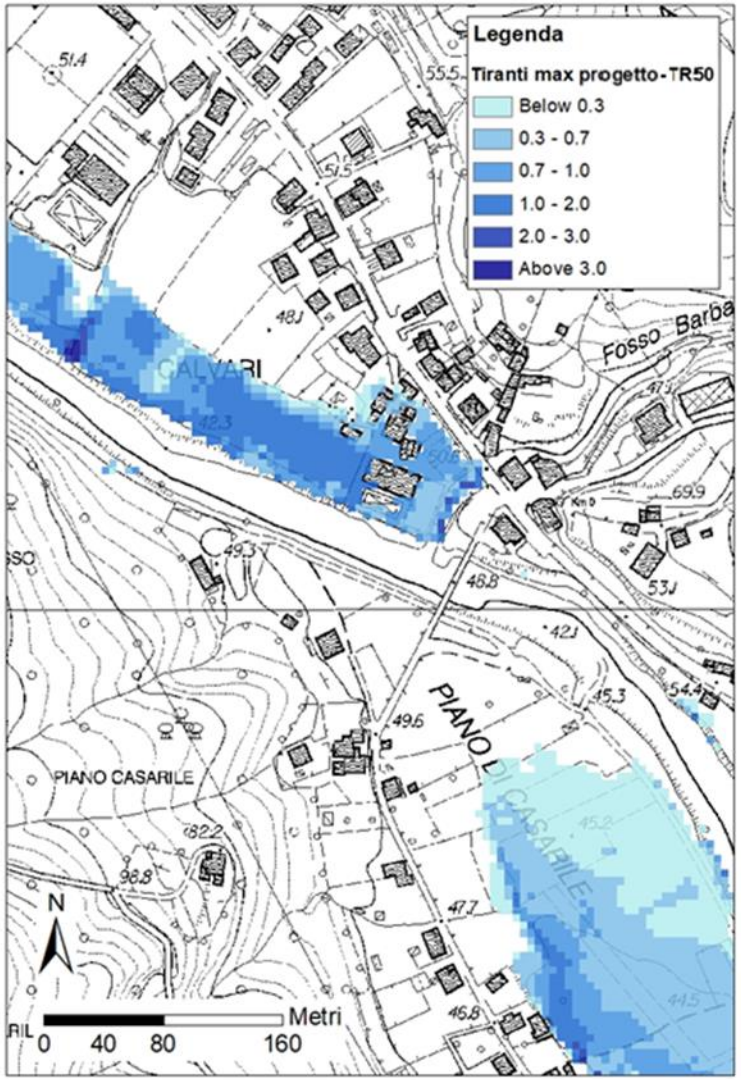


Figura 4.6 T.Lavagna – Tiranti massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena duecentennale nella configurazione di progetto.

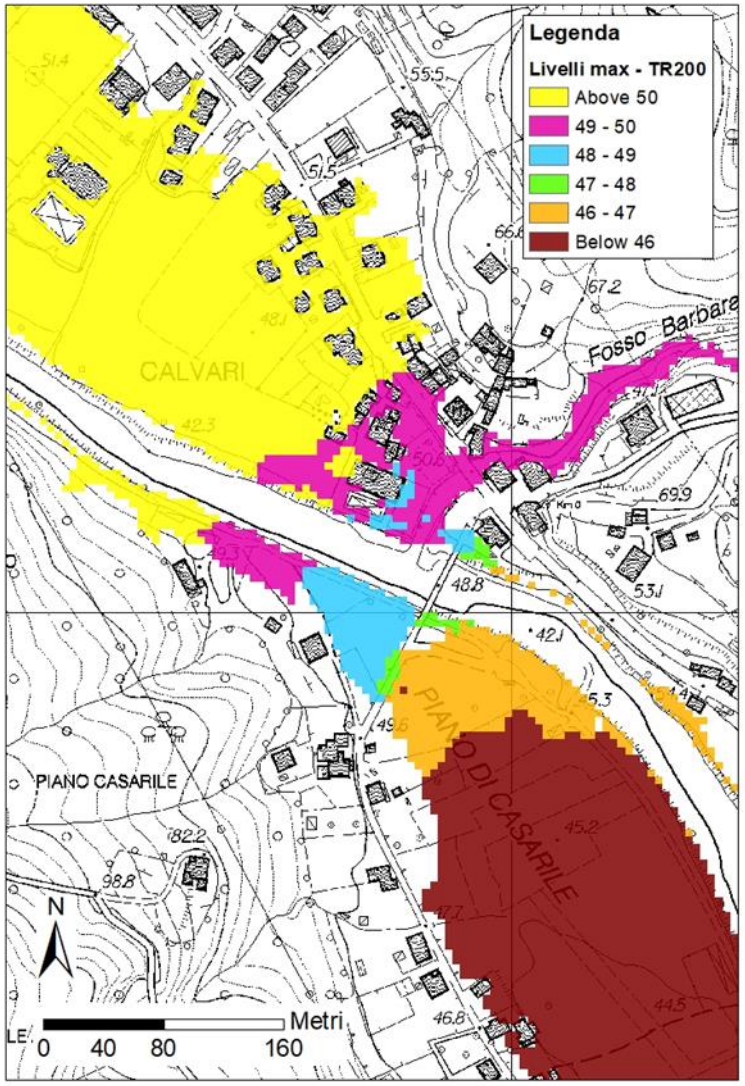


Figura 4.7 T.Lavagna – Livelli massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena duecentennale nella configurazione di stato attuale.

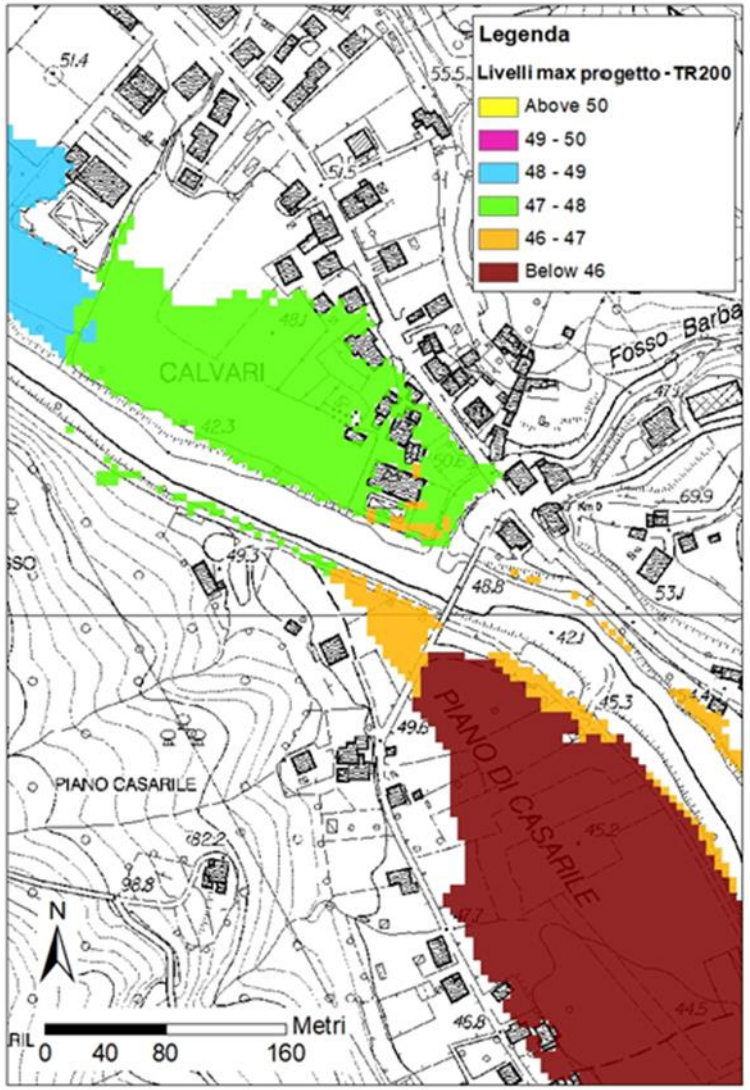


Figura 4.8 T.Lavagna – Livelli massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena duecentennale nella configurazione di progetto.

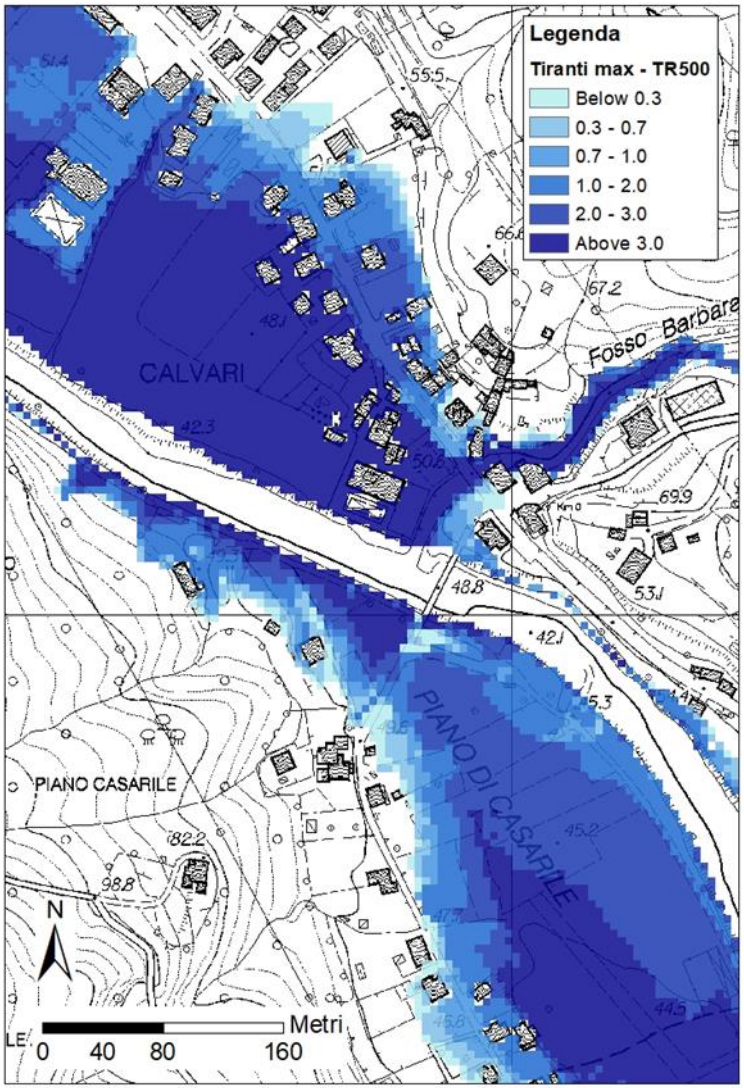


Figura 4.9 T.Lavagna – Tiranti massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquecentennale nella configurazione di stato attuale.

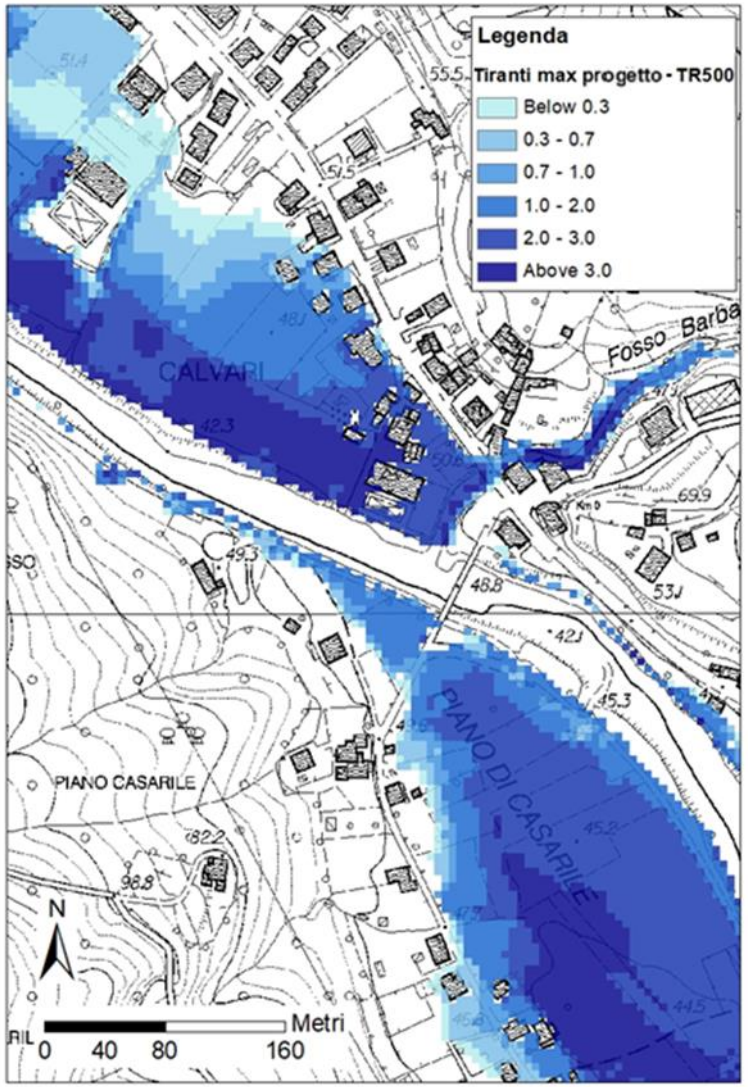


Figura 4.10 T.Lavagna – Tiranti massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquecentennale nella configurazione di progetto.

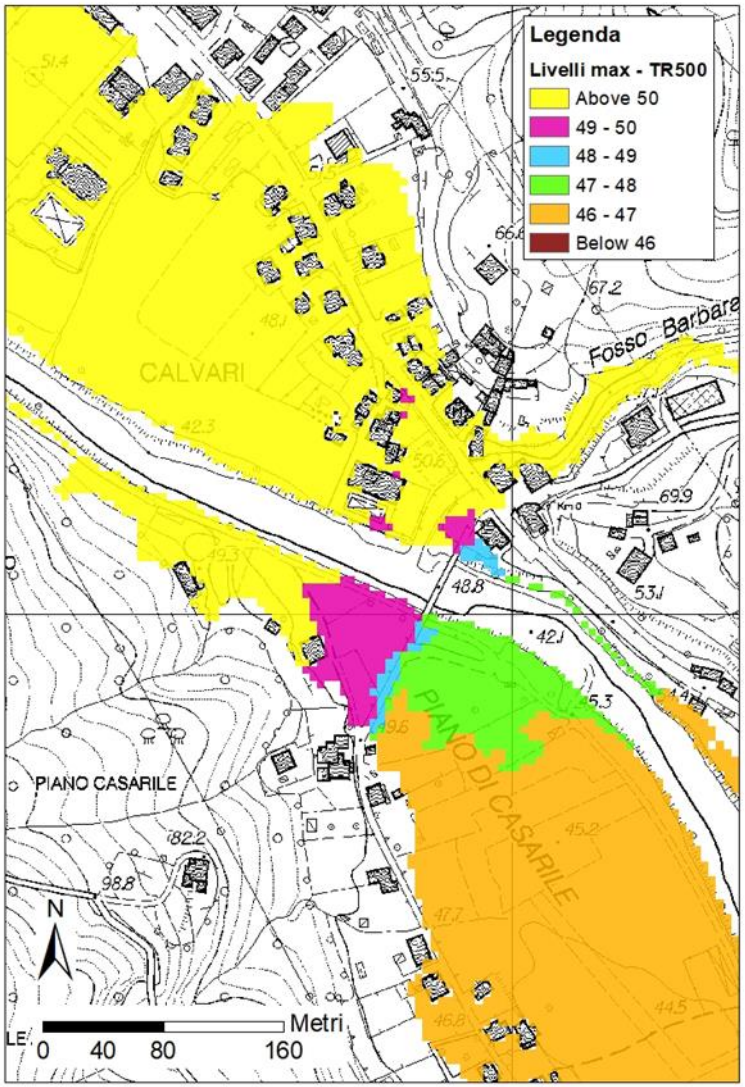


Figura 4.11 T.Lavagna – Livelli massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquecentennale nella configurazione di stato attuale.

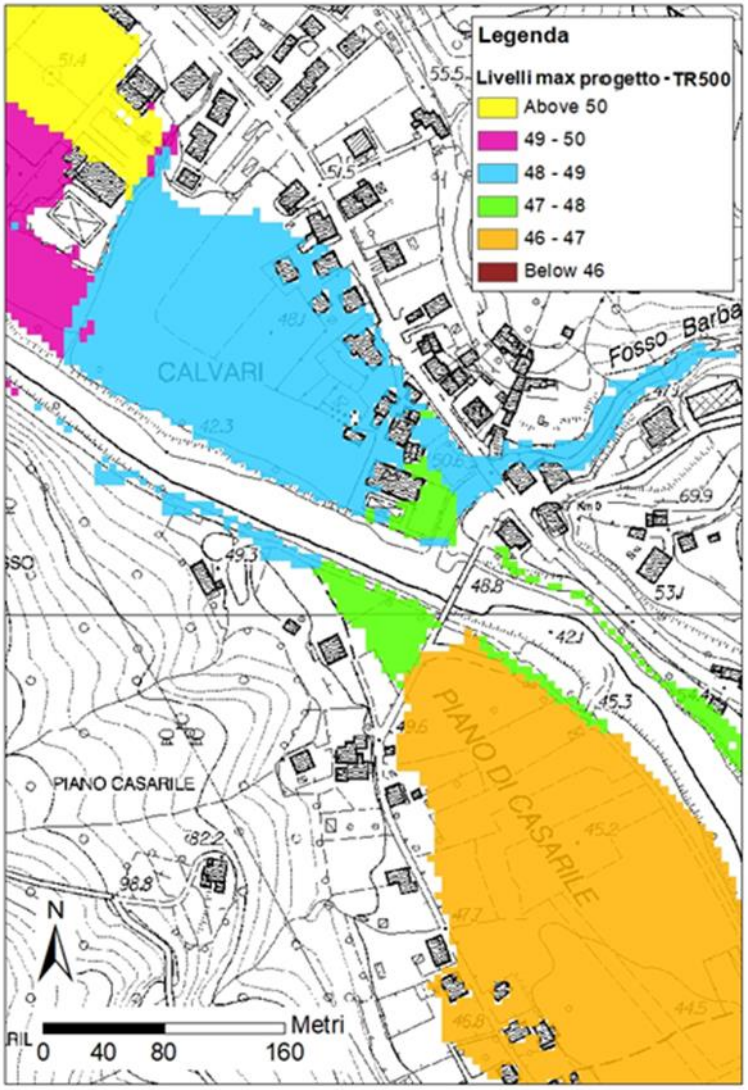


Figura 4.12 T.Lavagna – Livelli massimi riscontrati in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquecentennale nella configurazione di progetto.

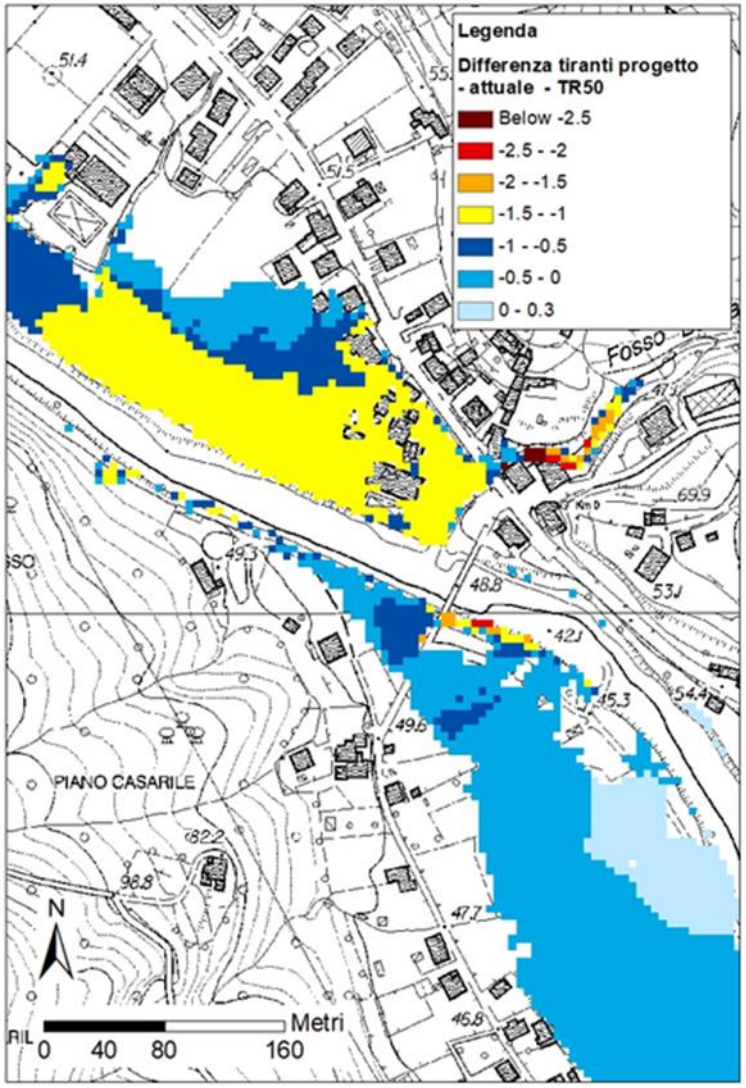


Figura 4.13 T.Lavagna – Differenza tra i tiranti massimi nella configurazione di progetto e di stato attuale in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena cinquantennale

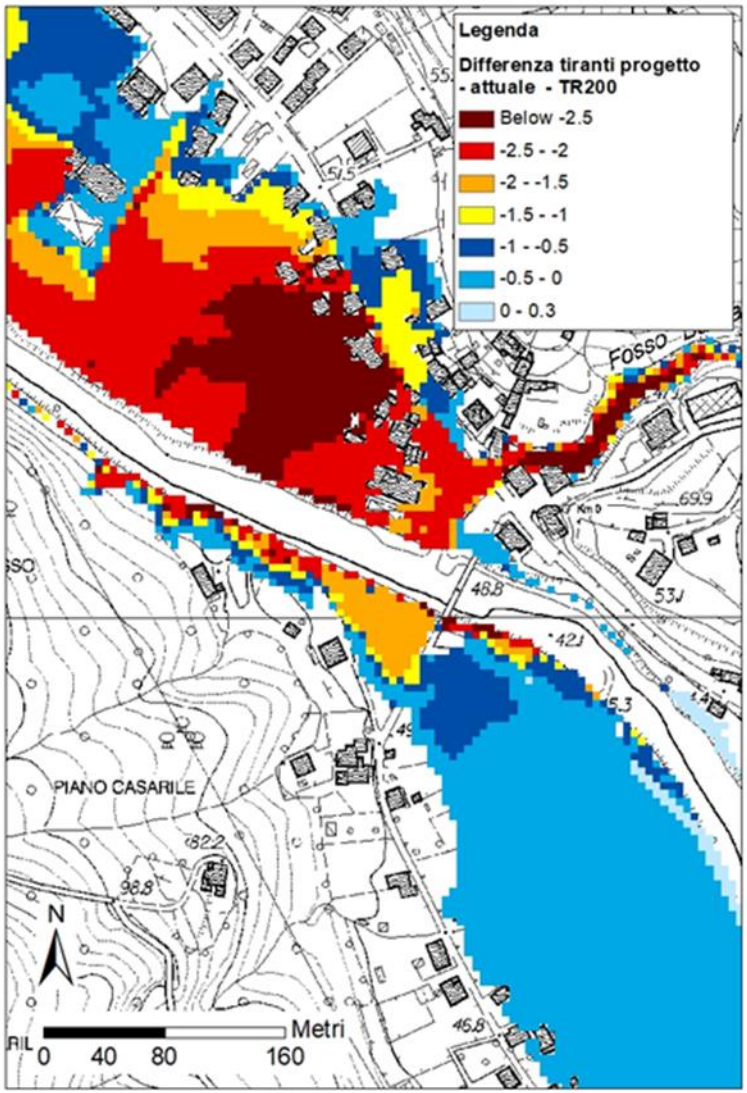


Figura 4.14 T.Lavagna – Differenza tra i tiranti massimi nella configurazione di progetto e di stato attuale in caso di passaggio in alveo dell'evento di piena duecentennale

.

Tabella 4.7 T.Lavagna – Differenza tra le quote del pelo libero tra la configurazione di progetto e attuale nel caso di transito della portata cinquantennale e duecentennale.

Progressiva	ID Sez.	differenza pelo libero TR 50 progetto - attuale	differenza pelo libero TR 200 progetto - attuale
[m]	[-]	[m.]	[m]
3259.9	LAV42.3	-1.33	-2.45
3287.3	LAV42.2	-1.42	-2.57
3344.5	LAV42.1	-1.49	-2.39
3382.1	LAV42	-1.44	-2.05
3400.1	LAV41.4	-1.39	-1.90
3419.9	LAV41.3	-1.40	-1.78
3444.0	LAV41.2	-1.58	-2.07
3444.6	LAV41.1	-1.46	-2.00
3451.0	LAV41	-0.73	-0.54
3456.2	LAV40.6	-0.71	-0.56
3483.5	LAV40.5	-0.44	-0.41
3508.5	LAV40.4	-0.44	-0.22
3531.2	LAV40.3	-0.39	-0.22
3554.8	LAV40.2	-0.20	-0.03
3578.8	LAV40.1	-0.07	-0.01
3592.8	LAV40	-0.08	-0.09

5 Conclusioni

Il presente studio ha avuto per obiettivo l'analisi idraulica del t.Lavagna, col fine primario di valutare l'entità del fenomeno di esondazione in corrispondenza dell'abitato di Calvari nella configurazione di stato attuale e nella configurazione progettuale proposta, che prevede la sistemazione di una porzione di arginatura destra, con conseguente allargamento e approfondimento dell'alveo, e il rifacimento del ponte carrabile Rachele Lagomarsino. Le opere previste permetterebbero un maggior deflusso delle acque in alveo, riducendo il rischio idraulico dell'area circostante.

Le verifiche idrauliche sono state realizzate facendo uso del modello idrodinamico del t.Lavagna realizzato nel 2015 dagli scriventi, in occasione di uno studio affidato da Città Metropolitana di Genova e finalizzato alla definizione delle fasce di pericolosità idraulica relative agli eventi di piena con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Il modello è stato in questa sede aggiornato con il nuovo rilievo topografico di dettaglio relativo alle sezioni in alveo e al terreno limitrofo al torrente e sono stati simulati gli eventi di piena per i tre tempi di ritorno citati in precedenza. In una seconda fase, il modello è stato ulteriormente modificato per rispecchiare la configurazione progettuale proposta e nuovamente utilizzato per la simulazione dei tre eventi di piena. Si evidenzia che la componente modellistica ha fornito, in questo stadio, una fonte informativa importante per la finalizzazione degli schemi di progetto, che sono difatti stati ultimati sulla base delle risultanze ottenute dalle simulazioni dello stato attuale. Ad esempio, è stato possibile individuare una dinamica tale per cui, per ciascun tempo di ritorno osservato, un volume elevato di acqua esonda in sponda sinistra nella parte più montana del tratto analizzato, andando a riempire la golena e rientrando successivamente in alveo poco più a valle, prima di raggiungere l'attraversamento oggetto di studio. L'individuazione di dinamiche di questo tipo ha portato alla definizione di tre diversi livelli idrometrici per ciascuna sezione, riferiti a sponda sinistra, alveo e sponda destra.

Le simulazioni dello scenario di stato attuale hanno confermato le criticità idrauliche già indicate nel Piano di Bacino, mostrando esondazioni estese caratterizzate da tiranti fino a 3 m già in caso di evento cinquantennale e concentrate soprattutto nelle aree golenali a monte dell'attraversamento.

I risultati ottenuti nella configurazione di progetto presentano uno scenario decisamente migliorativo, sia in termini di estensione delle esondazioni, che si riducono ampiamente a monte e in prossimità del ponte, che di tiranti idrici. Per quanto riguarda questi ultimi, in caso di evento cinquantennale, si assiste a decrementi superiori a 1 m, che arrivano a 2.5 m in caso di evento duecentennale.

Il presente studio idraulico ha dunque permesso di appurare e quantificare l'impatto migliorativo degli interventi idraulici previsti sul t.Lavagna in zona Calvari, da cui conseguirà una notevole riduzione del rischio idraulico dell'area.

ALLEGATI

ALLEGATO A – MIKE1D HD

Descrizione tecnica

PREMESSA

MIKE 1D è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

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

La grande flessibilità del codice di calcolo permette di integrare, attraverso specifici moduli, le applicazioni idrodinamiche con fenomeni idrologici, trasporto solido, advezione-dispersione, qualità delle acque, ecologia, rendendo MIKE 1D 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 trasposto 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 1D è costituito dai seguenti moduli:

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

- ST (trasporto sedimenti): simulazione del trasporto solido di materiale non coesivo, in modalità disaccoppiata (senza variazione della geometria del fondo alveo) o accoppiata (calcolo delle trasformazioni morfologiche);

- FF/DA (previsioni in tempo reale): il modulo consente, assimilando i dati misurati in tempo reale su un bacino e/o corso d'acqua, di correggere la simulazione idrodinamica al fine di garantire una affidabilità massima sulla previsione di un evento di piena.

Particolarmente efficace risulta la possibilità di poter integrare il codice MIKE 1D, 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 1D HD.

MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE 1D 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 1D 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 1D, 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:

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

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

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

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

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

dove:

A = area della sezione bagnata (m2);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m1/2 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:

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

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:

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

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

DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

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

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

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

Tipo 2. Relazione Q-h

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

Tipo 3. Tombino

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

Tipo 4. Relazione Q-t

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

Tipo 5. Relazione Q = A(Zj1) . Zj2

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

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

Tipo 7. Ponti

In MIKE 1D possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 1D 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:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2AR^{4/3}}$$

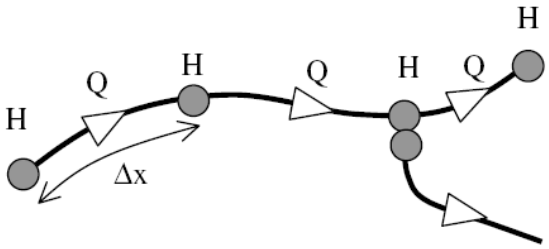
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a 1/n, essendo n il coefficiente di Manning.

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 1D le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

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

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

1) Criterio di Courant

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

dove:

Cr = numero di Courant;

d = altezza d'acqua media;

V = velocità media della corrente;

g = accelerazione di gravità;

Dt, Dx = passi di calcolo.

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

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

2) Criterio della velocità.

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

V *Dt < Dx

dove V è velocità media della corrente.

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

Il modello DHI/MIKE 1D genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

ALLEGATO B – MIKE21 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 differenza 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 1D, 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 1D, 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:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

nelle quali:

h(x,y,t) = profondità dell'acqua;

ζ (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,Vx,Vy(x,y,t) =velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

Ω (x,y) = parametro di Coriolis;

pa (x,y,t) = pressione atmosferica;

ρw = densità dell'acqua;

x,y = coordinate spaziali;

t = tempo;

τxx, τxy, τyy = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

Sxx,Sxy,Syy = 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:

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

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hE\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hE\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$ (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 cs 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 (m3/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m3/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 multipla-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).