PROGETTO DEFINITIVO

RIO MELARA - INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO AREA SIMAN - VIA DEL MOLO

Città della Spezia

Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale
Porto di La Spezia e
Marina di Carrara

La Spezia Container Terminal

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

CODICE ELABORATO

23 01 PD 005 01

Rev.	Data	Causale
0	02/03/2023	Emissione
1	04/04/2023	Modifica cartiglio
2		

IL PROGETTISTA

Modimar Project S.r.l.
Via Asmara, 72 - 00199 Roma (RM)
P. IVA 16016151009

GES - Geotechnital Engineering Service S.r.l.
Via Sandro Totti, 7/A - 60131 Ancona (AN)
P. IVA 02528430420

GeoEquipe - Studio Tecnico Associato
Via Sandro Pertini, 55 - 62029 Tolentino (MC)
P. IVA 00817500432

IL CONSULENTE PER LA PARTE IDRAULICA

HYDRODATA S.p.a.
Via Pomba 23 - 10123 Torino (TO)
P. IVA 01735260018

Dimensioni foglio: A4

Redatto:	Controllato:	Approvato:
Dutto	Sanzone	Tartaglini

Note:

Sommario

1 PREMESSA 2
2 DESCRIZIONE DI SINTESI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO 3
3 ASSETTO ATTUALE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA 7
4 ANALISI IDROLOGICA 11
4.1 APPROCCIO METODOLOGICO E AGGIORNAMENTO PLUVIOMETRICO 11
4.2 FOSSO MELARA 13
4.3 ASSI DI DRENAGGIO URBANI – CAMPITELLI, CIELI E TERMOMECCANICA 14
5 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO 18
5.1 ALLESTIMENTO DELLA MODELLISTICA NUMERICA 18
5.1.1 Modello monodimensionale 19
5.1.2 Modello bidimensionale 24
5.2 SCENARI DI ANALISI E CONDIZIONI AL CONTORNO 26
5.3 ANALISI IDRAULICA: ASSETTO DI PROGETTO 30
5.3.1 Tempo di ritorno TR=200 anni 30
5.3.2 Tempo di ritorno TR=50 anni 37
5.3.3 Tempo di ritorno TR=500 anni 44
5.4 ANALISI IDRAULICA: ASSETTO DI PROGETTO IN ASSENZA DI ESONDAZIONI A MONTE 50
5.4.1 Tempo di ritorno TR=200 anni 50
5.4.2 Tempo di ritorno TR=50 anni 55
5.4.3 Tempo di ritorno TR=500 anni 59
6 ANALISI IDRAULICHE INTEGRATIVE 63
7 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE 66

Allegato 1: Analisi Idrologica e di inquadramento idrogeologico (Studio Hydrodata 2021)
Allegato 2: Relazione Idraulica Ottemperanza al Parere del CSLLPP

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte integrante del progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio idraulico del Rio Melara.
L'intervento in oggetto, che riguarda il tratto del corso d'acqua posto a valle dell'attraversamento ferroviario che attraversa l'area SIMAN in via del Molo a La Spezia, grazie all'introduzione di una vasca di sedimentazione e intercettazione del materiale flottante a presidio della lunga tombinatura terminale esistente che si connette con il nuovo canale marino previsto nel progetto del nuovo terminal Ravano, risulta funzionalmente connesso con quest'ultimo intervento insieme al quale costituisce un progetto unitario di mitigazione del rischio idraulico del fosso Melara.



Figura 1 – Planimetria con localizzazione delle aree di intervento.

Lo studio riportato di seguito è stato redatto dall'Ing. Luca Dutto della Società HYDRODATA S.p.A. di Torino.

2 DESCRIZIONE DI SINTESI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Il progetto prevede di incrementare la capacità di deflusso del tratto d'alveo in corrispondenza dell'area SIMAN, realizzando a fianco della tombinatura esistente un nuovo canale, realizzato con una struttura di c.a. a sezione aperta, al di sopra della quale è prevista la posa di un grigliato carrabile, in modo da non compromettere l'operatività del cantiere navale.

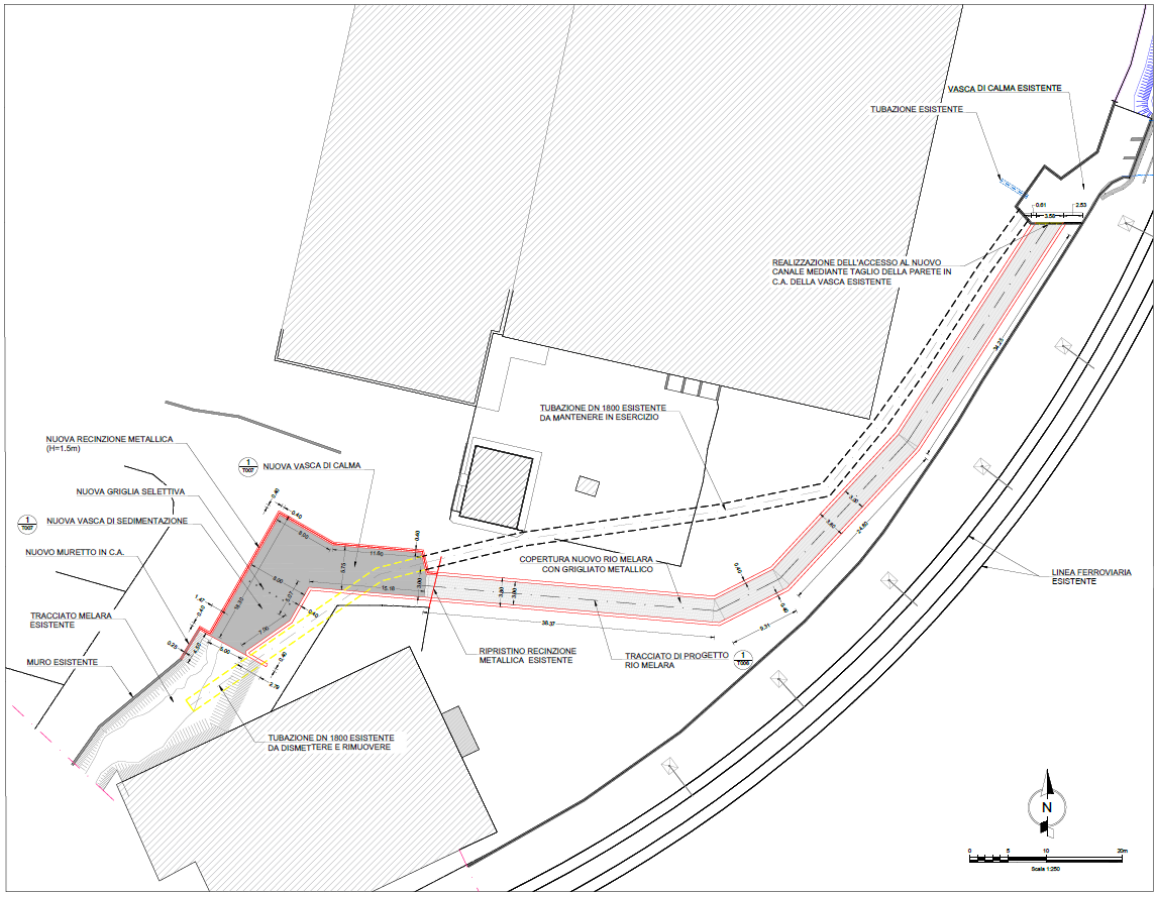


Figura 2 – Planimetria di progetto.

Il nuovo canale (v. **Figura 3**), che avrà una luce libera pari a 3,0 m, non sostituirà la tubazione DN 1800 esistente, che continuerà a svolgere la sua funzione anche dopo la sua realizzazione contribuendo al deflusso delle portate di piena del Fosso Melara. Per questo motivo il tracciato del nuovo canale (v. **Figura 2** tracciato evidenziato in arancio) e le modalità costruttive ipotizzate per la sua realizzazione sono stati definiti in modo da non interferire con l'integrità e la funzionalità della tubazione esistente anche durante l'esecuzione dell'opera.

In particolare il nuovo canale ha origine sulla sponda meridionale della vasca di calma esistente a valle dell'attraversamento ferroviario, con fondo scorrevole posto alla stessa quota del tubo attuale (-0.44 m s.m.).

Successivamente esso si sviluppa per circa 60 m parallelamente alla recinzione del rilevato ferroviario, mantenendosi ad una distanza minima dalla tubazione esistente pari a circa 1,85 m. Quindi il tracciato devia di circa 52° verso Ovest, e dopo aver percorso circa 46 m

si immette in una vasca in c.a. a cielo aperto (v. **Figura 2**), che verrà realizzata nell'area esterna alla recinzione del cantiere navale interessando in parte anche l'alveo a cielo aperto del rio Melara, e nella quale si immetterà anche la tubazione DN 1800 esistente (che sarà intercettata in una sezione a monte dell'attuale confluenza). Nella definizione della configurazione della vasca e delle modalità esecutive da adottare per la sua realizzazione, si è tenuto conto della necessità che la tubazione DN1800 continui a mantenere la sua funzionalità per tutta la durata dei lavori.

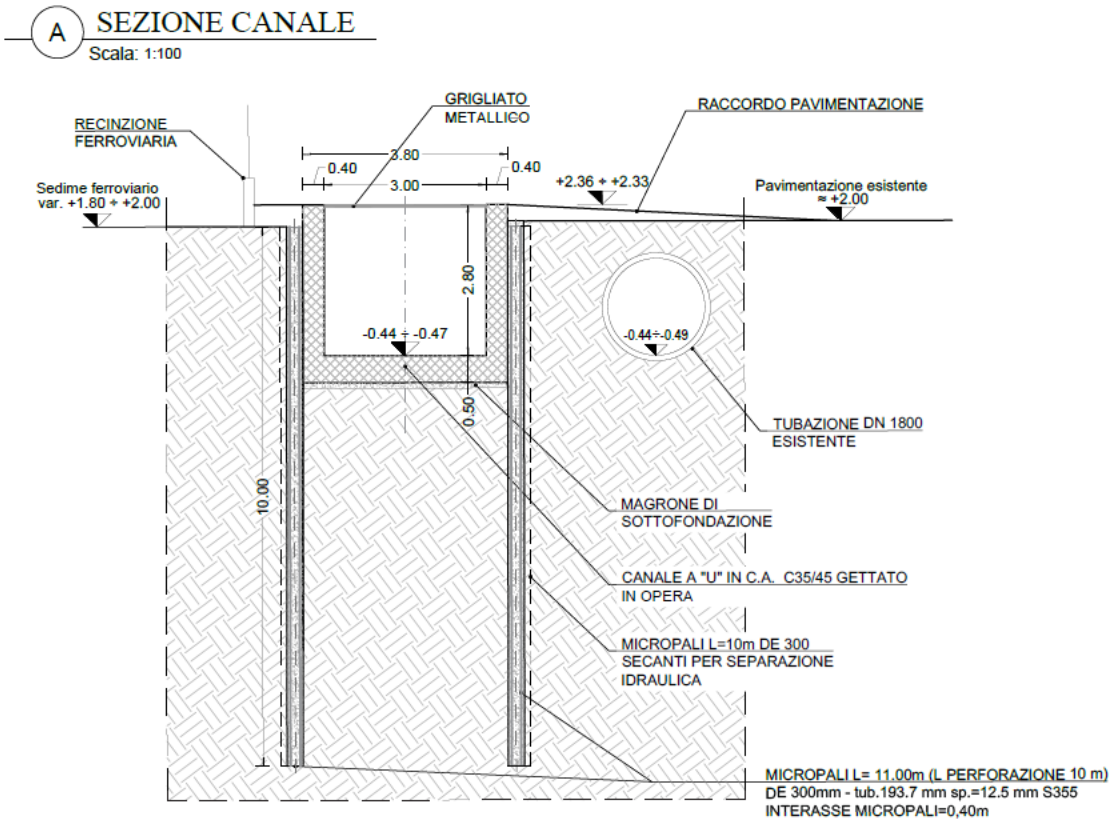


Figura 3 – Sezione tipo canale.

La vasca di calma e di sedimentazione prevista a valle del nuovo canale (v. **Figura 2Figura 4** e **Figura 5**), caratterizzato da pareti verticali, ha una configurazione planimetrica a L:

- la prima porzione (L= 13 m circa), allineata con il tracciato del canale rispetto al quale si allarga bruscamente a 5 m intercettando la tubazione esistente, ha funzione di vasca di calma e consente la regolarizzazione dei due flussi in ingresso;
- la seconda porzione, in asse all'alveo a cielo aperto esistente del Melara, ha funzione di vasca di sedimentazione e di intercettazione del materiale flottante, e presenta una maggiore larghezza, pari a 8 m. Nel tratto terminale la larghezza della vasca si riduce progressivamente da 8 m a circa 5 m, raccordandosi con il tratto a cielo aperto del rio Melara più a valle.

Nel primo tratto della vasca di sedimentazione è prevista la realizzazione di una briglia selettiva (v. **Figura 5**) costituita da una serie di profilati metallici verticali allineati, posti ad un interasse di circa 1 m (luce libera tra due elementi pari a 80 cm circa). L'allargamento della sezione consente di mantenere una larghezza netta di deflusso attraverso la briglia di

quasi 6,5 m, superiore di circa il 30% alla sezione corrente a valle (circa 5 m) e alla somma delle larghezze del tratto di monte. In questo modo si garantisce la sostanziale assenza di rigurgito verso monte e una più robusta funzionalità dell'opera, con buona capacità di smaltimento di portata anche in condizioni di parziale ostruzione per intercettazione di materiale.
Tutta la vasca è stata prevista a cielo aperto, senza coperture, così da agevolare lo svolgimento di periodici interventi di pulizia delle vasche.
In relazione alle modeste quote altimetriche che caratterizzano l'area di intervento, per garantire rispetto alle sponde del canale e della vasca un franco idraulico coerente con le richieste del Piano di Bacino (0,50 m rispetto all'evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno TR= 200 anni) è necessario un sovralzo delle sponde rispetto alle quote delle aree asfaltate circostanti (fino a circa 2,35 m s.l.m.m.).
Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

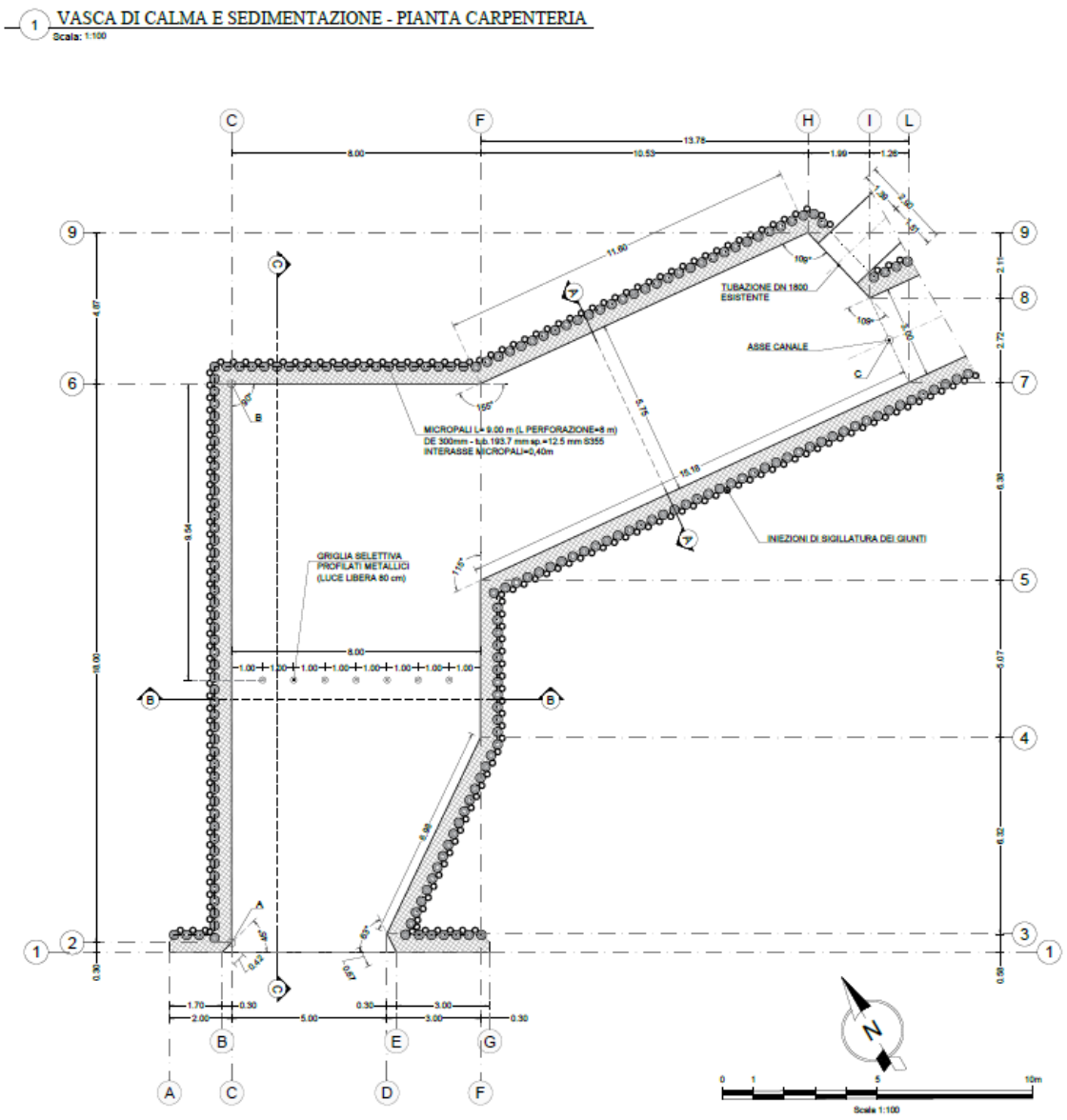


Figura 4 – Pianta vasca di calma e di sedimentazione.

B SEZIONE VASCA DI SEDIMENTAZIONE
Scala: 1:100

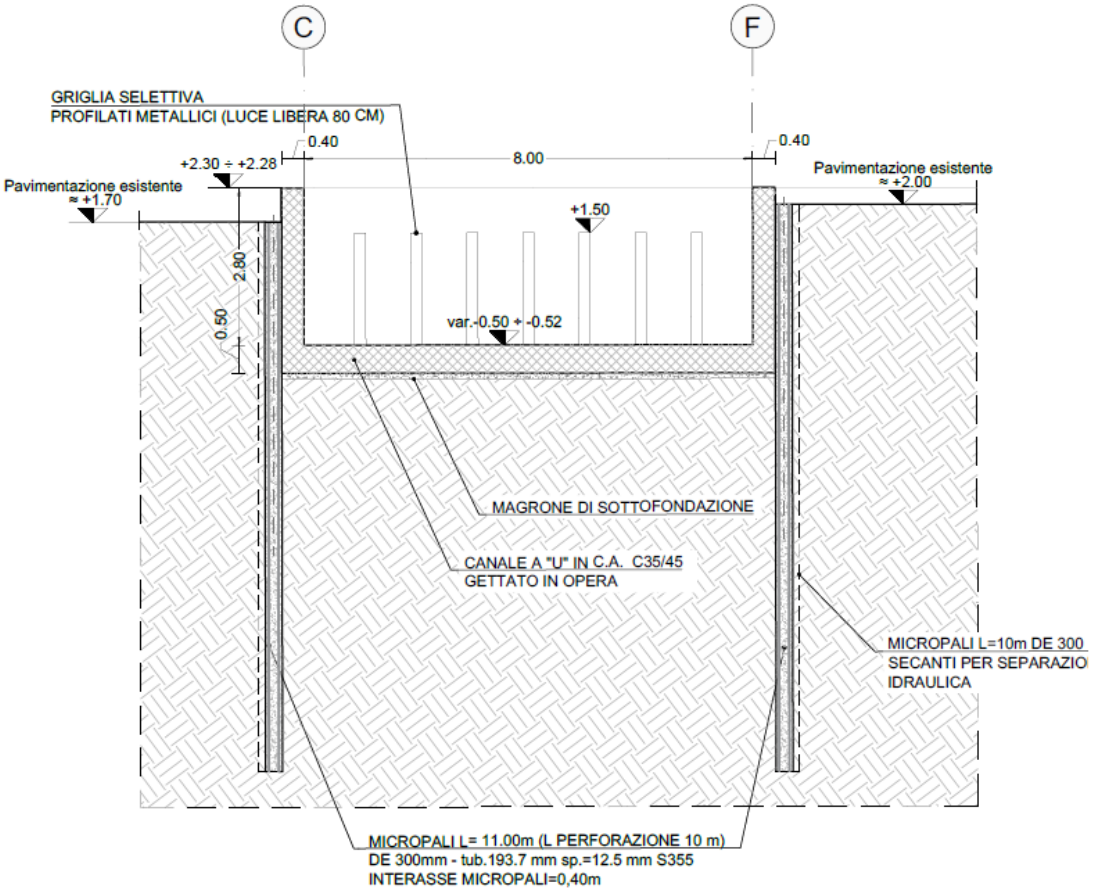


Figura 5 – Sezione vasca di sedimentazione.

3 ASSETTO ATTUALE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Il vigente Piano di Bacino definisce per le aree di interesse le perimetrazioni di pericolosità idraulica rappresentate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L' origine riferimento non è stata trovata.** (aggiornamento ottobre 2021).

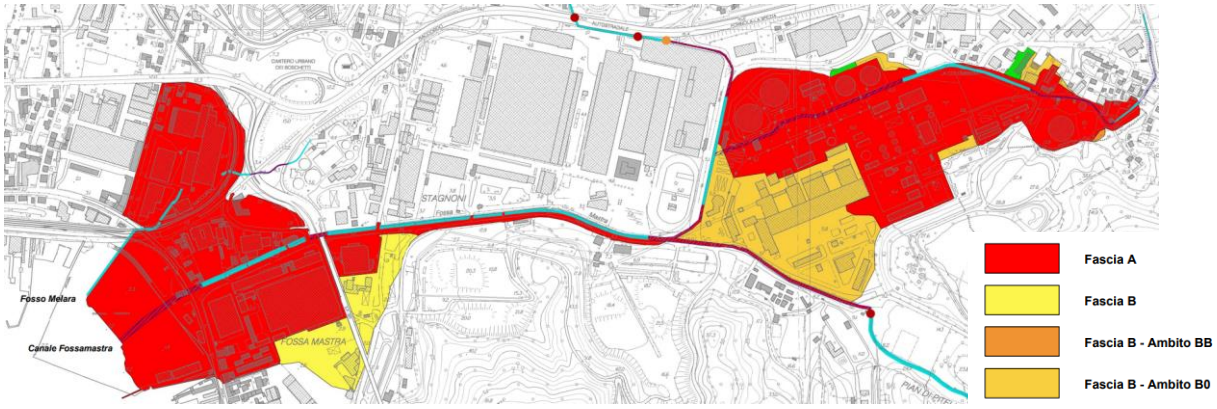


Figura 6 – Fasce di pericolosità idraulica da Piano di Bacino vigente (Fosso Melara, canale Fossamastra).

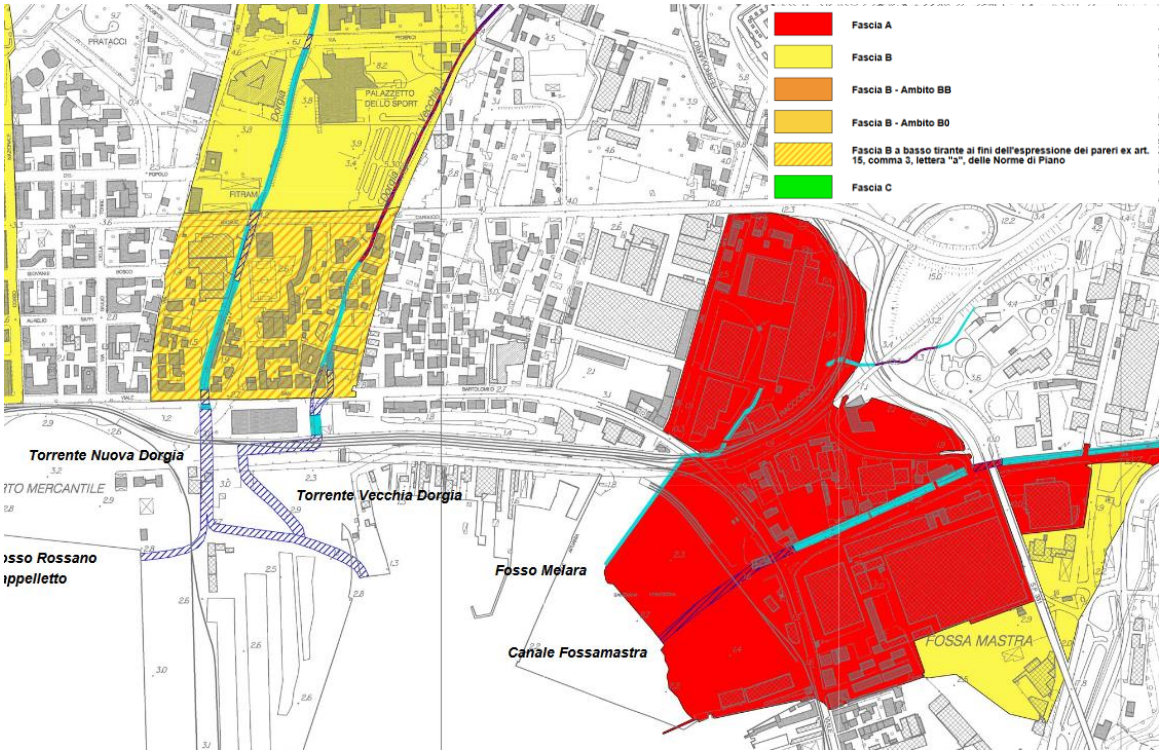


Figura 7 - Fasce di pericolosità idraulica da Piano di Bacino vigente (dettaglio area di intervento): Rio Melara, Canale Fossamastra, torrente Vecchia Dorgia.

Il Comune della Spezia ha predisposto nel 2019 uno *studio*[1] *idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune (…) a supporto delle attività di protezione civile e del Piano Urbanistico Comunale,* aggiornato e integrato nel 2021, dal quale è derivata una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica sull'area di studio, comportando un generale ampliamento di queste ultime rispetto a quanto precedentemente perimetrato nel Piano di Bacino vigente, prevalentemente a causa delle analisi condotte su tratti di reticolo idrografico precedentemente non studiati dal punto di vista dell'assetto idraulico.
Le risultanze di tale studio sono contenute nella variante all'attuale Piano di Bacino predisposta dalla Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale la quale ha trasmesso alla Regione Liguria il Decreto del Segretario Generale n. 113 del 14/11/2022 ad oggetto: "Piano di bacino, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) del territorio dei bacini regionali liguri. Piano di Bacino Ambito 20. Presa d'atto della proposta di variante non sostanziale relativa alla riperimetrazione delle fasce di inondabilità dei principali torrenti, rii, fossi e canali nel comune della Spezia (SP), ai fini dell'avvio della fase di pubblicità. Adozione di misure di salvaguardia in attesa dell'approvazione definitiva. Art. 68 commi 4-bis e 4-ter del d.lgs. 152/2006. Contestuale avvio della procedura di aggiornamento delle mappe del PGRA ai sensi dell'art. 14 della disciplina di PGRA."
Le aree di esondazione del Rio Melara nel nuovo studio risultano molto simili alle perimetrazioni pregresse, estese prevalentemente a monte di Viale San Bartolomeo.
In generale si evidenzia come elemento di criticità di tutto il tratto la limitatissima pendenza longitudinale: l'imbocco della tombinatura al di sotto del depuratore ha una quota di fondo circa pari al livello di mare imposto come condizione di valle (circa 0,5 m s.m.). Più a valle, l'intero tratto sistemato dall'imbocco dell'attraversamento della A15 fino allo sbocco di quello ferroviario ha un fondo orizzontale posto a quota -0,45 m s.m.; l'attuale sbocco a mare si ha con fondo a quota -1,0 m s.m. Tale inadeguatezza induce esondazioni diffuse nelle aree oggetto di simulazione.
Nell'attuale configurazione del rio Melara, limitatamente alle porzioni di reticolo analizzate dallo studio del Comune, si riscontrano fuoriuscite di portata dall'alveo, con allagamenti delle aree circostanti, in corrispondenza di due specifici punti critici: l'imbocco della tombinatura che si sviluppa al di sotto dell'impianto di depurazione e l'imbocco della tombinatura circolare a valle dell'attraversamento della ferrovia (al di sotto del piazzale dell'area artigianale - cantiere navale SIMAN). Per entrambi le fuoriuscite sono dovute sia alla modesta capacità di smaltimento del manufatto, sia a fenomeni di rigurgito da valle.
In maggior dettaglio le dinamiche di esondazione dello stato attuale possono essere descritte come segue, secondo quanto riportato dal citato studio del Comune, dal quale è mutuata anche la Figura 8 che rappresenta la distribuzione delle massime altezze d'acqua osservate per l'evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 200 anni.

[1] Città della Spezia. *Studio idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia - Aggiornamento e integrazione con definizione di possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico relativi ad alcune specifiche criticità puntuali*. HYDRODATA S.p.A., luglio 2021.

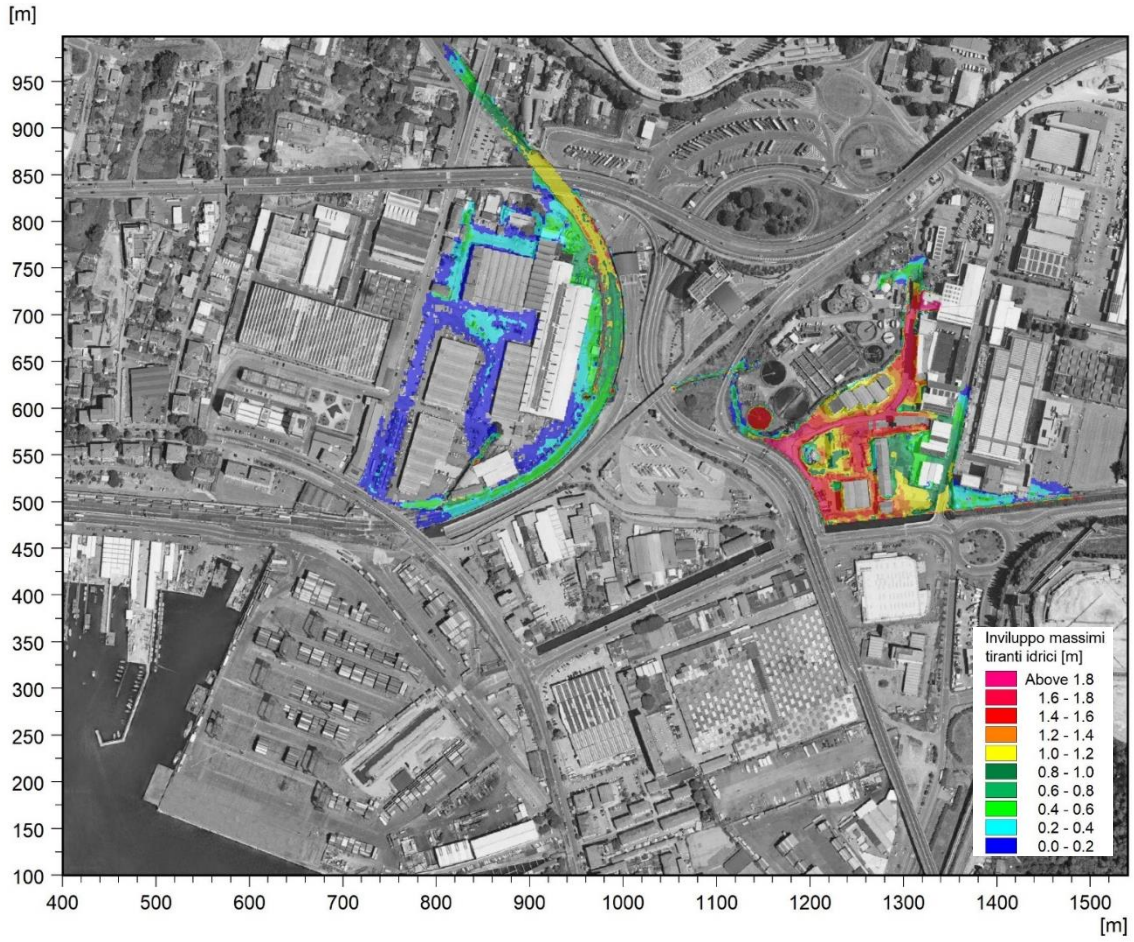


Figura 8 – Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna, TR=200 anni.

- Nel tratto a cielo aperto a monte del tombino al di sotto dell'impianto di depurazione si riscontrano fuoriuscite di portata rilevanti. La portata esondata allaga via degli Stagnoni propagandosi nell'area produttiva prevalentemente verso Sud, fino a riversarsi nell'alveo del Canale Fossamastra, giungendo anche a lambire l'area dello stabilimento industriale Leonardo, nel cui perimetro entra (marginalmente) attraverso il varco di accesso in via privata OTO. L'esondazione si attesta contro il rilevato dell'autostrada A15 della Cisa. Gli allagamenti circondano l'area del depuratore, posta a quota più elevata, interessando solo una porzione limitata a Nord, e rientrano parzialmente in alveo a valle dello sbocco della tombinatura. Parte della portata esondata rientra anche in alveo nel tratto a cielo aperto su via degli Stagnoni, al decrescere dei livelli idrici di valle.
- Nel tratto d'alveo a cielo aperto a monte della A15 i livelli idrici sono maggiori delle quote di sponda della sezione rivestita, ma a causa delle ripide scarpate in terra soprastanti gli allagamenti sono sostanzialmente nulli.
- A valle di questo tratto sono stati realizzati negli ultimi 20 anni interventi significativi per migliorare la funzionalità idraulica del corso d'acqua, eseguiti da vari soggetti (SALT, RFI, Autorità Portuale), con raddoppi o potenziamenti delle originarie tombinature di attraversamento. Il tratto di sistemazione SALT+RFI

presenta un fondo scorrevole orizzontale (a quota -0,45 m s.m.), al quale fa seguito una tombinatura circolare al di sotto del piazzale dell'area artigianale (cantiere navale SIMAN), di diametro 1,8 m, e quindi, a valle di un breve tratto di canale a cielo aperto, la tombinatura terminale costituita da una sezione con due canne parallele di larghezza 4,0 m e altezza circa 1,9 m che si sviluppa con tracciato sinuoso al di sotto del sedime ferroviario.

- Il nodo idraulico dell'attraversamento ferroviario, in cui si ha la confluenza del ramo di ponente del Melara e di un fosso minore, è fortemente critico in quanto nettamente rigurgitato dalla tubazione di uscita dalla "vasca di calma" a valle dell'attraversamento (tombinatura circolare di diametro 1,80 m), decisamente inferiore come capacità di deflusso alle sezioni di monte. Il carico idraulico che si instaura a monte di essa risulta superiore alle quote di sponda dei canali che si sviluppano su entrambi i lati della linea ferroviaria, provocando l'allagamento del piano dei binari. In virtù delle limitate pendenze tale allagamento si estende anche a monte fino a via Carducci, mentre a valle defluirebbe verso sinistra andando a invadere anche la galleria subalvea (tale analisi non considera la presenza di muri perimetrali in quanto non è nota la loro adeguatezza a contenere i livelli idrici di piena).
- Nel tratto a valle dell'area artigianale (cantiere navale SIMAN) la portata residua (ridotta a causa delle esondazioni di monte a un colmo di circa 7,3 m^3/s rispetto al valore idrologico di circa 13,5 m^3/s) è contenuta nell'alveo e transita attraverso il ponticello ad arco al di sotto della ferrovia e nella successiva tombinatura di attraversamento dell'area portuale, senza generare in essa un funzionamento in pressione, con franchi idraulici compresi tra 0,7 m e 1,0 m (il valore minore è indotto, nella sezione terminale, dal livello idrico imposto a valle).

4 ANALISI IDROLOGICA

Nel già citato studio del comune di La Spezia 2021 (v. Allegato 1) è stato effettuato un aggiornamento dell'idrologia di piena per tutti i corsi d'acqua significativi identificati sul territorio comunale, finalizzato alla determinazione degli idrogrammi di piena caratteristici dei bacini e sottobacini di interesse per diversi tempi di ritorno.
Rimandando per ogni dettaglio alla Relazione idrologica dello studio citato riportata in allegato (v. Allegato 1), nel seguito si forniscono gli elementi di maggiore interesse per il presente progetto.

4.1 APPROCCIO METODOLOGICO E AGGIORNAMENTO PLUVIOMETRICO

L'analisi idrologica è basata su una regolarizzazione statistica dei dati di pioggia intensa osservati alla stazione pluviometrica di La Spezia del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (e dell'ARPA Liguria per gli anni recenti), con aggiornamento all'anno 2018 (61 anni di osservazioni).
I dati disponibili hanno permesso di ricavare direttamente le curve di possibilità pluviometrica per durate superiori e inferiori all'ora, associate a diversi tempi di ritorno. Il punto di cambio di pendenza, per tutti i tempi di ritorno, presenta una durata mediamente pari a 40 minuti. Nella Tabella 1 sono riportate le espressioni delle curve di possibilità pluviometrica di progetto di assegnato tempo di ritorno così determinate.

	Curve valide per durate > 40 minuti	Curve valide per durate ≤ 40 minuti
TR10	$h = 55{,}61 \cdot t^{.291}$	$h = 65{,}40 \cdot t^{.711}$
TR20	$h = 63{,}75 \cdot t^{.285}$	$h = 76{,}07 \cdot t^{.737}$
TR50	$h = 74{,}55 \cdot t^{.279}$	$h = 89{,}94 \cdot t^{.763}$
TR100	$h = 82{,}56 \cdot t^{.275}$	$h = 100{,}39 \cdot t^{.778}$
TR200	$h = 90{,}55 \cdot t^{.272}$	$h = 110{,}82 \cdot t^{.791}$
TR500	$h = 101{,}10 \cdot t^{.269}$	$h = 124{,}59 \cdot t^{.805}$

Tabella 1 - Stazione di La Spezia – Curve di possibilità pluviometrica di progetto di assegnato tempo di ritorno.

Per ciascun corso d'acqua sono stati tracciati, sulla base della Carta Tecnica Regionale e con supporto del modello digitale del terreno (DTM) da volo LiDAR prodotto dal MATTM, i bacini imbriferi sottesi da sezioni idrologiche significative in relazione all'estensione dei tratti oggetto di indagine, e sono stati definiti i principali parametri idrologici tra cui il parametro CN del metodo SCS e il coefficiente di deflusso, sulla base di valutazioni in merito alla classe di appartenenza del suolo e al tipo di copertura e destinazione d'uso del terreno.
La stima delle portate di piena di progetto per i bacini in esame è stata effettuata mediante applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi di tipo concettuale (metodo razionale) al set di parametri di pioggia critica di progetto, nell'assunzione che ad eventi di precipitazione associati a determinati tempi di ritorno corrispondano eventi di piena caratterizzati dalla medesima probabilità di occorrenza.

Tale approccio è coerente con l'impostazione data nel vigente Piano di Bacino[2] (PdB), nel quale – data la modesta estensione dei bacini che interessano il territorio comunale – è stato condotto un confronto tra i valori di portata al colmo risultanti dall'applicazione del metodo razionale e la procedura di regionalizzazione contenuta nello studio Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena dei bacini liguri, redatto dal Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale (CIMA) dell'Università di Genova per conto della Regione Liguria.
Sulla base delle risultanze degli studi a supporto del PdB, in quest'ultimo si fa riferimento a una versione modificata del metodo CIMA, per adattarlo alla specifica situazione locale (l'intero Ambito 20 è costituito da un golfo in cui lo sviluppo degli eventi pluviometrici intensi ha generalmente caratteristiche differenti rispetto alle aree contigue del territorio ligure, per cui la regionalizzazione a scala ampia può fornire risultati non pienamente rappresentativi). In particolare è stato utilizzato come valore di pioggia indice non quello derivante dalla regionalizzazione ma quello determinato dall'analisi della serie storica della stazione pluviometrica di La Spezia.
Il confronto effettuato ha portato nel PdB ad assumere per quasi tutti i bacini la portata di riferimento derivante dal metodo razionale, in quanto generalmente (ma non sempre) più gravosa, con l'eccezione di alcuni bacini di superficie superiore a 2 km^2.
Nel già citato studio del Comune del 2021 si è proceduto a una rivalutazione delle portate di piena di riferimento, mantenendo per congruenza la stessa impostazione di confronto tra il modello razionale e la regionalizzazione CIMA adottata nel PdB, in funzione:

- dell'aggiornamento dell'input pluviometrico di precipitazione intensa come precedentemente descritto;
- di variazioni introdotte nella definizione delle aree contribuenti e dello sviluppo delle aste principali per alcuni dei corpi idrici in esame;
- della rivalutazione dei tempi di corrivazione dei bacini facendo riferimento a una serie di formulazioni differenti, anziché all'unica formula di Viparelli.

Poiché per le analisi in oggetto risulta opportuno il riferimento a uno schema di moto vario, nello studio citato sono stati inoltre definiti gli idrogrammi di piena di riferimento da associare alle portate al colmo precedentemente definite. Affinché tali idrogrammi avessero una forma e pertanto un volume sufficientemente gravoso e realistico, per la loro determinazione è stato messo a punto un modello idrologico afflussi-deflussi che implementa il metodo dell'idrogramma unitario, mediante il codice di calcolo MIKE 11 – UHM del DHI.
Si evidenzia come la procedura seguita per la determinazione dell'idrogramma sia congruente con quanto indicato dalla D.G.R. 359/2008. In particolare, l'approccio utilizzato è quello dell'idrogramma istantaneo unitario con definizione dei parametri sulla base del metodo CN-SCS, considerata una condizione di umidità del suolo AMC III.
L'evento critico per il singolo bacino in esame è quello che comporta una precipitazione di massima intensità (scroscio) di durata pari al tempo di corrivazione.

[2] Provincia della Spezia – Piano di Bacino Ambito 20 – Golfo della Spezia.

4.2 FOSSO MELARA

In Figura 9 si riporta uno schema planimetrico del bacino idrografico del Fosso Melara con i suoi sottobacini contribuenti, così come ricostruito nello studio del 2021 a seguito di sopralluoghi e esame di documentazione progettuale. L'area totale contribuente è di circa 0,6 km^2; le caratteristiche fisiografiche salienti per la chiusura idrologica alla foce (ME-A) e ai due sottobacini dei rami principali (ME-B, ME-C) sono indicate in Tabella 2.

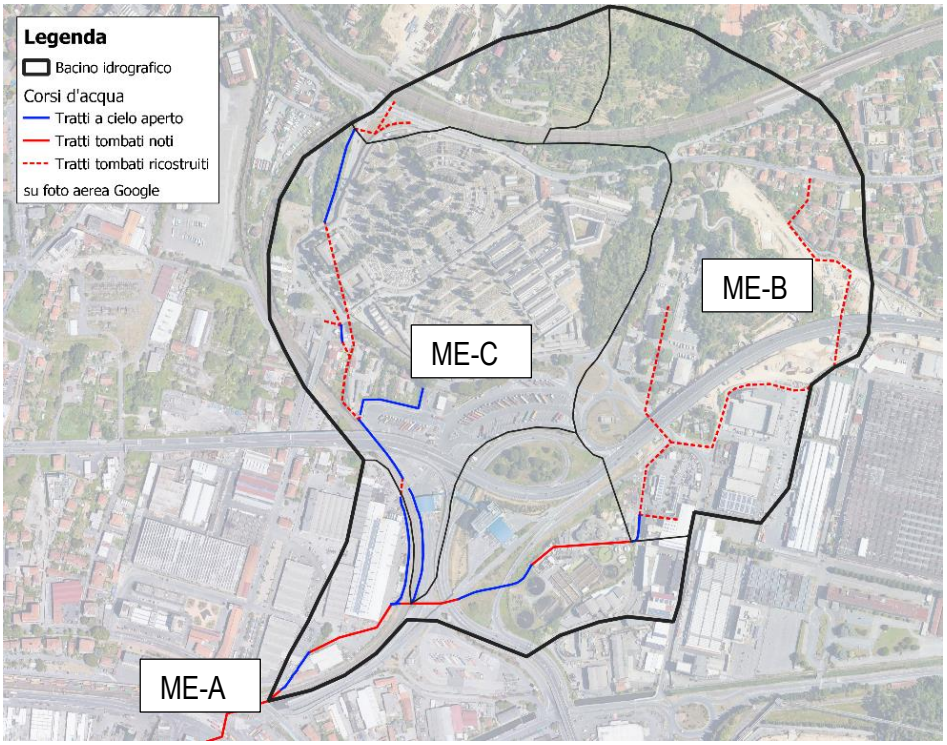


Figura 9 - Bacino idrografico del Fosso Melara.

Corso d'Acqua	Sezione	Area bacino	Quota massima	Quota media	Lunghezza asta	Pendenza asta	Pendenza versanti	Curve Number
	[-]	A [km^2]	H_{max} [m s.m.]	H_{med} [m s.m.]	L [km]	i_a [m/m]	i_v [%]	CN [-]
Melara	ME-A	0,59	80	14	1,83	0,04	17	94
Melara	ME-B	0,21	80	16	1,23	0,06	18	94
Melara	ME-C	0,22	80	13	1,14	0,07	16	94

Tabella 2 - Caratteri fisiografici di sintesi del bacino del Fosso Melara alla foce e dei due sottobacini principali.

Applicando la medesima metodologia di analisi descritta in precedenza, sono stati definiti gli idrogrammi di piena di riferimento da associare alle portate al colmo del Fosso Melara, per diversi tempi di ritorno. Per il bacino ME-A chiuso alla foce si è calcolato un tempo di corrivazione di circa 30 minuti, che definisce la durata dell'evento di precipitazione critico. Per maggiori dettagli in merito alle portate massime teoriche di riferimento si rimanda al già citato studio del Comune; nel capitolo 5.2 sono indicati i valori al colmo inseriti come input nei diversi scenari e viene fornita una rappresentazione degli idrogrammi ottenuti dall'applicazione del modello idrologico.

4.3 ASSI DI DRENAGGIO URBANI – CAMPITELLI, CIELI E TERMOMECCANICA

Nell'area interessata dalla costruzione della nuova banchina per la realizzazione del nuovo terminal Ravano, intervento idraulicamente direttamente connesso al presente progetto, sboccano attualmente a mare alcuni collettori di drenaggio urbano, non identificati come appartenenti al reticolo regionale significativo ma che richiedono di essere collettati (unitamente al Fosso Melara) per consentirne il recapito in corrispondenza della nuova linea di costa.
Si tratta in particolare dell'area di territorio interclusa tra i bacini idrografici del torrente Vecchia Dorgia e del Fosso Melara. Tale area è drenata da tre assi principali, rappresentati in Figura 10 unitamente alle aree di bacino afferente. Da levante a ponente, essi sono denominati Fosso Termomeccanica, Fosso Cieli e Fosso Campitelli.
Per le analisi di compatibilità idraulica svolte nell'ambito del progetto del nuovo terminal sono state determinate le portate di massima piena e i relativi idrogrammi per ciascuno di tali bacini, secondo la medesima impostazione di calcolo definita dallo studio del Comune. Si rimanda per i dettagli dell'analisi idrologica a tale elaborato progettuale, di seguito si riportano unicamente i risultati di interesse per il presente studio.
Le caratteristiche fisiografiche salienti dei 3 bacini in esame sono riportate in Tabella 3. Il Fosso Termomeccanica presenta la maggiore superficie contribuente, includendo anche una porzione di bacino "naturale" in testata. Il Fosso Cieli risulta estendersi come superficie drenata anche a monte di via Carducci, mentre il Fosso Campitelli drena unicamente l'area urbana compresa tra via Carducci e la zona portuale.

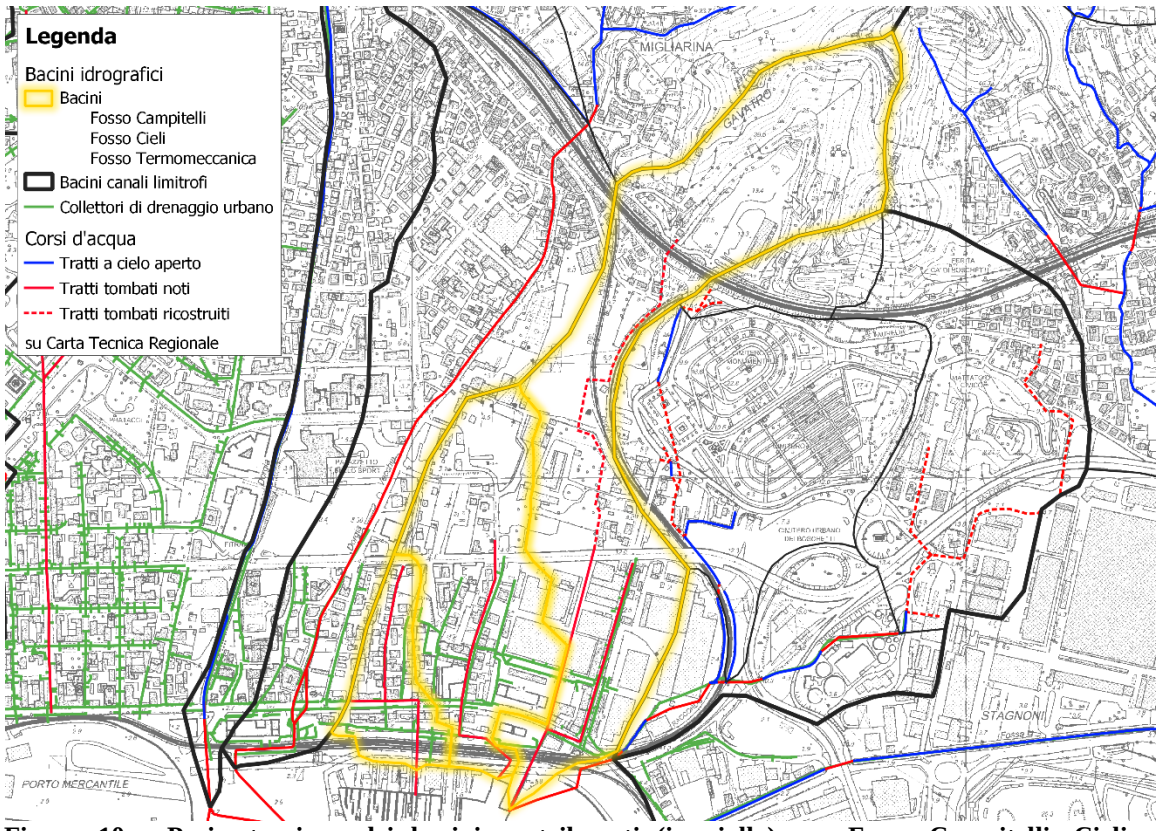


Figura 10 - Perimetrazione dei bacini contribuenti (in giallo) per Fosso Campitelli, Cieli e Termomeccanica (da ponente a levante).

Corso d'Acqua	Sezione	Area bacino	Quota massima	Quota media	Lunghezza asta	Pendenza asta	Pendenza versanti	Curve Number
	[-]	A [km^2]	H_{max} [m s.m.]	H_{med} [m s.m.]	L [km]	i_a [m/m]	i_v [%]	CN [-]
Fosso Termomeccanica	FT-A	0,31	105	19	1,17	0,09	12	88
Fosso Cieli	CI-A	0,14	6	2	0,78	0,01	10	95
Fosso Campitelli	FP-A	0,04	4	1	0,46	0,01	9	95

Tabella 3 - Caratteri fisiografici di sintesi dei bacini Campitelli, Cieli e Termomeccanica.

Per i tre bacini in esame sono stati calcolati i seguenti tempi di corrivazione, secondo le medesime metodologie applicate nello studio del Comune (a cui si rimanda):

- Fosso Campitelli: 16 minuti;
- Fosso Cieli: 24 minuti;
- Fosso Termomeccanica: 13 minuti.

Il valore di questo parametro, che definisce la durata di scroscio dell'evento idrologico maggiormente critico, è dipendente dalla forma del bacino e del reticolo e dalla pendenza longitudinale e delle aree contribuenti; per tale motivo in questo caso il bacino di maggiori dimensioni "risponde" con maggiore rapidità alle sollecitazioni idrologiche in termini di produzione dei colmi di piena nelle sezioni di valle. Il maggiore effetto di laminazione delle aree più pianeggianti drenate dai due fossi minori si traduce in un maggiore tempo di risposta e in un minore valore della portata di picco per unità di superficie afferente.
Per i tre corsi d'acqua sono state calcolate le portate al colmo di piena (Tabella 4), per diversi tempi di ritorno. Sempre in coerenza con le metodologie adottate negli studi pregressi, sono stati determinati gli idrogrammi di piena di riferimento per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni ricorrendo al codice di calcolo MIKE 11 – UHM, in cui sono state inserite in input le caratteristiche dei bacini in esame. Tali idrogrammi sono rappresentati in Figura 11 e Figura 12 per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Portate di riferimento		
			TR50	TR200	TR500
	[-]	S [km^2]	Q [m^3/s]	Q [m^3/s]	Q [m^3/s]
Fosso Termomeccanica	FT-A	0,31	7,99	9,48	10,46
Fosso Cieli	CI-A	0,14	3,18	3,81	4,23
Fosso Campitelli	FP-A	0,04	1,15	1,36	1,50

Tabella 4 - Portate di piena di riferimento: Fossi Campitelli, Cieli e Termomeccanica.

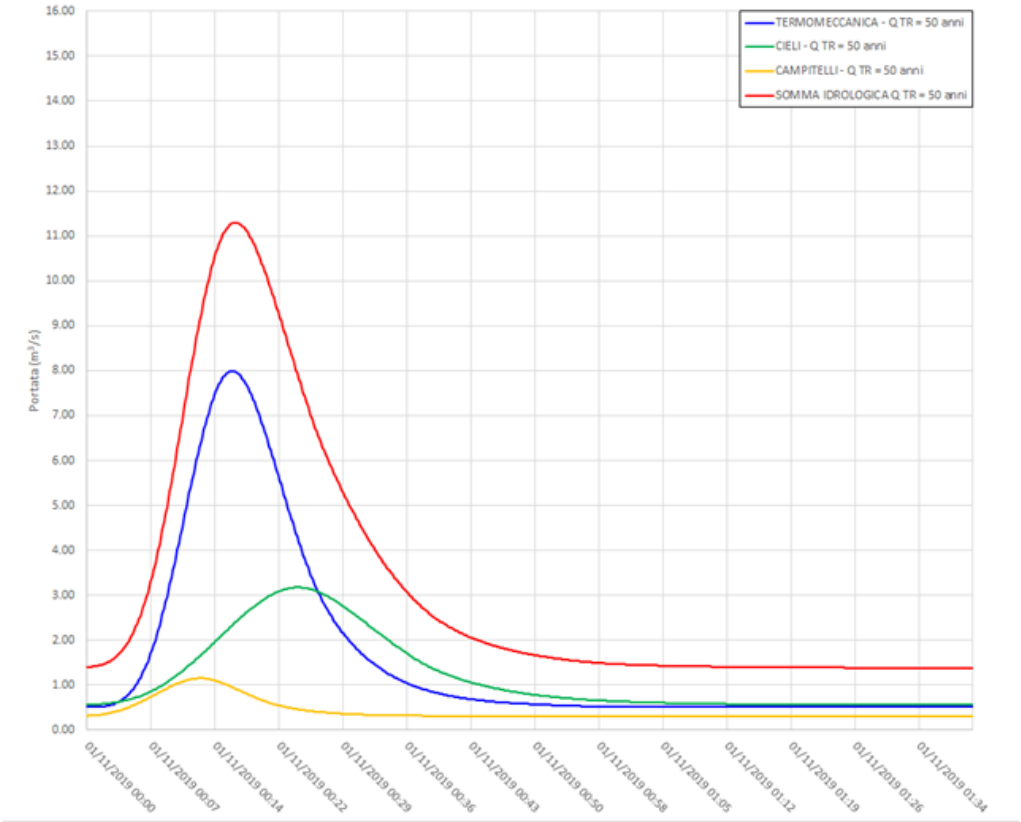


Figura 11 – Idrogrammi di massima piena per i tre bacini minori in esame (TR=50 anni).

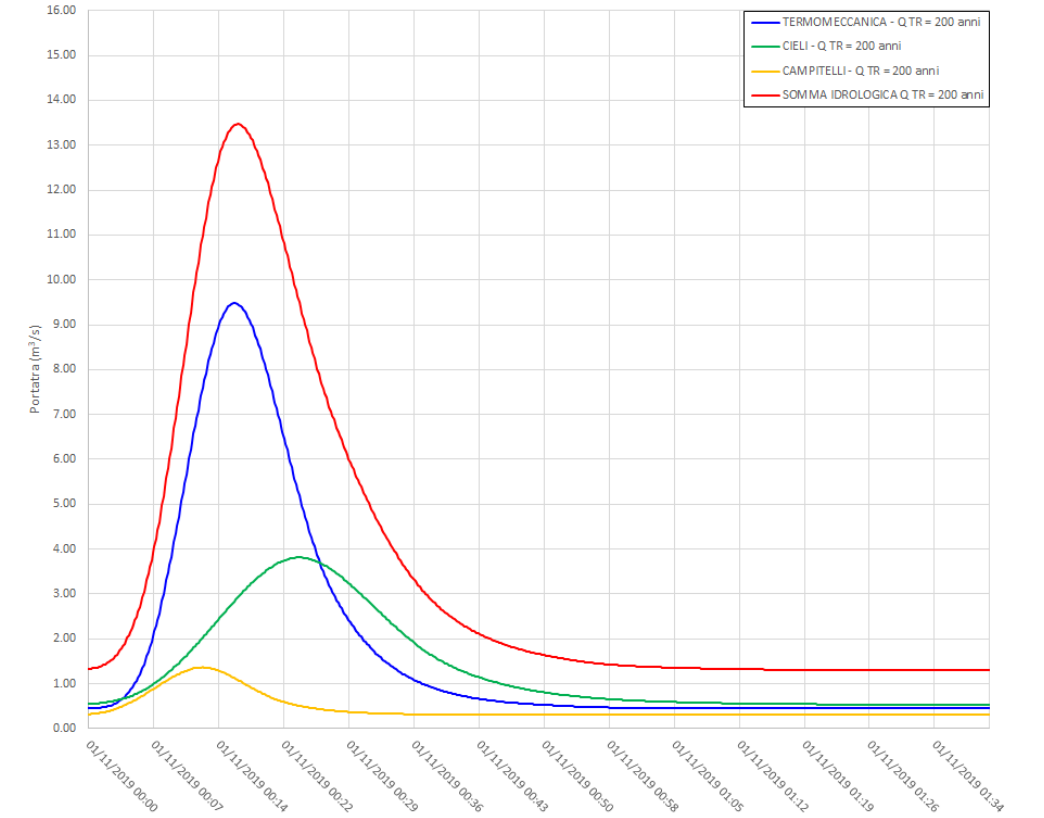


Figura 12 - Idrogrammi di massima piena per i tre bacini minori in esame (TR=200 anni).

Si osserva come le diverse caratteristiche morfologiche dei tre bacini fanno sì che i diversi apporti non si sommino in fase, in relazione ai diversi tempi di corrivazione. Per le finalità dei dimensionamenti di progetto si è assunto cautelativamente di considerare per ciascun bacino l'idrogramma di piena di riferimento, che lo caratterizza per la massima portata esprimibile. L'idrogramma somma dei vari contributi (linea rossa) raggiunge un picco di piena di circa 13,5 m^3/s per TR = 200 anni e circa 11,2 m^3/s per TR = 50 anni.

5 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

Il dimensionamento idraulico è stato eseguito con riferimento a condizioni di moto non stazionario, assumendo come evento di riferimento per la progettazione quello a tempo di ritorno 200 anni; al fine di determinare compiutamente il funzionamento delle opere in progetto sono state tuttavia condotte anche simulazioni per i tempi di ritorno di 50 e 500 anni.
L'analisi è stata svolta mediante allestimento di modellistica numerica integrata 1D-2D, utilizzando il codice di calcolo MIKE Flood del DHI, con descrizione dell'alveo inciso mediante modello 1D (in grado di meglio rappresentare l'effetto di strutture ed elementi singolari) e utilizzo del modello 2D dinamicamente accoppiato per la rappresentazione della propagazione delle esondazioni sulle aree esterne all'alveo.
Le simulazioni sono state eseguite unicamente con riferimento a configurazioni di progetto, considerando lo stato attuale descritto adeguatamente dalle risultanze del già citato studio del Comune (2021).
La configurazione di progetto include sia la realizzazione del terminal Ravano, con il relativo canale marino allo sbocco dell'attuale tombinatura terminale del Fosso Melara, sia il nuovo canale in progetto nell'area SIMAN.

5.1 ALLESTIMENTO DELLA MODELLISTICA NUMERICA

Le analisi in moto non stazionario eseguite per la caratterizzazione dell'idrodinamica di piena del fosso Melara, sia nella configurazione di stato attuale che per quella di progetto, sono state condotte mediante la messa a punto e applicazione di modellistica numerica integrata 1D-2D, ed in particolare:

- un modello numerico monodimensionale descrittivo dell'alveo del Melara, incluse le strutture interferenti (attraversamenti, tombinature, soglie); si tratta del medesimo modello utilizzato per la predisposizione del già citato studio del Comune di La Spezia (aggiornamento 2021), al quale si rimanda per ogni dettaglio, modificato per l'inserimento delle opere in progetto ("raddoppio" del tratto nell'area SIMAN);
- un modello numerico bidimensionale, dinamicamente accoppiato a quello monodimensionale, esteso all'intero tratto di fosso Melara nelle condizioni di stato attuale; questo modello deriva da quello alla base dello studio del Comune, con affinamento delle geometrie nell'area portuale e nell'area SIMAN sulla base dei rilievi di dettaglio resi disponibile dalla Committenza;
- un'estensione verso valle del modello monodimensionale di stato attuale per schematizzare la configurazione di progetto, rappresentando il nuovo canale marino coperto secondo le geometrie definite dagli elaborati di progetto. La componente bidimensionale in questo caso non è stata variata in quanto le esondazioni del corso d'acqua non giungono a interessare le aree della nuova banchina.

La Figura 13 rappresenta lo schema modellistico delle opere in progetto.

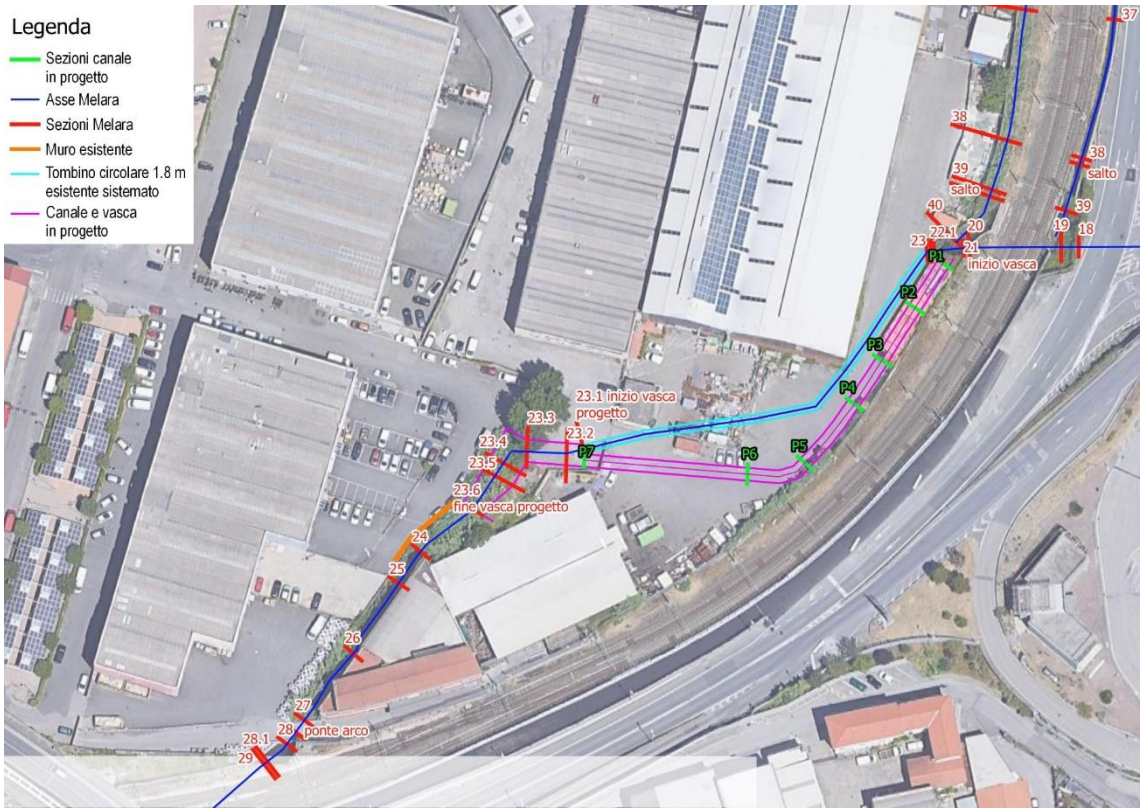


Figura 13 – Planimetria con rappresentazione della schematizzazione modellistica dell'area di intervento.

5.1.1 Modello monodimensionale

Il modello monodimensionale rappresenta l'alveo inciso del Melara; esso scorre canalizzato in estesi tratti d'alveo coperti da tombinature, alternati a tratti a cielo aperto.
La descrizione geometrica dell'alveo inciso e delle opere di attraversamento / tombinature presenti è avvenuta tramite i rilievi in campo eseguiti, unitamente all'acquisizione della documentazione relativa a studi o progetti pregressi (si rimanda allo studio del Comune per maggiori dettagli).
Il modello monodimensionale schematizzato nel codice MIKE11 HD (modulo idrodinamico) è costituito da 53 sezioni trasversali, che rappresentano la geometria degli alvei incisi costituenti il reticolo idrografico del Melara, comprensivo del nuovo canale in c.a. a sezione rettangolare e della vasca di sedimentazione in progetto.
Le sezioni trasversali (identificate in Tabella 5) schematizzano la geometria incisa delle seguenti aste.

- Ramo di Melara di levante, caratterizzato da una lunghezza complessiva di simulazione pari a circa 870 m; in particolare l'inizio del modello corrisponde al breve tratto a cielo aperto in corrispondenza dell'area produttiva di via degli Stagnoni (localizzata a circa 45 m a monte dell'imbocco della tombinatura al di sotto dell'area su cui sorge l'impianto di depurazione). Su questo ramo, indicato come principale per le finalità della schematizzazione del network del modello, sono presenti 35 sezioni che descrivono geometricamente il corso d'acqua fino allo sbocco in mare.

- Ramo di Melara di ponente, che confluisce nel precedente a valle della linea ferroviaria, dopo averla attraversata con un tombino; il tratto rappresentato (a valle tombino) si sviluppa a cielo aperto per un'estensione pari a circa 156 m e viene descritto geometricamente con 7 sezioni trasversali.
- Asta del fosso minore che confluisce nel Melara (di levante) a monte della linea ferroviaria; esso si sviluppa a cielo aperto per un'estensione pari a circa 152 m (corrispondente alla prosecuzione dell'asse del ramo di ponente a monte tombino) e viene descritto geometricamente con 6 sezioni trasversali.

In corrispondenza di attraversamenti e tombinature sono state inserite nel modello specifiche strutture di tipo "culvert" e "weir", che riproducono le reali condizioni di deflusso di tali manufatti in condizioni di moto a pelo libero, in pressione e di eventuale sormonto dell'impalcato, calcolando opportunamente le perdite di carico che si manifestano. Per i salti di fondo (soglie e briglie) si sono inserite analogamente strutture di tipo "weir".

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
		-	m	m s,m,
Melara		1	0,00	1,25
Melara		2	4,99	1,20
Melara		3	24,38	0,74
Melara		4	37,04	0,55
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04
Melara		11	208,96	-0,01
Melara		12	241,74	-0,11
Melara		13	257,46	-0,16
Melara		14	287,91	-0,26
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	-0,33
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45
Melara	ME_C4	23	412,56	-0,44
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
		-	m	m s,m,
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52
Melara		24	557,75	-0,52
Melara		25	566,82	-0,53
Melara		26	586,66	-0,53
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50

Tabella 5 - Anagrafica delle sezioni inserite nel network del modello numerico monodimensionale.

Di seguito si allega la schematizzazione grafica del network del modello esteso da via degli Stagnoni alla confluenza in mare (Figura 14 e Figura 15).



Figura 14 – Network del modello di simulazione (1D) da via degli Stagnoni all'area di intervento.



Figura 15 – Network del modello di simulazione (1D) dall'area di intervento alla confluenza in mar Ligure).

5.1.2 **Modello bidimensionale**

Al fine di rappresentare in modo realistico le potenziali aree allagabili interessate dagli eventi di piena a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni, si è reso necessario accoppiare al modello 1D un modello 2D (MIKE21 del DHI) che rappresentasse la propagazione delle esondazioni nelle aree esterne all'alveo.
La morfologia del terreno utile alla rappresentazione delle aree di potenziale esondazione e propagazione dell'onda di piena è stata descritta tramite l'utilizzo del modello digitale del terreno (DTM) da volo LiDAR acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, integrato con i nuovi rilievi di dettaglio per l'area portuale in ampliamento e per l'area oggetto di intervento in esame.
Nel modello bidimensionale alle differenze finite MIKE21 la descrizione geometrica del terreno è rappresentata definendo la quota media del terreno in ogni cella di calcolo. Tale valore è usualmente calcolato mediante tecniche di interpolazione, stabilendo una dimensione di cella a partire dalle basi topografiche disponibili. Nel caso in esame si è utilizzato come base topografica di partenza il modello digitale del terreno da volo LiDAR acquisito dal MATTM, ad una risoluzione spaziale di circa 1,0 x 1,0 m, integrato con i più recenti rilievi di maggior dettaglio.
La definizione della dimensione del passo spaziale della griglia rettangolare, da utilizzare per la messa a punto del modello, è un passaggio fondamentale nella sua realizzazione ed influenza direttamente i tempi di calcolo e l'accuratezza spaziale della soluzione. Aumentando le dimensioni del passo della griglia diminuiscono i tempi di calcolo, ma diminuisce anche l'accuratezza dei risultati. La scelta deve quindi essere un compromesso tra le due esigenze.
Nel caso in esame la scelta è condizionata dalla necessità di rappresentare con sufficiente dettaglio la geometria delle aree allagabili, delle strade, delle strutture interferenti e delle possibili vie di deflusso conseguenti a fenomeni di esondazione; si è pertanto costruito un modello con una risoluzione spaziale 2,0 x 2,0 m. La griglia di calcolo è composta da 500 righe e 967 colonne (483.500 punti di calcolo).
Nella Figura 16 è riportata la batimetria (o geometria di input) complessiva del modello. In colore fucsia sono evidenziate le zone escluse dal calcolo (celle inattive) perché considerate sicuramente non allagabili o perché ricadenti all'interno dei rami di alveo inciso appartenenti al dominio del modello monodimensionale MIKE11 (il contributo di tali celle al deflusso della piena, infatti, viene già descritto da quest'ultimo modello).
Si noti come dalla batimetria sia escluso anche l'alveo inciso del Fossamastra, che trasferisce a mare l'eventuale portata di esondazione proveniente dalla sinistra idraulica del Melara. La sua geometria è rappresentata anche in questo caso da un tratto di modello monodimensionale collegato al modello bidimensionale tramite strutture di sfioro localizzate lungo le sponde.
Inoltre è stata inserita la geometria dei fabbricati presenti all'esterno dell'alveo, modificando la quota delle celle della batimetria che ricadono all'interno della loro impronta (per le finalità della modellazione la quota edifici è stata imposta a 119 m s.m.).

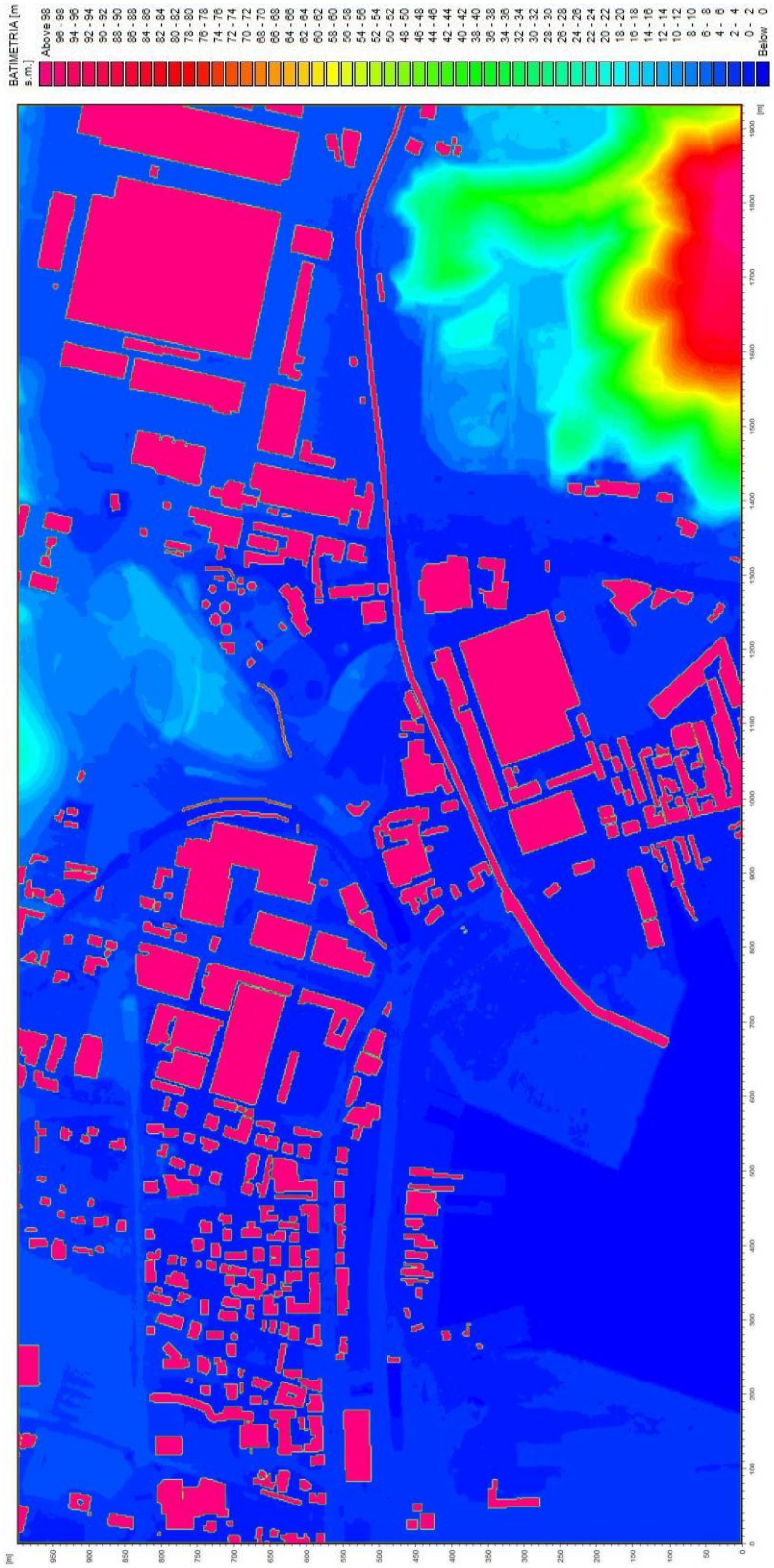


Figura 16 – Batimetria del modello 2D del sistema idrodinamico del fosso Melara a maglia 2,0x2,0 m (dominio di calcolo complessivo).

5.2 SCENARI DI ANALISI E CONDIZIONI AL CONTORNO

Gli scenari di simulazione condotti analizzano il deflusso delle portate di piena lungo l'asta del Melara per tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, generate dai bacini elementari di alimentazione del corso d'acqua.
Le analisi condotte fanno riferimento a due condizioni di verifica.

- "Assetto di progetto": rappresenta con il modello integrato 1D-2D l'effettiva evoluzione dell'evento, incluse le esondazioni e la propagazione dei deflussi nelle aree esterne all'alveo. Si considerano pertanto i possibili fenomeni di laminazione dei colmi di piena degli idrogrammi di riferimento inseriti in input dovuti a tali esondazioni. Con tale rappresentazione si determinano in modo dettagliato gli ambiti di allagamento che si generano nell'alveo di piena in modo da perimetrare le relative superfici e aree di pericolosità idraulica.
- "Assetto di progetto in assenza di laminazione": essa considera la sola propagazione da monte verso valle degli idrogrammi di riferimento, inibendo le esondazioni nei tratti di monte ("scollegando" il modello 1D dal 2D, evitando quindi la fuoriuscita di portata). Questa configurazione consente quindi di dimensionare la geometria delle opere per garantire un adeguato franco idraulico con riferimento a livelli e portate che prescindono dall'inadeguatezza di tratti fluviali a monte e dall'eventuale futura sistemazione degli stessi.

Il modello di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, necessita della definizione delle condizioni al contorno idrodinamiche e di una serie di parametri quali: passo temporale di integrazione del sistema, coefficiente di resistenza distribuita (scabrezza) e coefficiente di viscosità turbolenta ("eddy viscosity").
La scabrezza rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo quelle per attrito sul fondo di scorrimento e sulle sponde dei canali di deflusso. In particolare, la scabrezza applicata ai modelli è stata differenziata tra alveo inciso (e quindi modellazione monodimensionale) e aree golenali (modellazione bidimensionale).
I sopralluoghi effettuati sull'asta del corso d'acqua e la documentazione progettuale disponibile hanno fornito gli elementi necessari per la definizione dei valori di scabrezza da associare al tratto oggetto di studio. Tali valori sono stati definiti considerando inizialmente le Norme di Attuazione (NTA) del vigente Piano di Bacino (Tabella 6) e successivamente, come riscontro, i valori tipici di riferimento riscontrabili in letteratura tecnica (Tabella 7).

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza di Gauckler Strickler Ks [$m^{1/3}*s^{-1}$]
Tratti di corso 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 corso d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35 ÷ 40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40 ÷ 45

Tabella 6 – Coefficienti di scabrezza per l'alveo inciso indicati nelle NTA del vigente Piano di Bacino.

Natura della superficie	Scabrezza equivalente ε [mm]	Manning n [$m^{-1/3}*s$]	Gauckler Strickler Ks [$m^{1/3}*s^{-1}$]
Pareti di cemento perfettamente lisciato. Pareti di legno piallato. Pareti metalliche, senza risalti nei giunti	0,15 ÷ 0,2	0,011	100 ÷ 90
Idem, ma con curve	0,2 ÷ 0,4	0,012	90 ÷ 85
Pareti di cemento non perfettamente lisciato. Muratura di mattoni molto regolare. Pareti metalliche con chiodatura ordinaria	0,4 ÷ 1,0	0,013	85 ÷ 75
Pareti di cemento in non perfette condizioni. Muratura orinaria più o meno accurata. Pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure.	2 ÷5	0,014 ÷ 0,015	70 ÷ 65
Pareti ci cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo. Muratura irregolare (o di pietrame). Terra regolarissima senza vegetazione.	8	0,018	60
Terra abbastanza regolare. Muratura vecchia, in condizione non buone, con depositi di limo al fondo.	15 ÷30	0,020 ÷ 0,022	50
Terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari.	70	0,025	40
Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturale con ciottoli e ghiaia.	120 ÷200	0,030	35
Canali in abbandono con grande vegetazione. Corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiale sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze.	300 ÷400	0,035	30

Tabella 7 – Valori tipici di riferimento da letteratura tecnica dei coefficienti di scabrezza per l'alveo inciso.

In accordo con i valori prescritti dalle NTA si è adottato per i modelli monodimensionali un valore del coefficiente di scabrezza *Ks* di Gauckler-Strickler pari a 30 $m^{1/3}/s$ lungo i tratti di alveo naturale e di 45 $m^{1/3}/s$ lungo i tratti rivestiti, coperti (manufatti di attraversamento viario e ferroviario e tombinature) o a cielo aperto.
Per quanto riguarda l'area esterna all'alveo, modellizzata con schema bidimensionale, si è provveduto alla differenziazione su due classi di scabrezza in modo da tenere in considerazione la presenza dei principali elementi che possono influenzare la propagazione della piena: linee di deflusso principali (strade), aree urbane pavimentate e aree vegetate. In particolare, alle aree vegetate è stato applicato un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler di 30 $m^{1/3}/s$, mentre a quelle pavimentate un coefficiente di 50 $m^{1/3}/s$.
Si precisa a tal proposito come in un modello bidimensionale i coefficienti di scabrezza da considerare risultino normalmente maggiori di circa un 20÷30% di quelli comunemente impiegati nei modelli monodimensionali, per tenere conto del fatto che in un modello 2D sono già in tutto, o almeno in gran parte, direttamente considerati nelle equazioni del moto gli effetti di resistenza secondari indotti dalle condizioni di moto non-monodimensionali (moti trasversali e vorticosi, sinuosità dell'alveo), che nel modello 1D sono invece da includere forfettariamente nel coefficiente di scabrezza.
Come passo temporale di integrazione è stato necessario utilizzare, per ragioni di stabilità numerica legate al numero di Courant della corrente, un valore pari a 0,1 secondi.
La viscosità turbolenta è legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità e viene simulata nel modello tramite il coefficiente di eddy viscosity. Nei casi in esame al coefficiente è stato assegnato un valore costante pari a 1,0 m^2/s sull'intera estensione del

modello; tale parametro risulta comunque di minore rilevanza in quanto simulando deflussi di esondazione con scorrimento superficiale gli aspetti legati alla formazione di vortici sono senza dubbio trascurabili rispetto ai prevalenti termini di resistenza idraulica al moto per attrito sul fondo e presenza di ostacoli.
Le condizioni al contorno imposte sono costituite da input di portata a monte e internamente al modello, e da una condizione di valle rappresentata dal livello di mare.
La condizione idrodinamica di valle è costituita dal livello idrico massimo di mare riferibile a un evento di mareggiata con determinato tempo di ritorno (generalmente inferiore a quello di verifica idraulica del corso d'acqua, trattandosi di eventi non correlati, così da non sovrapporre eventi a bassa probabilità di accadimento).
L'effetto di sovralzo del livello di medio mare all'occorrere di un evento meteomarino intenso è generalmente dato dalla somma dei seguenti fenomeni:

- la marea astronomica;
- la variazione del livello di medio mare dovuto alle condizioni di tempesta (storm surge), eventualmente suddivisibile tra la componente attribuibile al vento (wind set-up) e quella relativa alle variazioni di pressione atmosferica (barometro inverso);
- il sovralzo dovuto al frangimento (wave set-up).

Nello studio del Comune di La Spezia, così come nella quasi totalità degli studi pregressi acquisiti e particolarmente in quelli predisposti per l'Autorità Portuale, è definito un medesimo valore di riferimento per il livello idrico massimo da assumere all'interno del Golfo, che risulta pari a **0,50 m s.m.** Tale valore (assunto costante per tutta la durata dell'evento di piena e per tutti i tempi di ritorno indagati) è stato anche adottato, per coerenza, nell'ambito del presente studio.
Si precisa come, dall'analisi dei dati della stazione mareografica di La Spezia, tale valore equivalga a un tempo di ritorno prossimo ai 2 anni; si tratta cioè di un sovralzo massimo "ordinario", statisticamente raggiunto o superato un anno su due. Per l'analisi si considera dunque la concomitanza tra eventi intensi meteorici di breve durata, a carattere temporalesco (critici per i bacini in esame), e una mareggiata di entità rilevante ma di occorrenza relativamente frequente.
Nel modello vengono inoltre definite condizioni al contorno "interne" di collegamento tra i due codici MIKE 11 e MIKE 21 in corrispondenza di tutte le celle lungo la sponda destra e sinistra dell'alveo scoperto del Melara; in questi collegamenti sono applicate le equazioni tipiche dello stramazzo a larga soglia, con quote di sfioro pari ai valori maggiori tra quelle delle celle del modello bidimensionale e quelle corrispondenti alle sponde delle sezioni d'alveo del modello monodimensionale, opportunamente interpolate.
Per quanto riguarda invece le condizioni al contorno di monte (input di portata) e intermedie, gli idrogrammi di piena inseriti in input derivano dall'analisi idrologica svolta nello studio del Comune e sono stati introdotti nei modelli secondo il medesimo schema definito in quest'ultimo, integrati con gli idrogrammi aggiuntivi determinati (secondo la medesima metodologia) per i rii minori afferenti al canale marino (cfr. capitolo 0).
In maggior dettaglio, nei vari scenari sono stati assegnati in input, lungo le aste fluviali costituenti il sistema idrodinamico del Melara, gli idrogrammi per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generati dai sottobacini elementari.
Nelle simulazioni idrodinamiche eseguite i valori al colmo, la forma ed il volume di tali idrogrammi si modificano durante la loro propagazione lungo le aste, principalmente in ragione dei fenomeni di esondazione verso le aree esterne all'alveo o in presenza di strozzature che limitino la portata smaltibile. Per le finalità della rappresentazione

modellistica è necessario far incrementare le portate inserite in testa ai rami modellizzati in modo da ottenere all'estremità di valle un idrogramma teorico congruente con quello definito per tali sezioni idrologiche (considerando i tempi di traslazione dell'onda e al netto di eventuali volumi fuoriusciti per esondazione laterale). Sono stati pertanto definiti degli idrogrammi caratterizzanti il bacino residuo che sommati a quelli di input a monte potessero restituire quello calcolato per le sezioni di valle, non considerando gli effetti di modificazione della forma d'onda di cui sopra, ma ipotizzando una traslazione rigida dell'idrogramma in input.
Le condizioni al contorno inserite nel modello sono nel seguito elencate.

1. Condizioni al contorno sull'asta di levante del fosso Melara:
   - portate in ingresso nella sezione di monte (sezione 1) secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente (denominato ME-B) per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 5,38 m^3/s, 6,40 m^3/s, 7,07 m^3/s;
   - portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate del bacino residuo (compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche ME-B e ME-A), determinate secondo il criterio descritto in precedenza e assegnate nel modello idrodinamico come uniformemente distribuite nel tratto d'asta compreso tra le sezioni trasversali 11 e 26, funzionali a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori teorici al colmo nella sezione idrologica ME-A rispettivamente pari a 13,46 m^3/s, 16,26 m^3/s, 18,10 m^3/s.
2. Condizione al contorno sull'asta di ponente del Melara, confluente a valle della linea ferroviaria:
   - portate in ingresso nella sezione di monte del modello (sezione 34) secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente (ME_C) per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.
   - In considerazione della limitata capacità di deflusso del tombino a monte del tratto modellizzato, tale portata è stata suddivisa al 70% sul presente ramo e al 30% sulla sua prosecuzione sul lato di monte (Est) della linea ferroviaria. Le portate al colmo assegnate al presente ramo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 4,19 m^3/s, 4,96 m^3/s, 5,48 m^3/s.
3. Condizione al contorno sull'asta del fosso minore che confluisce da destra a monte della linea ferroviaria: portate in ingresso nella sezione di monte del modello (sezione 34) pari al 30% dell'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente (ME_C) per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo assegnate per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 1,79 m^3/s, 2,13 m^3/s, 2,35 m^3/s.
4. Condizione al contorno inserita in corrispondenza dell'attuale foce in mare del Melara costituita dall'apporto complessivo di piena (somma idrologica) per tempo di ritorno assegnato dei Fossi del reticolo idrografico minore (Cieli, Campitelli e Termomeccanica – curva di colore arancio di Figura 17) nel punto di foce attuale del Melara (sez.33 a progressiva 870,50 m);
5. Condizione iniziale e al contorno sull'asta del Fossamastra, assegnata in termini di portata costante di valore trascurabile (0,2 m^3/s per tutti gli eventi simulati); questa condizione corrisponde a una configurazione di alveo pressoché asciutto del

Fossamastra e quindi tale da poter trasferire a mare l'eventuale portata di esondazione in arrivo dal Melara.

A titolo di esempio si riportano nella Figura 17 gli idrogrammi idrologici per tempo di ritorno 200 anni, assegnati in input lungo le aste fluviali del sistema idrodinamico del Melara.

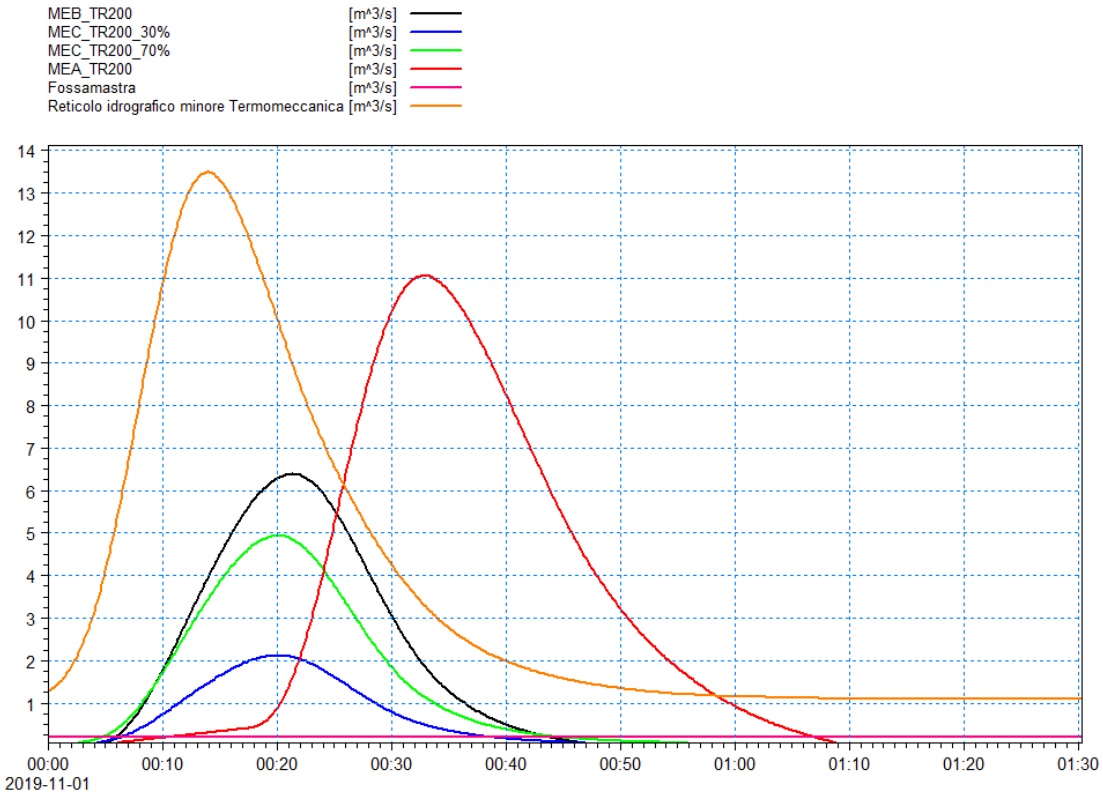


Figura 17 – Idrogrammi in input sulle aste fluviali del modello del Melara per tempo di ritorno 200 anni.

5.3 ANALISI IDRAULICA: ASSETTO DI PROGETTO

Mediante il modello numerico allestito sono state sviluppate le simulazioni di scenario relative alla configurazione di progetto, secondo i tre scenari idrologici di riferimento. Di seguito sono sintetizzati i risultati ottenuti, rappresentati come profili grafici e tabellari per la componente monodimensionale (alveo inciso) e come mappe di distribuzione delle massime altezze d'acqua e velocità per la componente bidimensionale (allagamenti nelle aree esterne all'alveo).

5.3.1 Tempo di ritorno TR=200 anni

Di seguito si forniscono i risultati della simulazione idrodinamica riferiti alla componente monodimensionale che descrive le modalità di deflusso nell'alveo inciso; in particolare in Tabella 8 si riportano i parametri idrodinamici in forma tabulare, mentre in Figura 18 e Figura 19 si rappresentano rispettivamente i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul tratto del nuovo canale di progetto, affiancato all'attuale tombinatura di diametro 1,8 m.

In tabella sono indicati anche i franchi idraulici ottenuti rispetto ai cigli di sponda per i soli nuovi tratti sistemati in progetto.
Le Figura 20 e Figura 21 rappresentano invece le mappe di allagamento che si generano nelle aree esterne all'alveo inciso, riprodotte dal modello 2D in riferimento ai massimi tiranti idrici (altezze d'acqua sul piano campagna) e alle massime velocità.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara		1	0,00	1,25	1,25	2,50	2,55	6,38	0,98	0,28				
Melara		2	4,99	1,20	1,30	2,50	2,55	6,35	0,96	0,27				
Melara		3	24,38	0,74	1,76	2,50	2,54	5,85	0,84	0,20				
Melara		4	37,04	0,55	1,95	2,50	2,53	5,25	0,82	0,19				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53	1,97	2,50	2,53	4,65	0,79	0,18				
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36	1,83	2,19	2,31	4,65	1,54	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18	1,92	2,10	2,22	4,65	1,50	0,35				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16	1,94	2,10	2,17	4,65	1,20	0,27				
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10	1,99	2,09	2,16	4,65	1,17	0,26				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04	2,04	2,08	2,15	4,65	1,14	0,25				
Melara		11	208,96	-0,01	2,08	2,07	2,13	4,64	1,10	0,24				
Melara		12	241,74	-0,11	2,14	2,03	2,08	4,64	1,03	0,22				
Melara		13	257,46	-0,16	2,17	2,01	2,06	4,64	0,99	0,22				
Melara		14	287,91	-0,26	2,22	1,96	2,01	4,84	0,98	0,21				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	-0,33	2,26	1,93	1,98	5,16	1,01	0,21				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34	2,25	1,91	1,98	5,35	1,19	0,25				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43	2,23	1,80	1,89	5,99	1,34	0,29				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45	2,27	1,82	1,85	6,28	0,75	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45	2,22	1,77	1,81	6,99	0,84	0,18				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45	2,22	1,77	1,80	7,50	0,71	0,15				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45	2,19	1,74	1,77	8,14	0,77	0,17				
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45	2,17	1,72	1,77	8,25	1,02	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45	2,16	1,71	1,72	2,38	0,32	0,07				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45	2,16	1,71	1,72	2,38	0,32	0,07				
Melara	ME_C4	23	412,56	-0,44	2,15	1,71	1,71	2,40	0,26	0,06				
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50	2,09	1,59	1,68	3,43	1,32	0,29				
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50	2,10	1,60	1,66	12,44	1,11	0,25	2,35	2,35	0,75	0,75
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51	2,10	1,59	1,65	12,44	1,11	0,25	2,35	2,35	0,76	0,76
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51	2,13	1,62	1,65	12,89	0,76	0,17	2,35	2,35	0,73	0,73
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51	2,13	1,62	1,65	13,08	0,77	0,17	2,35	2,35	0,73	0,73
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52	2,09	1,57	1,65	13,39	1,23	0,27	2,35	2,35	0,78	0,78
Melara		24	557,75	-0,52	2,04	1,52	1,64	13,68	1,57	0,35	2,35	2,68	0,83	1,16
Melara		25	566,82	-0,53	2,06	1,53	1,62	14,10	1,33	0,30				
Melara		26	586,66	-0,53	2,02	1,49	1,59	14,39	1,39	0,31				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54	1,99	1,45	1,55	14,39	1,41	0,32				
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55	1,57	1,02	1,18	14,38	1,78	0,45				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55	1,58	1,03	1,10	14,38	1,14	0,29				
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62	1,58	0,96	1,03	14,39	1,14	0,29				
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71	1,58	0,87	0,94	14,42	1,14	0,29				
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77	1,57	0,80	0,87	14,44	1,15	0,29				
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01	1,74	0,73	0,85	21,03	1,51	0,37				
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44	3,16	0,72	0,74	21,05	0,64	0,12				
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59	4,22	0,63	0,64	21,07	0,47	0,07				
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36	4,89	0,53	0,54	21,07	0,48	0,07				
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85	6,38	0,53	0,53	21,07	0,31	0,04				
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00	7,50	0,50	0,50	21,07	0,31	0,04				
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45	2,16	1,71	1,83	9,78	1,51	0,33	2,35	2,35	0,64	0,64
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46	2,16	1,70	1,82	9,79	1,52	0,33	2,34	2,34	0,64	0,64
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46	2,14	1,68	1,80	9,79	1,52	0,33	2,34	2,34	0,66	0,66
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47	2,14	1,67	1,79	9,79	1,53	0,33	2,33	2,33	0,66	0,66
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48	2,13	1,65	1,77	9,79	1,53	0,34	2,32	2,32	0,67	0,67
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48	2,12	1,64	1,76	9,79	1,54	0,34	2,32	2,32	0,68	0,68
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50	2,10	1,60	1,72	9,61	1,52	0,34	2,30	2,30	0,70	0,70

Tabella 8 – Risultati numerici di sintesi della simulazione con tempo di ritorno 200 anni. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

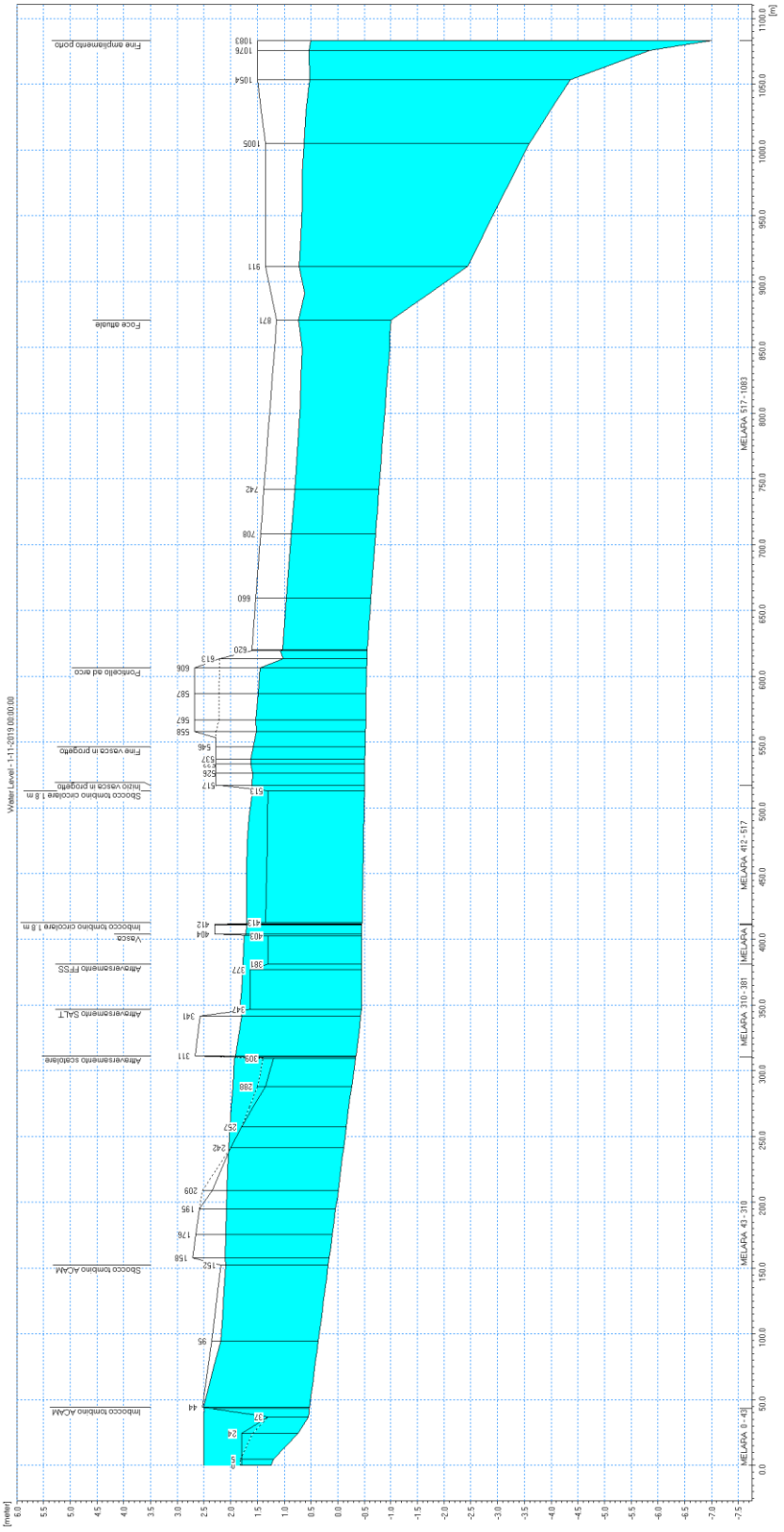


Figura 18 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul fosso Melara. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

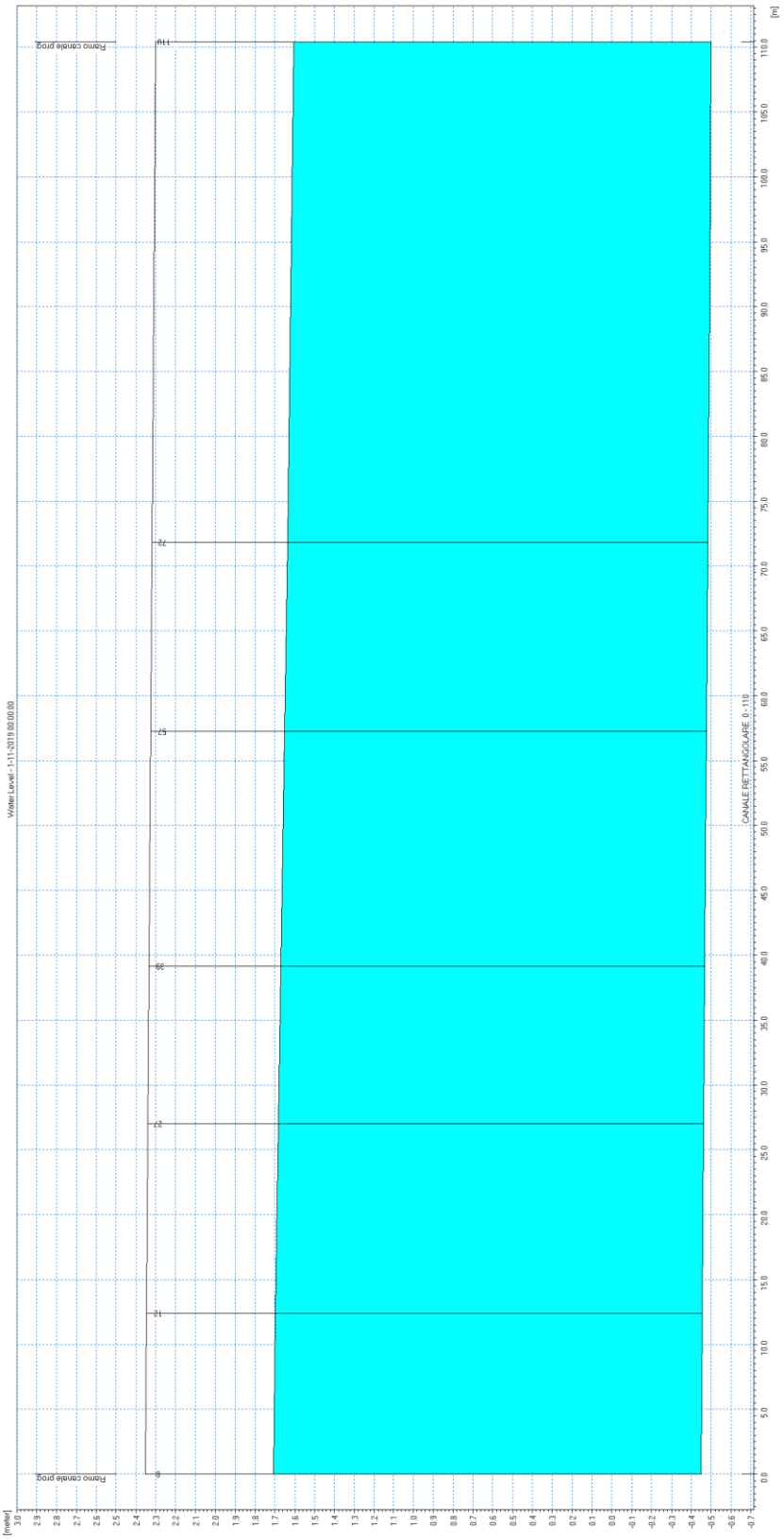


Figura 19 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul canale in progetto. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

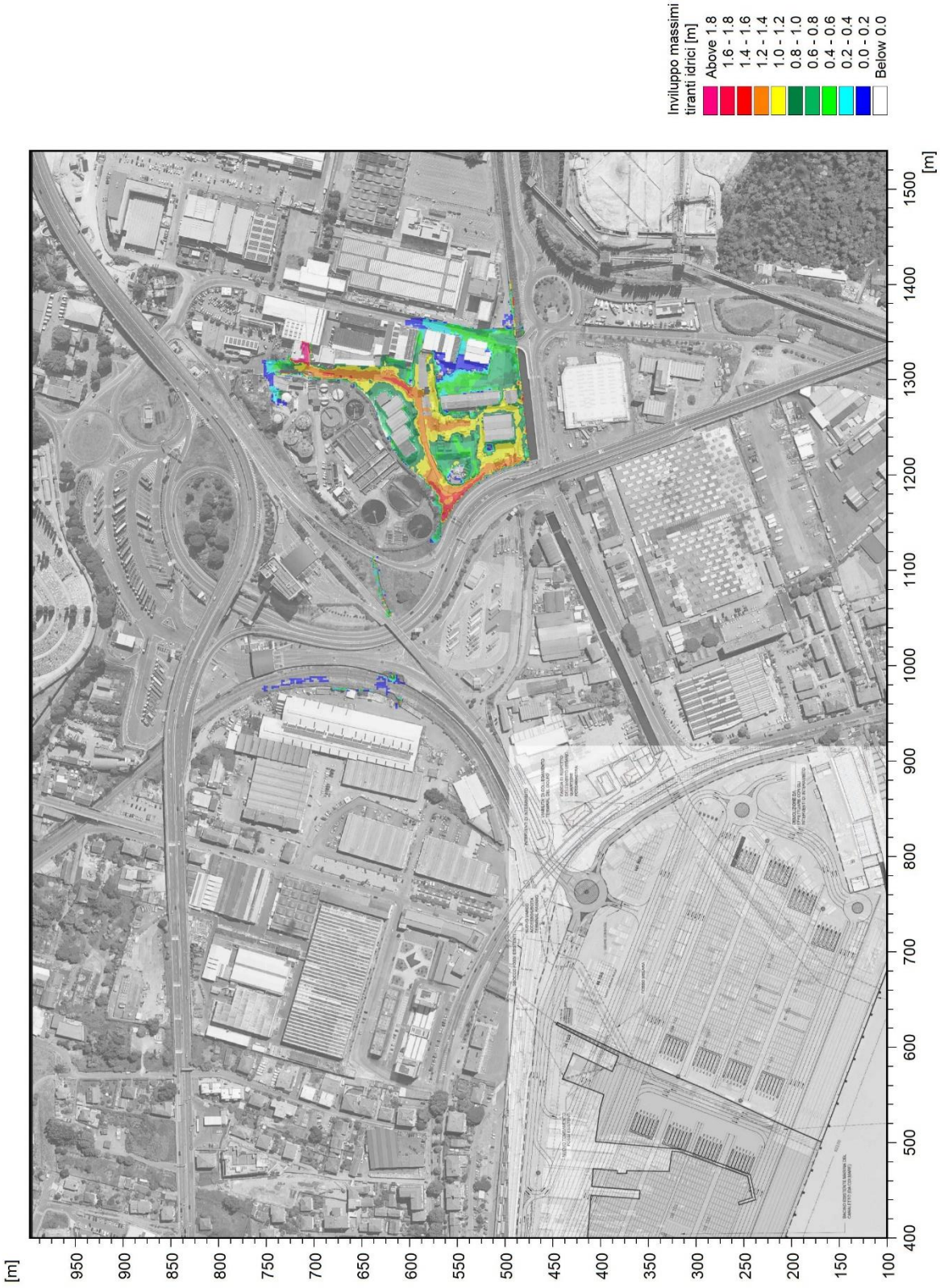


Figura 20 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=200 anni.

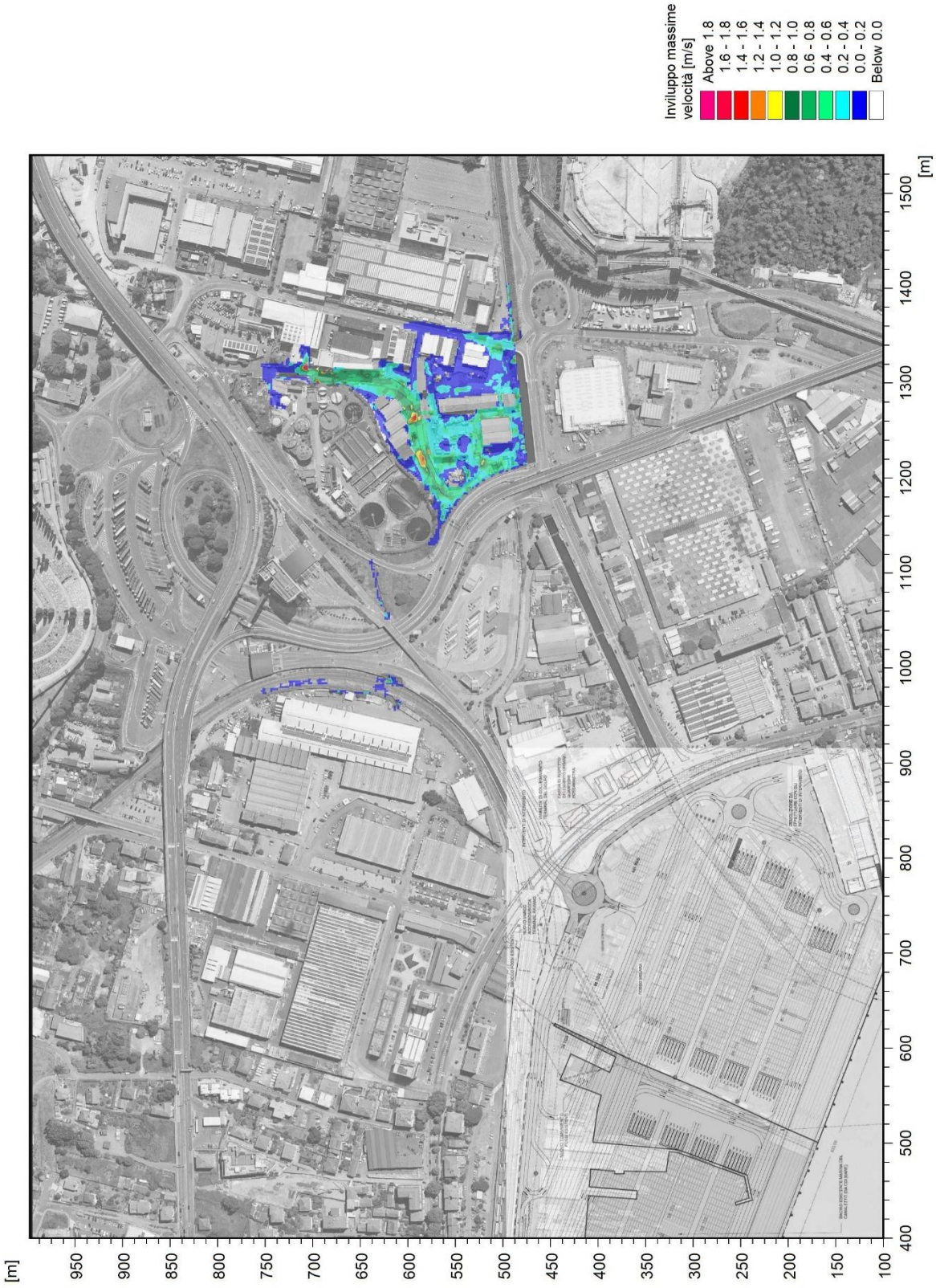


Figura 21 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=200 anni.

Si osserva come all'interno dell'attraversamento dell'area del depuratore defluisca una portata massima di circa 4,6 m^3/s, a fronte dei circa 6,4 m^3/s in input in testa al ramo, cui si somma l'apporto distribuito in tutto il tratto. A monte dell'attraversamento del raccordo autostradale la portata massima è di circa 5,2 m^3/s, mentre l'idrogramma complessivo in arrivo alla vasca di calma a valle dell'attraversamento ferroviario (ovvero afferente al tratto oggetto di sistemazione), con il contributo anche degli altri rami, mostra un valore al colmo di circa 12,9 m^3/s.
Di questi, nel nuovo canale a cielo aperto ne defluiscono 9,8 m^3/s, ovvero circa il 76%; la restante parte continua ad essere smaltita dalla tombinatura esistente. Alla sezione di imbocco del nuovo canale marino (foce attuale del Melara), inclusi i contributi dei rii minori afferenti, la portata massima defluente è pari a 21,0 m^3/s.

5.3.2 **Tempo di ritorno TR=50 anni**

Analogamente allo scenario precedente, di seguito si forniscono i risultati della simulazione idrodinamica riferiti al transito della piena nell'alveo inciso del corso d'acqua; in particolare in Tabella 9 si riportano i parametri idrodinamici in forma tabellare, mentre in Figura 22 e Figura 23 si rappresentano rispettivamente i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul tratto del nuovo canale in progetto.

Le Figura 24 e Figura 25 rappresentano invece le mappe di allagamento che si generano nelle aree esterne all'alveo inciso, riprodotte dal modello 2D in riferimento ai massimi tiranti idrici (altezze d'acqua sul piano campagna) e alle massime velocità.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara		1	0,00	1,25	1,23	2,48	2,52	5,36	0,84	0,24				
Melara		2	4,99	1,20	1,28	2,48	2,51	5,34	0,82	0,23				
Melara		3	24,38	0,74	1,74	2,48	2,51	4,85	0,70	0,17				
Melara		4	37,04	0,55	1,93	2,48	2,51	4,73	0,74	0,17				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53	1,95	2,48	2,51	4,60	0,79	0,18				
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36	1,82	2,18	2,30	4,60	1,54	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18	1,79	1,97	2,09	4,60	1,55	0,37				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16	1,82	1,98	2,06	4,60	1,27	0,30				
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10	1,86	1,96	2,04	4,60	1,24	0,29				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04	1,91	1,95	2,02	4,60	1,21	0,28				
Melara		11	208,96	-0,01	1,94	1,93	2,00	4,60	1,19	0,27				
Melara		12	241,74	-0,11	1,99	1,88	1,95	4,61	1,13	0,26				
Melara		13	257,46	-0,16	2,01	1,85	1,91	4,61	1,10	0,25				
Melara		14	287,91	-0,26	2,05	1,79	1,85	4,65	1,04	0,23				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	-0,33	2,09	1,76	1,82	4,92	1,07	0,24				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34	2,07	1,73	1,81	5,10	1,23	0,27				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43	2,04	1,61	1,71	5,67	1,39	0,31				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45	2,09	1,64	1,67	5,91	0,71	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45	2,05	1,60	1,63	6,48	0,79	0,18				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45	2,05	1,60	1,62	6,94	0,66	0,15				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45	2,02	1,57	1,60	7,46	0,71	0,16				
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45	1,99	1,54	1,60	7,55	1,08	0,25				
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45	1,98	1,53	1,54	2,21	0,32	0,07				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45	1,98	1,53	1,54	2,21	0,32	0,07				
Melara	ME_C4	23.0	412,56	-0,44	1,97	1,53	1,53	2,23	0,26	0,06				
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50	1,91	1,41	1,51	3,56	1,39	0,32				
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50	1,93	1,43	1,49	11,16	1,09	0,25	2,35	2,35	0,92	0,92
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51	1,94	1,43	1,49	11,16	1,09	0,25	2,35	2,35	0,92	0,92
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51	1,95	1,44	1,47	11,52	0,74	0,17	2,35	2,35	0,91	0,91
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51	1,95	1,44	1,47	11,68	0,75	0,17	2,35	2,35	0,91	0,91
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52	1,92	1,40	1,47	11,92	1,20	0,28	2,35	2,35	0,95	0,95
Melara		24	557,75	-0,52	1,86	1,34	1,46	12,16	1,53	0,36	2,35	2,68	1,01	1,34
Melara		25	566,82	-0,53	1,88	1,35	1,43	12,50	1,29	0,30				
Melara		26	586,66	-0,53	1,84	1,31	1,40	12,73	1,34	0,32				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54	1,81	1,27	1,37	12,74	1,37	0,32				
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55	1,49	0,94	1,08	12,74	1,66	0,43				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55	1,50	0,95	1,01	12,74	1,06	0,28				
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62	1,50	0,88	0,94	12,76	1,06	0,28				
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71	1,51	0,80	0,86	12,77	1,05	0,27				
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77	1,52	0,75	0,81	12,79	1,05	0,27				
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01	1,74	0,73	0,80	18,10	1,20	0,29				
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44	3,16	0,72	0,74	18,11	0,55	0,10				
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59	4,22	0,63	0,64	18,12	0,41	0,06				
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36	4,88	0,52	0,53	18,12	0,41	0,06				
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85	6,38	0,53	0,53	18,12	0,26	0,03				
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00	7,50	0,50	0,50	18,12	0,27	0,03				
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45	1,98	1,53	1,64	8,62	1,45	0,33	2,35	2,35	0,82	0,82
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46	1,98	1,52	1,63	8,61	1,45	0,33	2,34	2,34	0,82	0,82
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46	1,97	1,51	1,62	8,61	1,46	0,33	2,34	2,34	0,83	0,83
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47	1,96	1,49	1,60	8,60	1,46	0,33	2,33	2,33	0,84	0,84

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48	1,96	1,48	1,59	8,60	1,47	0,34	2,32	2,32	0,84	0,84
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48	1,94	1,46	1,57	8,60	1,48	0,34	2,32	2,32	0,86	0,86
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50	1,93	1,43	1,54	8,45	1,46	0,34	2,30	2,30	0,87	0,87

Tabella 9 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 50 anni. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

Anche per l'evento TR=50 anni la portata massima defluente all'interno dell'attraversamento dell'area del depuratore è di circa 4,6 m^3/s. A monte dell'attraversamento del raccordo autostradale la portata massima è poco inferiore a 5,0 m^3/s, mentre l'idrogramma complessivo in arrivo alla vasca di calma a valle dell'attraversamento ferroviario (ovvero afferente al tratto oggetto di sistemazione), con il contributo anche degli altri rami, mostra un valore al colmo di circa 11,5 m^3/s.
Di questi, nel nuovo canale a cielo aperto ne defluiscono 8,6 m^3/s, ovvero circa il 75%; la restante parte continua ad essere smaltita dalla tombinatura esistente. Alla sezione di imbocco del nuovo canale marino (foce attuale del Melara), inclusi i contributi dei rii minori afferenti, la portata massima defluente è pari a circa 18,0 m^3/s.

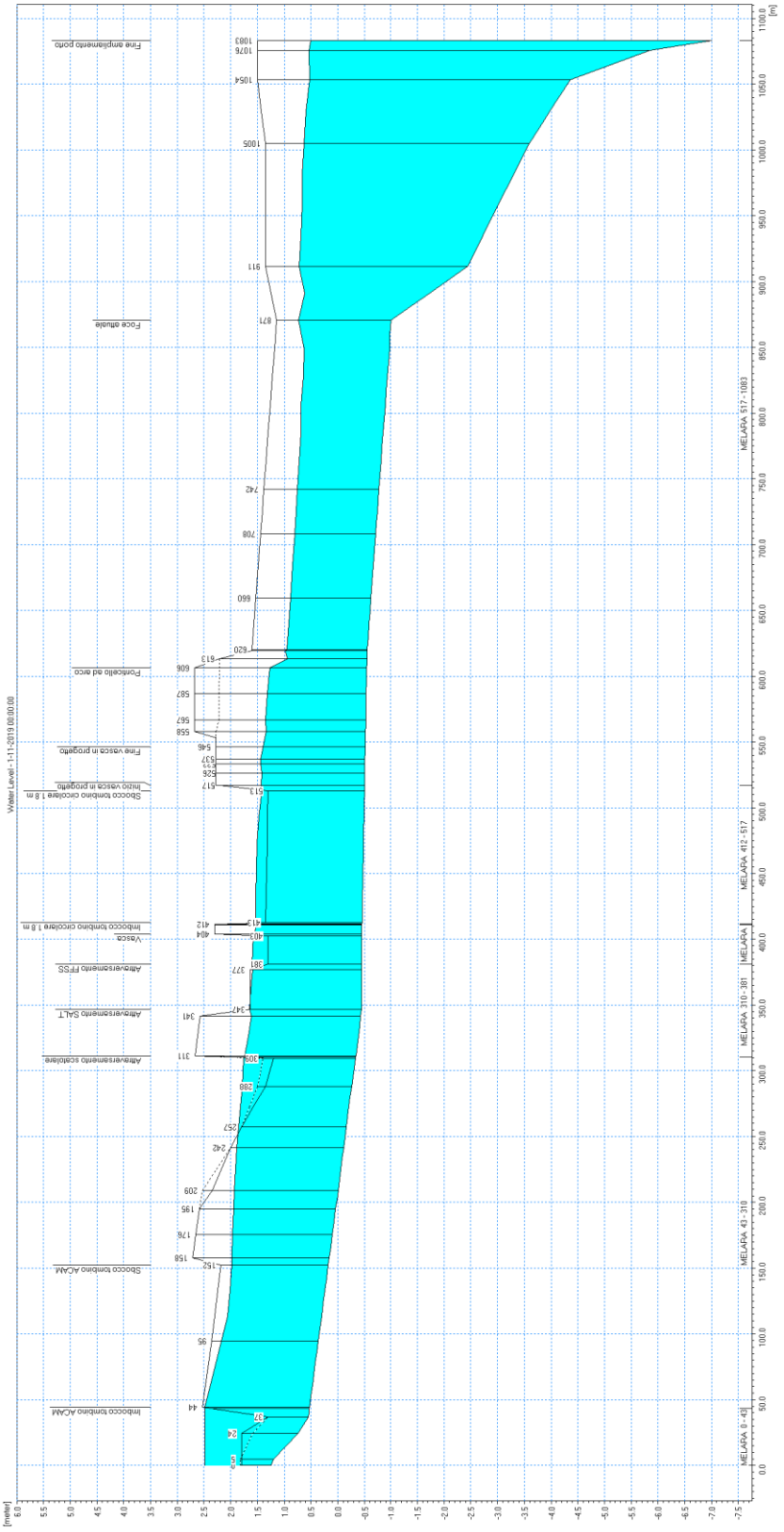


Figura 22 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul fosso Melara. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

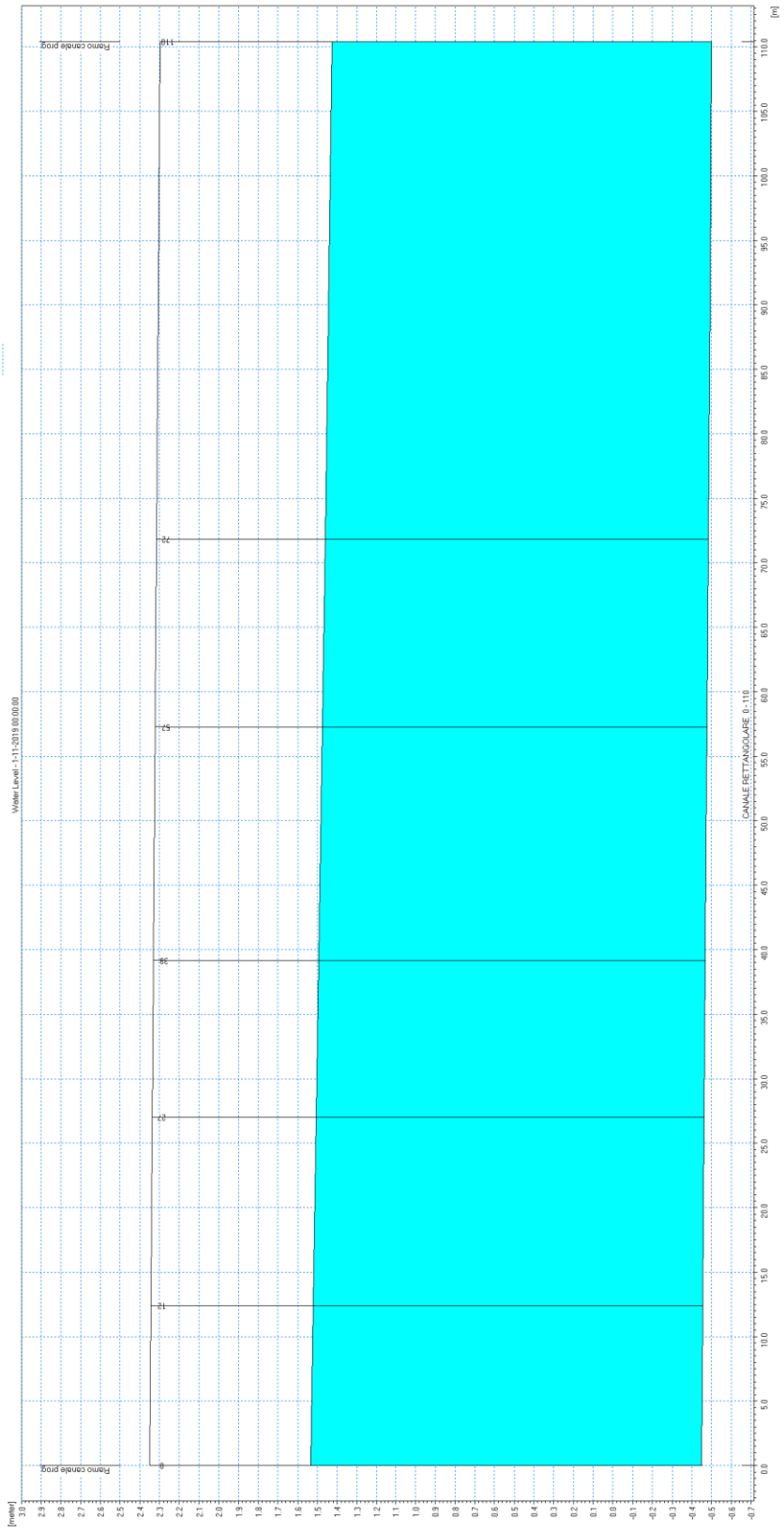


Figura 23 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul canale in progetto. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

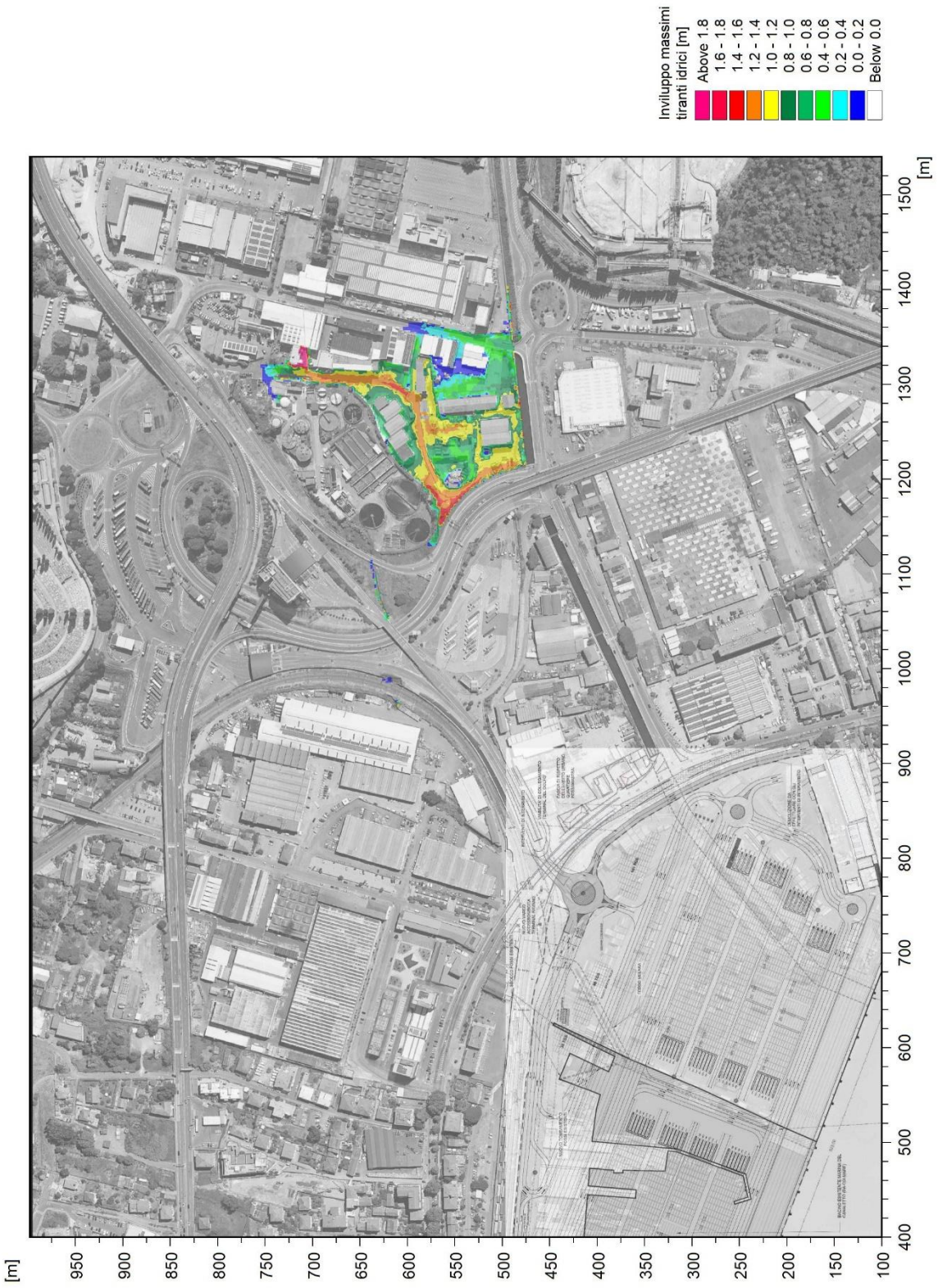


Figura 24 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=50 anni.

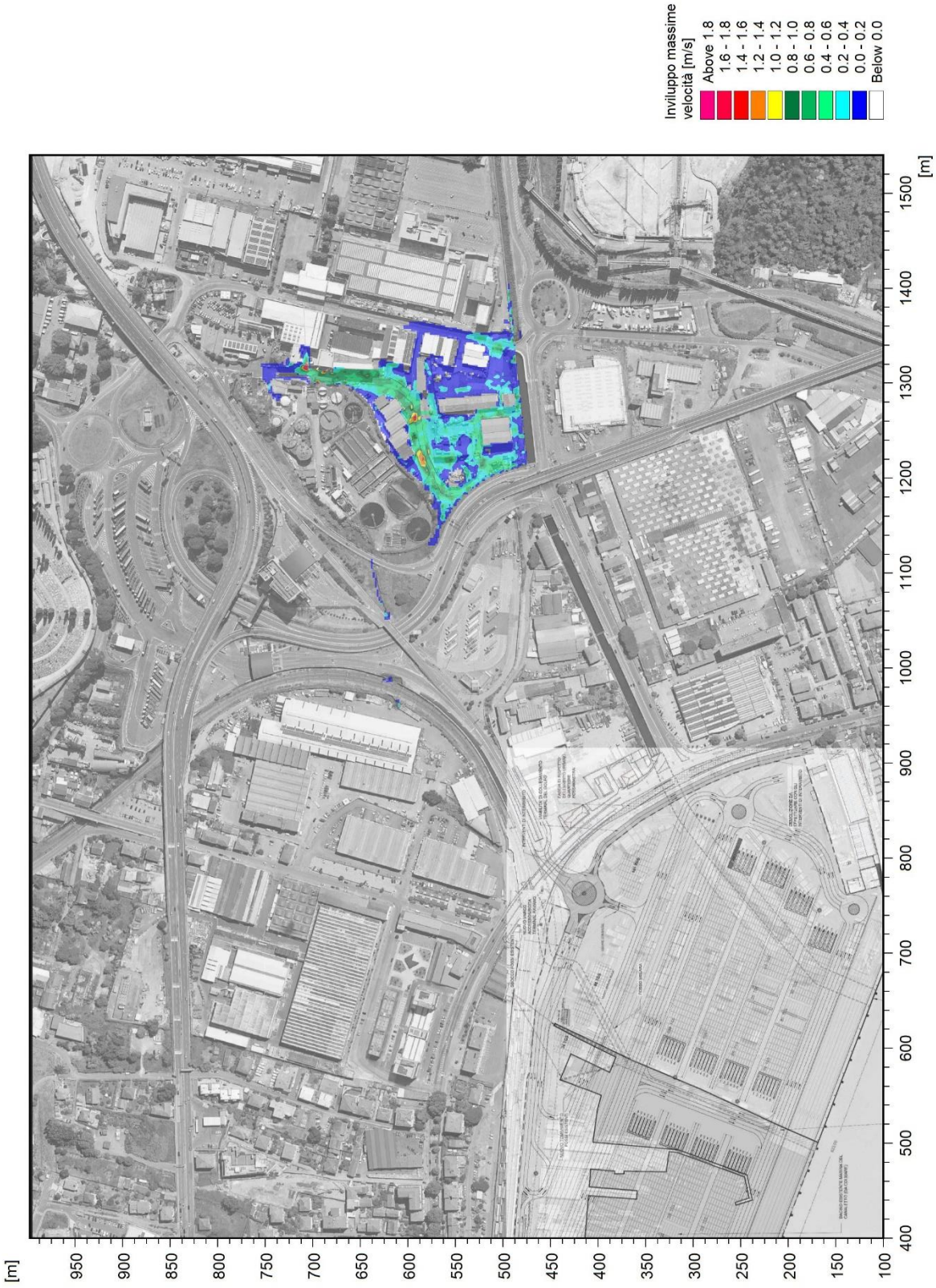


Figura 25 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=50 anni.

5.3.3 **Tempo di ritorno TR=500 anni**

Analogamente allo scenario precedente, di seguito si forniscono i risultati della simulazione idrodinamica riferiti al transito della piena nell'alveo inciso del corso d'acqua; in particolare in Tabella 10 si riportano i parametri idrodinamici in forma tabellare mentre in Figura 26 e Figura 27 si riproducono rispettivamente i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul tratto del nuovo canale in progetto.
Le Figura 28 e Figura 29 rappresentano invece le mappe di allagamento che si generano nelle aree esterne all'alveo inciso, riprodotte dal modello 2D in riferimento ai massimi tiranti idrici (altezze d'acqua sul piano campagna) e alle massime velocità.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara		1	0,00	1,25	1,27	2,52	2,58	7,05	1,07	0,30				
Melara		2	4,99	1,20	1,32	2,52	2,58	7,01	1,04	0,29				
Melara		3	24,38	0,74	1,78	2,52	2,56	6,51	0,92	0,22				
Melara		4	37,04	0,55	1,97	2,52	2,56	5,60	0,86	0,20				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53	1,99	2,52	2,55	4,68	0,74	0,17				
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36	1,86	2,22	2,34	4,68	1,53	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18	1,99	2,17	2,28	4,68	1,50	0,34				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16	2,01	2,17	2,24	4,68	1,16	0,26				
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10	2,07	2,17	2,24	4,68	1,13	0,25				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04	2,12	2,16	2,22	4,68	1,10	0,24				
Melara		11	208,96	-0,01	2,16	2,15	2,21	4,68	1,06	0,23				
Melara		12	241,74	-0,11	2,23	2,12	2,17	4,68	0,98	0,21				
Melara		13	257,46	-0,16	2,26	2,10	2,15	4,68	0,95	0,20				
Melara		14	287,91	-0,26	2,31	2,05	2,10	4,99	0,96	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	-0,33	2,35	2,02	2,07	5,33	0,99	0,21				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34	2,34	2,00	2,07	5,53	1,18	0,25				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43	2,31	1,88	1,98	6,31	1,37	0,29				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45	2,36	1,91	1,94	6,65	0,80	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45	2,29	1,84	1,88	7,49	0,90	0,19				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45	2,30	1,85	1,88	7,86	0,75	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45	2,26	1,81	1,84	8,60	0,82	0,17				
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45	2,24	1,79	1,84	8,73	1,03	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45	2,23	1,78	1,79	2,54	0,33	0,07				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45	2,23	1,78	1,79	2,54	0,33	0,07				
Melara	ME_C4	23	412,56	-0,44	2,22	1,78	1,78	2,55	0,26	0,06				
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50	2,17	1,67	1,76	3,50	1,35	0,29				
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50	2,18	1,68	1,74	12,85	1,11	0,24	2,35	2,35	0,67	0,67
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51	2,19	1,68	1,74	12,85	1,11	0,24	2,35	2,35	0,67	0,67
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51	2,21	1,70	1,73	13,29	0,75	0,16	2,35	2,35	0,65	0,65
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51	2,21	1,70	1,73	13,51	0,77	0,16	2,35	2,35	0,65	0,65

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52	2,17	1,65	1,73	13,86	1,23	0,27	2,35	2,35	0,70	0,70
Melara		24	557,75	-0,52	2,11	1,59	1,71	14,20	1,56	0,34	2,35	2,68	0,76	1,09
Melara		25	566,82	-0,53	2,13	1,60	1,69	14,69	1,34	0,29				
Melara		26	586,66	-0,53	2,09	1,56	1,66	15,02	1,40	0,31				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54	2,06	1,52	1,62	15,02	1,41	0,31				
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55	1,61	1,06	1,23	15,02	1,81	0,46				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55	1,62	1,07	1,14	15,02	1,16	0,29				
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62	1,61	0,99	1,06	15,03	1,16	0,29				
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71	1,61	0,90	0,97	15,04	1,17	0,29				
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77	1,61	0,84	0,91	15,06	1,17	0,29				
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01	1,74	0,73	0,86	22,37	1,61	0,39				
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44	3,16	0,72	0,74	22,38	0,68	0,12				
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59	4,22	0,63	0,64	22,40	0,50	0,08				
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36	4,89	0,53	0,54	22,40	0,51	0,07				
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85	6,38	0,53	0,54	22,40	0,33	0,04				
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00	7,50	0,50	0,51	22,40	0,33	0,04				
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45	2,23	1,78	1,90	10,28	1,54	0,33	2,35	2,35	0,57	0,57
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46	2,23	1,77	1,89	10,28	1,54	0,33	2,34	2,34	0,57	0,57
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46	2,21	1,75	1,87	10,26	1,55	0,33	2,34	2,34	0,59	0,59
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47	2,21	1,74	1,86	10,25	1,55	0,33	2,33	2,33	0,59	0,59
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48	2,20	1,72	1,84	10,23	1,55	0,33	2,32	2,32	0,60	0,60
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48	2,19	1,71	1,83	10,21	1,55	0,33	2,32	2,32	0,61	0,61
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50	2,18	1,68	1,80	9,97	1,52	0,33	2,30	2,30	0,62	0,62

Tabella 10 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 500 anni. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

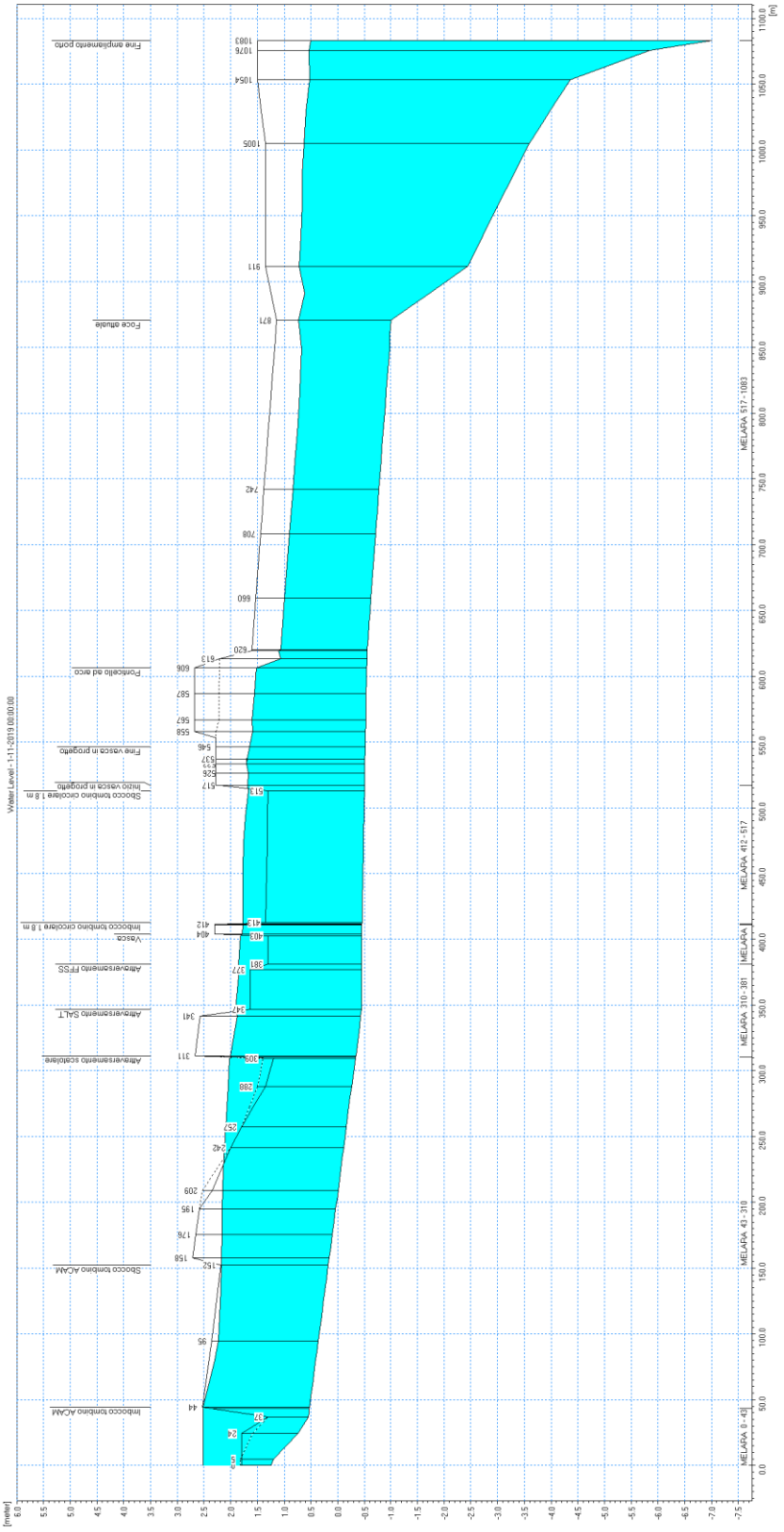


Figura 26 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul fosso Melara. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

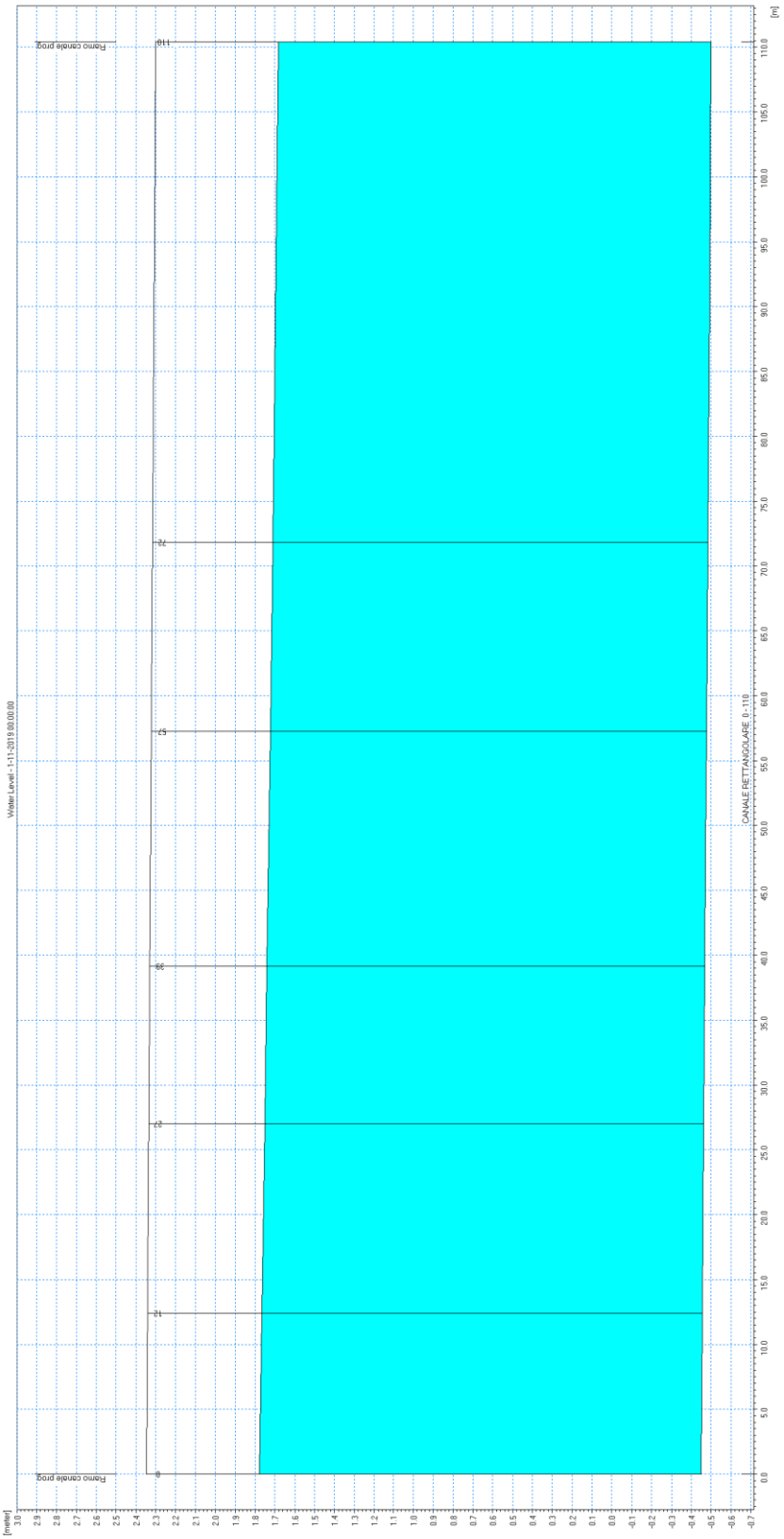


Figura 27 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul canale in progetto. Assetto di progetto con esondazioni a monte.

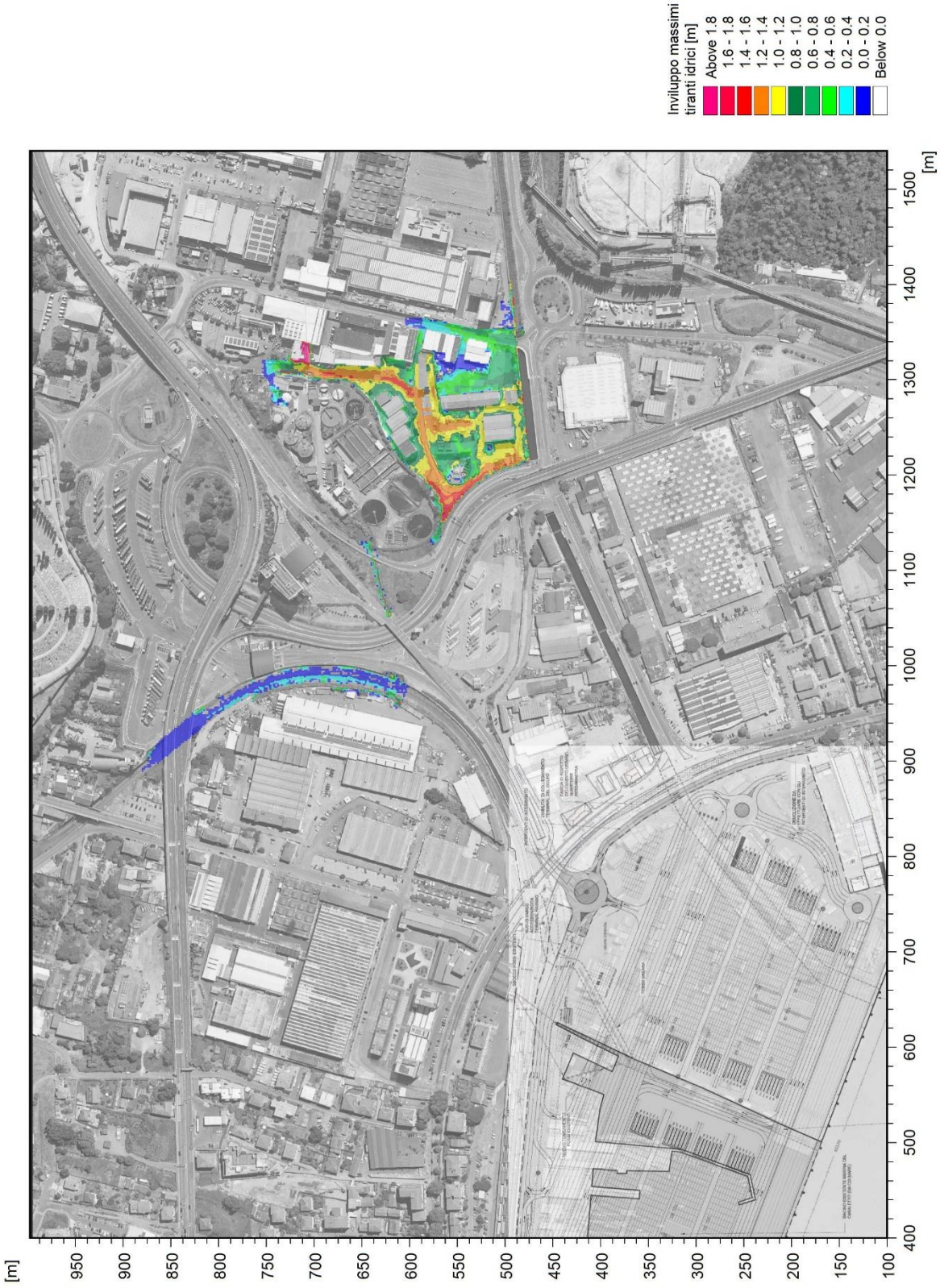


Figura 28 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=500 anni.

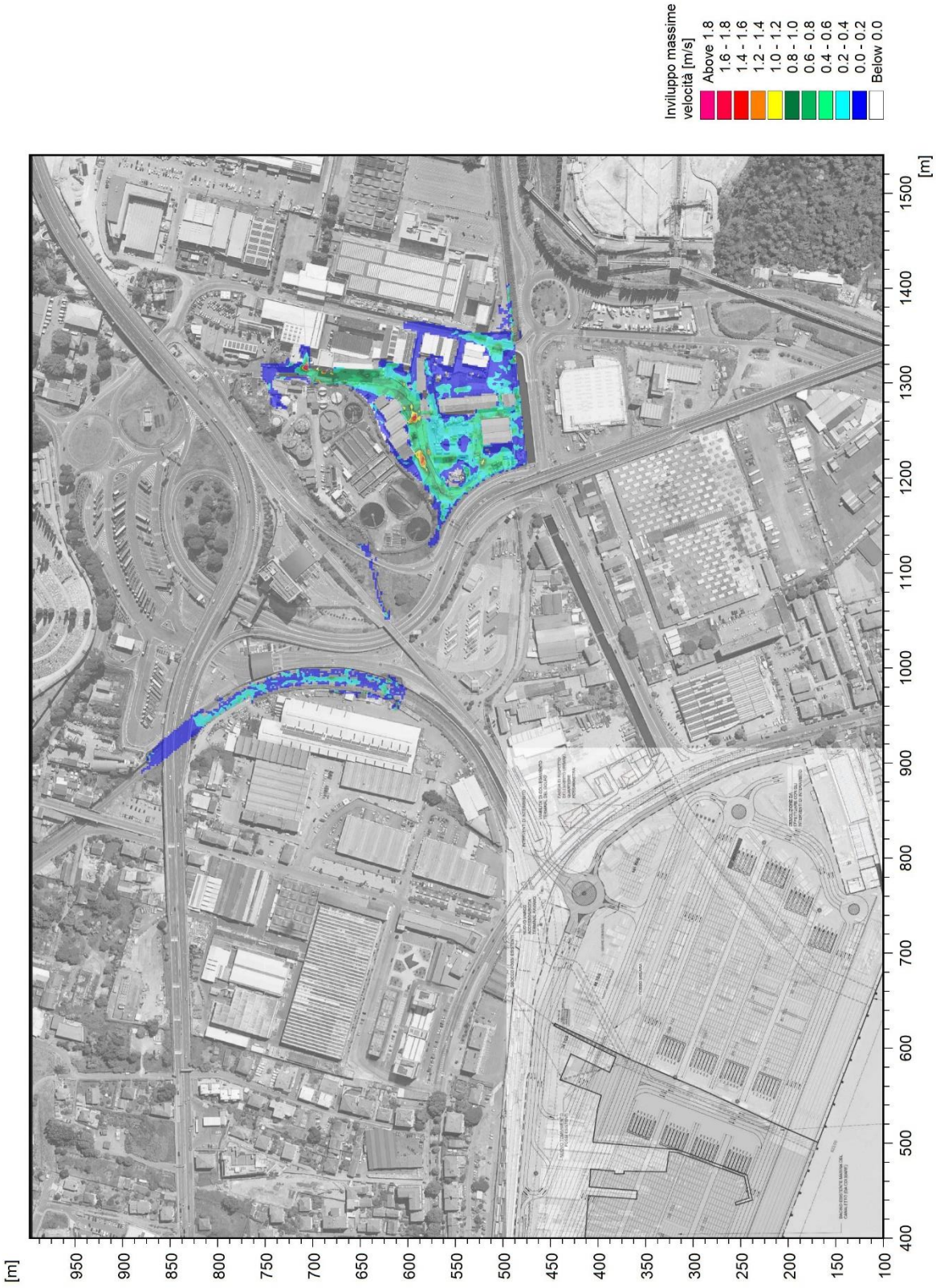


Figura 29 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=500 anni.

Anche per l'evento TR=500 anni la portata massima defluente all'interno dell'attraversamento dell'area del depuratore si discosta poco dai valori precedenti (circa 4,7 m^3/s). A monte dell'attraversamento del raccordo autostradale la portata massima è di circa 5,3 m^3/s, mentre l'idrogramma complessivo in arrivo alla vasca di calma a valle dell'attraversamento ferroviario (ovvero afferente al tratto oggetto di sistemazione), con il contributo anche degli altri rami, mostra un valore al colmo di circa 13,3 m^3/s.
Di questi, nel nuovo canale a cielo aperto ne defluiscono 10,3 m^3/s, ovvero circa il 77%; la restante parte continua ad essere smaltita dalla tombinatura esistente. Alla sezione di imbocco del nuovo canale marino (foce attuale del Melara), inclusi i contributi dei rii minori afferenti, la portata massima defluente è pari a circa 22,4 m^3/s.

5.4 ANALISI IDRAULICA: ASSETTO DI PROGETTO IN ASSENZA DI ESONDAZIONI A MONTE

A integrazione delle simulazioni precedentemente descritte, sono stati indagati ulteriori scenari impedendo le esondazioni nel tratto di monte, in modo da evitare fuoriuscite di portata e conseguenti effetti di laminazione, verificando quindi le opere in rapporto alle maggiori portate che potrebbero afferire in caso venissero adeguati idraulicamente i tratti di monte.
Di seguito sono sintetizzati i risultati ottenuti, rappresentati come profili grafici e tabellari per la sola componente monodimensionale (alveo inciso), in quanto in questi scenari non si verificano allagamenti.

5.4.1 Tempo di ritorno TR=200 anni

Di seguito si forniscono i risultati della simulazione idrodinamica sia in forma tabellare che grafica; in particolare in Tabella 11 si riportano i parametri idrodinamici in forma numerica mentre in Figura 30 e Figura 31 si riproducono rispettivamente i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul tratto del nuovo canale in progetto.
In tabella sono indicati anche i franchi idraulici ottenuti rispetto ai cigli di sponda per i soli nuovi tratti sistemati in progetto.
Si evince in particolare come la piena di riferimento transiti nel canale rettangolare in progetto (sezioni da P1 a P7) con un franco idraulico sempre superiore a 0,50 m; nella vasca in progetto (sezioni da 23.2 a 23.6) si realizzano franchi idraulici sempre superiori a 0,59 m.
Per quanto riguarda le portate massime afferenti al tratto in progetto, in assenza di esondazioni nel tratto di monte esse risultano pari a circa 14,1 m^3/s, ovvero quasi un 10% in più rispetto allo scenario che considera le fuoriuscite di portata a monte. Di questi, nel nuovo canale a cielo aperto ne defluiscono 11,0 m^3/s, ovvero circa il 79%, percentuale leggermente maggiore rispetto allo scenario precedente.
Alla sezione di imbocco del nuovo canale marino (foce attuale del Melara), inclusi i contributi dei rii minori afferenti, la portata massima defluente è pari a 21,8 m^3/s.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara		1	0,00	1,25	1,70	2,95	2,97	6,38	0,69	0,17				
Melara		2	4,99	1,20	1,74	2,94	2,97	6,37	0,68	0,16				
Melara		3	24,38	0,74	2,20	2,94	2,97	6,36	0,70	0,15				
Melara		4	37,04	0,55	2,38	2,93	2,96	6,36	0,79	0,16				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53	2,40	2,93	2,96	5,25	0,82	0,17				
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36	2,20	2,56	2,70	5,24	1,65	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18	2,10	2,28	2,42	5,23	1,65	0,36				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16	2,12	2,28	2,36	5,23	1,23	0,27				
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10	2,16	2,26	2,33	5,21	1,20	0,26				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04	2,20	2,24	2,31	5,18	1,17	0,25				
Melara		11	208,96	-0,01	2,24	2,23	2,29	5,19	1,12	0,24				
Melara		12	241,74	-0,11	2,30	2,19	2,25	5,26	1,06	0,22				
Melara		13	257,46	-0,16	2,33	2,17	2,23	5,38	1,05	0,22				
Melara		14	287,91	-0,26	2,38	2,12	2,18	5,95	1,09	0,23				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	-0,33	2,42	2,09	2,15	6,20	1,11	0,23				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34	2,41	2,07	2,15	6,43	1,28	0,26				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43	2,38	1,95	2,06	7,05	1,48	0,31				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45	2,42	1,97	2,01	7,32	0,88	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45	2,36	1,91	1,96	7,99	0,96	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45	2,36	1,91	1,94	8,67	0,82	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45	2,33	1,88	1,92	9,26	0,88	0,18				
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45	2,30	1,85	1,92	9,36	1,16	0,24				
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45	2,29	1,84	1,85	4,01	0,50	0,11				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45	2,29	1,84	1,85	4,08	0,51	0,11				
Melara	ME_C4	23	412,56	-0,44	2,28	1,84	1,85	3,85	0,39	0,08				
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50	2,23	1,73	1,81	2,71	1,05	0,22				
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50	2,24	1,74	1,81	13,70	1,15	0,25	2,35	2,35	0,61	0,61
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51	2,25	1,74	1,81	13,70	1,15	0,25	2,35	2,35	0,61	0,61
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51	2,27	1,76	1,79	14,12	0,78	0,16	2,35	2,35	0,59	0,59
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51	2,27	1,76	1,79	14,30	0,79	0,17	2,35	2,35	0,59	0,59
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52	2,23	1,71	1,79	14,58	1,26	0,27	2,35	2,35	0,64	0,64
Melara		24	557,75	-0,52	2,18	1,66	1,79	14,87	1,59	0,34	2,35	2,68	0,69	1,02
Melara		25	566,82	-0,53	2,20	1,67	1,76	15,29	1,35	0,29				
Melara		26	586,66	-0,53	2,16	1,63	1,73	15,57	1,40	0,30				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54	2,13	1,59	1,69	15,57	1,42	0,31				
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55	1,63	1,08	1,25	15,57	1,85	0,46				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55	1,64	1,09	1,16	15,57	1,18	0,30				
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62	1,63	1,01	1,08	15,58	1,19	0,30				
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71	1,63	0,92	0,99	15,61	1,20	0,30				
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77	1,62	0,85	0,92	15,63	1,21	0,30				
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01	1,74	0,73	0,86	21,79	1,57	0,38				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44	3,16	0,72	0,74	21,80	0,67	0,12				
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59	4,22	0,63	0,64	21,82	0,49	0,08				
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36	4,89	0,53	0,54	21,82	0,50	0,07				
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85	6,38	0,53	0,54	21,82	0,32	0,04				
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00	7,50	0,50	0,51	21,82	0,32	0,04				
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45	2,29	1,84	1,97	11,07	1,61	0,34	2,35	2,35	0,51	0,51
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46	2,29	1,83	1,96	11,05	1,61	0,34	2,34	2,34	0,51	0,51
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46	2,28	1,82	1,95	11,04	1,61	0,34	2,34	2,34	0,52	0,52
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47	2,27	1,80	1,93	11,03	1,62	0,34	2,33	2,33	0,53	0,53
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48	2,27	1,79	1,92	11,01	1,62	0,34	2,32	2,32	0,53	0,53
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48	2,25	1,77	1,90	11,00	1,62	0,35	2,32	2,32	0,55	0,55
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50	2,24	1,74	1,87	10,80	1,61	0,34	2,30	2,30	0,56	0,56

Tabella 11 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

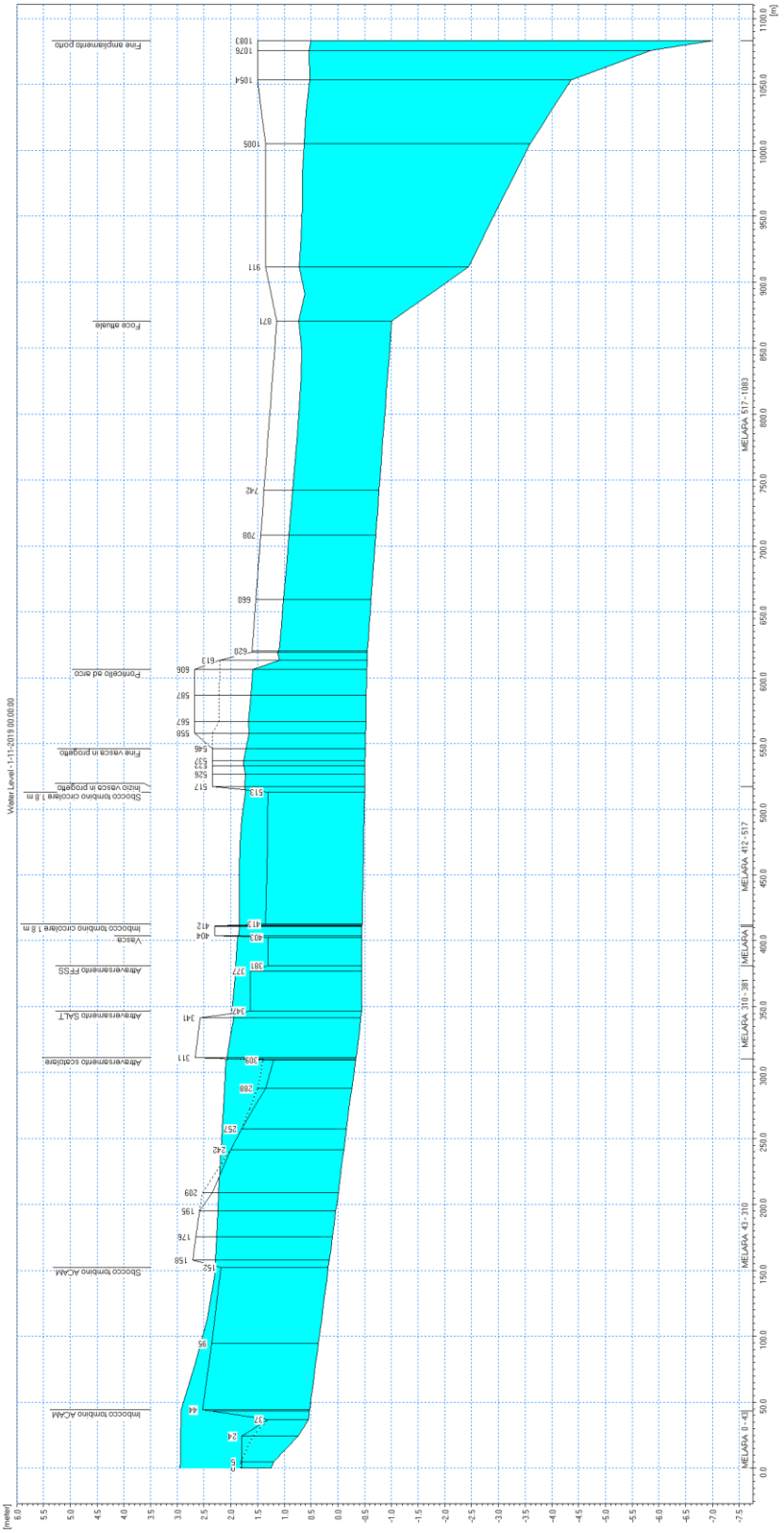


Figura 30 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul fosso Melara. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

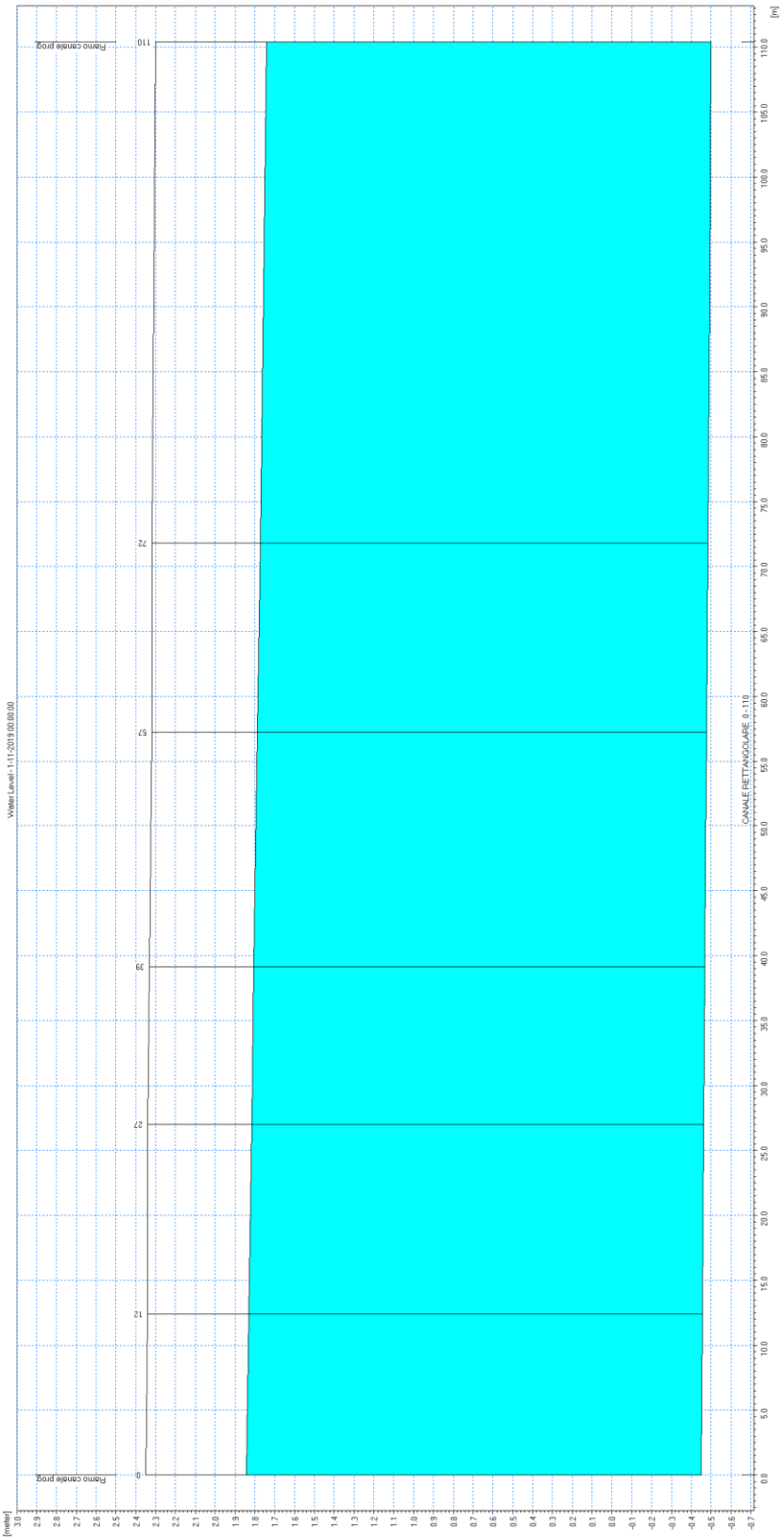


Figura 31 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul canale in progetto. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

5.4.2 **Tempo di ritorno TR=50 anni**

Analogamente allo scenario precedente si forniscono di seguito i risultati della simulazione idrodinamica sia in forma tabellare che grafica; in particolare in Tabella 12 si riportano i parametri idrodinamici in forma numerica, mentre in Figura 32 e Figura 33 si rappresentano rispettivamente i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul solo tratto del nuovo canale in progetto.
Dalla Tabella 12 si osserva come la piena cinquantennale transiti nel canale rettangolare in progetto (sezioni da P1 a P7) con un franco idraulico sempre superiore a 0,74 m; nella vasca in progetto (sezioni da 23.2 a 23.6) si realizzano franchi idraulici sempre superiori a 0,83 m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara		1	0,00	1,25	1,59	2,84	2,86	5,36	0,62	0,16				
Melara		2	4,99	1,20	1,64	2,84	2,86	5,34	0,61	0,15				
Melara		3	24,38	0,74	2,10	2,84	2,86	5,31	0,62	0,14				
Melara		4	37,04	0,55	2,28	2,83	2,85	5,30	0,69	0,15				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53	2,26	2,79	2,83	5,01	0,85	0,18				
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36	2,08	2,44	2,57	5,01	1,58	0,35				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18	1,92	2,10	2,23	4,99	1,61	0,37				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16	1,94	2,10	2,18	4,98	1,28	0,29				
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10	1,97	2,07	2,15	4,96	1,26	0,29				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04	1,99	2,03	2,11	4,93	1,24	0,28				
Melara		11	208,96	-0,01	2,02	2,01	2,08	4,94	1,21	0,27				
Melara		12	241,74	-0,11	2,07	1,96	2,03	5,07	1,18	0,26				
Melara		13	257,46	-0,16	2,09	1,93	2,00	5,17	1,17	0,26				
Melara		14	287,91	-0,26	2,13	1,87	1,94	5,57	1,19	0,26				
Melara	imbocco ME_C3.1	14	309,41	-0,33	2,17	1,84	1,91	5,72	1,18	0,26				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34	2,16	1,82	1,91	5,86	1,36	0,30				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43	2,12	1,69	1,80	6,27	1,48	0,32				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45	2,17	1,72	1,75	6,46	0,78	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45	2,13	1,68	1,72	6,93	0,83	0,18				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45	2,13	1,68	1,71	7,72	0,73	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45	2,10	1,65	1,68	8,12	0,77	0,17				
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45	2,07	1,62	1,68	8,20	1,09	0,24				
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45	2,06	1,61	1,63	4,02	0,56	0,12				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45	2,06	1,61	1,63	4,09	0,57	0,13				
Melara	ME_C4	23.0	412,56	-0,44	2,05	1,61	1,62	3,86	0,43	0,10				
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50	1,99	1,49	1,57	3,25	1,26	0,29				
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50	2,00	1,50	1,57	12,00	1,13	0,26	2,35	2,35	0,85	0,85
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51	2,01	1,50	1,57	12,00	1,13	0,25	2,35	2,35	0,85	0,85
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51	2,03	1,52	1,55	12,31	0,76	0,17	2,35	2,35	0,83	0,83
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51	2,03	1,52	1,55	12,45	0,77	0,17	2,35	2,35	0,83	0,83

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52	1,99	1,47	1,55	12,66	1,22	0,28	2,35	2,35	0,88	0,88
Melara		24	557,75	-0,52	1,94	1,42	1,54	12,89	1,55	0,36	2,35	2,68	0,93	1,26
Melara		25	566,82	-0,53	1,96	1,43	1,52	13,22	1,31	0,30				
Melara		26	586,66	-0,53	1,92	1,39	1,48	13,45	1,36	0,31				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54	1,89	1,35	1,45	13,44	1,38	0,32				
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55	1,53	0,98	1,13	13,44	1,71	0,44				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55	1,54	0,99	1,05	13,44	1,09	0,28				
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62	1,54	0,92	0,98	13,46	1,09	0,28				
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71	1,55	0,84	0,90	13,49	1,09	0,28				
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77	1,55	0,78	0,84	13,51	1,09	0,28				
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01	1,74	0,73	0,82	18,54	1,33	0,32				
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44	3,16	0,72	0,74	18,54	0,57	0,10				
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59	4,22	0,63	0,64	18,55	0,42	0,06				
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36	4,88	0,52	0,53	18,55	0,42	0,06				
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85	6,38	0,53	0,53	18,55	0,27	0,03				
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00	7,50	0,50	0,50	18,55	0,27	0,03				
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45	2,06	1,61	1,73	9,44	1,53	0,34	2,35	2,35	0,74	0,74
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46	2,06	1,60	1,72	9,43	1,53	0,34	2,34	2,34	0,74	0,74
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46	2,04	1,58	1,70	9,42	1,53	0,34	2,34	2,34	0,76	0,76
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47	2,04	1,57	1,69	9,41	1,54	0,34	2,33	2,33	0,76	0,76
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48	2,03	1,55	1,67	9,39	1,54	0,35	2,32	2,32	0,77	0,77
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48	2,02	1,54	1,66	9,38	1,55	0,35	2,32	2,32	0,78	0,78
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50	2,00	1,50	1,62	9,22	1,53	0,35	2,30	2,30	0,80	0,80

Tabella 12 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 50 anni. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

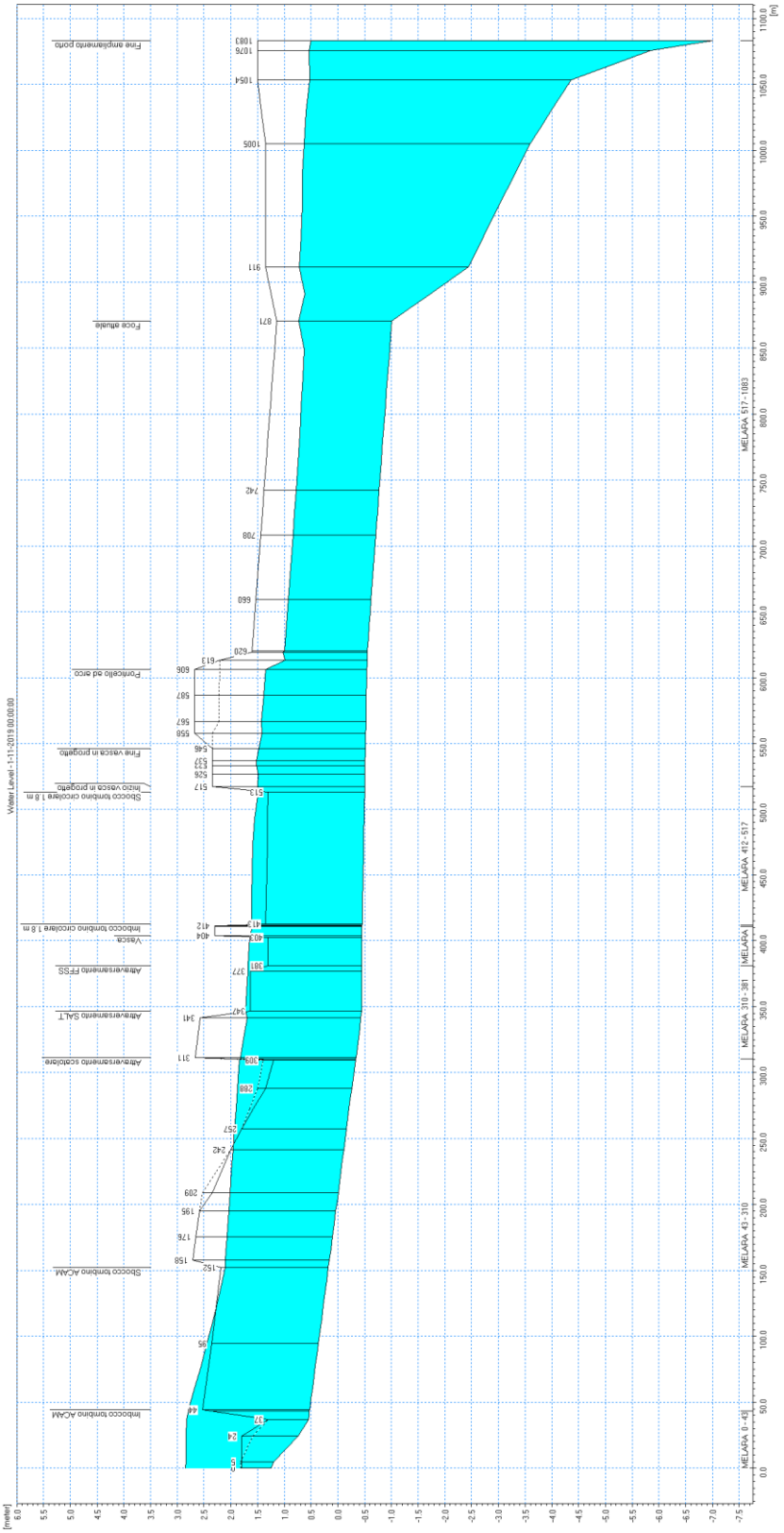


Figura 32 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul fosso Melara. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

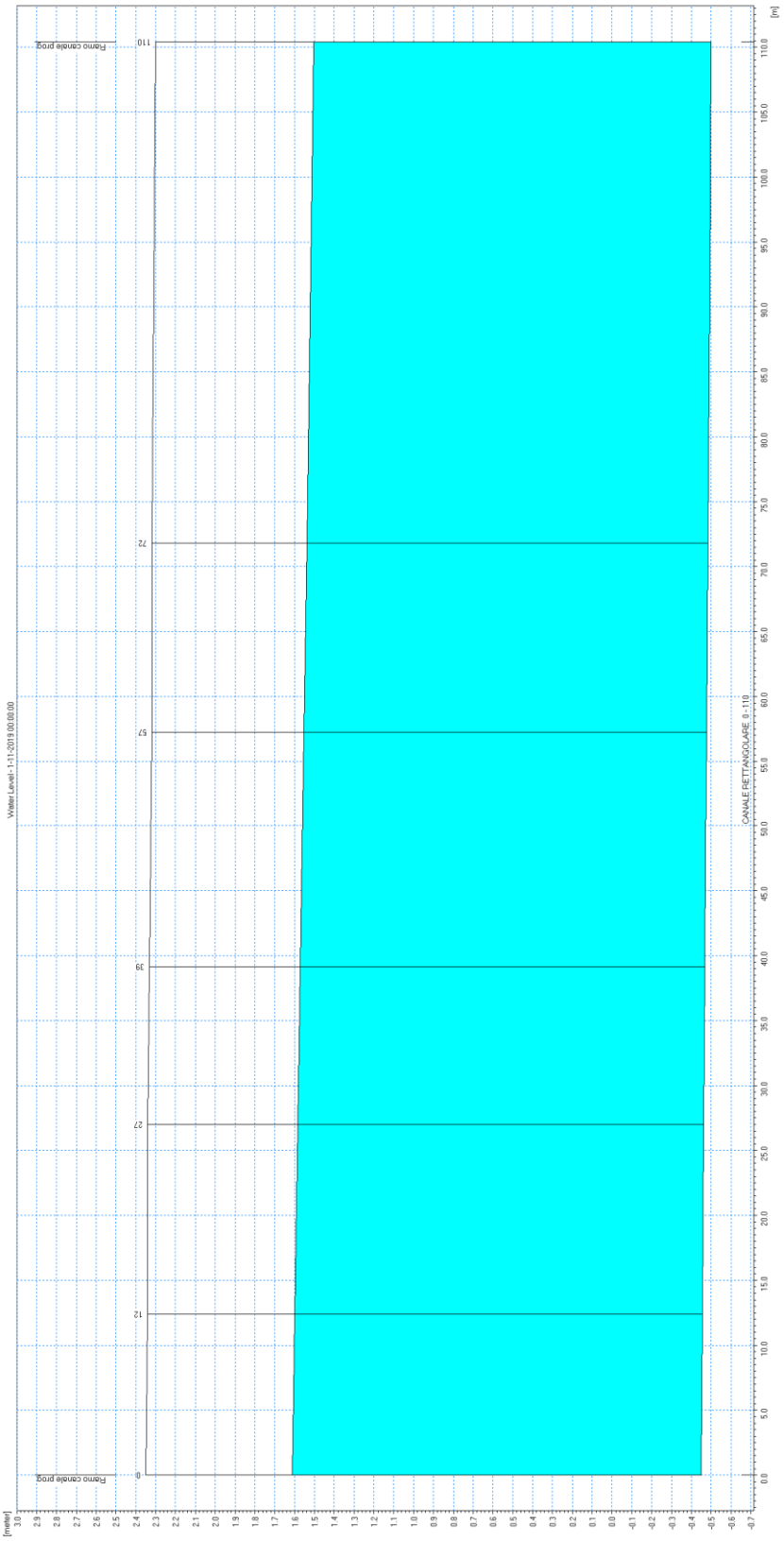


Figura 33 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul canale in progetto. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

5.4.3 **Tempo di ritorno TR=500 anni**

Di seguito si forniscono i risultati della simulazione idrodinamica sia in forma tabellare che grafica; in particolare in Tabella 13 si riportano i parametri idrodinamici in forma numerica mentre in Figura 34 e Figura 35 si allegano rispettivamente i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul solo tratto del nuovo canale in progetto.

Dalla Tabella 13 si osserva come in concomitanza della piena cinquecentenaria i franchi idraulici residui nel canale rettangolare in progetto (sezioni da P1 a P7) siano sempre superiori a 0,35 m; nella vasca in progetto (sezioni da 23.2 a 23.6) essi risultano sempre superiori a 0,42 m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara		1	0,00	1,25	1,76	3,01	3,04	7,05	0,73	0,18				
Melara		2	4,99	1,20	1,80	3,00	3,03	7,04	0,72	0,17				
Melara		3	24,38	0,74	2,26	3,00	3,03	7,02	0,75	0,16				
Melara		4	37,04	0,55	2,44	2,99	3,03	7,02	0,85	0,17				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	0,53	2,45	2,98	3,02	5,35	0,83	0,17				
Melara	ME_C1	6	94,63	0,36	2,26	2,62	2,76	5,35	1,68	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	0,18	2,22	2,40	2,54	5,33	1,67	0,36				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	0,16	2,25	2,41	2,48	5,33	1,18	0,25				
Melara	ME_C2	9	175,64	0,10	2,30	2,40	2,47	5,31	1,15	0,24				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	0,04	2,35	2,39	2,45	5,29	1,13	0,23				
Melara		11	208,96	-0,01	2,39	2,38	2,44	5,28	1,04	0,22				
Melara		12	241,74	-0,11	2,45	2,34	2,39	5,32	0,98	0,20				
Melara		13	257,46	-0,16	2,49	2,33	2,38	5,46	0,97	0,20				
Melara		14	287,91	-0,26	2,54	2,28	2,33	6,14	1,04	0,21				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	-0,33	2,59	2,26	2,32	6,41	1,05	0,21				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	-0,34	2,58	2,24	2,32	6,68	1,26	0,25				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	-0,43	2,55	2,12	2,23	7,44	1,46	0,29				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	-0,45	2,59	2,14	2,18	7,77	0,93	0,19				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	-0,45	2,52	2,07	2,12	8,57	1,03	0,21				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	-0,45	2,52	2,07	2,11	9,16	0,87	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	-0,45	2,48	2,03	2,07	9,87	0,94	0,19				
Melara	inizio vasca	21	403,93	-0,45	2,46	2,01	2,07	10,00	1,12	0,23				
Melara	fine vasca	22	410,85	-0,45	2,45	2,00	2,01	4,01	0,47	0,10				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	-0,45	2,45	2,00	2,01	4,08	0,48	0,10				
Melara	ME_C4	23	412,56	-0,44	2,44	2,00	2,01	3,86	0,36	0,07				
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	-0,50	2,40	1,90	2,00	3,63	1,40	0,29				
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	-0,50	2,41	1,91	1,98	14,70	1,15	0,24	2,35	2,35	0,44	0,44
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	-0,51	2,42	1,91	1,98	14,70	1,15	0,24	2,35	2,35	0,44	0,44
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	-0,51	2,44	1,93	1,96	15,20	0,78	0,16	2,35	2,35	0,42	0,42
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	-0,51	2,44	1,93	1,96	15,41	0,79	0,16	2,35	2,35	0,42	0,42

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere in progetto	Sommità DX opere in progetto	Franco idraulico SX	Franco idraulico DX
-	-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	m
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	-0,52	2,40	1,88	1,96	15,75	1,26	0,26	2,35	2,35	0,47	0,47
Melara		24	557,75	-0,52	2,34	1,82	1,95	16,10	1,59	0,33	2,35	2,68	0,53	0,86
Melara		25	566,82	-0,53	2,37	1,84	1,93	16,59	1,36	0,28				
Melara		26	586,66	-0,53	2,33	1,80	1,90	16,92	1,41	0,30				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	-0,54	2,30	1,76	1,86	16,91	1,43	0,30				
Melara	valle ME_P1	28	613,17	-0,55	1,70	1,15	1,34	16,91	1,93	0,47				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	-0,55	1,71	1,16	1,24	16,91	1,24	0,30				
Melara	ME_C5	30	659,55	-0,62	1,69	1,07	1,15	16,91	1,25	0,31				
Melara	ME_C5	31	708,16	-0,71	1,68	0,97	1,05	16,94	1,26	0,31				
Melara	ME_C5	32	741,98	-0,77	1,66	0,89	0,97	16,96	1,28	0,32				
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	-1,01	1,74	0,73	0,87	23,33	1,68	0,41				
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	-2,44	3,16	0,72	0,75	23,34	0,71	0,13				
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	-3,59	4,22	0,63	0,64	23,34	0,52	0,08				
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	-4,36	4,89	0,53	0,54	23,34	0,53	0,08				
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	-5,85	6,38	0,53	0,54	23,34	0,34	0,04				
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	-7,00	7,50	0,50	0,51	23,34	0,35	0,04				
Ramo canale prog		P1	0,00	-0,45	2,45	2,00	2,14	12,05	1,64	0,33	2,35	2,35	0,35	0,35
Ramo canale prog		P2	12,37	-0,46	2,45	1,99	2,13	12,03	1,64	0,33	2,34	2,34	0,35	0,35
Ramo canale prog		P3	27,00	-0,46	2,44	1,98	2,12	12,02	1,64	0,34	2,34	2,34	0,36	0,36
Ramo canale prog		P4	39,14	-0,47	2,44	1,97	2,11	12,01	1,65	0,34	2,33	2,33	0,36	0,36
Ramo canale prog		P5	57,26	-0,48	2,43	1,95	2,09	12,00	1,65	0,34	2,32	2,32	0,37	0,37
Ramo canale prog		P6	71,84	-0,48	2,42	1,94	2,08	11,99	1,65	0,34	2,32	2,32	0,38	0,38
Ramo canale prog		P7	110,40	-0,50	2,41	1,91	2,04	11,75	1,63	0,33	2,30	2,30	0,39	0,39

Tabella 13 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 500 anni. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

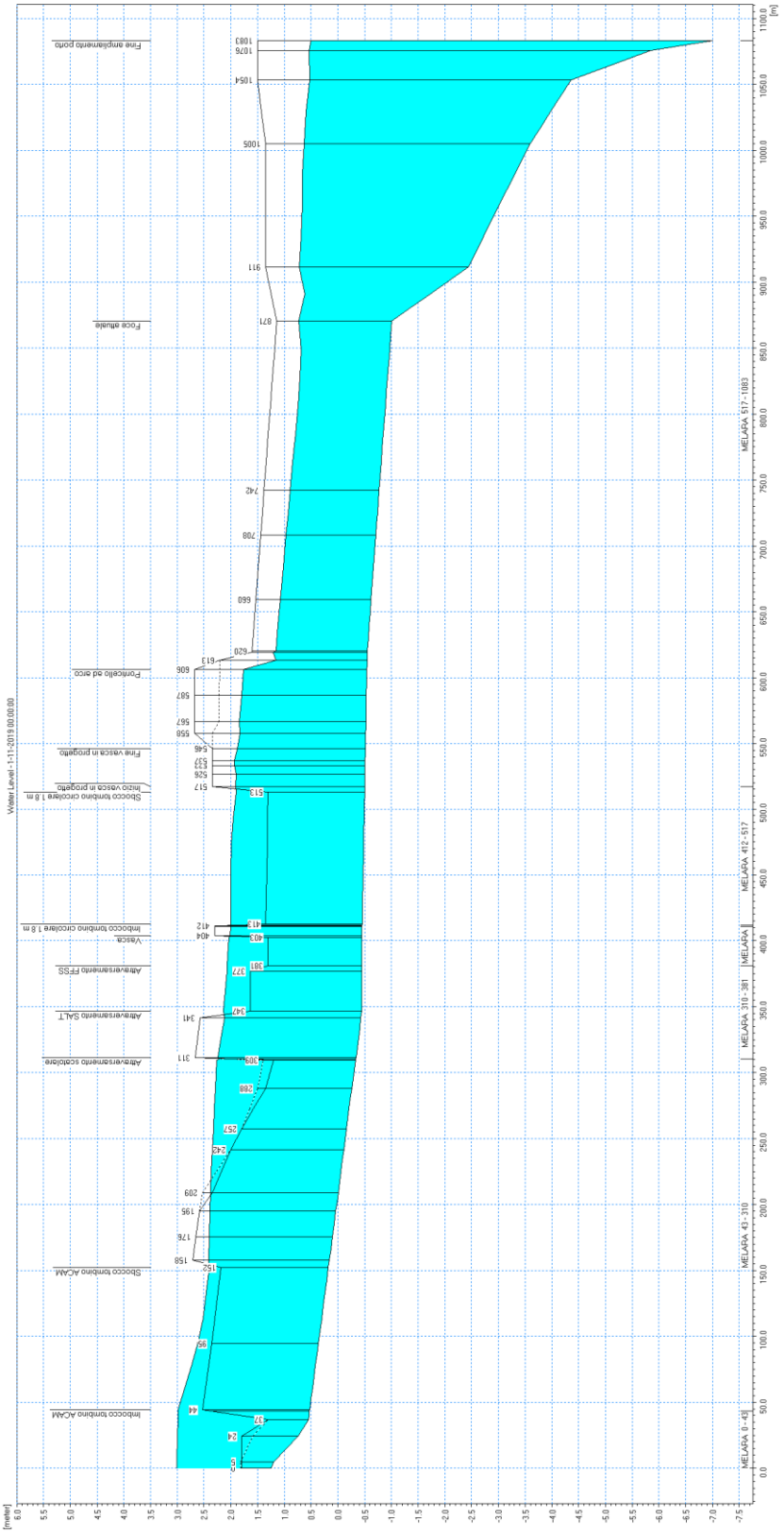


Figura 34 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul fosso Melara. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

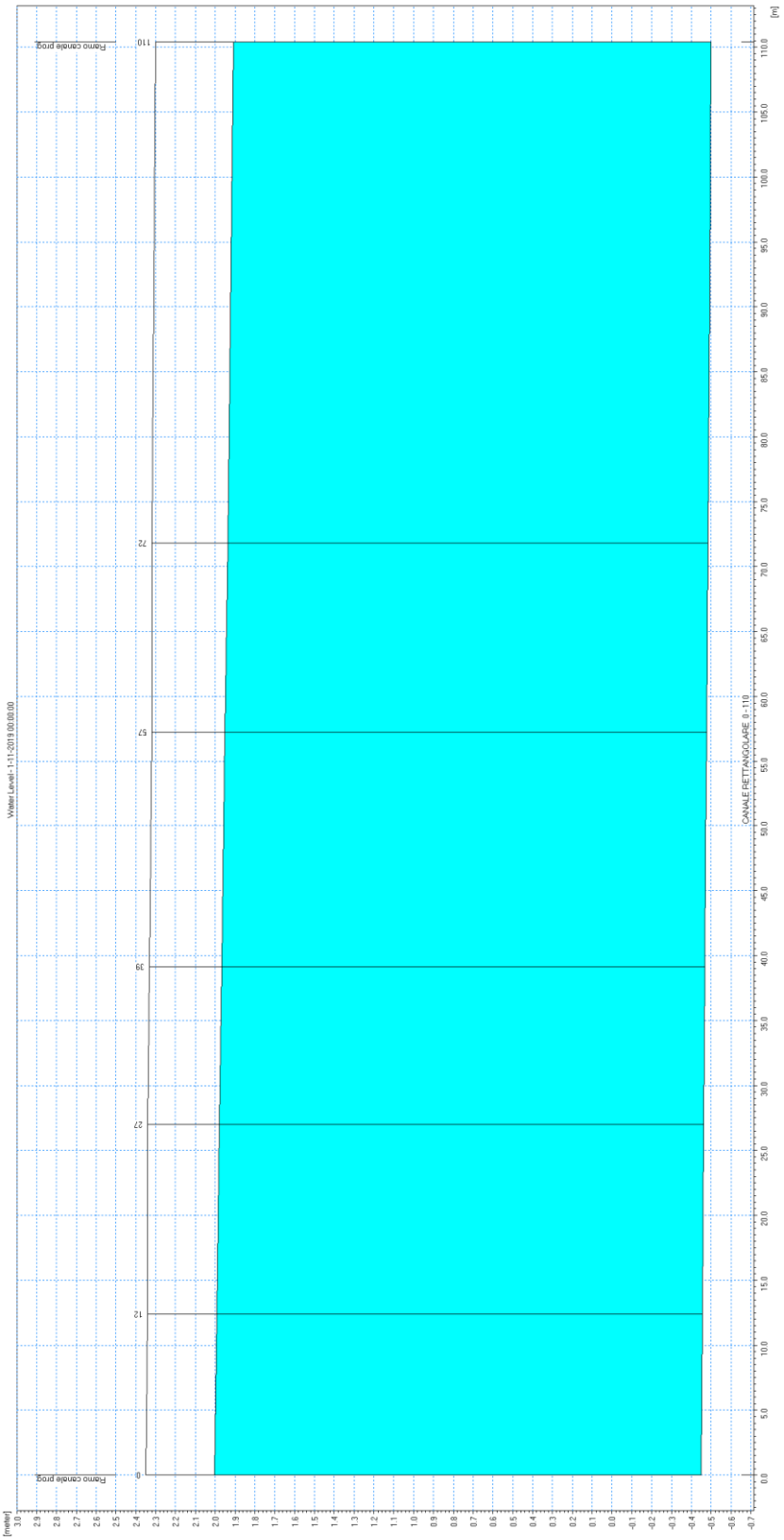


Figura 35 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul canale in progetto. Assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte.

6 ANALISI IDRAULICHE INTEGRATIVE

In ottemperanza alle raccomandazioni espresse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per il progetto di ampliamento del Terminal Ravano nel porto della Spezia (rif. Affare 58/2022, parere facoltativo CSLLPP ai sensi del D.P.R. 204/2006, art. 2, comma 1, lett. B, trasmesso via PEC all'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale e assunto con Protocollo N. 26190 del 10/10/2022) sono state eseguite delle ulteriori analisi idrauliche rispetto a quelle descritte in precedenza.
In particolare il parere citato riporta quanto segue per quanto attiene gli aspetti idraulici.
Si rileva inoltre che negli studi dell'AdSP viene considerato per lo sbocco dei canali e dei fossi in progetto un livello del mare pari a +0,50 m. Tuttavia, dagli elaborati trasmessi si rileva che la sola marea meteorologica (depurata della marea astronomica variabile tra +/- 8 cm e +-15 cm) assume valori più elevati (sovralzo calcolato pari a 53 cm per eventi con Tr= 2 anni; 0,68 cm Tr =10 anni; 0,83 cm Tr = 50 anni; 0,89 cm Tr = 100 anni). Vista la possibile concomitanza di eventi piovosi intensi e livelli di marea metereologica elevati, la Sezione raccomanda che vengano effettuati ulteriori studi e simulazioni atti ad approfondire gli eventuali effetti di possibili fenomeni di rigurgito nei suddetti fossi con i livelli di sbocco paragonabili a quelli calcolati per le maree, anche alla luce dei noti eventi meteorologici verificatisi nel recente passato. Ciò anche al fine di individuare possibili criticità nel terminal, la loro frequenza ed intensità, nonché, se del caso, le possibili modalità per minimizzarne le conseguenze. Non pare inopportuno sottolineare che, anche dalla semplice lettura dei livelli registrati dalla stazione mareografica di La Spezia il livello di +50 cm è stato superato quasi tutti gli anni.
Val la pena infine di rammentare che, nello studio con tempi di ritorno elevati, non si può trascurare l'effetto del SLR (innalzamento del livello dei mari). Le più recenti stime di tale innalzamento forniscono valori di +35 cm al 2070 e di +55 cm al 2100. E, tali previsioni, sono riferite ad uno "scenario medio" (RCP 4.5), mentre nello scenario più pessimistico (RCP 8.5), sono prevedibili incrementi dei livelli marini addirittura dell'ordine dei +84 cm al 2100 (con una "forchetta" [0.609 - 1.105]). Ovviamente questi incrementi del livello marino andranno aggiunti a quelli discussi in precedenza. Di questo fenomeno si dovrà ovviamente tenere conto nell'approfondimento dello studio.
Si precisa come il valore di livello del mare adottato nelle altre elaborazioni (0,50 m s.m.), per coerenza con le progettazioni pregresse approvate nell'ultimo decennio nel Comune di La Spezia, anche direttamente interferenti con il medesimo sito portuale (nuovi canali coperti di foce del torrente Vecchia Dorgia e del canale Fossamastra), sia effettivamente pari a un valore assimilabile al massimo annuale (tempo di ritorno prossimo a 2 anni).
Si ritiene tale assunzione adeguata a considerare la concomitanza di un evento di precipitazione di estrema intensità (tempo di ritorno duecentennale), in grado da risultare critico per i bacini in esame – quindi con una durata di pioggia breve, inferiore all'ora –, con un evento di marea metereologica gravoso ma non eccezionale, in modo da rappresentare condizioni maggiormente plausibili di contemporaneità (la concomitanza di eventi maggiormente gravosi corrisponderebbe a un tempo di ritorno superiore ai 200 anni di riferimento). Questi schemi di combinazione non sono infrequenti nella prassi progettuale: a titolo di esempio, la *Direttiva inerente le verifiche idrauliche (...)* dell'Autorità di Bacino regionale dell'Emilia Romagna indica che per portata fluviale con tempo di ritorno di 200 anni la verifica sia condotta con *livello marino statico equivalente pari alla media dei massimi annuali*.

Si conferma quindi l'assunzione di un livello di mare di 0,50 m s.m. per lo scenario di riferimento per la verifica progettuale; tuttavia, per dare riscontro a quanto raccomandato dal CSLLPP, si sono indagati scenari integrativi di maggiore gravosità, variando in aumento il livello idrico di valle, per indagare la resilienza delle opere in progetto a sollecitazioni più gravose di quelle di dimensionamento e analizzare il rischio residuale.
In particolare gli eventi idrologici di riferimento (associati a tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni) sono stati accoppiati a livelli di mare associati a tempi di ritorno di 10 anni e di 100 anni, analizzandone le differenze rispetto allo scenario di progetto (livello di mare associato a un tempo di ritorno di circa 2 anni).
Lo studio svolto utilizzando gli stessi modelli numerici e le stesse condizioni al contorno adottate per le analisi descritte in precedenza, è stato eseguito per ciascuno degli scenari di piena a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni, considerando le seguenti condizioni di marea:

- livello idrico 0,68 m s.m. con tempo di ritorno 10 anni;
- livello idrico 0,89 m s.m. con tempo di ritorno 100 anni.

Le simulazioni condotte per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni (di riferimento per il dimensionamento idraulico delle opere), valutando l'incidenza della variazione del livello di mare (range dei livelli idrici da 0,50 m s.m. a 0,89 m s.m.) sulla funzionalità idraulica dell'assetto di progetto, hanno messo in evidenza come, pur a fronte di una generale riduzione dei franchi idraulici, l'intervento in progetto resti in grado di contenere i livelli di piena, eliminando completamente gli attuali fenomeni di allagamento responsabili della pericolosità idraulica delle aree in esame.
Nel dettaglio, confrontando per la portata bicentenaria del Fosso la contemporaneità con una marea metereologica associata a un tempo di ritorno di 2 o di 100 anni, si può evincere che:

- nel nuovo canale in progetto all'interno dell'area SIMAN il franco idraulico minimo si riduce da 0,51 m a 0,33 m;
- il tombino circolare esistente di diametro 1,8 m di attraversamento della medesima area SIMAN mostra sempre un funzionamento in pressione, con carico idraulico statico equivalente, misurato rispetto all'intradosso della tubazione, che varia da -0,48 m a -0,65 m;
- nella tombinatura terminale esistente (fino alla foce attuale del fosso Melara) il franco idraulico minimo si riduce da 0,51 a 0,22 m;
- nel nuovo canale marino in corrispondenza del terminal Ravano in progetto il franco idraulico minimo si riduce da 0,97 m a 0,58 m.

Si osserva come nel canale marino vi sia una diretta corrispondenza, come atteso, tra il livello imposto a mare e quello nel canale stesso: ovvero, se il livello di mare sale di 39 cm, il franco si riduce di conseguenza della stessa quantità.
Diversamente accade invece per il tratto più a monte (area SIMAN), in quanto la presenza, poco a monte dell'imbocco della tombinatura terminale esistente, di un ponticello ad arco di dimensioni inadeguate provoca un significativo effetto di innalzamento localizzato dei livelli, con rigurgito del tratto di monte. Questa perdita di carico produce una parziale disconnessione idraulica, che smorza l'effetto verso monte dei maggiori livelli di mare: nell'area SIMAN il franco idraulico si riduce di circa la metà rispetto all'entità dell'innalzamento del livello di marea.
In Tabella 14 sono riassunti i franchi idraulici minimi per i vari tratti di interesse, per tutti i tempi di ritorno e livelli di mare indagati.

Tratto	TR=50 anni			TR=200 anni			TR=500 anni		
	Hv=0,50 (m s.m.)	Hv=0,68 (m s.m.)	Hv=0,89 (m s.m.)	Hv=0,50 (m s.m.)	Hv=0,68 (m s.m.)	Hv=0,89 (m s.m.)	Hv=0,50 (m s.m.)	Hv=0,68 (m s.m.)	Hv=0,89 (m s.m.)
Tombino esistente	-0.25	-0,32	-0,43	-0,48	-0,55	-0,65	-0,64	-0,69	-0,77
Canale in progetto	0,74	0,67	0,56	0,51	0,44	0,33	0,35	0,30	0,22
Tombinatura terminale	0,60	0,43	0,22	0,51	0,43	0,22	0,44	0,38	0,22
Nuovo canale marino	0,97	0,80	0,58	0,97	0,79	0,58	0,97	0,79	0,58

Tabella 14 – Andamento del franco idraulico di sicurezza.

Si osserva come anche per la portata catastrofica (a tempo di ritorno 500 anni) le opere in progetto continuano a manifestare un franco idraulico, pur minimo, evitando quindi fenomeni di esondazione.
Per maggiori dettagli sullo studio si rimanda al documento "Relazione Idraulica di Ottemperanza al Parere CSLLPP" allegato alla presente relazione (v. Allegato 2).

7 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi idraulica svolta, mediante applicazione di modellistica numerica integrata 1D-2D, ha mostrato che le opere in progetto risultano funzionali e idraulicamente compatibili, come di seguito esposto.

- Le nuove opere non generano innalzamenti di livello verso monte, bensì riducono l'attuale effetto di rigurgito dovuto all'inadeguatezza della tombinatura esistente, riducendo fortemente gli allagamenti e incidendo favorevolmente sulle condizioni di deflusso dei tratti fluviali a monte.
- Le geometrie di progetto sono adeguate a eliminare quasi completamente gli allagamenti nell'area degli Stagnoni, con rilevante mitigazione della pericolosità idraulica. Risultano solo limitate esondazioni residue in corrispondenza del sedime ferroviario, dovute non più all'effetto di rigurgito della tombinatura ma alla limitata capacità di deflusso dei fossi a lato della ferrovia, in relazione alle portate idrologiche teoriche ad essi attribuite.
- Tale contenimento delle esondazioni provoca limitati effetti di concentrazione delle portate verso valle, con incremento dei valori al colmo. Considerando la sezione di imbocco del nuovo canale marino, in cui confluiscono anche gli apporti dei rii minori, in assenza di interventi sul reticolo di monte la portata massima risulta pari a 17,2 m^3/s. Con l'intervento in progetto il valore massimo cresce a 21,0 m^3/s considerando che permangano gli allagamenti nell'area del depuratore a monte, e 21,8 m^3/s qualora questi ultimi fossero eliminati. Tale modesto incremento non risulta comunque aggravare la funzionalità idraulica delle opere a valle, in quanto esse sono state dimensionate con riferimento all'idrogramma teorico idrologico, il cui valore al colmo è pari a 22,7 m^3/s, cautelativamente superiore in quanto non tiene conto degli effetti di modifica degli idrogrammi indotti dalla propagazione degli stessi nel reticolo di monte.
- Le quote di sponda del nuovo canale e della vasca di sedimentazione sono tali da garantire un franco minimo di 0,50 m rispetto alla quota di massimo pelo libero osservabile in corrispondenza dell'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, con riferimento alle condizioni di simulazione più gravose (assenza di esondazioni a monte) e a un livello di mare, comprensivo del sovralzo per effetto di storm surge, pari a 0,50 m s.m.

L'intervento proposto nel presente documento consente quindi di realizzare una mitigazione del rischio idraulico riducendo in modo significativo le aree allagabili sul territorio urbano, ed in particolare:

- per eventi di piena con tempo di ritorno 50 anni: si evitano esondazioni – nell'attuale assetto idraulico dei tratti di monte – in tutta l'area a valle del depuratore;
- per eventi di piena con tempo di ritorno 200 e 500 anni: si evitano esondazioni nell'area artigianale limitrofa e che possano minacciare la galleria subalvea; permangono invece allagamenti residui sul sedime ferroviario, dovuti all'inadeguatezza delle sezioni dei due rami che si sviluppano a lato dei binari.

Sulla base delle aree esondabili ottenute dagli scenari di progetto indagati, a seguito dell'intervento si otterrebbe la perimetrazione di pericolosità idraulica rappresentata in Figura 37, in variante rispetto alla perimetrazione vigente del Piano di Bacino, che non tiene conto delle esondazioni a monte del depuratore, e a quella proposta nello studio del Comune (2021) rappresentata in Figura 36.

Le analisi aggiuntive condotte considerando la contemporaneità degli eventi di piena con una marea metereologica associata a un tempo di ritorno di 10 e di 100 anni hanno inoltre evidenziato che il sistema in progetto risulta sufficientemente "robusto" da assorbire innalzamenti del livello del mare di circa 40 cm senza fuoriuscite dei livelli di piena nei tratti oggetto di intervento, anche per tempi di ritorno di 500 anni, pur con franchi idraulici ridotti. Anche in queste condizioni l'intervento è dunque in grado di eliminare completamente gli attuali fenomeni di allagamento responsabili della pericolosità idraulica delle aree in esame
La stessa analisi consente di valutare la resilienza del sistema anche a possibili scenari di cambiamento climatico per i quali si ipotizza un innalzamento notevole del livello medio del mare. Considerando le condizioni di riferimento per i dimensionamenti idraulici (concomitanza degli eventi di piena con una marea metereologica "ordinaria" – TR circa 2 anni), dalle risultanze del presente studio si può affermare che il sistema risulti in grado di assorbire innalzamenti di livello di circa 40 cm, superiori all'incremento atteso al 2070 (RCP 4.5), mantenendosi efficace nel contrastare i fenomeni di allagamento delle aree circostanti.



Figura 36 – Estensione delle fasce A, B e C proposte per il Fosso Melara allo stato attuale nello studio del Comune di La spezia (2021).

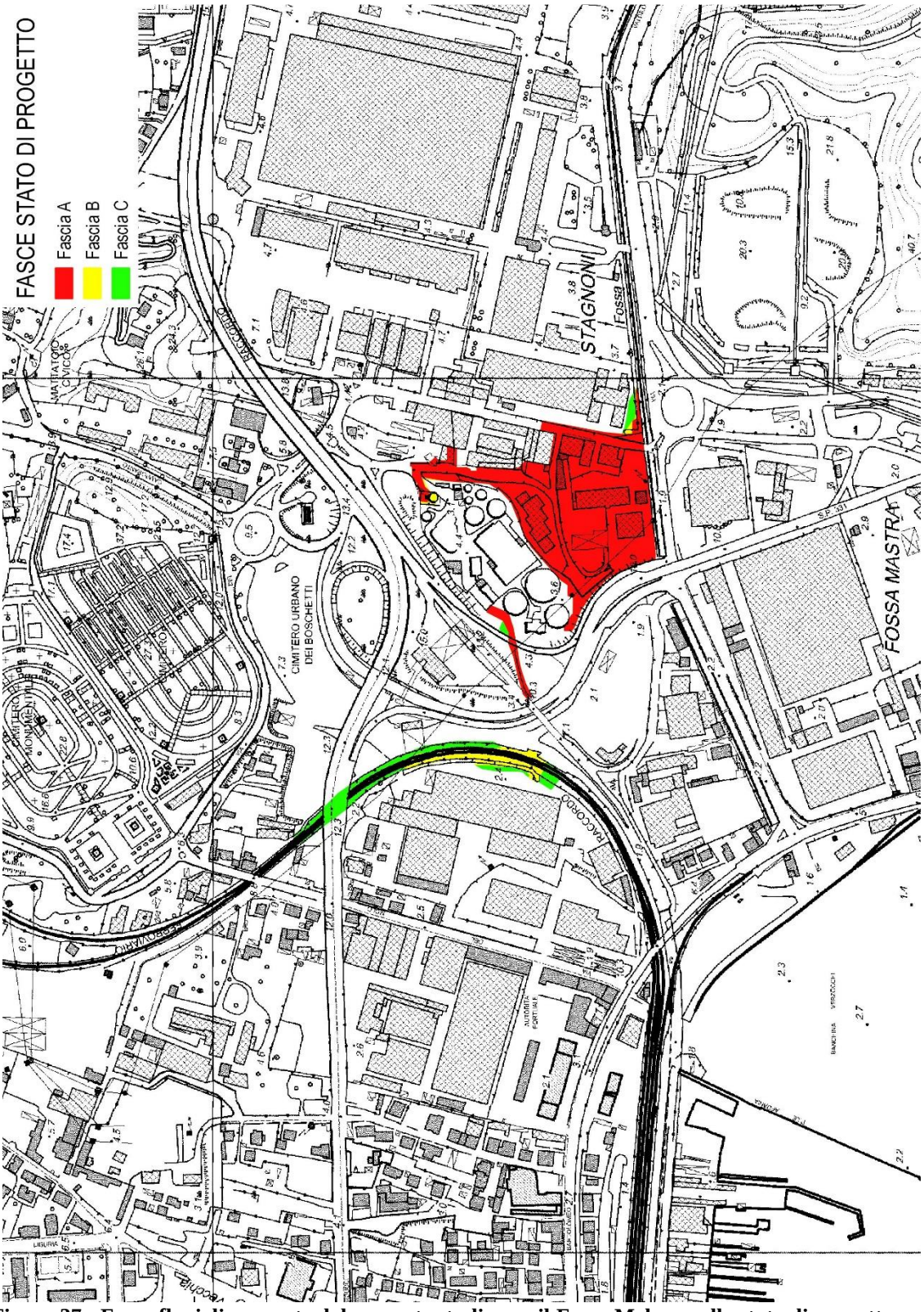


Figura 37 - Fasce fluviali proposte dal presente studio per il Fosso Melara nello stato di progetto.

HYDRODATA
INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Città della Spezia
Medaglia d'oro al Merito Civile
Medaglia d'argento al Valor Militare

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia

Aggiornamento e integrazione con definizione di possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico relativi ad alcune specifiche criticità puntuali



Analisi idrologica e di inquadramento geologico

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
A1721 Dott. Ing. Luca Aldo Remo Dutto

3636	-	0	3	-	0	0	1	0	0	.	DOC		2.1

REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE
00	LUG.21	M.CARGNELUTTI	L. DUTTO	L. DUTTO	

Hydrodata S.p.A.
via Pomba, 23
10123 Torino - Italia
Tel. +39 11 55 92 811
Fax +39 11 56 20 620
e-mail: hydrodata@hydrodata.it
sito web: www.hydrodata.it

INDICE

1. PREMESSA 1

2. REGOLARIZZAZIONE PROBABILISTICA DELLE SERIE STORICHE DI PRECIPITAZIONE 1

3. CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI CONTRIBUENTI 10

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO SINTETICO 17

5. CONSIDERAZIONI RELATIVE AL TRASPORTO SOLIDO 18
   - 5.1 Valutazione del massimo trasporto solido potenziale 18
   - 5.2 Caratterizzazione del materiale d'alveo 24
   - 5.3 Osservazioni conclusive 27

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO 30
   - 6.1 Modelli afflussi/deflussi 30
     - 6.1.1 Metodo CIMA 30
     - 6.1.2 Metodo razionale 33
     - 6.1.3 Tempi di corrivazione 33
   - 6.2 Portate al colmo di piena 37
   - 6.3 Determinazione e combinazione degli idrogrammi di piena 42

7. PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO 45
   - 7.1 Bacino 01: Fosso Pezzogrande 45
   - 7.2 Bacino 02: Canalone 46
   - 7.3 Bacino 03: Pagliari 47
   - 7.4 Bacino 04: Fossamastra 49
   - 7.5 Bacino 05: Melara 51
   - 7.6 Bacino 06: Vecchia Dorgia 52
   - 7.7 Bacino 07: Nuova Dorgia 53
   - 7.8 Bacino 08: Rossano 54
   - 7.9 Bacino 09: Cappelletto 55
   - 7.10 Bacino 10: Val Dell'Ora 56
   - 7.11 Bacino 11: Lagora 57
   - 7.12 Bacino 12: Fosso di Caporacca 59
   - 7.13 Bacino 13: Pianello 59
   - 7.14 Bacino 14: Canale del Netto 60

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE11 - UHM
ALLEGATO 2 – Certificati delle analisi granulometriche del materiale d'alveo

1. PREMESSA

Il Comune della Spezia ha affidato nel maggio 2019 all'Associazione Temporanea di Imprese (nel seguito ATI) tra Hydrodata S.p.A. (capogruppo mandataria) e ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l. (mandante) il servizio di *redazione di uno studio idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia, con particolare riferimento all'area del levante cittadino, a supporto delle attività di protezione civile e del Piano Urbanistico Comunale* (CIG 7515291652 - CUP G44C18000080001).

A seguito della consegna dello studio (dicembre 2019) e del successivo iter di revisione, è emersa l'opportunità di aggiornare l'analisi di stato attuale per alcuni corpi idrici in relazione alla disponibilità di nuove informazioni e rilievi di dettaglio, oltre a predisporre una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica sull'area di studio. In relazione al generale ampliamento di queste ultime rispetto a quanto precedentemente perimetrato nel Piano di Bacino vigente, a causa delle analisi condotte su tratti di reticolo idrografico precedentemente non studiati dal punto di vista dell'assetto idraulico, è apparso inoltre opportuno identificare già da subito possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico relativi a specifiche criticità puntuali.

È stato dunque conferito incarico dal Comune alla scrivente Hydrodata S.p.A. (CIG ZC92FBBB86 – CUP G44C18000080001) per il presente studio integrativo con le finalità sopra descritte.

Per omogeneità e semplicità di consultazione si è provveduto a una riemissione completa dello studio pregresso, anche nelle parti che non hanno subito modifiche; il presente aggiornamento sostituisce quindi integralmente lo studio pregresso.

Tale studio è strutturato in 4 fasi operative principali:

1. caratterizzazione dell'assetto attuale dei corsi d'acqua;
2. analisi idrologica;
3. analisi idrauliche e definizione delle fasce di esondabilità attuali;
4. sintesi dello studio e indicazione di possibili interventi per la mitigazione del rischio.

Il presente documento, relativo alla fase 2, descrive le analisi svolte per l'aggiornamento dell'idrologia di piena dei bacini in esame, finalizzata alla determinazione degli idrogrammi di piena caratteristici dei bacini e sottobacini di interesse per diversi tempi di ritorno.

2. REGOLARIZZAZIONE PROBABILISTICA DELLE SERIE STORICHE DI PRECIPITAZIONE

Al fine di valutare il possibile effetto dei recenti cambiamenti climatici sull'entità degli eventi di piena sui bacini ricadenti nel territorio di competenza del Comune di La Spezia, è stata inizialmente condotta una caratterizzazione pluviometrica basata sulla determinazione delle curve di possibilità climatica di assegnato tempo di ritorno a partire dalle serie storiche delle massime precipitazioni annue di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore e inferiori all'ora della singola stazione pluviometrica di La Spezia del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e dell'Arpa Liguria per gli anni recenti.

I dati di precipitazione della stazione di La Spezia, fino all'anno 1986 compreso, sono stati ricavati dall'analisi idrologica contenuta nello studio: "Provincia della Spezia - Piano di Bacino Ambito 20 - Golfo della Spezia" (vedi Tabella 1).

Le serie disponibili per le varie durate della stazione di La Spezia gestita dall'ARPAL Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure sono state estese fino agli anni più recenti nel seguente modo:

- utilizzando i valori massimi di precipitazione contenuti nel CD allegato allo studio dell'ARPAL "Atlante climatico della Liguria" per gli anni 2004÷2010;
- impiegando le serie storiche dei valori massimi di precipitazione fornite su richiesta direttamente dall'ARPAL per gli anni 2011÷2018.

Nella Tabella 2 sono riportate le serie storiche dell'ARPAL disponibili per gli anni più recenti (dal 2004 al 2018).

Anno	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	1h	3h	6h	12h	24h
1935			26.4	*26.8*	*27.2*	*27.6*	30.0	45.0	52.8	69.2	104.0
1936	6.6			19.6			27.0	53.6	68.6	106.0	119.0
1937		17.2		40.6			48.8	72.4	78.0	78.8	94.0
1938						36.0	42.0	46.2	47.8	48.0	75.8
1939		15.8					46.8	62.6	81.4	91.2	96.6
1940						36.6	39.6	52.6	56.8	75.6	94.4
1941		13.8	14.2	21.8			33.0	55.2	65.6	84.6	101.8
1942											
1943						40.0	46.0	60.4	62.0	71.4	73.8
1944						24.8	30.6	45.0	50.0	80.0	88.4
1945						19.4	22.6	37.2	45.8	57.6	63.2
1946						21.0	31.0	51.0	70.0	75.0	92.4
1947						30.0	34.0	43.6	68.0	99.0	165.0
1948						37.0	58.6	83.4	84.4	85.0	88.8
1949						41.0	56.6	85.6	87.0	91.0	116.4
1950						32.2	46.2	80.6	86.8	90.8	114.8
1951		8.0					22.4	41.4	53.6	53.8	85.6
1952		12.0				26.0	45.0	69.8	112.8	126.0	135.0
1953		15.0					34.0	72.2	86.6	91.2	150.2
1954							57.0	90.0	139.4	146.0	156.0
1955						20.0	31.0	33.4	40.8	57.8	106.8
1956											
1957		8.6	10.4				18.8	38.4	46.6	89.6	111.8
1958											
1959		11.4	12.9	14.4			37.2	64.4	82.6	84.0	92.6
1960		13.0		20.0			29.6	61.6	88.6	111.2	119.0
1961		15.4	15.7	16.0		25.0	38.2	44.4	52.2	77.2	110.2
1962		11.0					18.8	29.6	32.8	37.2	51.0
1963							46.8	49.8	52.6	67.6	98.4
1964			24.0			27.6	32.8	47.0	60.4	61.6	80.8
1965				20.0			33.0	38.0	47.8	88.8	113.0
1966		15.0					21.0	32.2	41.0	54.4	80.8
1967				22.0			38.4	67.6	74.8	86.0	91.0
1968				37.0			68.2	70.8	93.0	109.4	147.0
1969		13.0		21.8			39.0	51.8	61.8	71.4	78.0
1970							54.4	64.0	89.8	104.6	106.0
1971	19.0	20.0					45.0	67.0	89.6	89.6	89.6
1972		10.0		17.0	*18.2*	*19.5*	22.0	41.4	66.6	81.0	93.8
1973				27.6			36.0	38.2	38.2	39.8	61.8
1974		10.0					29.0	33.6	35.8	48.6	56.2
1975											
1976	9.8	16.7	16.7	16.7	*16.7*	*16.7*	16.7	29.5	49.3	61.7	75.6
1977		7.8	7.8	11.7	*11.7*	*11.7*	11.8	28.8	35.0	50.4	53.0
1978					10.4	10.8	15.8	34.8	56.0	91.2	105.8
1979		11.0	14.4		22.8	27.2	40.4	50.4	66.8	86.2	96.6
1980		10.2	11.6	13.0	14.4	15.8	20.2	36.8	39.0	53.4	53.4
1981											
1982		10.6	11.2	11.8	12.4	13.0	17.2	38.2	47.0	51.6	58.2
1983				11.2	12.6	14.0	27.0	29.4	29.4	36.0	53.4
1984											
1985		11.0	12.6	14.2	15.6	15.8	17.0	21.8	30.4	51.0	74.2
1986							18.4	40.0	44.0	63.8	73.8

Tabella 1 - Stazione di La Spezia - Valori annui delle precipitazioni massime per le durate di 5, 10, 15, 20, 25, 30 minuti e 1, 3, 6, 12, 24 ore del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (fonte: "Provincia della Spezia - Piano di Bacino Ambito 20 - Golfo della Spezia").

ANNO	5min	10min	15min	20min	25min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h
2004	6,6	9,8	11,8	13,4	16,4	19,0	23,0	30,6	40,2	52,6	67,4	68,4
2005	7,8	13,4	19,0	24,0	27,4	30,6	35,4	35,8	53,2	67,2	67,2	67,2
2006	8,4	15,0	18,6	19,8		23,2	25,3	26,6	46,2	64,8	71,4	71,4
2007	11,2	19,4	24,6	28,6		35,0	48,2	50,0	90,0	91,8	91,8	112,0
2008	5,8	9,6	13,8	16,2		19,8	20,8	21,0	29,2	37,8	46,4	58,8
2009	9,2	15,6	22,2	30,4		40,2	42,2	43,2	65,4	67,4	75,8	102,8
2010	7,4	12,6	17,8	22,6		26,8	33,0	40,2	74,2	74,4	108,0	138,4
2011		13,4	19,2	22,2		24,2		28,0	33,8	52,0	65,8	67,8
2012		13,2	17,4	20,8		24,6		36,0	56,2	70,6	94,0	103,6
2013		12,0	16,0	22,0		28,0		34,8	54,2	78,0	101,8	113,4
2014		15,6	18,8	21,8		23,6		35,0	44,6	50,4	76,0	106,4
2015		15,0	23,6	29,6		40,6		66,6	116,6	118,6	119,6	120,0
2016		14,0	17,4	22,8		30,8		41,4	47,6	87,4	99,2	100,2
2017		10,6	11,8	12,4		12,6		20,6	43,0	52,4	81,6	93,0
2018		13,4	16,8	20,0		23,8		27,6	51,0	60,2	67,2	91,2

Tabella 2 - Stazione di La Spezia dell'ARPAL - Valori delle precipitazioni massime di durata 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 minuti e 1, 3, 6, 12, 24 ore.

Entrambe le serie storiche dei dati di precipitazione di durata 1÷24 ore della stazione di La Spezia (denominate nel seguito "old" quella fino al 1986 compreso, con 46 anni di osservazioni, e "new" quella completa, con 61 anni di osservazioni) sono state sottoposte a regolarizzazione probabilistica al fine della determinazione delle curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni nella forma:

$$h = a \cdot t^n.$$

Il programma di calcolo utilizzato ha analizzato l'adattamento dei dati storici a 3 diversi tipi di funzioni teoriche di distribuzione probabilistica:

- Y1 - distribuzione log-normale (Galton)
$$f(y) = \frac{1}{y \cdot s \cdot \sqrt{2\pi}} exp[-(ln\, y - m)^2/(2s)^2]$$ con parametri: s,m

- Y2 - distribuzione di Pearson Type III (funz. gamma)
$$f(y) = \frac{1}{s\Gamma(p)} \cdot (\frac{y-a}{s})^{p-1} \cdot exp\left[-\frac{y-a}{s}\right]$$ con parametri: s, p, a

- Y3 - distribuzione di Fisher-Tippett Type I (Gumbel)
$$f(y) = \frac{1}{a} \cdot exp\left[\frac{z-y}{a} - exp(\frac{z-y}{a})\right]$$ con parametri: a, z

La stima dei parametri è avvenuta utilizzando il metodo della massima verosimiglianza (*maximum likelihood*).

Noti i parametri, per i diversi tipi di distribuzione, i valori richiesti di Y (altezza di pioggia massima per un assegnato tempo di ritorno TR) soddisfano la condizione per cui l'integrale esteso tra Y e infinito di f(y)dy è uguale a 1/TR, valore che rappresenta la probabilità che in un anno l'altezza massima di pioggia superi Y.

Per indirizzare la scelta del tipo di distribuzione che meglio si adatta alla serie storica delle osservazioni, sono stati calcolati i valori SQM e PROB. Il primo rappresenta lo scarto quadratico medio degli scostamenti tra le distribuzioni teoriche ed osservate delle frequenze di non superamento ($FC_i - FC_0$). Il secondo rappresenta la probabilità, secondo il test di Kolmogorov-Smirnov, che la distribuzione teorica rappresenti adeguatamente la distribuzione osservata.

Nella Tabella 3 sono riportati a confronto, per la serie "new" e per la serie "old", i valori delle altezze di precipitazione calcolate con le tre funzioni probabilistiche per le varie durate dell'evento (1÷24 ore) e per gli assegnati tempi di ritorno, nonché i coefficienti "a" e "n" delle curve interpolanti $h=a \cdot t^n$.

		NEW			OLD			VARIAZIONE		
		Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3
TR10	**1 ora**	53,05	52,58	52,78	53,60	52,93	53,01	-1,03%	-0,66%	-0,43%
	3 ore	76,18	76,50	75,42	73,91	73,31	73,51	3,07%	4,35%	2,60%
	6 ore	94,07	94,54	93,71	93,44	96,63	92,41	0,67%	-2,16%	1,41%
	12 ore	109,98	108,16	112,06	109,71	107,77	111,02	0,25%	0,36%	0,94%
	24 ore	130,85	129,25	132,81	132,43	130,67	133,89	-1,19%	-1,09%	-0,81%
	a	56,67	57,25	55,61	56,02	58,00	54,65	1,16%	-1,29%	1,76%
	n	0,283	0,280	0,291	0,286	0,285	0,293	-1,05%	-1,75%	-0,68%
TR20	**1 ora**	61,08	59,77	60,52	62,24	60,49	61,01	-1,86%	-1,19%	-0,80%
	3 ore	86,28	86,34	85,54	83,56	81,92	83,36	3,26%	5,40%	2,62%
	6 ore	106,57	106,90	106,23	106,46	112,12	105,24	0,10%	-4,66%	0,94%
	12 ore	122,72	118,73	126,42	123,09	118,78	125,57	-0,30%	-0,04%	0,68%
	24 ore	145,12	141,34	149,10	147,48	143,33	150,65	-1,60%	-1,39%	-1,03%
	a	65,55	66,29	63,75	65,22	68,78	62,94	0,51%	-3,62%	1,29%
	n	0,271	0,267	0,285	0,273	0,273	0,287	-0,73%	-2,20%	-0,70%
TR50	**1 ora**	71,56	68,65	70,54	73,62	69,85	71,38	-2,80%	-1,72%	-1,18%
	3 ore	99,26	98,52	98,64	95,92	92,44	96,11	3,48%	6,58%	2,63%
	6 ore	122,64	122,29	122,87	123,31	131,92	121,80	-0,54%	-7,30%	0,88%
	12 ore	138,82	131,40	145,00	140,12	132,03	144,42	-0,93%	-0,48%	0,40%
	24 ore	163,05	155,80	170,17	166,49	158,48	172,34	-2,07%	-1,69%	-1,26%
	a	77,21	77,77	74,55	77,39	82,81	73,67	-0,23%	-6,09%	1,19%
	n	0,258	0,253	0,279	0,260	0,260	0,281	-0,77%	-2,69%	-0,71%
TR100	**1 ora**	79,56	75,09	78,05	82,35	76,66	79,16	-3,39%	-2,05%	-1,40%
	3 ore	108,97	107,35	108,47	105,17	99,97	105,65	3,61%	7,38%	2,67%
	6 ore	134,68	133,45	135,17	136,00	146,57	134,23	-0,97%	-8,95%	0,70%
	12 ore	150,71	140,30	158,91	152,76	141,36	158,54	-1,34%	-0,75%	0,23%
	24 ore	176,22	165,94	185,97	180,48	169,13	188,59	-2,36%	-1,89%	-1,39%
	a	86,14	86,27	82,56	86,75	93,37	81,73	-0,70%	-7,60%	1,02%
	n	0,249	0,243	0,275	0,251	0,252	0,277	-0,80%	-3,57%	-0,72%
TR200	**1 ora**	87,66	81,29	85,54	91,23	82,68	86,88	-3,91%	-1,68%	-1,54%
	3 ore	118,68	115,97	118,26	114,42	107,18	115,18	3,72%	8,20%	2,67%
	6 ore	146,73	144,31	147,44	148,76	161,00	146,60	-1,36%	-10,37%	0,57%
	12 ore	162,49	149,29	172,78	165,31	150,25	172,62	-1,71%	-0,64%	0,09%
	24 ore	189,20	175,58	201,70	194,32	179,27	204,79	-2,63%	-2,06%	-1,51%
	a	95,20	94,56	90,55	96,30	103,53	89,75	-1,14%	-8,66%	0,89%
	n	0,241	0,236	0,272	0,243	0,246	0,274	-0,82%	-4,07%	-0,73%
TR500	**1 ora**	98,57	89,29	95,41	103,30	91,74	97,09	-4,58%	-2,67%	-1,73%
	3 ore	131,64	127,01	131,17	126,72	116,48	127,73	3,88%	9,04%	2,69%
	6 ore	162,78	158,29	163,65	165,82	179,83	162,92	-1,83%	-11,98%	0,45%
	12 ore	177,99	159,49	191,08	181,93	161,49	191,19	-2,17%	-1,24%	-0,06%
	24 ore	206,21	187,74	222,46	212,53	192,06	226,15	-2,97%	-2,25%	-1,63%
	a	107,47	105,55	101,10	109,29	117,81	100,34	-1,67%	-10,41%	0,76%
	n	0,232	0,226	0,269	0,233	0,236	0,271	-0,43%	-4,24%	-0,74%

Tabella 3 - Stazione di La Spezia – Risultati delle regolarizzazioni probabilistiche per durate 1÷24 ore.

Nella stessa tabella è stata calcolata anche la variazione percentuale tra i corrispondenti valori "old" e "new": i valori negativi evidenziano un probabile trend di "diminuzione" delle precipitazioni intense negli anni recenti mentre i valori positivi evidenziano un probabile trend di "aumento" delle precipitazioni intense negli anni recenti.

Nella Tabella 4 sono riportati i risultati dei test di significatività statistica: lo scarto quadratico medio rispetto alla curva teorica (SQM) ed il valore di probabilità secondo il test di Kolmogorov-Smirnov (PROB).

		NEW			OLD		
		Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3
1 ora	SQM	0,033	0,030	0,031	0,042	0,039	0,039
	PROB	0,958	0,981	0,946	0,958	0,978	0,939
3 ore	SQM	0,021	0,019	0,024	0,032	0,034	0,034
	PROB	1,000	1,000	0,999	0,971	0,984	0,938
6 ore	SQM	0,026	0,025	0,028	0,031	0,030	0,034
	PROB	0,985	0,998	0,981	0,976	0,993	0,944
12 ore	SQM	0,034	0,027	0,036	0,046	0,041	0,047
	PROB	0,924	0,987	0,899	0,798	0,907	0,797
24 ore	SQM	0,037	0,030	0,040	0,035	0,030	0,038
	PROB	0,692	0,904	0,560	0,902	0,990	0,829

Tabella 4 - Stazione di La Spezia – Risultati dei test di significatività statistica: scarto quadratico medio rispetto alla curva teorica (SQM) ed valore di probabilità secondo il test di Kolmogorov-Smirnov (PROB).

Analizzando le elaborazioni condotte e in particolare la Y3 (Gumbel) si osserva che:
- per le durate di 1 e 24 ore il trend risulta negativo;
- per la durata di 3 ore il trend risulta positivo;
- per le durate di 6 e 12 ore il trend risulta debolmente positivo.

In questo caso le valutazioni del trend sono fortemente condizionate dal tipo di regolarizzazione probabilistica scelta, dal grado di interpolazione raggiunto e dalla modalità di estrapolazione condotta per elevati tempi di ritorno.

Nella Tabella 5 sono riportati a confronto i valori della "pioggia indice" relativi alle varie durate di precipitazione, calcolati per la serie "old" e la serie "new":
- l'incremento maggiore si ha per la durata di 3 ore;
- incrementi più modesti si osservano anche per le durate di 1, 6 e 12 ore;
- la variazione è circa nulla per la durata di 24 ore.

Quest'ultima valutazione ha una maggiore valenza rispetto alla precedente perché basata unicamente su una operazione di media condotta su serie storiche di misura.

	1h	3h	6h	12h	24h
Serie "old" (media anni 1935÷1986)	34,2	50,7	62,8	76,6	94,5
Serie "new" (media anni 1935÷2018)	34,6	52,1	64,2	78,0	94,5
Variazione percentuale	1,14%	2,76%	2,18%	1,79%	-0,05%

Tabella 5 - Stazione di La Spezia – Valori della "pioggia indice".

Nella Figura 1 è rappresentato un confronto grafico tra i valori massimi di precipitazione di durata 1÷24 ore relativi ai due periodi 1935÷1986 e 2004÷2018. Al fine di agevolare il confronto sono state anche riportate le rette di tendenza definite sui due distinti periodi: nel primo periodo i trend sono negativi mentre nel secondo sono positivi. Nella Figura 2, sullo stesso grafico della figura precedente, sono invece rappresentate le rette di tendenza relative al periodo complessivo 1935÷2018 che evidenziano, per tutte le durate di precipitazione, un modesto trend negativo.

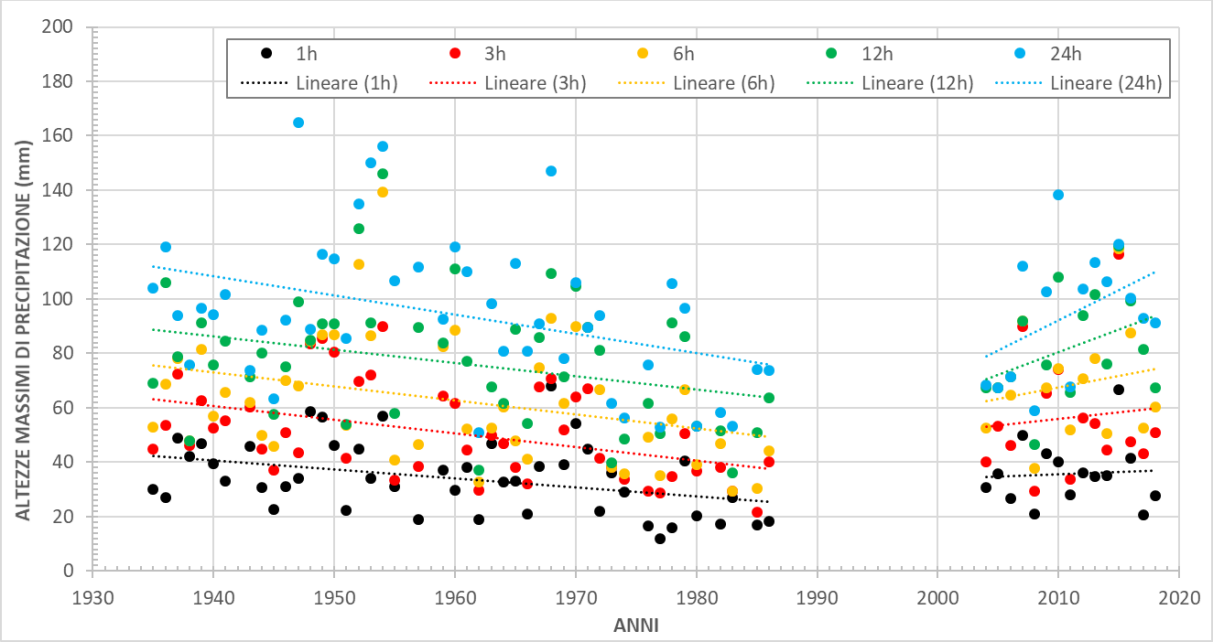


Figura 1 – Confronto tra i valori e le rette di tendenza dei due periodi 1935÷1986 e 2004÷2018.

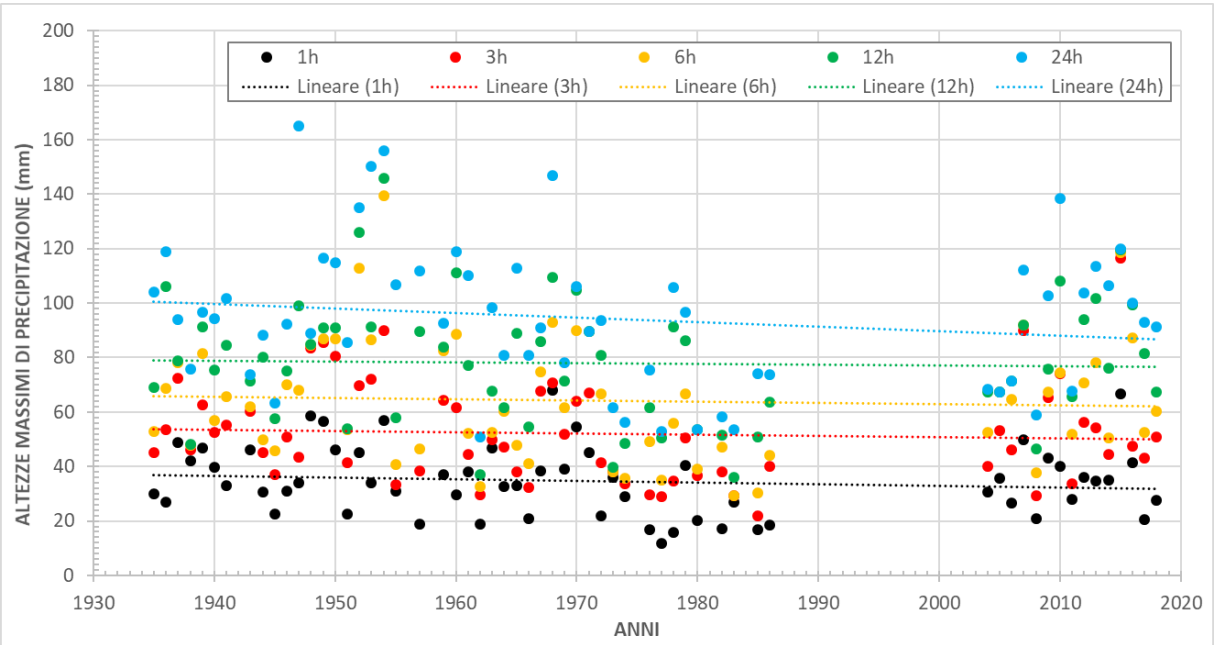


Figura 2 – Rette di tendenza relative al periodo complessivo 1935÷2018.

In conclusione, le valutazioni condotte non evidenziano un chiaro e significativo incremento delle precipitazioni massime di durata 1÷24 ore negli anni recenti rispetto al periodo storico complessivo.

Dopo aver analizzato le serie storiche dei dati di precipitazione di durata 1÷24 ore, anche le serie storiche dei dati di precipitazione di durata inferiore all'ora della stazione di La Spezia sono state sottoposte a regolarizzazione probabilistica, seguendo la stessa metodologia sopra descritta. In sintesi, si è operato come segue:

- per poter elaborare un maggior numero di anni di osservazione sono state considerate soltanto le serie complete disponibili dal 1935 al 2018;
- sono state elaborate singolarmente solo le serie storiche con un numero significativamente elevato di anni di osservazione: 10 minuti (37 anni), 15 minuti (27 anni), 20 minuti (34 anni) e 30 minuti (39 anni);
- sono state applicate le stesse funzioni teoriche di distribuzione probabilistica (Y1, Y2 e Y3) e considerati gli stessi tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni.

Nella Tabella 6 sono riportati i valori delle altezze di precipitazione calcolate con le tre funzioni probabilistiche per le varie durate dell'evento considerate e per gli assegnati tempi di ritorno, mentre nella Tabella 7 sono elencati i corrispondenti risultati ottenuti dei test di significatività statistica.

		Y1	Y2	Y3
TR10	10 minuti	16,96	16,80	17,30
	15 minuti	23,19	22,92	23,45
	20 minuti	30,09	29,72	29,94
	30 minuti	38,18	37,17	38,29
TR20	10 minuti	18,45	18,08	19,14
	15 minuti	25,81	25,26	26,38
	20 minuti	33,87	32,88	33,85
	30 minuti	43,60	41,43	43,74
TR50	10 minuti	20,27	19,61	21,52
	15 minuti	29,13	28,09	30,16
	20 minuti	38,69	36,69	38,89
	30 minuti	50,63	46,60	50,80
TR100	10 minuti	21,59	20,67	23,31
	15 minuti	31,57	30,11	33,00
	20 minuti	42,27	39,37	42,69
	30 minuti	55,86	50,26	56,09
TR200	10 minuti	22,87	21,68	25,08
	15 minuti	33,98	32,03	35,83
	20 minuti	45,86	41,93	46,47
	30 minuti	61,26	53,76	61,35
TR500	10 minuti	24,52	22,94	27,43
	15 minuti	37,16	34,48	39,56
	20 minuti	50,60	45,18	51,45
	30 minuti	68,41	58,21	68,30

Tabella 6 - Stazione di La Spezia – Risultati delle regolarizzazioni probabilistiche per durate inferiori all'ora.

		Y1	Y2	Y3
10 minuti	SQM	0,036	0,034	0,038
	PROB	0,933	0,939	0,896
15 minuti	SQM	0,034	0,035	0,035
	PROB	1,000	1,000	0,998
20 minuti	SQM	0,048	0,045	0,050
	PROB	0,764	0,929	0,702
30 minuti	SQM	0,038	0,033	0,036
	PROB	0,896	0,994	0,933

Tabella 7 - Stazione di La Spezia – Risultati dei test di significatività statistica (SQM e PROB) per durate inferiori all'ora.

Osservando i risultati dei test statistici e la distribuzione su piano bi-logaritmico (t-h) dei valori di altezza di precipitazione di assegnato tempo di ritorno calcolati con le tre leggi considerate si può affermare che:

- la distribuzione Y2 presenta i valori migliori dei test statistici, essendo a tre parametri, ma per contro tende a fornire per alti tempi di ritorno valori di altezze di precipitazione non regolarmente distribuite per le varie durate;
- le distribuzioni Y1 e Y3 forniscono valori dei test statistici e delle altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno del tutto confrontabili e poco discosti tra loro;
- la distribuzione Y3 (Gumbel) è generalmente la più utilizzata in idrologia e nel caso in esame fornisce risultati certamente affidabili.

Si è scelto pertanto di fare riferimento alla distribuzione di Gumbel per la definizione delle curve di possibilità pluviometrica di "progetto". Nella Tabella 8 sono riportati, sia per le durate inferiori all'ora che per quelle superiori all'ora, i valori delle altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno calcolate con tale distribuzione.

DURATA	h-TR10 (mm)	h-TR20 (mm)	h-TR50 (mm)	h-TR100 (mm)	h-TR200 (mm)	h-TR500 (mm)
10 minuti	17,30	19,14	21,52	23,31	25,08	27,43
15 minuti	23,45	26,38	30,16	33,00	35,83	39,56
20 minuti	29,94	33,85	38,89	42,69	46,47	51,45
30 minuti	38,29	43,74	50,80	56,09	61,35	68,30
1 ora	52,78	60,52	70,54	78,05	85,54	95,41
3 ore	75,42	85,54	98,64	108,47	118,26	131,17
6 ore	93,71	106,23	122,87	135,17	147,44	163,65
12 ore	112,06	126,42	145,00	158,91	172,78	191,08
24 ore	132,81	149,10	170,17	185,97	201,70	222,46

Tabella 8 - Stazione di La Spezia – Altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno in base alla regolarizzazione di Gumbel (Y3) per le durate di precipitazione inferiori e superiori all'ora.

Diagrammati i valori indicati nella Tabella 8 su piano bi-logaritmico (vedi Figura 3), si è osservato un cambio di pendenza nella distribuzione dei valori di durata inferiore all'ora rispetto a quelli di durata 1÷24 ore, come usualmente accade. Per ogni tempo di ritorno considerato si è pertanto ricercata una coppia di curve (rette sul piano bi-logaritmico) che interpolasse con continuità temporale i valori diagrammati.

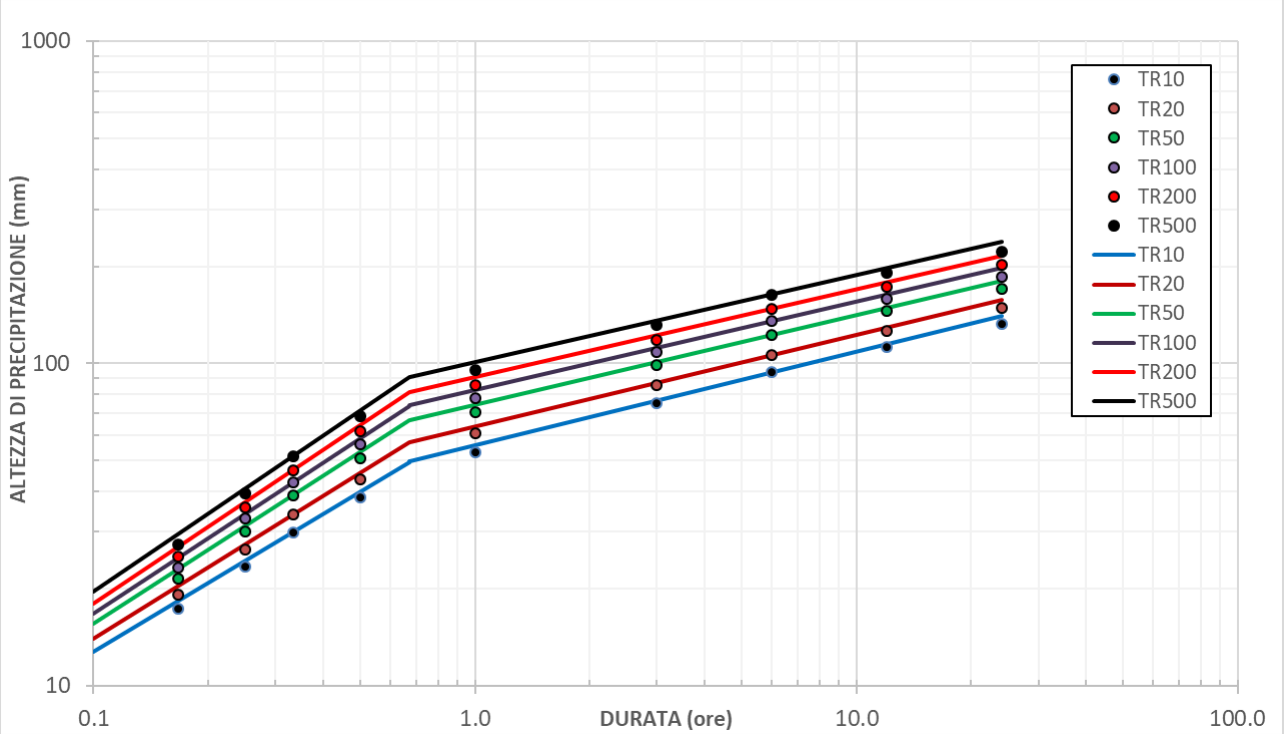


Figura 3 – Curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori e superiori a 40 minuti.

Le curve hanno espressione:

- $h = a \cdot t^n$ per durate di precipitazione maggiori di Dc (durata corrispondente al cambio di pendenza della retta sul piano bi-logaritmico);
- $h = a_1 \cdot t^{n_1}$ per durate di precipitazione inferiori a Dc.

Per le durate superiori all'ora sono stati considerati direttamente i valori di "a" e di "n" già indicati nella Tabella 3 e con la stessa procedura sono stati determinati i coefficienti "a_1" e "n_1". In particolare, si è applicato il metodo dei minimi quadrati e successivamente le rette sul piano bi-logaritmico sono state traslate, mantenendo la stessa pendenza, in modo da passare per il più elevato dei valori inizialmente interpolati (vedi Figura 3).

Il punto di cambio di pendenza, per tutti i tempi di ritorno, presenta una durata mediamente pari a **40 minuti**.

Nella Tabella 9 sono riportate le espressioni delle curve di possibilità pluviometrica di progetto di assegnato tempo di ritorno così determinate.

	Curve valide per durate > 40 minuti	Curve valide per durate ≤ 40 minuti
TR10	$h = 55{,}61 \cdot t^{.291}$	$h = 65{,}40 \cdot t^{.711}$
TR20	$h = 63{,}75 \cdot t^{.285}$	$h = 76{,}07 \cdot t^{.737}$
TR50	$h = 74{,}55 \cdot t^{.279}$	$h = 89{,}94 \cdot t^{.763}$
TR100	$h = 82{,}56 \cdot t^{.275}$	$h = 100{,}39 \cdot t^{.778}$
TR200	$h = 90{,}55 \cdot t^{.272}$	$h = 110{,}82 \cdot t^{.791}$
TR500	$h = 101{,}10 \cdot t^{.269}$	$h = 124{,}59 \cdot t^{.805}$

Tabella 9 - Stazione di La Spezia – Curve di possibilità pluviometrica di progetto di assegnato tempo di ritorno.

3. CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI CONTRIBUENTI

Il presente studio è relativo ai *principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia,* identificati nel Contratto d'appalto e rappresentati nella corografia di Figura 4.

Per le finalità dello studio tali corsi d'acqua sono stati classificati con una numerazione progressiva da Levante a Ponente, numerando come principali tutti i corpi idrici con sbocco a mare (indicati come *bacini*), e con sotto-numerazione gli eventuali tributari (*sottobacini*), come da seguente elenco.

1. Fosso Pezzogrande
2. Fosso Canalone
3. Fosso Pagliari
4. Canale di Fossamastra
   - 4.1 Fosso di Calcinara
   - 4.2 Fosso Tombone
   - 4.3 Rio Colombiera
5. Fosso Melara
6. Torrente Vecchia Dorgia
7. Torrente Nuova Dorgia
   - 7.1 Fosso Buonviaggio
8. Fosso Rossano
   - 8.1 Rio Monte Pertico
   - 8.2 Fosso Andreino
9. Fosso Cappelletto
10. Rio di Val dell'Ora
11. Canale Lagora
    - 11.1 Fosso Stagno
    - 11.2 Torrente Colombaro
      - 11.2.1 Fosso Borzonasca
      - 11.2.2 Fosso di via Arzelà (o rio Fornello)
      - 11.2.3 Fosso Cantarana (o Guarsedo)
      - 11.2.4 Fosso di Proffiano
      - 11.2.5 Fosso di Ligurzano
      - 11.2.6 Rio Vappa
    - 11.3 Fosso di Morio
    - 11.4 Fosso Tassonaro
    - 11.5 Fosso di Porzano
    - 11.6 Fosso di Fabiano
12. Torrente Caporacca
13. Rio Pianello
14. Rio Netto.

Per ciascun corso d'acqua sono stati tracciati, sulla base della Carta Tecnica Regionale e con supporto del DTM LiDAR (cfr. relazione di *Caratterizzazione dell'assetto attuale dei corsi d'acqua*), i bacini imbriferi sottesi da sezioni idrologiche significative in relazione all'estensione dei tratti oggetto di indagine.

Tali bacini sono rappresentati negli elaborati grafici annessi (*Corografia con indicazione dei bacini contribuenti*, elaborato 3636-03-00200, tavole 1-5).

A ciascuno di essi è stato assegnato un codice del tipo XX-(YY)-N, dove XX sono due lettere identificative del bacino (ad es. "LA" per Lagora), YY due lettere identificative dell'eventuale sottobacino, N una lettera che identifica la sezione idrologica considerata (ordinate da valle verso monte: "A" è sempre la sezione di foce o di confluenza nel corpo idrico principale).

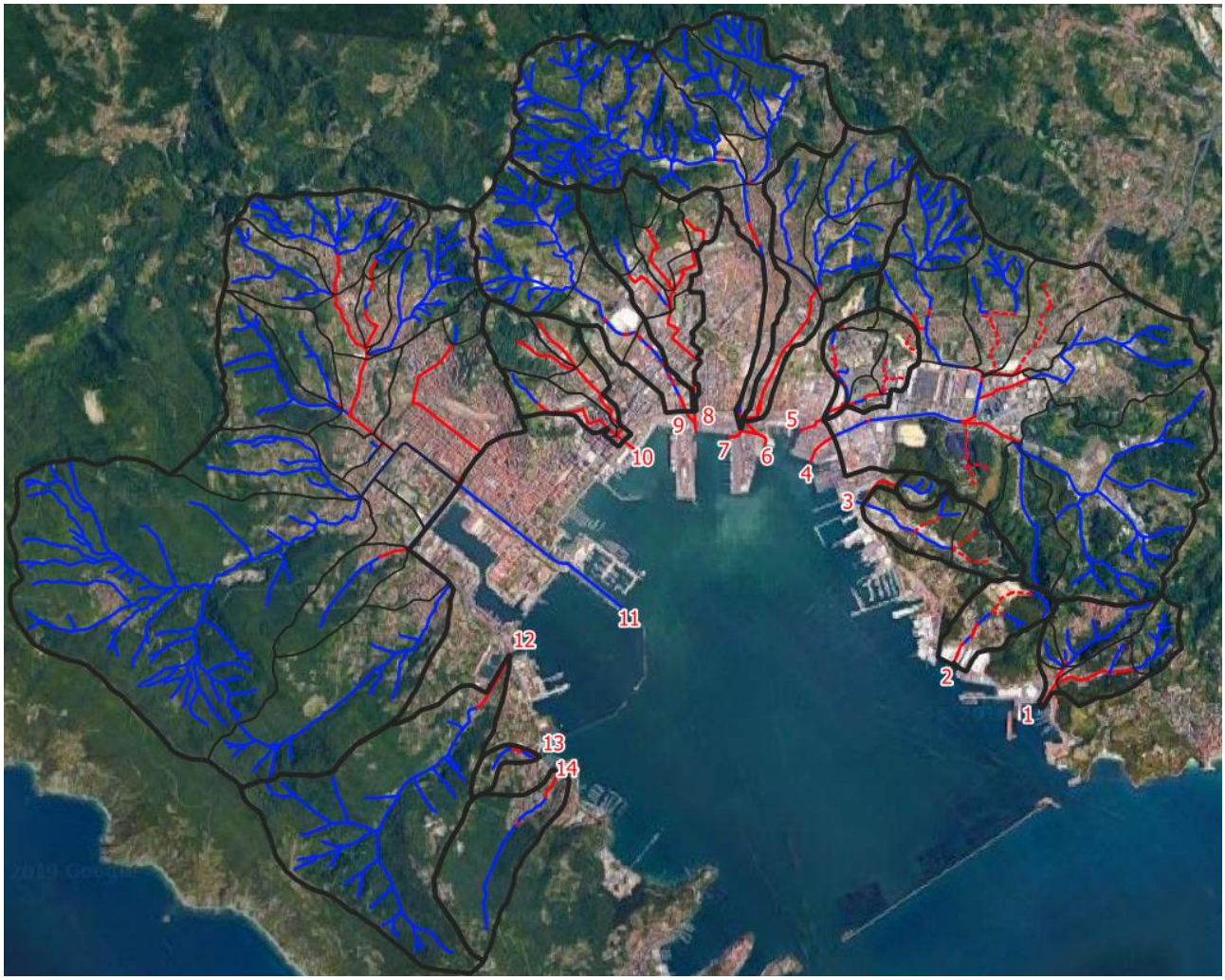


Figura 4 – Corografia dell'ambito di studio con tracciamento dei principali bacini contribuenti.

Per ciascun bacino sono state determinate le principali caratteristiche fisiografiche, come da seguente elenco, mediante procedure di elaborazione in ambiente GIS sul modello digitale del terreno a maglia 1 m da rilievo LiDAR del MATTM.

- A (km^2): superficie del bacino;
- H_{max} (m s.m.): quota massima del bacino;
- H_{med} (m s.m.): quota media del bacino;
- L (km): lunghezza dell'asta idrografica principale del bacino;
- i_a (m/m): pendenza media de3ll'asta principale (da elaborazione GIS su DTM a passo 1 m);

- i_v (%): pendenza media dei versanti (da elaborazione GIS su DTM a passo 1 m);
- CN (-): Curve Number (rif. metodo SCS-USGS).

I valori ottenuti per i vari bacini sono sintetizzati in Tabella 10.

	Corso d'Acqua	Sezione	Area bacino	Quota massima	Quota media	Lunghezza asta	Pendenza asta	Pendenza versanti	Curve Number
		[-]	A [km²]	H_{max} [m s.m.]	H_{med} [m s.m.]	L [km]	i_a [m/m]	i_v [%]	CN [-]
01 - Pezzogrande	Pezzogrande	PZ-A	0,92	190	83	1,80	0,11	44	75
	Pezzogrande	PZ-B	0,35	190	106	1,09	0,17	43	75
	Pezzogrande	PZ-C	0,06	180	77	0,51	0,34	50	75
	Muggiano	PZ_MU-B	0,21	190	103	0,78	0,21	50	75
	Muggiano	PZ_MU-A	0,47	190	80	1,52	0,12	46	75
02	Canalone	CL-A	0,45	180	63	1,35	0,13	34	85
03 - Pagliari	Pagliari	PA-A	0,63	120	45	1,70	0,07	32	87
	Pagliari	PA-B	0,27	120	67	0,73	0,14	40	87
	Valle Oscura	VO-A	0,11	100	49	1,03	0,09	38	87
04 - Fossa Mastra	Fossa Mastra	FM-A	7,57	220	51	4,29	0,05	29	80
	Affluente Fossa Mastra	FM_A1-A	0,50	160	54	1,53	0,10	41	80
	Fossa Mastra	FM-B	2,32	190	64	2,49	0,07	33	80
	Tombone	FM_TO-A	1,09	160	61	2,11	0,07	27	80
	Colombiera	FM_CO-A	0,52	110	38	1,48	0,07	21	80
	Affluente Fossa Mastra	FM_A2-A	0,52	150	53	1,92	0,07	32	80
	Fosso di Calcinara	FM_CA-A	1,11	220	65	2,12	0,10	36	80
	Fosso di Calcinara	FM_CA-B	0,55	220	98	0,91	0,22	47	80
05 - Melara	Melara	ME-A	0,59	80	14	1,83	0,04	17	94
	Melara	ME-B	0,21	80	16	1,23	0,06	18	94
	Melara	ME-C	0,22	80	13	1,14	0,07	16	94
	Melara	ME-D	0,04	80	32	0,41	0,17	30	94
06 - V. Dorgia	Vecchia Dorgia	VD-A	1,73	250	64	3,62	0,07	26	81
	Vecchia Dorgia	VD-B	1,40	250	77	1,92	0,11	31	81
	Vecchia Dorgia	VD-C	0,53	250	121	1,16	0,21	37	81
	Vecchia Dorgia	VD-D	0,38	140	49	1,55	0,08	24	81
07 - N. Dorgia	Nuova Dorgia	ND-A	3,89	350	138	4,42	0,08	44	78
	Nuova Dorgia	ND-B	3,49	350	152	2,13	0,15	50	78
	Nuova Dorgia	ND-C	2,11	320	155	2,61	0,11	51	78
	Fosso di Buonviaggio	ND_BN-A	1,39	350	148	2,13	0,15	46	78
	Fosso Pellizzaro	ND_PE-A	0,47	350	172	1,40	0,22	53	78

	Corso d'Acqua	Sezione	Area bacino	Quota massima	Quota media	Lunghezza asta	Pendenza asta	Pendenza versanti	Curve Number
		[-]	A [km²]	H_{max} [m s.m.]	H_{med} [m s.m.]	L [km]	i_a [m/m]	i_v [%]	CN [-]
08 - Rossano	Rossano	RO-A	1,26	200	32	2,81	0,07	44	81
	Rossano	RO-C	0,41	200	59	1,52	0,12	79	81
	Rossano	RO-D	0,28	200	71	0,95	0,19	105	81
	Rossano	RO-B	1,00	200	59	1,52	0,12	79	81
	Fosso Andreino	RO_AN-A	0,36	130	48	1,28	0,09	82	81
	Fosso Andreino	RO_AN-B	0,13	130	76	0,56	0,18	82	81
	Monte Pertico	RO_MP-A	0,15	80	41	0,60	0,12	45	81
09 - Cappelletto	Cappelletto	CA-A	1,64	270	70	3,27	0,08	69	74
	Cappelletto	CA-B	1,43	270	87	2,25	0,12	88	74
	Cappelletto	CA-C	1,05	270	116	1,48	0,17	118	74
10 - Val Dell'Ora	Val Dell'Ora	VL-A	0,85	160	41	2,12	0,08	31	81
	Val Dell'Ora	VL-B	0,25	100	28	1,34	0,07	25	81
	Val Dell'Ora	VL-C	0,58	160	48	1,78	0,09	35	81
	Val Dell'Ora	VL-D	0,14	110	41	0,67	0,15	35	81
	Val Dell'Ora	VL-E	0,30	160	67	1,04	0,14	43	81
11 - Lagora	Lagora	LA-A	14,38	730	238	5,61	0,13	43	70
	Lagora	LA-B	2,70	580	239	3,60	0,16	46	70
	Fosso di Cantarana	LA_CA-A	0,49	290	167	1,16	0,22	40	70
	Colombaro	LA_CO-A	3,86	390	141	2,82	0,13	38	70
	Colombaro	LA_CO-B	2,44	280	134	2,03	0,12	37	70
	Colombaro	LA_CO-C	0,77	280	151	1,34	0,18	41	70
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-A	0,30	270	107	1,66	0,15	31	70
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-B	0,15	270	167	0,95	0,22	46	70
	Fosso di Borzonasca	LA_BO-A	0,69	270	124	1,73	0,14	36	70
	Fosso di Fabiano	LA_FA-A	1,82	580	293	2,85	0,20	51	70
	Fosso di Ligurzano	LA_LI-A	0,73	390	215	1,66	0,22	51	70
	Fosso di Morio	LA_MO-A	0,71	580	254	1,87	0,30	44	70
	Fosso di Porzano	LA_PO-A	0,49	540	204	1,58	0,34	49	70
	Fosso Stagno	LA_ST-A	1,24	170	37	2,34	0,07	22	70
	Fosso Stagno	LA_ST-B	0,12	170	104	0,56	0,23	39	70
	Fosso di Proffiano	LA_PR-A	0,36	300	134	1,58	0,18	40	70
	Tassonaro	LA_TA-A	5,32	730	374	4,03	0,18	54	70
	Vappa	LA_VP-A	0,19	170	43	0,78	0,20	38	70
12	Fosso di Caporacca	CP-A	2,95	490	274	3,76	0,13	167	70

	Corso d'Acqua	Sezione	Area bacino	Quota massima	Quota media	Lunghezza asta	Pendenza asta	Pendenza versanti	Curve Number
		[-]	A [km²]	H_{max} [m s.m.]	H_{med} [m s.m.]	L [km]	i_a [m/m]	i_v [%]	CN [-]
13	Pianello	PN-A	0,11	230	82	0,83	0,28	81	73
14	Canale del Netto	NE-A	0,93	490	204	2,06	0,24	125	72

Tabella 10 – Caratteri fisiografici di sintesi dei bacini di interesse per il presente studio.

La lunghezza L è definita in senso idrologico, ovvero come la massima distanza tra il confine del bacino imbrifero e la sezione di chiusura (massimo percorso che una goccia di pioggia deve percorrere per raggiungere la sezione di chiusura).

Il parametro CN, ovvero il *Runoff Curve Number*, coefficiente sperimentale che schematizza le caratteristiche idrologiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agricolture), è uno dei principali parametri idrologici che sintetizzano l'effetto della tipologia di suolo all'interno dei modelli di trasformazioni afflussi-deflussi.

Il valore di tale coefficiente si ricava sulla base di valutazioni in merito alla classe di appartenenza del suolo, al tipo di copertura e destinazione d'uso del terreno e alle condizioni di umidità (contenuto d'acqua) del suolo (Tabella 11).

Considerando condizioni di umidità medie del terreno (AMC II) e classi di appartenenza B-C in funzione delle caratteristiche litologiche macroscopiche medie delle diverse zone, si perviene alla determinazione dei coefficienti CN per macroaree (Figura 5), e quindi a un valore medio sull'area di ciascun bacino.

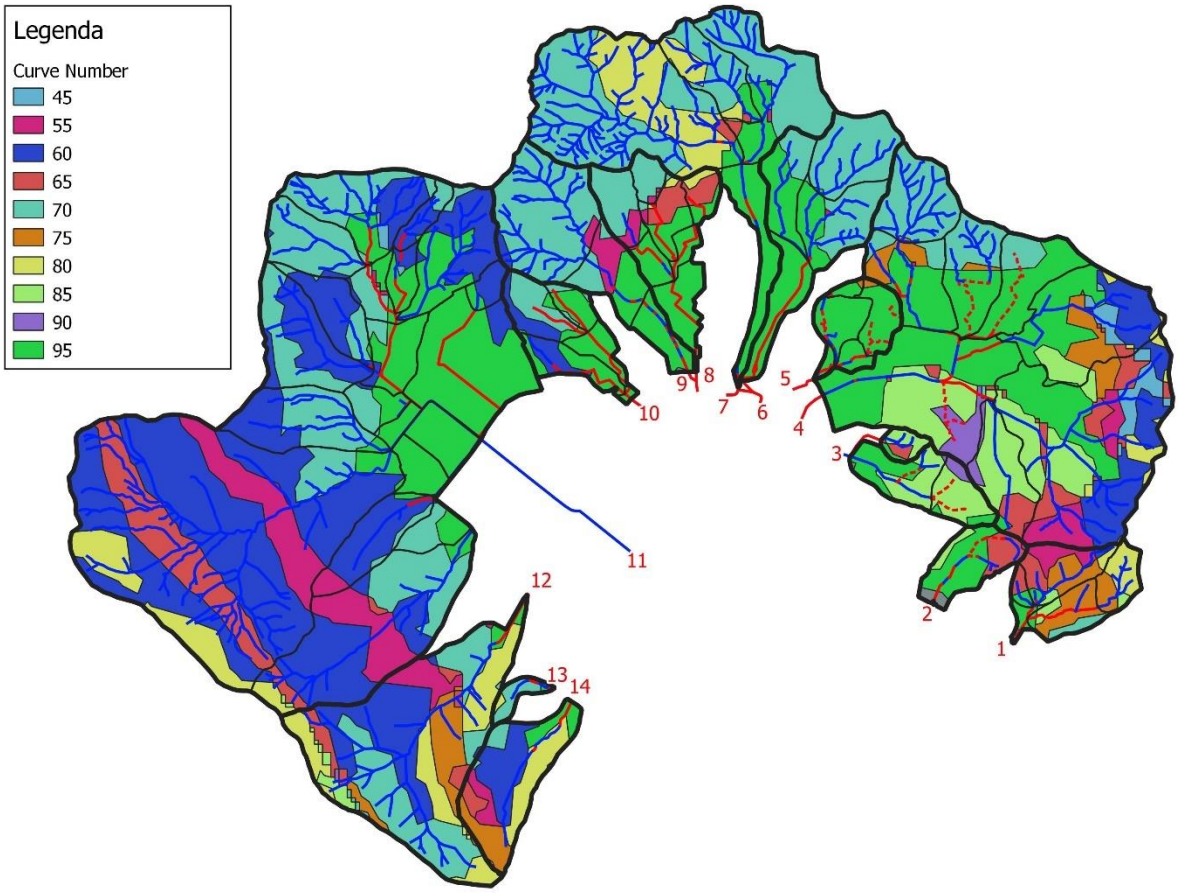


Figura 5 – Definizione del parametro CN per macroaree in corrispondenza dei bacini oggetto di studio.

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
(Antecedent Moisture Condition II, and I_a * 0.2 S)

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition			Hydrologic Soil Group			
Residential:			A	B	C	D
Average lot size	Average Impervious					
1/8 acre or less	65		77	85	90	92
1/4 acre	38		61	75	83	87
1/3 acre	30		57	72	81	86
1/2 acre	25		54	70	80	85
1 acre	20		51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98	98
Streets and roads:						
paved with curbs and storm sewers			98	98	98	98
gravel			76	85	89	91
dirt			72	82	87	89
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94	94
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91	93
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.						
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area			49	69	79	84
Fallow	Straight row	----	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
		Good	61	75	81	84
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
Close - seeded	Straight row	Poor	66	77	85	89
legumes 4/	Straight row	Good	58	72	81	85
or	Contoured	Poor	64	75	83	85
rotation	Contoured	Good	55	69	78	83
meadow	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80
Pasture		Poor	68	79	86	89
or range		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	6	35	70	79
Meadow		Good	30	58	71	78
Woods or		Poor	45	66	77	83
Forest land		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Farmsteads		----	59	74	82	86

Tabella 11 – Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen – SCS Method).

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO SINTETICO

L'assetto geologico strutturale della zona di La Spezia risulta particolarmente complesso per la presenza di una serie di unità tettoniche sovrapposte interessate da deformazioni sia fragili (faglie) che duttili (pieghe).

Poste tali premesse in estrema sintesi si rileva che gli elementi salienti dell'assetto geologico strutturale dell'area in questione sono costituiti dai due anticlinali, su cui sono impostati rispettivamente il promontorio occidentale e orientale, e la faglia di la Spezia che si sviluppa lungo i margini orientali del promontorio occidentale (cfr. Figura 6).

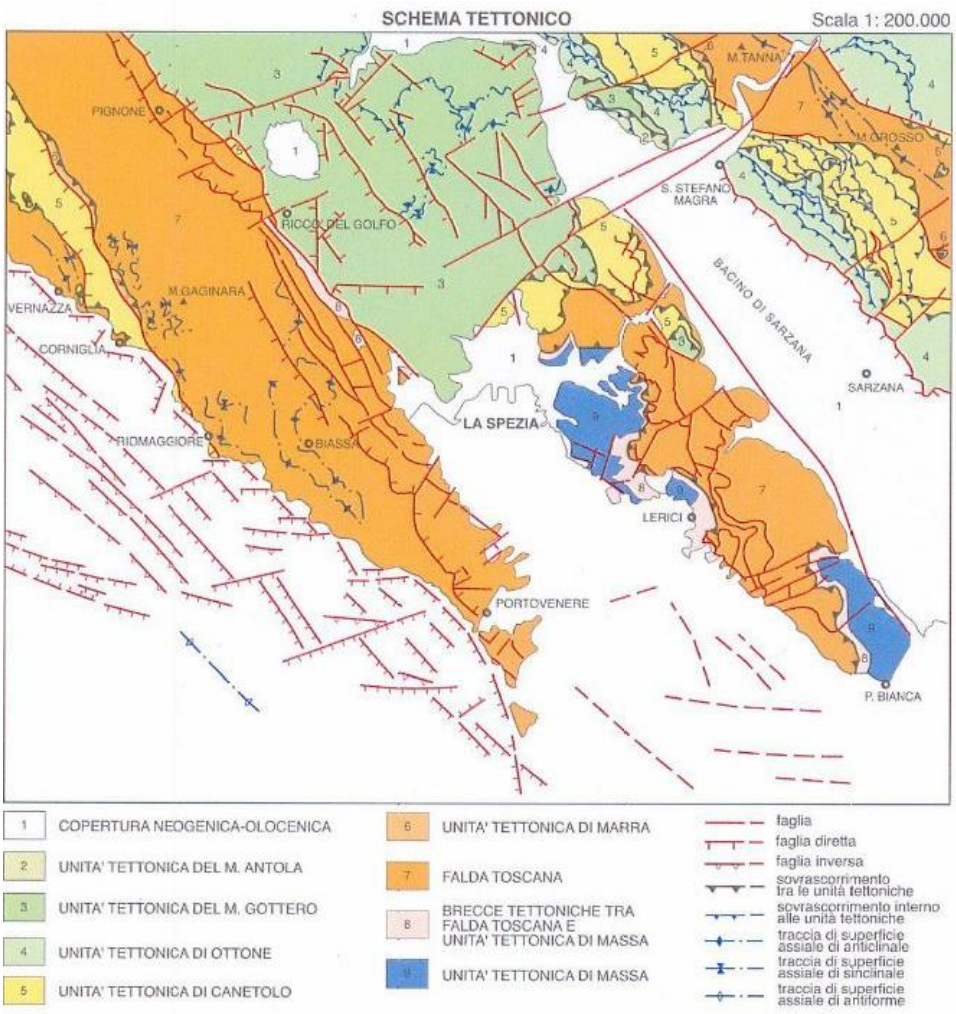


Figura 6 – Schema tettonico dell'area di La Spezia tratto dal foglio "La Spezia" della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG).

I due anticlinali sono impostati prevalentemente sulle unità della Falda Toscana. Quest'ultima è caratterizzata dalla presenza di formazioni triassico-giurassiche carbonatiche e da unità dal Cretaceo all'Oligocene di tipo terrigeno.

In particolare, l'anticlinale che costituisce il promontorio occidentale, piuttosto serrato e con vergenza tirrenica, presenta una struttura tale per cui il versante occidentale è caratterizzato dalla presenza dal Macigno, ovvero di una arenaria terziaria, mentre sul versante orientale, cioè quello che si affaccia sul golfo, affiora il nucleo dell'anticlinale stesso costituito per lo più da complessi carbonatici del Triassico e del Giurassico. Tale struttura, avente asse NNO-SSE, mantiene il suo assetto per un lungo tratto verso Nord, andando a costituire una sorta di catena montuosa che separa la fascia costiera dall'entroterra di La Spezia.

Nel promontorio orientale l'anticlinale, meno serrato, è anch'esso costituito in prevalenza delle unità della Falda Toscana (Macigno e complessi carbonatici), ma presenta, viceversa, nel suo nucleo, complessi litologici riconducibili alla sottostante unità tettonica di Massa, che affiorano in prossimità di punta Bianca e nei pressi del nucleo urbano (in particolare nell'area prospicente il porto turistico). Si tratta di marmi, filladi quarziti e metaconglomerati separati dalla Falda Toscana da complessi costituiti da brecce tettoniche. L'unità tettonica di Massa è pertanto caratterizzata da un certo metamorfismo; ne consegue che i litotipi che ne fanno parte presentano una consistenza di tipo decisamente lapideo.

La struttura tettonica che costituisce il promontorio orientale si interrompe bruscamente in corrispondenza dei sobborghi settentrionali di La Spezia, per la presenza di una serie di faglie con andamento OSO-ENE aventi un netto rigetto che ha permesso la conservazioni, a Nord delle stesse, di alcune delle unità tettoniche sovrastanti la Falda Toscana, tra cui in particolare l'unità tettonica del M. Gottero e, in minor misura, di Canetolo. La prima è costituita in massima parte dalle omonime arenarie che, nell'area in questione, fungono da substrato dei rilievi collinari posti subito a Nord dell'agglomerato urbano.

La particolare conformazione geologica dell'area in esame fa sì che il versante affacciato al golfo del promontorio occidentale, essendo costituito da complessi carbonatici, presenti una maggiore energia di rilievo legata ad una più elevata resistenza all'erosione offerta dal substrato roccioso.

Negli altri settori, ove affiorano prevalentemente formazioni arenacee (Monte Gottero e Macigno), nonché marne e argilliti, più facilmente alterabili ed erodibili, in genere si hanno rilievi più bassi aventi morfologia francamente collinare.

Spostandosi verso Lerici, si hanno nuovamente i complessi carbonatici della falda Toscana e alcune unità francamente lapidee dell'unità tettonica di Massa, per cui l'energia di rilievo aumenta progressivamente in similitudine con quanto avviene sulla riva opposta del golfo; tale porzione di territorio, tuttavia, ricade solo marginalmente all'interno dei bacini idrografici oggetto di studio.

5. CONSIDERAZIONI RELATIVE AL TRASPORTO SOLIDO

5.1 Valutazione del massimo trasporto solido potenziale

La valutazione del trasporto solido potenziale è stata condotta utilizzando il metodo di Gavrilovic S.[1] (1959) che permette di stimare la produzione di sedimenti media annua in funzione del "peso" attribuito, sulla base di analisi statistiche, alle differenti variabili indipendenti considerate: fisiografia, piovosità, termometria,

[1] Gavrilovic S. (1959) - *Methode de la classification des bassins torrentiels et equation nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du debit solide*. Vadoprivreda, Belgrado.

utilizzazione del territorio e assetto vegetazionale, erodibilità del substrato roccioso, condizioni di dissesto idrogeologico in atto.

Tale metodologia, già ampiamente utilizzata e verificata in passato, risulta una delle più complete sotto il profilo delle variabili considerate.

In particolare vengono utilizzati i seguenti parametri.

Parametri fisiografici
- S = superficie bacino (Km^2);
- I'= $\sqrt{I}$ dove I è la pendenza media del bacino (-);

Parametri climatici
- t' = coefficiente di temperatura = $\sqrt{t * 0{,}1 + 0{,}1}$ dove t è la temperatura media annua (per t<-1 t'= 0);
- h = precipitazione media annua (mm);

Uso del suolo
- A = superficie a boschi e frutteti (Km^2);
- B = superficie a prati e pascoli (Km^2);
- C = superficie seminativi e coltivi vari (Km^2);
- D = superficie sterile (Km^2);
- U = superficie pavimentata e urbanizzata (Km^2);

Litologia
- J = superficie rocce incoerenti (Km^2);
- K = superficie rocce pseudocoerenti e semicoerenti (Km^2);
- L = superficie rocce coerenti (Km^2);

Dissesti
- N = superficie con frane (Km^2);
- P = superficie con erosione accentuata (Km^2);
- Q = superficie zone con valanghe (Km^2).

I singoli parametri vengono opportunamente combinati e pesati per esprimere i coefficienti di degradazione legati ai diversi fattori che concorrono alla definizione del livello di erodibilità dei bacini ovvero il coefficiente di protezione del suolo dato dalla vegetazione (X), il coefficiente di erodibilità del suolo dato dalla litologia (Y) e il coefficiente di degradazione (V'):

$$X = \frac{(A \cdot 0.2 + B \cdot 0.5 + C \cdot 0.8 + D \cdot 1.0 + 0.05 \cdot U)}{S}$$

$$Y = \frac{(J \cdot 1.6 + K \cdot 0.8 + L \cdot 0.3)}{S}$$

$$R = \frac{(N \cdot 7 + P \cdot 4 + Q \cdot 2)}{S} \cdot 100$$

Da R (superficie dissestata relativa) è quindi possibile calcolare il coefficiente di degradazione (V') che varia secondo il seguente schema:

se	0<= R <= 0,5	allora V'=0,1+R*0,4
se	0,5< R < 2	allora V'=0,134*R+0,133
se	2<=R<=8	allora V'=R/10+0,2
se	R>8	allora V'=1

e quindi il coefficiente di erosione relativa (Z):

$$Z = X \cdot Y \cdot (V' + I')$$

Dai parametri così calcolati è infine possibile arrivare alla stima del volume (in m^3) di materiale prodotto annualmente entro il bacino considerato a causa dei processi erosivi ovvero il trasporto solido potenziale (W):

$$W = S \cdot t' \cdot h \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3}$$

Noto W si calcola facilmente la profondità di erosione media annua (E1) e il contributo specifico alla produzione dei sedimenti (E2).

Nel caso specifico sono state utilizzate le seguenti fonti dei dati ai fine della definizione dei vari parametri:

- la pendenza media è stata ricavata sulla base dello stesso DEM utilizzato per la caratterizzazione fisiografica dei bacini (cfr. paragrafo precedente);
- la pioggia media annua e la temperatura media annua sono stati ricavati dai dati meteo del decennio 2004-2018 relativi alla stazione ARPAL di La Spezia; i dati di temperatura sono stati ricalcolati in funzione dell'altezza media dei bacini considerati, applicando un gradiente termico pari a 6,5° ogni 1.000 m di altitudine.
- l'uso suolo deriva dalla carta Uso del Suolo sc. 1:10.000 - ed. 2018 del Sitar – Regione Liguria;
- per la litologia è stata utilizzata la Carta Litologica 1:50.000 del Sitar – Regione Liguria;
- per i dissesti si è fatto riferimento alla cartografia IFFI dell'ISPRA scaricata dal sito Sitar – Regione Liguria.

Il calcolo è stato sviluppato su 6 bacini campione tra quelli in esame, assunti come rappresentativi delle diverse caratteristiche dell'area di studio, come rappresentato in Figura 7. I bacini presi a riferimento sono caratterizzati da una dimensione significativa (rispetto alla media di quelli indagati) e sono chiusi all'imbocco dell'area urbana, così da rappresentare l'apporto di materiale solido conseguente ai fenomeni erosivi di versante sulla porzione di superficie contribuente più "naturale", nell'ipotesi che i contributi di sedimento delle aree urbanizzate siano sostanzialmente nulli.

Gli esiti del calcolo sono riportati in Tabella 12.



Figura 7 – Ubicazione dei bacini idrografici sui cui è stato effettuato il calcolo del trasporto solido potenziale con il metodo di Gavrilovic.

Bacino		Caporacca	Nuova Dorgia	Fossamastra - Calcinara	Lagora 1 (Colombaro)	Lagora 2 (Tassonaro)	Pagliari
Fisiografia	S (km²)	2,955	2,107	1,111	3,766	5,308	0,784
	I	0,535	0,506	0,356	0,389	0,536	0,324
Clima	t* °C	14,9	15,7	16,3	15,8	14,3	16,4
	h (mm)	1130	1130	1130	1130	1130	1130
Uso del suolo	A (km²)	2,606	1,757	0,711	2,461	4,867	0,417
	B (km²)	0,000	0,000	0,045	0,029	0,010	0,045
	C (km²)	0,097	0,101	0,026	0,106	0,066	0,000
	D (km²)	0,073	0,068	0,003	0,037	0,085	0,053
	U (km²)	0,179	0,181	0,325	1,133	0,280	0,269
Litologia	J (km²)	0,218	0,092	0,272	0,376	0,508	0,275
	K (km²)	0,653	2,016	0,674	1,740	2,053	0,000
	L (km²)	2,084	0,000	0,165	1,651	2,746	0,509
Dissesti	N (km²)	0,299	0,336	0,112	0,777	0,825	0,021

Bacino		Caporacca	Nuova Dorgia	Fossamastra - Calcinara	Lagora 1 (Colombaro)	Lagora 2 (Tassonaro)	Pagliari
	P (km^2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000
	Q (km^2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fattori di calcolo	R	70,8	111,5	70,5	144,4	109,9	18,9
	X	0,23	0,24	0,18	0,18	0,21	0,22
	Y	0,51	0,84	0,92	0,66	0,62	0,76
	t'	1,26	1,29	1,31	1,29	1,24	1,32
	V'	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	I'	0,73	0,71	0,60	0,62	0,73	0,57
	Z	0,20	0,35	0,27	0,20	0,23	0,26
Risultati	W (m^3/a)	1.200	1.964	733	1.491	2.531	489
	E1 (mm/a)	0,41	0,93	0,66	0,40	0,48	0,62
	E2 ($m^3/km^2/a$)	**406**	**932**	**660**	**396**	**477**	**623**

Tabella 12 - Calcolo del trasporto solido con il metodo di Gavrilovic su alcuni dei principali bacini oggetto di studio.

Passando all'analisi dei risultati occorre innanzitutto precisare come il metodo di Gavrilovic fornisca un valore medio annuo di materiale eroso, che non è correlabile direttamente al volume mobilizzato durante un evento di piena. In effetti è facilmente prevedibile che durante gli eventi catastrofici vengano mobilizzate quantità di depositi superiori alla media annua.

Il valore ottenuto appare, per contro, congruente oppure inferiore ai valori medi di sollevamento dell'arco alpino e appenninico (dell'ordine di 1-2 mm/anno). Il volume complessivo è invece generalmente superiore ai valori di capacità di trasporto solido calcolabile per i corsi d'acqua in esame in occasione di eventi di piena ordinari o comunque non particolarmente intensi.

Inoltre, il valore calcolato con il metodo di Gavrilovic rappresenta il quantitativo complessivo di materiale eroso. Solo una parte di esso tuttavia viene trasportato fino a valle, potendo andare ad accumularsi in aree di deposito negli impluvi secondari, oppure andando ad incrementare la potenza delle coltri superficiali nelle aree medio basali dei versanti, oppure ancora andando a costituire i corpi frana ampiamente diffusi nell'area circostante La Spezia.

Oltre a ciò, occorre considerare come una parte significativa del quantitativo trasportato sia costituito da materiale di granulometria fine (verosimilmente limosa, porzione rilevante del prodotto finale dell'erosione dei versanti) veicolata dalla corrente di piena come trasporto in sospensione, che come tale tende a defluire in mare senza fenomeni di sedimentazione in alveo, dove effettivamente il sedimento presente è di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa.

Esaminando i risultati ottenuti di trasporto solido potenziale si notano differenze significative tra bacino e bacino.

Come si può osservare in Figura 8 i bacini posti nel settore centro-occidentale del Golfo di La Spezia presentano una propensione all'erosione teoricamente minore rispetto a quelli posti nel settore nord–orientale.

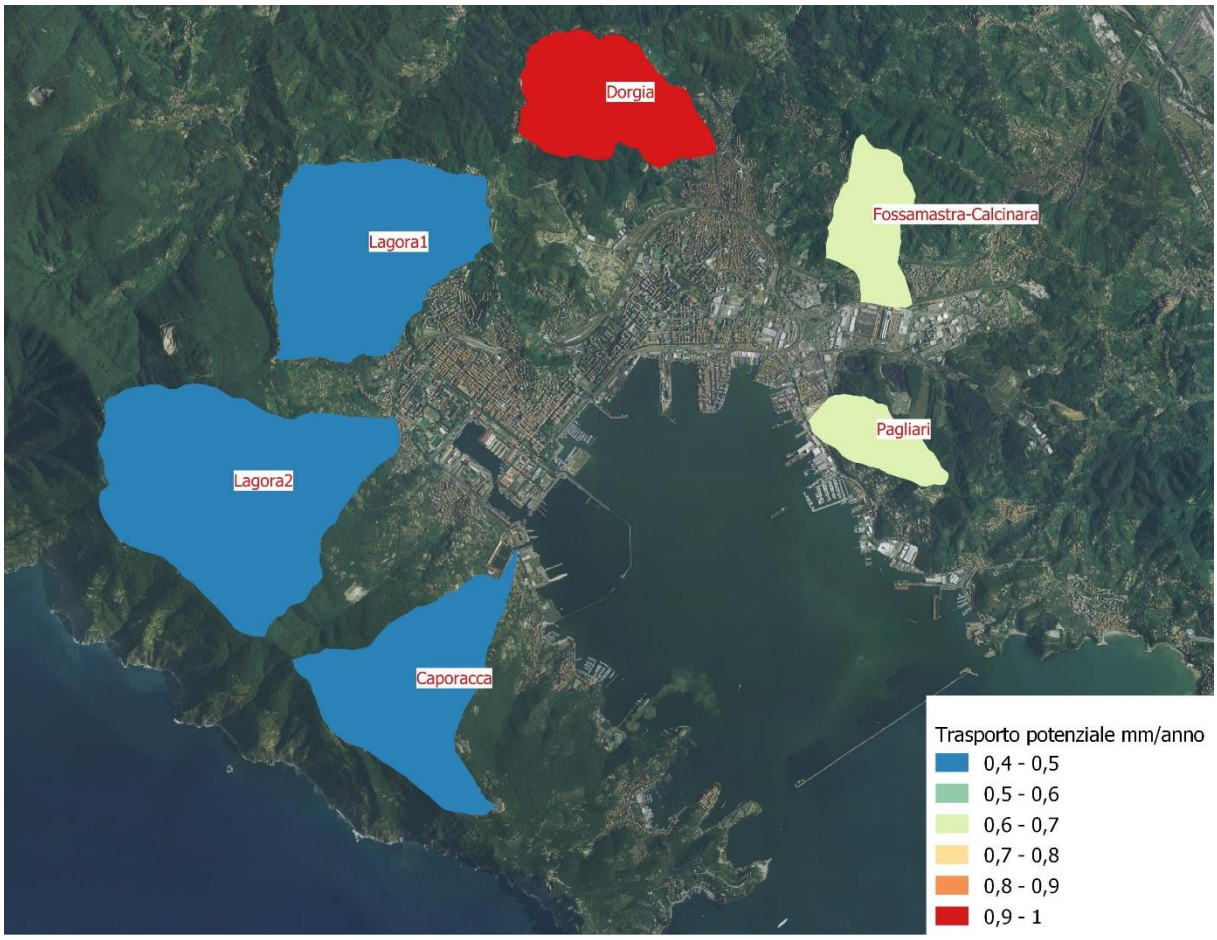


Figura 8 – Rappresentazione di sintesi del trasporto solido potenziale (mm/anno) ottenuto per i vari bacini.

Tale condizione è frutto di un concorso di cause, essendo legata sia alla litologia (in quanto è lungo il promontorio di Portovenere che affiorano in massima parte i complessi carbonatici aventi comportamenti coerenti, mentre nelle altre aree prevalgono le marne e arenarie), sia all'uso suolo: la presenza di ampie aree urbanizzate nel bacino "Lagora 1" (Colombaro) e Pagliari compensa in parte la sussistenza di litotipi relativamente erodibili.

In generale le aree in frana sono abbastanza ampie, con valori che oscillano tra il 10% e il 20% della superficie complessiva dei bacini, salvo che nel bacino del Pagliari, ove la superficie interessata da dissesti è nettamente inferiore (circa il 3%).

In conclusione, l'uso del suolo è generalmente favorevole al contenimento dei processi erosivi, prevalendo nettamente le aree urbanizzate o quelle occupate da boschi e frutteti. Le aree in dissesto interessano viceversa superfici abbastanza ampie, avendo tuttavia una densità relativamente omogenea.

La tipologia di substrato invece è il principale fattore che determina il diverso grado di erodibilità tra i versanti posti a Sud–Ovest e Nord-Est di La Spezia. Dai calcoli effettuati, comunque, si rileva che il bacino della Nuova Dorgia presenti la più elevata propensione alla produzione di trasporto solido.

5.2 Caratterizzazione del materiale d'alveo

Per tre dei bacini per i quali è stata effettuata la valutazione del trasporto solido potenziale con il metodo di Gavrilovic, rappresentativi delle tre tipologie di comportamento osservate, sono stati prelevati dei campioni di materiale d'alveo in corrispondenza dei tratti terminali prima dell'ingresso nell'area maggiormente urbanizzata (entro la quale gli alvei presentano caratteri di più spiccata artificializzazione).

In particolare la caratterizzazione ha riguardato i seguenti bacini:

- "Lagora 2": Fosso Tassonaro, tratto immediatamente a monte della confluenza del Fosso di Morio;
- "Dorgia": Nuova Dorgia a monte della confluenza del Fosso Buonviaggio, presso la copertura al di sotto della rotonda della Variante S.S.1 in corrispondenza di via del Forno;
- "Pagliari": Torrente Pagliari nel tratto in affiancamento a via Pitelli, poco a valle dell'allargamento di sezione in corrispondenza della confluenza di un rio in destra.

I prelievi di materiale d'alveo sono stati effettuati a mano accedendo in alveo al guado, e hanno riguardato lo strato superficiale (strato di corazzamento con clasti di maggiori dimensioni e strato sottostante di granulometria più fine, per una profondità complessiva di 20-30 cm).

Gli alvei risultano spesso ingombri di vegetazione, condizione che rende non semplice l'esecuzione di un campionamento rappresentativo. Le attività in sito sono state condotte nel mese di ottobre 2019, a seguito di interventi di sfalcio della vegetazione da parte del Comune; frequentemente tuttavia sul fondo alveo permane un substrato vegetale terroso inerbito, che falsa le rilevazioni. Sono stati pertanto individuati tratti che risultassero sostanzialmente liberi da vegetazione; per tale motivo per la Nuova Dorgia è stato necessario campionare al di sotto della recente copertura realizzata per lo svincolo di raccordo alla variante S.S.1, di dimensioni adeguate a non creare rilevanti fenomeni di classamento per restringimento della sezione.



Figura 9 – Sito di campionamento presso il Fosso Tassonaro (bacino "Lagora 2"). A destra risulta visibile l'effetto di corazzamento superficiale ad opera di clasti di maggiori dimensioni.



Figura 10 – Sito di campionamento presso il torrente Nuova Dorgia (bacino "Dorgia"). Sono presenti sporadici clasti di grandi dimensioni (20-30 cm di diametro medio).



Figura 11 – Sito di campionamento presso il Fosso Pagliari (bacino "Pagliari"). Prevale maggiormente una matrice terrosa con apparati radicali vegetali.

Tutti i campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi granulometrica presso il laboratorio di Hydrodata di Torino, mediante setacciatura per via secca. La setacciatura, previo essiccamento a 110°, è stata condotta seguendo i criteri previsti dalle normative ASTM D421 e D422, utilizzando i setacci standard della serie ASTM, da ASTM200 (diametro passante 0,075 mm) a ASTM4" (diametro passante 4,76 mm).

Nessun campione ha presentato frazioni limose o argillose significative, per cui non è stato necessario procedere a diverse tipologie di analisi (ad es. aerometrie) per l'indagine di questo range granulometrico.

Per la classificazione dei campioni è stata adottata la metodologia dell'AGI[2] (Associazione Geotecnica Italiana) che, oltre ad essere probabilmente quella più diffusa in Italia, presenta il vantaggio di avere individuato un sistema anche per l'identificazione dei campioni composti da più frazioni.

[2] Associazione Geotecnica Italiana. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche", 1977.

La classificazione principale adottata, leggermente modificata per tenere conto della serie di setacci standard ASTM, è la seguente (in mm).

0,002	0,075	2,0	50,8	
Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli

Per quanto riguarda l'identificazione dei terreni composti si sono seguite le raccomandazioni AGI, espresse come segue: *siano A, B, C i nomi degli intervalli principali (argilla, limo…); siano p1, p2, p3 le percentuali di A, B, C, presenti nella terra in esame; se per esempio p1>p2>p3 il terreno viene denominato col nome della frazione A, seguito dai nomi della frazione B e C preceduti dalla congiunzione "con", se il corrispondente p è compreso tra il 50% e il 25 %, seguito dal suffisso "oso" se p è tra il 25% e il 10 %; o infine seguito dal suffisso "oso" e preceduto da "debolmente" se p è compreso tra il 10% e il 5 %*.

Un riassunto dei risultati ottenuti è riportato in Tabella 13. In allegato sono invece fornite le schede di sintesi delle analisi effettuate, rappresentate sia in forma tabulare che come curve granulometriche (esempio in Figura 12).

Granulometrie							
Punto campionamento	**D90**	**D60**	**D50**	**D10**	**Cu (D60/D10)**	**Cc $D30^2/(D10*D60)$**	**Classificazione (AGI)**
Tassonaro	73,1	17,4	9,76	1,05	16,53	0,56	GHIAIA SABBIOSA
Nuova Dorgia	46,0	13,0	8,18	0,27	47,73	1,79	GHIAIA CON SABBIA
Pagliari	15,9	3,37	2,15	0,13	25,3	1,15	GHIAIA CON SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA

Tabella 13 - Diametri caratteristici (mm), coefficiente di uniformità Cu e coefficiente di cernita Cc dei campioni di sedimento prelevati nell'invaso.

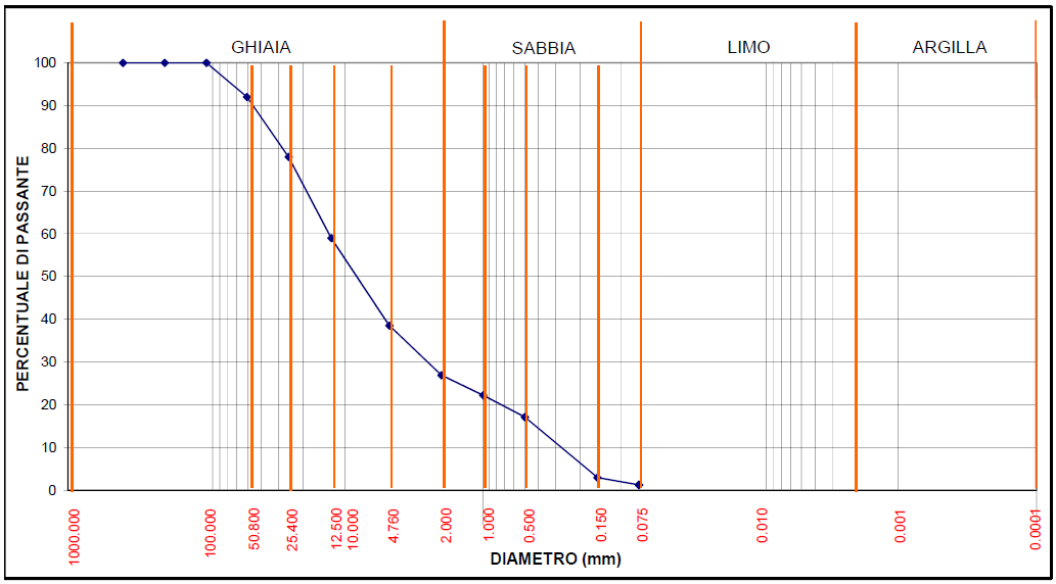


Figura 12 – Esempio di restituzione di curva granulometrica (Nuova Dorgia).

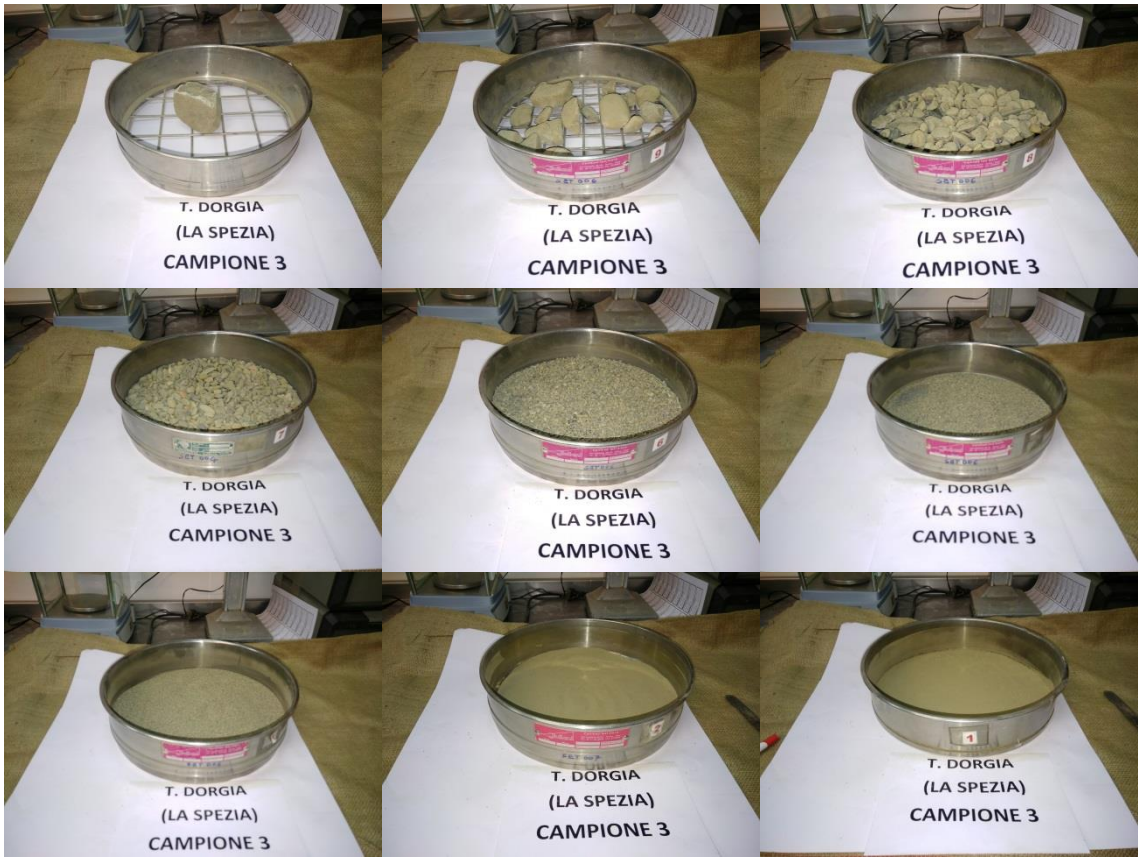


Figura 13 – Esempio di risultato della setacciatura condotta con setacci standard ASTM (Nuova Dorgia). Il primo setaccio in alto a sinistra non è parte del set ASTM ma costituisce una pre-setacciatura più grossolana per l'eliminazione dei clasti di maggiore dimensione.

I risultati ottenuti mostrano una granulometria uniformemente contenuta nel campo delle ghiaie e delle sabbie, pur con variazioni dovute alla morfologia e dimensione del bacino sotteso, e alla presenza di opere a monte (ad esempio il Fosso Pagliari a monte del sito di campionamento presenta tombinature piuttosto lunghe che potrebbero intercettare materiale di grosse dimensioni, se presente).

Il letto del Pagliari presenta una maggiore incidenza di substrato vegetale terroso e in definitiva una granulometria più fine; il Tassonaro ha un comportamento fortemente torrentizio con presenza in alveo anche di piccoli massi (movimentabili anche grazie alla presenza di maggiori portate conseguenti a una più ampia area contribuente), mentre la Nuova Dorgia presenta caratteristiche intermedie.

5.3 Osservazioni conclusive

Dalle osservazioni condotte in campo si riscontra come l'elemento maggiormente caratterizzante dal punto di vista dell'evoluzione del letto dei corsi d'acqua non sia tanto il trasporto di sedimento quanto la presenza di vegetazione, talora incontrollata, in grado di invadere l'alveo inciso con specie sia arbustive che arboree, creando un rilevante ostacolo al deflusso di piena e, a seguito di asportazione da parte della corrente, potenziali ostruzioni dell'imbocco di tombinature, in particolare ove muniti di griglie di intercettazione. In questi casi l'effetto di rigurgito induce fenomeni locali di deposito di materiale solido trasportato che possono

propagarsi verso monte (pur se limitatamente, viste le rilevanti pendenze) occludendo parzialmente la sezione di deflusso.

L'abbondante presenza di vegetazione, sui versanti ancora "naturali" e in alveo nei rami di monte rispetto ai tratti fluviali studiati, crea altrimenti un fenomeno di intercettazione diffusa del materiale solido più grossolano che riduce l'entità dei volumi recapitati a valle, nel tratto urbano. Un simile effetto è prodotto anche da elementi artificiali quali attraversamenti non adeguati nei tratti a monte di quelli indagati nel presente studio.

In condizioni di piena gravosa la corrente è in grado di trasportare quantitativi di materiale solido rilevante, che in caso di esondazioni si deposita poi fuori alveo all'interno dell'area urbana; si tratta in prevalenza, per quanto già osservato, di matrici sabbioso-limose, che di per sé verrebbero in gran parte recapitate a mare dalle portate di piena, a meno di locali effetti di occlusione come precedentemente indicato.

Interventi periodici di manutenzione (sfalci di vegetazione, asportazione degli eventuali depositi di sovralluvionamento locali) appaiono pertanto indispensabili per garantire la già spesso non ottimale officiosità idraulica della porzione di valle del reticolo idrografico, sovrimposto al tessuto urbano e con forti caratteri di artificializzazione, particolarmente per i tratti potenzialmente soggetti al maggiore apporto di materiale secondo le valutazioni svolte in precedenza.

In termini di incremento dei volumi di piena conseguenti al materiale solido trasportato (e particolarmente di incremento dei valori al colmo considerando la portata solida+liquida) si ritiene invece che l'effetto sia sostanzialmente trascurabile per le finalità della presente analisi. In relazione alle portate in gioco e alle granulometrie riscontrate in alveo, l'applicazione a campione delle più utilizzate formule empiriche per la valutazione della capacità di trasporto solido della corrente porta a portate solide mediamente non superiori al 5% di quella liquida, effettuando il calcolo con il valore al colmo di progetto.

Nel capitolo 6 si è pertanto ritenuto di non considerare questo effetto, definendo una portata di riferimento solo liquida (peraltro già frequentemente superiore alla capacità di deflusso dei tratti di valle non oggetto di sistemazioni idrauliche recenti) per la valutazione dell'assetto di pericolosità idraulica del territorio in esame. L'effetto combinato di vegetazione e trasporto solido si riscontra presso alcuni attraversamenti o briglie selettive con grado di interrimento non trascurabile, in quanto nell'analisi idraulica si è considerata la geometria attuale effettiva nei tratti oggetto di rilievo, con sezioni che risultano quindi di luce inferiore a quella di progetto.

Di seguito viene fornita, sulla base dei parametri stimati in precedenza per le tre classi di bacini, anche una stima di massima dei volumi di trasporto solido potenziale annuo attesi in corrispondenza di sezioni significative (tipicamente all'imbocco dei tratti urbani), per individuare i tratti potenzialmente soggetti a maggiori apporti di sedimento.

Tale valutazione non tiene conto di specificità puntuali a scala locale (quali ad esempio distacchi di frane, innesco di fenomeni di debris flow), non oggetto del presente studio, i quali potrebbero provocare l'immissione in alveo di quantitativi di materiale solido ingenti. L'indicazione fornita è relativa al volume atteso medio annuo di trasporto solido conseguente ai normali processi di erosione dei versanti e dilavamento, in occasione di eventi idrologici intensi.

Tali volumi, riferiti a sezioni di chiusura idrologiche individuate nel presente studio, possono supportare la pianificazione di interventi di manutenzione dei corsi d'acqua che potenzialmente riceverebbero le maggiori quantità di sedimento all'imbocco dei tratti urbani, particolarmente nei casi in cui l'analisi idraulica (descritta negli specifici elaborati) individui già condizioni di deflusso non adeguate o critiche per gli eventi di piena di riferimento.

	Corso d'Acqua	Sezione [-]	Area Bacino S [km²]	Volume solido potenziale [m³/anno]
01	Pezzogrande	PZ-B	0,35	229
	Pezzogrande	PZ_A1-A	0,06	36
	Muggiano	PZ_MU-B	0,21	137
03	Pagliari	PA-A	0,63	408
	Pagliari	PA-B	0,27	174
04	Affluente Fossa Mastra	FM_A1-A	0,50	323
	Fossa Mastra	FM-B	2,32	1508
	Tombone	FM_TO-A	1,09	711
	Fosso di Calcinara	FM_CA-A	1,11	722
	Fosso di Calcinara	FM_CA-B	0,55	355
06	Vecchia Dorgia	VD-B	1,40	1263
	Vecchia Dorgia	VD-C	0,53	480
07	Nuova Dorgia	ND-C	2,11	1896
	Fosso di Buonviaggio	ND_BN-A	1,39	1247
08	Rossano	RO-D	0,28	251
	Fosso Andreino	RO_AN-B	0,13	114
09	Cappelletto	CA-A	1,64	1474
11	Fosso di Cantarana	LA_CA-A	0,49	219
	Colombaro	LA_CO-A	3,86	1737
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-B	0,15	65
	Fosso di Borzonasca	LA_BO-A	0,69	310
	Fosso di Fabiano	LA_FA-A	1,82	819
	Fosso di Ligurzano	LA_LI-A	0,73	329
	Fosso di Morio	LA_MO-A	0,71	318
	Fosso di Porzano	LA_PO-A	0,49	220
	Fosso di Proffiano	LA_PR-A	0,36	164
	Tassonaro	LA_TA-A	5,32	2395
12	Fosso di Caporacca	CP-A	2,95	1330
13	Pianello	PN-A	0,11	51
14	Canale del Netto	NE-A	0,93	418

Tabella 14 - Volume di trasporto solido potenziale medio annuo stimato per via parametrica per alcune sezioni fluviali significative.

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO

La stima delle portate di piena di progetto per il bacino è stata effettuata mediante applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi di tipo concettuale (metodo razionale) al set di parametri di pioggia critica di progetto, nell'assunzione che ad eventi di precipitazione associati a determinati tempi di ritorno corrispondano eventi di piena caratterizzati dalla medesima probabilità di occorrenza.

Tale approccio è reso necessario dall'assenza di misure di portate di piena nell'area in esame che possano fornire elementi più diretti per la stima dei valori di riferimento.

Tale approccio è coerente con l'impostazione data nel vigente Piano di Bacino[3] (PdB), nel quale -data la modesta estensione dei bacini allo studio- è stato condotto un confronto tra i valori di portata al colmo risultanti dall'applicazione del metodo razionale e la procedura di regionalizzazione contenuta nello studio *Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena dei bacini liguri*, redatto dal Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale (CIMA) dell'Università di Genova per conto della Regione Liguria.

Sulla base delle risultanze degli studi a supporto del PdB, in quest'ultimo si fa riferimento a una versione modificata del metodo CIMA, per adattarlo alla specifica situazione locale (l'intero Ambito 20 è costituito da un golfo in cui lo sviluppo degli eventi pluviometrici intensi ha generalmente caratteristiche differenti rispetto alle aree contigue del territorio ligure, per cui la regionalizzazione a scala ampia può fornire risultati non pienamente rappresentativi). In particolare è stato utilizzato come valore di pioggia indice non quello derivante dalla regionalizzazione ma quello determinato dall'analisi della serie storica della stazione pluviometrica di La Spezia.

Il confronto effettuato ha portato nel PdB ad assumere per quasi tutti i bacini la portata di riferimento derivante dal metodo razionale, in quanto generalmente (ma non sempre) più gravosa, con l'eccezione di alcuni bacini di superficie superiore a 2 km^2.

Nel presente studio è stato condotto un aggiornamento dell'input pluviometrico di precipitazione intensa, ed è stata inoltre introdotta qualche variazione nella definizione delle aree contribuenti e dello sviluppo delle aste principali per alcuni dei corpi idrici in esame. Anche i tempi di corrivazione dei bacini sono stati ridefiniti facendo riferimento a una serie di formulazioni differenti, anziché all'unica formula di Viparelli.

Si è pertanto proceduto a una rivalutazione delle portate di piena di riferimento, mantenendo per congruenza la stessa impostazione di confronto tra il modello razionale e la regionalizzazione CIMA adottata nel PdB.

6.1 Modelli afflussi/deflussi

6.1.1 Metodo CIMA

La procedura di regionalizzazione proposta dal CIMA consente il calcolo delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno in una sezione qualunque di un corso d'acqua ligure in funzione della sua ubicazione e della sua area sottesa.

[3] Provincia della Spezia – Piano di Bacino Ambito 20 – Golfo della Spezia.

Per i bacini più significativi con superficie superiore a 5 km², vengono riportati direttamente in apposite tabelle i valori delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno alla foce e nelle principali confluenze. Per le sezioni la cui portata non è direttamente tabellata la metodologia ne consente il calcolo mediante la formula di interpolazione $Q = c \cdot A^{0,75}$, dove A [km²] è l'area del bacino e c è un parametro tabellato in funzione del tempo di ritorno e dell'ubicazione della sezione lungo l'asta del corso d'acqua.

Per i corsi d'acqua con superficie maggiore o uguale a 2 km², la cui portata non risulti tabellata o non possa essere ricavata mediante interpolazione nel modo precedentemente descritto, è applicabile invece la seguente formulazione:

$$Q = 0.3 \cdot K_T \cdot A \cdot C_F \cdot a_{2.9}{}^{4/3} \cdot t_b$$

dove A [km²] è la superficie del bacino sotteso, K_T è un fattore di frequenza tabellato in funzione del tempo di ritorno, e gli altri parametri sono invece calcolabili secondo le seguenti espressioni:

$$C_F = \frac{3}{4} \cdot \left(4 \cdot 25.4 \cdot \frac{1000 - 10 \cdot CN}{CN} \right)^{-1/3}$$

$$a_{2.9} = 1.06 \cdot E[H_1]$$

$$t_b = 0.25 + 0.27 \cdot A^{1/2}$$

CN è il Curve Number già definito nel capitolo 3. Per ridurre l'effetto di soggettività nella sua valutazione, il CIMA suggerisce di restringere la scelta a quattro diverse possibili classi in cui suddividere i bacini regionali, come da Tabella 15. I vari bacini sono dunque stati classificati in funzione del valore ottenuto nel capitolo 3.

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

Tabella 15 – Classificazione dei bacini regionali per la stima del valore di CN secondo il metodo CIMA.

Il parametro $E[H_1]$ rappresenta invece il valore della pioggia indice, tabellato in funzione della longitudine. Esso è ottenibile dall'analisi di una serie storica di dati pluviometrici come media dei massimi annuali di pioggia per durata pari a 1 ora.

Nella regionalizzazione CIMA le curve di possibilità pluviometrica sono espresse come

$$h(t,T) = K_T \cdot E[H_{12}] \cdot \left(\frac{t}{12} \right)^n$$

dove la pioggia indice $E[H_{12}]$, relativa alla durata di 12 ore, è legata alla $E[H_1]$ dalla seguente relazione, che deriva dall'avere assunto un esponente *n* sempre costante per i vari tempi di ritorno e pari a 0,39:

$$E[H_{12}] = E[H_1] \cdot 12^{0,39}.$$

Nel PdB si fa riferimento per l'intero Golfo a una longitudine media di 9° 50', a cui corrisponde un valore di $E[H_1]$ pari a 37,1 mm e di $E[H_{12}]$ pari a 97,8 mm. Come si può osservare dai dati riportati in Tabella 5 nel capitolo 2, rispetto agli omologhi valori ricavabili per la serie storica della stazione di La Spezia relativamente al periodo 1935-1986 (intervallo di dati considerato nel PdB) quelli ottenuti con la regionalizzazione CIMA risultano superiori, e i conseguenti valori di precipitazione massima di riferimento ricavati dalla metodologia secondo il PdB "*risultano mediamente superiori di una percentuale variabile tra il 30% e il 70% circa rispetto a quelli ricavati dall'analisi statistica diretta dei dati storici della stazione di La Spezia. Lo scostamento aumenta all'aumentare del tempo di ritorno e della durata di pioggia*".

Nel vigente PdB pertanto il calcolo delle portate di piena con il metodo CIMA è effettuato considerando come pioggia indice quella derivante dai dati locali della stazione di La Spezia, in quanto giudicati maggiormente rappresentativi.

L'aggiornamento dell'analisi pluviometrica condotto nel presente studio ha mostrato la sostanziale congruenza dei valori di pioggia indice assunti nel PdB e i valori omologhi relativi al periodo (1935-2018), con scostamenti massimi dell'ordine del 2%.

Per piccoli bacini (indicativamente di superficie compresa tra 10 e 2 km2) è possibile applicare una procedura di calcolo semplificata per la valutazione della portata con tempo di ritorno 2,9 anni:

$$Q_{2,9} = C_Q \cdot A \cdot \left(0,25 + 0,27 \cdot A^{1/2}\right)^{-0,48};$$

mentre le portate per i diversi tempi di ritorno si ottengono dalla

$$Q_T = K_T \cdot Q_{2,9};$$

con K_T – fattore di frequenza delle portate – fornito dalla Tabella 16, mentre il coefficiente C_Q è tabellato in funzione del tipo di bacino (Tabella 15) e della sua posizione geografica.

TR [anni]	5	10	30	50	100	200	500
K_T	1,29	1,79	2,90	3,47	4,25	5,02	6,04

Tabella 16 – Coefficienti di crescita (fattori di frequenza) delle portate per diversi tempi di ritorno.

Onde evitare la tendenza – legata alla descrizione matematica delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica – a produrre precipitazioni di intensità tendente ad infinito in corrispondenza a durate tendenti a zero, nel metodo CIMA si suggerisce di adottare, per bacini aventi area minore di 2 km^2, un contributo unitario costante pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi area drenata pari a 2 km^2.

In questo caso il valore di portata è pari a

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2}$$

nella quale $U_{A=2}$ è il contributo unitario per area pari a 2 km^2, espresso in $m^3/s/km^2$, ed è anch'esso tabellato in funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica.

6.1.2 Metodo razionale

Il metodo razionale (o cinematico) schematizza il processo di corrivazione (e quindi di deflusso dell'acqua di pioggia verso la sezione di chiusura) come predominante rispetto a quello di invaso, facendo riferimento ad un evento di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (v. capitolo 6.1.3).

La portata defluente legata ad un afflusso *A(t)* sarà data dall'integrale nel tempo *t* di un idrogramma unitario istantaneo (o IUH) *u(t)*, generato da un afflusso di altezza unitaria e durata infinitesima, moltiplicato per l'entità della precipitazione, ovvero dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^{t^*} [u(t-\tau) \cdot A(\tau)] \cdot d\tau \,.$$

Si ipotizza inoltre che l'idrogramma di afflusso sia costante e pari a:

$$A(t) = \varphi \cdot I(t_P) \cdot S \,,$$

con φ coefficiente di deflusso, $I(t_P)$ intensità media della pioggia di durata t_P, ed S superficie contribuente.

Il calcolo delle portate di piena in funzione di una determinata altezza di pioggia *h* di progetto viene effettuato utilizzando la formula di Turazza:

$$Q[m^3/s] = \frac{\varphi \cdot h \cdot A}{3{,}6 \cdot t_c}$$

dove:

A [km^2] = superficie del bacino;
φ [-] = coefficiente medio di deflusso del bacino;
h [mm] = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione, determinata a partire dalla curva di possibilità climatica di assegnato tempo di ritorno;
t_c[ore] = tempo di corrivazione del bacino.

Sui valori di altezza di pioggia critica h [mm], ottenuti in funzione delle curve di possibilità climatica di progetto, non è stato applicato alcun coefficiente di ragguaglio areale (per tenere conto della non uniformità della precipitazione sull'intera superficie del bacino in esame) in ragione della limitata estensione spaziale delle aree contribuenti.

6.1.3 Tempi di corrivazione

Il *tempo di corrivazione tc* di un dato bacino è un valore caratteristico che rappresenta il tempo in cui l'intera superficie del bacino, sottoposta ad una pioggia omogeneamente distribuita, contribuisce a formare la portata che si registra nella sezione di chiusura del bacino stesso. Esso dipende da una serie di parametri quali la superficie del bacino, la lunghezza e pendenza dell'asta principale, la struttura morfologica e altimetrica (quote e pendenze dei versanti, ramificazione degli affluenti).

La massima portata al colmo associabile ad un tempo di ritorno di un evento meteorico critico è legata ad un evento di durata di scroscio pari al tempo di corrivazione del bacino alla sezione in esame poiché a parità di probabilità di occorrenza dell'evento critico l'intensità di pioggia I [mm/h] decresce all'aumentare della durata dello scroscio.

Per il calcolo del tempo di corrivazione *tc* sono disponibili numerose formule in letteratura tecnica. Di seguito di riportano le formule di maggiore utilizzo, con *tc* espresso in ore. Nella simbologia utilizzata, *A* indica la superficie del bacino, *L* la lunghezza dell'asta principale, *Hmed* e *Hmin* rispettivamente la quota media e minima, *i* la pendenza media dell'asta principale, *v* la velocità media di percorrenza dell'asta, i_v la pendenza media dei versanti e *S* un parametro del metodo SCS che rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, pari a:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10,$$

dove CN è il Runoff Curve Number, già descritto in precedenza.

Formula di Giandotti: $t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1{,}5 \cdot L}{0{,}8 \cdot \sqrt{H_{\text{med}} - H_{\text{min}}}}$

Formula di Pezzoli: $t_c = 0{,}055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$

Formula di Ventura: $t_c = 0{,}1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}}$

Formula di Pasini: $t_c = 0{,}108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i}}$

Formula S.C.S.: $t_c = 0{,}057 \cdot \frac{L^{0{,}8} \cdot (S+1)^{0{,}7}}{\sqrt{i_v}}$

Formula di Viparelli: $t_c = 16{,}667 \cdot \frac{L}{v}$

Il peso da associare al risultato di ciascuna formula deve essere valutato in base a considerazioni di carattere generale sui campi di applicabilità di ogni singola formula, essendo esse di origine sperimentale.

Nel vigente PdB è presa in considerazione unicamente la formula di Viparelli, assumendo un valore sempre pari a 1 m/s in considerazione delle "modeste pendenze dei bacini e delle aste dei corsi d'acqua". Tale assunzione non appare rappresentativa dei tratti oggetto di analisi nel presente studio, talora a elevatissima pendenza. Inoltre la formula è meno adatta alla descrizione di bacini di forma allungata o con ramificazione articolata, in quanto punti di pari quota potrebbero essere ubicati a distanze significativamente diverse dalla sezione di chiusura.

Relativamente alle altre formule esposte, dalla letteratura tecnica si rileva che Giandotti ricavò la sua formula per bacini di tipo alpino, con dimensioni superiori ai 70 km^2. Essa si dimostra tuttavia particolarmente versatile nella descrizione anche di bacini di piccole dimensioni, soprattutto se dotati di struttura ramificata.

Le tre formule successive sono state ottenute per bacini naturali di dimensioni non troppo grandi: la formula di Pezzoli è stata sviluppata sui dati di piccoli bacini montani a forte pendenza di dimensioni inferiori ai 20 km^2, Ventura e Pasini considerano bacini di dimensioni medie (anche fino a 40 km^2) e pendenze più ridotte.

Il metodo S.C.S., sviluppato per bacini di tipo collinare, presenta un campo di applicazione piuttosto vasto e fornisce buoni risultati per un'ampia gamma di condizioni, seppure non sia ritenuto molto affidabile per bacini di piccola estensione o di elevata pendenza.

Per i bacini oggetto del presente studio, in relazione alle caratteristiche morfologiche, sono stati assegnati dei pesi alle varie formule, calcolando poi come media pesata il tempo di corrivazione di riferimento.

In linea generale per i bacini di più piccola estensione e di forma allungata (tipicamente incisioni a elevata pendenza) è stato assegnato un maggior peso alle formule di Ventura, Pasini e Pezzoli, mentre la formula di Giandotti è stata considerata con peso pari o superiore alle altre nei bacini di maggiori dimensioni o con struttura morfologica articolata. La formula S.C.S. non è stata considerata nel calcolo (peso = 0) in quanto da letteratura tecnica non ritenuta adatta alla descrizione di questa tipologia di bacini (dimensioni molto piccole, pendenze elevate). In realtà si è poi riscontrato dai risultati ottenuti come in molti casi i tempi di corrivazione forniti da questa formula risultassero discretamente in linea con quelli ricavati da Pezzoli, Ventura e Pasini.

Per attribuire un maggiore peso specifico alle valutazioni condotte nel vigente Piano di Bacino, alla formula di Viparelli è stato sempre assegnato un peso pari a 1,0, indipendentemente dal bacino considerato. Come nel PdB, la formula è stata sempre applicata considerando una velocità di 1,0 m/s.

La Tabella 17 sintetizza i risultati ottenuti per i bacini oggetto di indagine.

	Corso d'acqua	Sezione	Giandotti	P	Ventura	P	Pezzoli	P	Pasini	P	S.C.S.	P	Viparelli	P	Media
		[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]
01 - Pezzogrande	Pezzogrande	PZ-A	0,90	0,5	0,38	1,0	0,30	1,0	0,39	1,0	0,38	0,0	0,50	1,0	**0,45**
	Pezzogrande	PZ-B	0,51	0,5	0,19	1,0	0,15	1,0	0,19	1,0	0,26	0,0	0,30	1,0	**0,24**
	Pezzogrande	PZ-C	0,26	0,5	0,05	1,0	0,05	1,0	0,06	1,0	0,13	0,0	0,14	1,0	**0,17**
	Muggiano	PZ_MU-B	0,44	0,5	0,13	1,0	0,09	1,0	0,13	1,0	0,18	0,0	0,22	1,0	**0,18**
	Muggiano	PZ_MU-A	0,73	0,5	0,25	1,0	0,24	1,0	0,28	1,0	0,33	0,0	0,42	1,0	**0,35**
02	Canalone	CL-A	0,74	0,5	0,24	1,0	0,20	1,0	0,25	1,0	0,25	0,0	0,38	1,0	**0,32**
03 - Pagliari	Pagliari	PA-A	1,07	0,5	0,38	1,0	0,35	1,0	0,41	1,0	0,29	0,0	0,47	1,0	**0,48**
	Pagliari	PA-B	0,58	0,5	0,18	1,0	0,11	1,0	0,17	1,0	0,13	0,0	0,20	1,0	**0,21**
	Valle Oscura	VO-A	0,57	0,0	0,14	1,0	0,19	1,0	0,18	1,0	0,18	0,0	0,29	1,0	**0,20**
04 - Fossa Mastra	Fossa Mastra	FM-A	3,05	0,5	1,55	1,0	1,04	1,0	1,52	1,0	0,82	0,0	1,19	1,0	**1,52**
	Affluente Fossa Mastra	FM_A1-A	0,97	0,5	0,29	1,0	0,27	1,0	0,32	1,0	0,30	0,0	0,43	1,0	**0,40**
	Fossa Mastra	FM-B	1,68	0,5	0,72	1,0	0,51	1,0	0,72	1,0	0,49	0,0	0,69	1,0	**0,77**
	Tombone	FM_TO-A	1,28	0,5	0,50	1,0	0,43	1,0	0,54	1,0	0,48	0,0	0,59	1,0	**0,60**
	Colombiera	FM_CO-A	1,22	0,5	0,35	1,0	0,31	1,0	0,38	1,0	0,41	0,0	0,41	1,0	**0,46**
	Affluente Fossa Mastra	FM_A2-A	1,10	0,5	0,34	1,0	0,39	1,0	0,40	1,0	0,41	0,0	0,53	1,0	**0,49**
	Fosso di Calcinara	FM_CA-A	1,25	0,5	0,43	1,0	0,37	1,0	0,46	1,0	0,42	0,0	0,59	1,0	**0,55**
	Fosso di Calcinara	FM_CA-B	0,63	0,5	0,20	1,0	0,11	1,0	0,18	1,0	0,19	0,0	0,25	1,0	**0,24**

	Corso d'acqua	Sezione	Giandotti	P	Ventura	P	Pezzoli	P	Pasini	P	S.C.S.	P	Viparelli	P	Media
		[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]
05 - Melara	Melara	ME-A	1,95	0,0	0,47	1,0	0,48	1,0	0,53	1,0	0,32	0,0	0,51	1,0	**0,50**
	Melara	ME-B	1,41	0,0	0,24	1,0	0,27	1,0	0,28	1,0	0,22	0,0	0,34	1,0	**0,28**
	Melara	ME-C	1,55	0,0	0,23	1,0	0,24	1,0	0,27	1,0	0,23	0,0	0,32	1,0	**0,27**
	Melara	ME-D	0,38	0,0	0,06	1,0	0,05	1,0	0,07	1,0	0,07	0,0	0,11	1,0	**0,17**
06 - V. Dorgia	Vecchia Dorgia	VD-A	1,67	1,0	0,64	1,0	0,76	1,0	0,76	1,0	0,72	0,0	1,00	1,0	**0,97**
	Vecchia Dorgia	VD-B	1,39	1,0	0,44	0,5	0,31	0,5	0,44	0,5	0,40	0,0	0,53	1,0	**0,72**
	Vecchia Dorgia	VD-C	0,55	1,0	0,20	0,5	0,14	0,5	0,20	0,5	0,25	0,0	0,32	1,0	**0,33**
	Vecchia Dorgia	VD-D	0,96	1,0	0,27	0,5	0,29	0,5	0,31	0,5	0,39	0,0	0,43	1,0	**0,52**
07 - N. Dorgia	Nuova Dorgia	ND-A	1,54	1,0	0,89	0,5	0,86	0,8	0,99	0,5	0,72	0,0	1,23	1,0	**1,16**
	Nuova Dorgia	ND-B	1,21	1,0	0,61	0,5	0,30	0,8	0,54	0,5	0,38	0,0	0,59	1,0	**0,70**
	Nuova Dorgia	ND-C	1,09	1,0	0,55	0,5	0,43	0,8	0,57	0,5	0,44	0,0	0,72	1,0	**0,72**
	Fosso di Buonviaggio	ND_BN-A	0,91	1,0	0,39	0,5	0,30	0,8	0,40	0,5	0,39	0,0	0,59	1,0	**0,57**
	Fosso Pellizzaro	ND_PE-A	0,53	0,5	0,18	1,0	0,16	1,0	0,20	0,5	0,26	0,0	0,39	1,0	**0,27**
08 - Rossano	Rossano	RO-A	1,91	0,5	0,53	0,8	0,58	0,8	0,62	0,8	0,45	0,0	0,78	1,0	**0,81**
	Rossano	RO-C	0,87	0,5	0,23	1,0	0,24	1,0	0,26	1,0	0,21	0,0	0,42	1,0	**0,35**
	Rossano	RO-D	0,62	0,5	0,15	1,0	0,12	1,0	0,16	1,0	0,12	0,0	0,26	1,0	**0,22**
	Rossano	RO-B	1,13	0,5	0,36	1,0	0,24	1,0	0,35	1,0	0,21	0,0	0,42	1,0	**0,43**
	Fosso Andreino	RO_AN-A	0,88	0,5	0,25	1,0	0,23	1,0	0,27	1,0	0,18	0,0	0,36	1,0	**0,34**
	Fosso Andreino	RO_AN-B	0,41	0,5	0,11	1,0	0,07	1,0	0,11	1,0	0,09	0,0	0,15	1,0	**0,17**
	Monte Pertico	RO_MP-A	0,55	0,5	0,14	1,0	0,10	1,0	0,14	1,0	0,13	0,0	0,17	1,0	**0,18**
09 - Cappelletto	Cappelletto	CA-A	1,49	1,0	0,57	0,8	0,63	0,8	0,66	0,8	0,51	0,0	0,91	1,0	**0,89**
	Cappelletto	CA-B	1,16	1,0	0,45	0,8	0,37	0,8	0,47	0,8	0,33	0,0	0,63	1,0	**0,65**
	Cappelletto	CA-C	0,81	1,0	0,32	0,8	0,20	0,8	0,30	0,8	0,21	0,0	0,41	1,0	**0,43**
10 - Val Dell'Ora	Val Dell'Ora	VL-A	1,34	0,5	0,43	1,0	0,42	1,0	0,48	1,0	0,44	0,0	0,59	1,0	**0,58**
	Val Dell'Ora	VL-B	0,95	0,5	0,23	1,0	0,27	1,0	0,28	1,0	0,34	0,0	0,37	1,0	**0,36**
	Val Dell'Ora	VL-C	1,03	0,5	0,32	1,0	0,33	1,0	0,36	1,0	0,36	0,0	0,49	1,0	**0,45**
	Val Dell'Ora	VL-D	0,55	0,5	0,12	1,0	0,09	1,0	0,13	1,0	0,16	0,0	0,19	1,0	**0,18**
	Val Dell'Ora	VL-E	0,62	0,5	0,18	1,0	0,15	1,0	0,19	1,0	0,21	0,0	0,29	1,0	**0,25**
11 - Lagora	Lagora	LA-A	1,91	1,0	1,34	0,3	0,86	0,3	1,29	0,3	1,11	0,0	1,56	1,0	**1,56**
	Lagora	LA-B	0,97	1,0	0,52	0,3	0,49	0,3	0,57	0,3	0,75	0,0	1,00	1,0	**0,84**
	Fosso di Cantarana	LA_CA-A	0,50	0,5	0,19	1,0	0,14	1,0	0,19	1,0	0,33	0,0	0,32	1,0	**0,24**
	Colombaro	LA_CO-A	1,37	1,0	0,69	0,3	0,43	0,3	0,66	0,3	0,68	0,0	0,78	1,0	**0,93**
	Colombaro	LA_CO-B	1,14	1,0	0,57	0,5	0,32	0,5	0,53	0,5	0,53	0,0	0,56	1,0	**0,69**
	Colombaro	LA_CO-C	0,65	1,0	0,26	0,0	0,17	0,0	0,26	0,0	0,36	0,0	0,37	1,0	**0,51**
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-A	0,66	0,5	0,18	1,0	0,24	1,0	0,22	1,0	0,49	0,0	0,46	1,0	**0,32**

	Corso d'acqua	Sezione	Giandotti	P	Ventura	P	Pezzoli	P	Pasini	P	S.C.S.	P	Viparelli	P	Media
		[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]	[-]	t_c [h]
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-B	0,37	0,5	0,10	1,0	0,11	1,0	0,12	1,0	0,26	0,0	0,26	1,0	**0,17**
	Fosso di Borzonasca	LA_BO-A	0,76	1,0	0,28	1,0	0,25	1,0	0,31	1,0	0,47	0,0	0,48	1,0	**0,42**
	Fosso di Fabiano	LA_FA-A	0,71	1,0	0,38	0,0	0,35	0,0	0,41	0,0	0,59	0,0	0,79	1,0	**0,75**
	Fosso di Ligurzano	LA_LI-A	0,53	1,0	0,23	1,0	0,19	1,0	0,24	1,0	0,38	0,0	0,46	1,0	**0,33**
	Fosso di Morio	LA_MO-A	0,50	1,0	0,20	1,0	0,19	1,0	0,22	1,0	0,45	0,0	0,52	1,0	**0,32**
	Fosso di Porzano	LA_PO-A	0,45	0,5	0,15	1,0	0,15	1,0	0,17	1,0	0,38	0,0	0,44	1,0	**0,25**
	Fosso Stagno	LA_ST-A	1,63	0,0	0,53	1,0	0,48	1,0	0,57	1,0	0,78	0,0	0,65	1,0	**0,56**
	Fosso Stagno	LA_ST-B	0,35	0,0	0,09	1,0	0,06	1,0	0,09	1,0	0,18	0,0	0,16	1,0	**0,17**
	Fosso di Proffiano	LA_PR-A	0,56	0,0	0,18	1,0	0,21	1,0	0,21	1,0	0,42	0,0	0,44	1,0	**0,26**
	Tassonaro	LA_TA-A	1,02	1,0	0,70	0,0	0,53	0,0	0,72	0,0	0,76	0,0	1,12	1,0	**1,07**
	Vappa	LA_VP-A	0,64	0,0	0,12	1,0	0,10	1,0	0,13	1,0	0,24	0,0	0,22	1,0	**0,17**
12	Fosso di Caporacca	CP-A	0,95	1,0	0,61	0,8	0,57	0,8	0,67	0,8	0,41	0,0	1,05	1,0	**0,79**
13	Pianello	PN-A	0,36	0,5	0,08	1,0	0,09	1,0	0,09	1,0	0,16	0,0	0,23	0,5	**0,17**
14	Canale del Netto	NE-A	0,61	0,5	0,25	1,0	0,23	1,0	0,27	1,0	0,28	0,0	0,57	0,5	**0,34**

Tabella 17 – Tempi di corrivazione ottenuti per ciascun bacino di interesse dalle varie formule e pesi attribuiti alle stesse; valori di riferimento derivanti dalla media pesata.

6.2 Portate al colmo di piena

Secondo le due metodologie descritte nel capitolo 6.1 sono state calcolate le portate massime di piena di riferimento per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni per tutti i bacini oggetto di analisi.

Per una prima fase di confronto, il metodo CIMA è stato applicato nella sua accezione originale, ovvero con riferimento ai parametri regionalizzati e all'effettiva longitudine cui si trovano i vari bacini.

Considerando le nuove curve di possibilità pluviometrica derivanti dall'aggiornamento condotto nel presente studio e i diversi tempi di corrivazione definiti per i vari bacini (oltre che alcune differenze di area contribuente), le portate ottenute con l'applicazione del metodo razionale generalmente differiscono da quelle indicate nel PdB.

Dai risultati riassunti in Tabella 18 si osserva come le portate ottenute con il metodo razionale siano generalmente superiori a quelle della regionalizzazione CIMA (nella formulazione originaria) per i bacini più a Levante (dal Pezzogrande al Melara) e più a Ponente (Netto, Pianello – fa eccezione il Caporacca), e per gran parte del bacino del Lagora. Le portate restituite dal metodo CIMA risultano invece maggiori per l'area centrale del Golfo (Vecchia e Nuova Dorgia, Rossano, Cappelletto, Val dell'Ora).

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione		Altezze di Pioggia			Metodo Razionale			Metodo CIMA		
						TR50	TR200	TR500	TR50	TR200	TR500	TR50	TR200	TR500
		[-]	A [km²]	t_c [h]	t_c [min]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
01 - Pezzogrande	Pezzogrande	PZ-A	0,92	0,45	27	48,87	58,89	65,47	**20,82**	**25,09**	**27,89**	14,90	21,55	25,93
	Pezzogrande	PZ-B	0,35	0,24	14	30,33	35,91	39,57	**9,24**	**10,94**	**12,05**	5,67	8,21	9,88
	Pezzogrande	PZ-C	0,06	0,17	10	22,92	26,86	29,45	**1,49**	**1,74**	**1,91**	0,90	1,30	1,56
	Muggiano	PZ_MU-B	0,21	0,18	11	23,81	27,94	30,65	**5,55**	**6,51**	**7,15**	3,39	4,90	5,90
	Muggiano	PZ_MU-A	0,47	0,35	21	39,94	47,77	52,91	**10,49**	**12,55**	**13,90**	7,52	10,89	13,10
02	Canalone	CL-A	0,45	0,32	19	37,66	44,94	49,73	**11,17**	**13,33**	**14,75**	7,34	10,62	12,77
03 - Pagliari	Pagliari	PA-A	0,63	0,48	29	51,16	61,74	68,70	**14,15**	**17,08**	**19,01**	10,13	14,65	17,63
	Pagliari	PA-B	0,27	0,21	13	27,44	32,37	35,61	**6,77**	**7,98**	**8,78**	4,32	6,25	7,52
	Valle Oscura	VO-A	0,11	0,20	12	26,26	30,93	34,00	**2,81**	**3,31**	**3,64**	1,77	2,56	3,08
04 - Fossa Mastra	Fossa Mastra	FM-A	7,57	1,52	91	83,73	101,40	113,07	84,12	101,88	113,61	**98,35**	**142,28**	**171,19**
	Affluente Fossa Mastra	FM_A1-A	0,50	0,40	24	44,33	53,23	59,07	**10,82**	**13,00**	**14,42**	8,02	11,60	13,96
	Fossa Mastra	FM-B	2,32	0,77	46	69,42	84,47	94,38	**40,43**	49,19	54,97	36,62	**52,97**	**63,74**
	Tombone	FM_TO-A	1,09	0,60	36	60,84	73,89	82,48	**21,61**	**26,25**	29,30	17,66	25,54	**30,73**
	Colombiera	FM_CO-A	0,52	0,46	28	49,80	60,04	66,77	**12,60**	**15,19**	**16,89**	8,46	12,24	14,73
	Affluente Fossa Mastra	FM_A2-A	0,52	0,49	30	52,40	63,29	70,46	**11,54**	**13,95**	**15,52**	8,41	12,16	14,63
	Fosso di Calcinara	FM_CA-A	1,11	0,55	33	56,81	68,83	76,73	**23,21**	**28,13**	**31,35**	17,92	25,92	31,19
	Fosso di Calcinara	FM_CA-B	0,55	0,24	14	29,86	35,33	38,93	**13,44**	**15,90**	**17,52**	8,80	12,73	15,32
05 - Melara	Melara	ME-A	0,59	0,50	30	52,72	63,70	70,92	**13,46**	**16,26**	**18,10**	9,46	13,68	16,46
	Melara	ME-B	0,21	0,28	17	34,36	40,86	45,14	**5,38**	**6,40**	**7,07**	3,44	4,97	5,98
	Melara	ME-C	0,22	0,27	16	32,67	38,79	42,80	**5,98**	**7,09**	**7,83**	3,56	5,15	6,20
	Melara	ME-D	0,04	0,17	10	22,92	26,86	29,45	**1,15**	**1,34**	**1,47**	0,65	0,93	1,12
06 - V. Dorgia	Vecchia Dorgia	VD-A	1,73	0,97	58	73,82	89,68	100,14	27,89	33,88	37,83	**42,17**	**61,01**	**73,41**
	Vecchia Dorgia	VD-B	1,40	0,72	43	68,03	82,82	92,56	27,60	33,60	37,56	**34,22**	**49,51**	**59,57**
	Vecchia Dorgia	VD-C	0,53	0,33	20	38,46	45,93	50,84	**13,01**	15,53	17,19	13,00	**18,81**	**22,64**
	Vecchia Dorgia	VD-D	0,38	0,52	31	54,71	66,19	73,74	8,22	9,95	11,08	**9,17**	**13,27**	**15,96**
07 - N. Dorgia	Nuova Dorgia	ND-A	3,89	1,16	70	77,76	94,35	105,29	52,60	63,82	71,22	**85,65**	**123,90**	**149,08**
	Nuova Dorgia	ND-C	2,11	0,72	43	67,98	82,76	92,49	38,77	47,20	52,75	**51,02**	**73,81**	**88,80**
	Fosso di Buonviaggio	ND_BN-A	1,39	0,57	34	58,25	70,64	78,78	29,70	36,02	40,17	**33,79**	**48,88**	**58,81**
	Fosso Pellizzaro	ND_PE-A	0,47	0,27	16	33,49	39,80	43,94	**11,85**	14,08	15,54	11,35	**16,42**	**19,75**
08 - Rossano	Rossano	RO-A	1,26	0,81	49	70,28	85,49	95,51	23,59	28,70	32,06	**30,68**	**44,38**	**53,40**
	Rossano	RO-C	0,41	0,35	21	40,52	48,49	53,73	9,49	11,36	12,58	**9,89**	**14,31**	**17,22**
	Rossano	RO-D	0,28	0,22	13	28,63	33,83	37,24	**6,97**	8,24	9,07	6,81	**9,86**	**11,86**
	Rossano	RO-B	1,00	0,43	26	47,22	56,83	63,14	23,44	28,21	31,34	**24,28**	**35,12**	**42,26**

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione		Altezze di Pioggia			Metodo Razionale			Metodo CIMA		
						TR50	TR200	TR500	TR50	TR200	TR500	TR50	TR200	TR500
		[-]	A [km²]	t_c [h]	t_c [min]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
	Fosso Andreino	RO_AN-A	0,36	0,34	21	39,90	47,72	52,85	8,58	10,27	11,37	**8,89**	**12,86**	**15,47**
	Fosso Andreino	RO_AN-B	0,13	0,17	10	22,92	26,86	29,45	**3,39**	3,97	4,36	3,09	**4,48**	**5,38**
	Monte Pertico	RO_MP-A	0,15	0,18	11	24,57	28,87	31,69	**4,09**	4,80	5,27	3,56	**5,15**	**6,19**
09 - Cappelletto	Cappelletto	CA-A	1,64	0,89	54	72,20	87,77	98,03	26,69	32,44	36,23	**30,58**	**44,25**	**53,24**
	Cappelletto	CA-B	1,43	0,65	39	64,50	78,51	87,73	**28,31**	34,46	38,50	26,74	**38,69**	**46,55**
	Cappelletto	CA-C	1,05	0,43	26	47,38	57,02	63,35	**22,39**	26,94	29,94	19,58	**28,33**	**34,09**
10 - Val Dell'Ora	Val Dell'Ora	VL-A	0,85	0,58	35	59,01	71,59	79,87	**18,82**	22,83	25,47	17,15	**24,81**	**29,85**
	Val Dell'Ora	VL-B	0,25	0,36	22	41,41	49,60	54,97	**6,44**	7,71	8,55	5,97	**8,63**	**10,39**
	Val Dell'Ora	VL-C	0,58	0,45	27	48,90	58,92	65,50	13,42	16,17	17,98	**15,77**	**22,81**	**27,45**
	Val Dell'Ora	VL-D	0,14	0,18	11	24,18	28,39	31,15	3,84	4,51	4,95	**4,16**	**6,01**	**7,23**
	Val Dell'Ora	VL-E	0,30	0,25	15	31,33	37,14	40,95	7,91	9,38	10,35	**10,34**	**14,96**	**18,00**
11 - Lagora	Lagora	LA-A	14,38	1,56	93	84,36	102,15	113,90	162,96	197,32	220,02	**171,02**	**247,41**	**297,68**
	Lagora	LA-B	2,70	0,84	51	71,09	86,45	96,57	**45,26**	55,04	61,49	43,06	**62,29**	**74,95**
	Fosso di Cantarana	LA_CA-A	0,49	0,24	15	30,61	36,25	39,96	**12,75**	**15,10**	**16,65**	8,09	11,71	14,09
	Colombaro	LA_CO-A	3,86	0,93	56	72,99	88,71	99,07	**65,53**	79,64	88,93	58,08	**84,03**	**101,10**
	Colombaro	LA_CO-B	2,44	0,69	41	67,18	81,81	91,44	**49,86**	**60,72**	67,88	39,49	57,14	**68,74**
	Colombaro	LA_CO-C	0,77	0,51	31	54,06	65,37	72,81	**16,90**	**20,44**	**22,76**	12,80	18,51	22,27
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-A	0,30	0,32	19	37,66	44,94	49,72	**7,58**	**9,04**	**10,00**	4,96	7,17	8,63
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-B	0,15	0,17	10	23,69	27,80	30,50	**4,11**	**4,82**	**5,29**	2,41	3,49	4,20
	Fosso di Borzonasca	LA_BO-A	0,69	0,42	25	46,17	55,52	61,65	**15,88**	**19,09**	**21,21**	11,45	16,57	19,93
	Fosso di Fabiano	LA_FA-A	1,82	0,75	45	68,76	83,69	93,52	**32,49**	39,55	44,19	30,24	**43,74**	**52,63**
	Fosso di Ligurzano	LA_LI-A	0,73	0,33	20	38,69	46,22	51,16	**16,62**	**19,86**	**21,98**	12,16	17,59	21,16
	Fosso di Morio	LA_MO-A	0,71	0,32	19	38,13	45,53	50,39	**16,11**	**19,23**	**21,28**	11,73	16,97	20,41
	Fosso di Porzano	LA_PO-A	0,49	0,25	15	31,42	37,25	41,08	**11,87**	**14,07**	**15,52**	8,14	11,77	14,16
	Fosso Stagno	LA_ST-A	1,24	0,56	33	57,41	69,58	77,58	**28,14**	**34,11**	**38,04**	20,61	29,81	35,87
	Fosso Stagno	LA_ST-B	0,12	0,17	10	22,92	26,86	29,45	**3,18**	**3,73**	**4,09**	1,98	2,86	3,44
	Fosso di Proffiano	LA_PR-A	0,36	0,26	16	32,26	38,28	42,23	**9,36**	**11,11**	**12,26**	6,04	8,74	10,51
	Tassonaro	LA_TA-A	5,32	1,07	64	75,92	92,17	102,89	**78,85**	95,73	106,87	75,89	**109,79**	**132,10**
	Vappa	LA_VP-A	0,19	0,17	10	22,92	26,86	29,45	**5,73**	**6,72**	**7,36**	3,12	4,51	5,43
12	Fosso di Caporacca	CP-A	2,95	0,79	48	69,92	85,06	95,04	50,55	61,50	68,71	**52,78**	**76,36**	**91,88**
13	Pianello	PN-A	0,11	0,17	10	22,92	26,86	29,45	**3,25**	**3,81**	**4,17**	2,12	3,06	3,68
14	Canale del Netto	NE-A	0,93	0,34	20	39,18	46,83	51,85	**22,51**	**26,90**	29,78	17,32	25,06	**30,15**

Tabella 18 – Portate massime di piena per diversi tempi di ritorno ottenute per i bacini in esame (in grassetto i valori maggiori tra metodo razionale e metodo CIMA).

Per le aree in cui si sono riscontrati valori di portate maggiori derivanti dal metodo CIMA, l'analisi è stata affinata mediante un confronto tra i valori ottenuti dal presente studio e quelli riportati nel vigente Piano di Bacino, calcolati sia col metodo razionale che secondo il metodo CIMA "modificato" per risultare maggiormente rappresentativo delle specificità idrologiche locali (cfr. capitolo 6.1.1).

In Tabella 19 è sintetizzato il confronto effettuato, per le sezioni che sono risultate comparabili (bacini sostanzialmente identici). Con campitura grigia è indicato il valore che è stato adottato nel Piano di Bacino; in grassetto la portata che risulta essere maggiore tra le tre considerate (presente studio e le due del PdB).

Si osserva come le portate ottenute nel presente studio mediante applicazione del metodo razionale risultino sempre superiori a entrambe quelle definite dal Piano di Bacino, e perciò maggiormente cautelative.

Unicamente in due casi, ovvero le sezioni di foce del Fossamastra e della Nuova Dorgia, le portate ottenute con il metodo CIMA "modificato" risultano superiori, a fronte di una discreta congruenza per le sezioni più a monte. Per questi soli casi si è quindi considerato un incremento della portata di calcolo per mantenere la congruenza con i dati di progetto pregressi definiti dal Piano di Bacino.

Per tutte le altre sezioni sono stati assunti come valori di progetto quelli derivanti dal metodo razionale considerando i dati di input del presente studio.

I valori di riferimento sono riepilogati per i singoli bacini nel capitolo 7.

Corso d'Acqua	Sezione	Sezione PdB	Area Bacino	Area Bacino PdB	TR50		TR200		TR500	
					Metodo Razionale	M. Razionale PdB	Metodo CIMA PdB	Metodo Razionale	M. Razionale PdB	Metodo CIMA PdB	Metodo Razionale	M. Razionale PdB	Metodo CIMA PdB
	[-]	[-]	S [km^2]	S [km^2]									
Cappelletto	CA-A	A	1,64	1,62	**26,69**	26,20	21,80	**32,44**	30,60	31,60	**36,23**	33,30	38,00
Cappelletto	CA-C	B	1,05	1,09	**22,39**	25,10	14,70	**26,94**	28,80	21,30	**29,94**	31,10	25,60
Rossano	RO-A	A	1,26	1,22	**23,59**	22,70	21,50	**28,70**	26,30	31,10	**32,06**	28,50	37,40
Rossano	RO-C	C	0,41	0,33	**9,49**	8,50	5,80	**11,36**	9,70	8,40	**12,58**	10,50	10,10
Fosso Andreino	RO_AN-A	D	0,36	0,23	**8,58**	5,90	4,10	**10,27**	6,80	5,90	**11,37**	7,30	7,10
Fossa Mastra	FM-A	A	7,57	7,67	84,12	115,90	**91,50**	101,88	135,30	**132,30**	113,61	147,50	**159,20**
Fosso di Calcinara	FM_CA-A	E	1,11	1,07	**23,21**	24,60	14,40	**28,13**	28,30	20,90	**31,35**	30,60	25,10
Affluente Fossa Mastra	FM_A1-A	L	0,50	0,41	**10,82**	9,40	5,50	**13,00**	10,80	8,00	**14,42**	11,70	9,60
Fossa Mastra	FM-B	M	2,32	2,14	**40,43**	42,20	31,50	**49,19**	48,70	45,50	**54,97**	52,80	54,80
Nuova Dorgia	ND-A	A	3,89	4,05	**52,60**	52,00	49,00	63,82	60,70	**70,90**	71,22	66,10	**85,30**
Nuova Dorgia	ND-B	C	2,11	1,95	**38,77**	32,90	26,40	**47,20**	38,30	38,20	**52,75**	41,60	46,00
Fosso di Buonviaggio	ND_BN-A	D	1,39	1,44	**29,70**	30,40	19,00	**36,02**	35,10	27,50	**40,17**	38,00	33,10
Fosso Pellizzaro	ND_PE-A	F	0,47	0,53	**11,85**	11,20	19,00	**14,08**	12,90	27,50	**15,54**	14,00	12,20
Vecchia Dorgia	VD-A	A	1,73	1,64	**27,89**	27,70	28,90	**33,88**	32,20	41,80	**37,83**	35,00	50,30
Fosso di Caporacca	CP-A	A	2,95	2,76	**50,55**	43,1	35,5	**61,50**	50,3	51,3	**68,71**	54,8	61,8

Tabella 19 – Confronto tra le portate di piena del PdB vigente e quelle ottenute con il metodo razionale.

6.3 Determinazione e combinazione degli idrogrammi di piena

Poiché per le analisi svolte nel presente studio risulta opportuno il riferimento a uno schema di moto vario, sono stati definiti gli idrogrammi di piena di riferimento da associare alle portate al colmo precedentemente definite.

Affinché tali idrogrammi avessero una forma e pertanto un volume sufficientemente gravoso e realistico, per la loro determinazione è stato messo a punto un modello idrologico afflussi-deflussi che implementa il metodo dell'idrogramma unitario, mediante il codice di calcolo MIKE 11 – UHM del DHI (v. descrizione sintetica in allegato 1).

Si evidenzia come la procedura seguita per la determinazione dell'idrogramma sia congruente con quanto indicato dalla D.G.R. 359/2008. In particolare, l'approccio utilizzato è quello dell'idrogramma istantaneo unitario con definizione dei parametri sulla base del metodo CN-SCS, considerata una condizione di umidità del suolo AMC III.

L'evento critico per il singolo bacino in esame è quello che comporta una precipitazione di massima intensità (scroscio) di durata pari al tempo di corrivazione.

In questo caso la portata al colmo è nota a priori, in quanto ottenuta con la metodologia descritta nel capitolo 6.2. La metodologia è stata quindi applicata, noti i caratteri fisiografici e idrologici del bacino e l'intensità di precipitazione, per definire la forma dell'onda di piena (idrogramma) che viene a determinarsi.

Le ipotesi principali per la messa a punto del metodo, basato come detto sul metodo dell'idrogramma unitario adimensionale del metodo SCS, sono riassunte nel seguito:

- viene ipotizzata una portata iniziale di base costante (valori dell'ordine del 10% del colmo, comunque generalmente inferiori a 1 m^3/s), sul quale si sovrappone lo scroscio intenso di progetto, in modo da rappresentare un idrogramma complessivo di maggior durata che consente di descrivere in modo compiuto tutti i fenomeni idrodinamici;
- le perdite idrologiche iniziali sono state calcolate con il metodo SCS a partire dai valori di AMC III e CN definito per ciascun bacino;
- il "lag time" è stato opportunamente tarato in modo da ottenere il colmo di piena target;
- la precipitazione è stata assegnata uniforme su tutto il bacino a intensità costante e di durata pari al tempo di corrivazione.

La calibrazione del modello consente di ottenere un idrogramma di valore al colmo prossimo a quello cercato; per congruenza con i dati di progetto esso viene poi "scalato" sull'ordinata (mantenendo cioè fisse le durate e variando proporzionalmente i valori di portata) in modo da fornire il valore esatto di progetto.

Tipicamente l'idrogramma di progetto associato a una data sezione risulta (per maggiore tempo di corrivazione e diverso rapporto tra lunghezza dell'asta principale e area contribuente) di maggior volume e minore portata al colmo rispetto alla sommatoria in fase degli idrogrammi relativi agli eventuali sottobacini di monte.

Per poter eseguire simulazioni idrodinamiche complete sulle intere aste fluviali in esame, mantenendo però la coerenza idrologica del tempo di ritorno indagato sui vari tratti, gli idrogrammi ottenuti dal modello UHM sono

stati combinati considerando (nell'ipotesi di una traslazione dell'onda senza modificazioni) di ottenere a valle di una confluenza la portata massima idrologica calcolata per il tratto di valle.
In particolare, nel caso di due sezioni idrologiche consecutive ubicate sulla medesima asta principale è stato assegnato in testa al tratto l'idrogramma riferito alla sezione di monte, e come apporto distribuito sullo sviluppo dell'asta tra le due sezioni un idrogramma pari alla differenza tra quello di valle e quello di monte (v. esempio in Figura 14).

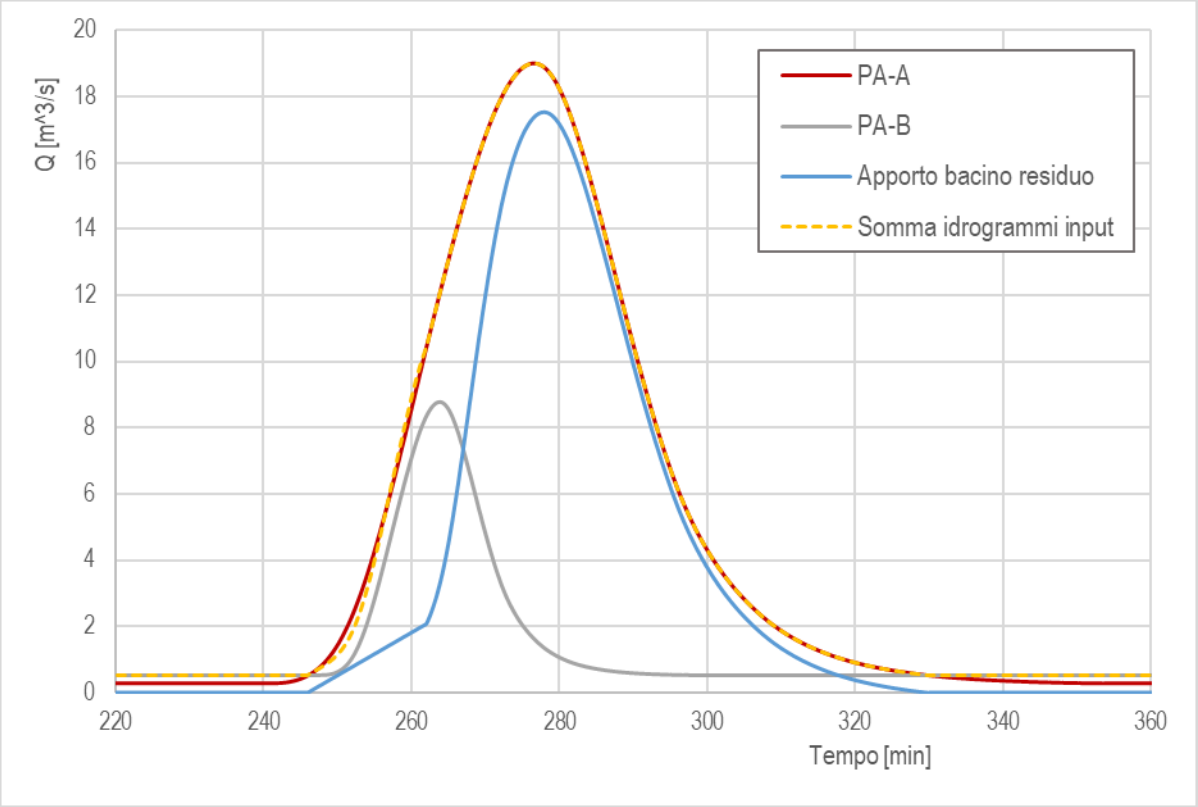


Figura 14 – Esempio di combinazione di idrogrammi per sezioni idrologiche sulla medesima asta fluviale (Fosso Pagliari, TR=500 anni: PA-A e PA-B sono gli idrogrammi di calcolo alle due sezioni idrologiche; "apporto bacino residuo" è il contributo distribuito che viene assegnato a valle di PA-B; "somma idrogrammi input" l'idrogramma risultante da PA-B + residuo).

Nel caso invece di una sezione idrologica posta a valle della confluenza tra due sottobacini, gli idrogrammi di monte sono stati sfasati temporalmente in modo che la loro somma potesse fornire un valore massimo circa pari alla portata massima idrologica di valle. Qualora l'idrogramma somma risulti di volume significativamente inferiore nel ramo di crescita o di esaurimento, è possibile in analogia con il caso precedente inserire un ulteriore contributo del bacino residuo (v. esempio in Figura 15).

Gli idrogrammi così ottenuti sono poi stati ulteriormente traslati nel tempo per tenere conto dei diversi tempi di propagazione all'interno dei tratti rappresentati nel modello numerico, in modo che potessero giungere a sommarsi con lo stesso sfasamento temporale considerato per le elaborazioni di cui sopra.

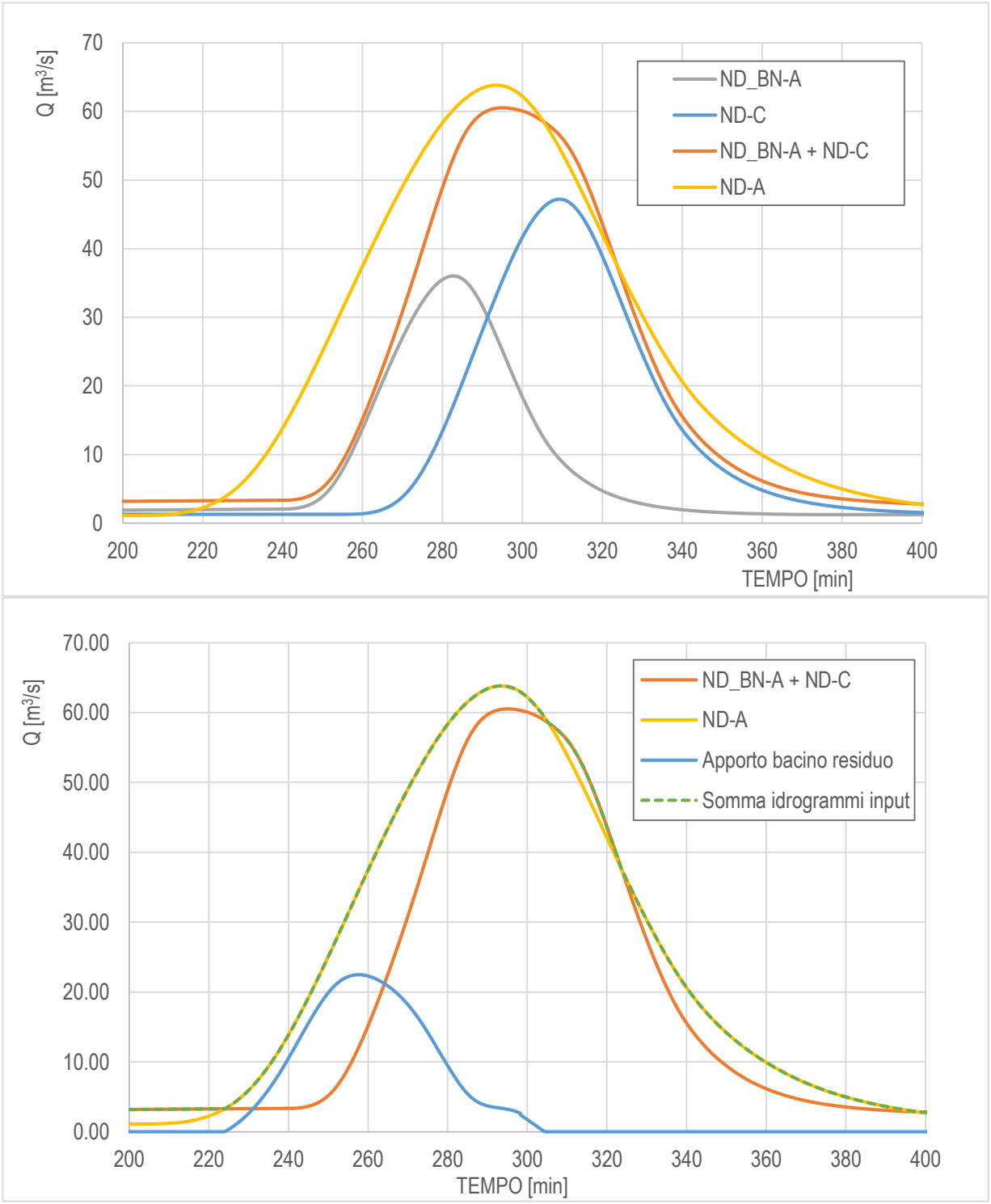


Figura 15 – Esempio di combinazione di idrogrammi per sezione idrologica a valle della confluenza tra due sottobacini di monte (Nuova Dorgia, TR=200 anni: in alto, somma degli idrogrammi nelle sezioni ND-C e ND-BN-A opportunamente traslati – la somma in fase risulterebbe con colmo maggiore di quello della sezione a valle; in basso: contributo ulteriore del bacino residuo per maggiorare il volume dell'idrogramma nel ramo crescente).

Nell'ambito delle simulazioni idrauliche si riscontreranno poi modificazioni alla forma degli idrogrammi in alveo, in relazione a fenomeni di laminazione e alla fuoriuscita di portata che defluirà poi sul piano campagna esterno; i valori massimi effettivi di portata in alveo in alcuni tratti a valle (rappresentativi dell'evoluzione reale dell'evento di piena) potranno risultare inferiori ai valori idrologici di riferimento. Si riscontreranno pertanto in questo caso valori di portata massima "idraulica" e non "idrologica" (ovvero più condizionati dal comportamento idraulico di piena del corso d'acqua che non dagli apporti idrologici).

Dove necessario per la corretta definizione delle aree di pericolosità è stata considerata (in scenari di analisi integrativi) anche la possibilità che l'intero idrogramma idrologico possa essere recapitato al tratto di studio, trascurando tali modificazioni relative alla porzione di corso d'acqua di monte.

7. PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO

Nei capitoli che seguono vengono riepilogati per ciascun bacino i valori di portata di riferimento per le diverse sezioni idrologiche, e rappresentati gli idrogrammi idrologici definiti in corrispondenza di queste ultime.

7.1 Bacino 01: Fosso Pezzogrande

In Tabella 20 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del fosso Pezzogrande, per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 16 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione [-]	Area bacino S [km²]	Tempo di corrivazione t_c [min]	Portate di riferimento TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
01 - Pezzogrande	Pezzogrande	PZ-A	0,92	26,98	20,82	25,09	27,89
	Pezzogrande	PZ-B	0,35	14,44	9,24	10,94	12,05
	Pezzogrande	PZ-C	0,06	10,00	1,49	1,74	1,91
	Muggiano	PZ_MU-B	0,21	10,51	5,55	6,51	7,15
	Muggiano	PZ_MU-A	0,47	20,70	10,49	12,55	13,90

Tabella 20 – Portate di progetto per il bacino del Fosso Pezzogrande.

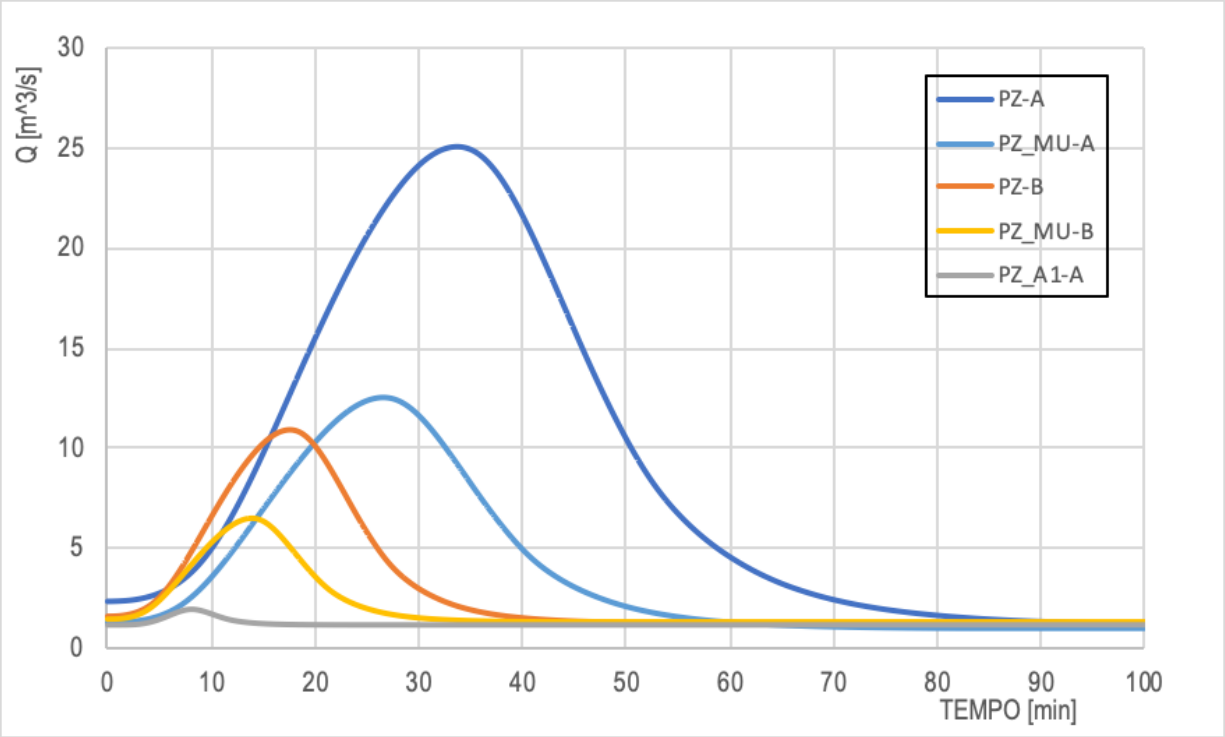


Figura 16 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Fosso Pezzogrande (TR=200 anni).

7.2 Bacino 02: Canalone

In Tabella 21 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Canalone per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 17 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
				TR50	TR200	TR500
	[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
02-Canalone	CL-A	0,45	19,17	11,17	13,33	14,75

Tabella 21 – Portate di progetto per il bacino del Canalone.

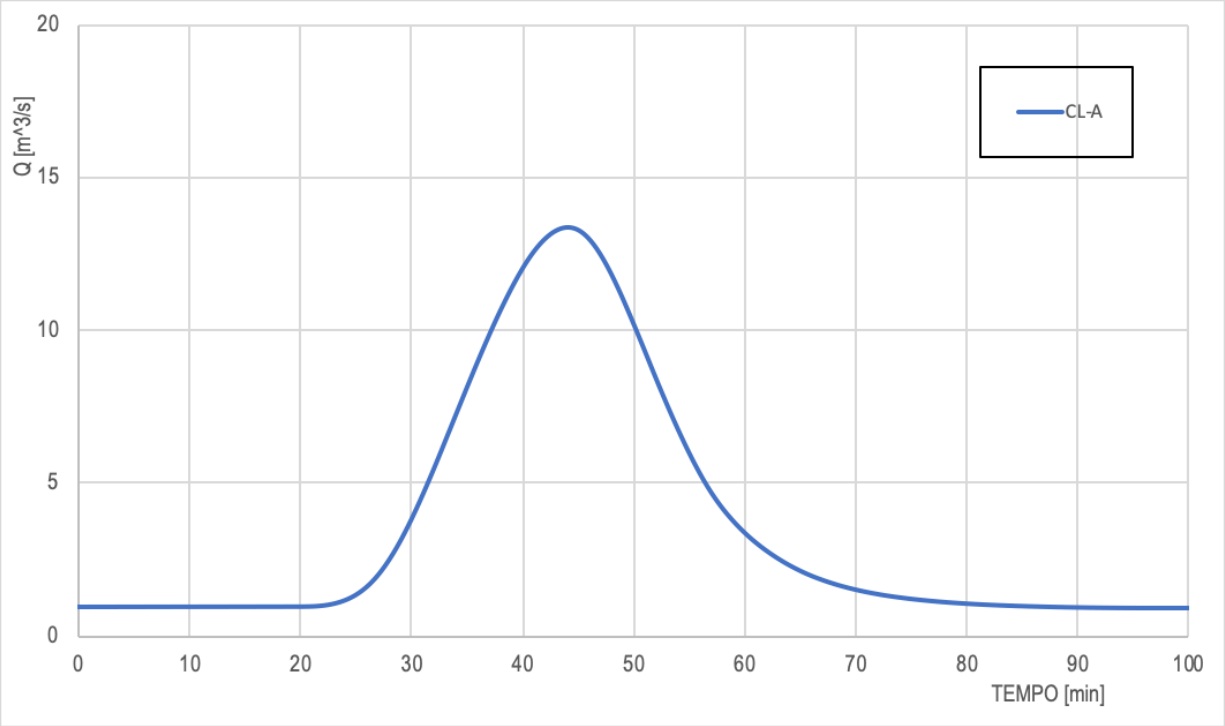


Figura 17 - Idrogramma di massima piena per il bacino del Canalone (TR=200 anni).

7.3 Bacino 03: Pagliari

In Tabella 22 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Pagliari per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 18 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
					TR50	TR200	TR500
		[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
03 - Pagliari	Pagliari	PA-A	0,63	28,64	14,15	17,08	19,01
	Pagliari	PA-B	0,27	12,66	6,77	7,98	8,78
	Valle Oscura	VO-A	0,11	11,95	2,81	3,31	3,64

Tabella 22 – Portate di progetto per il bacino del Pagliari.

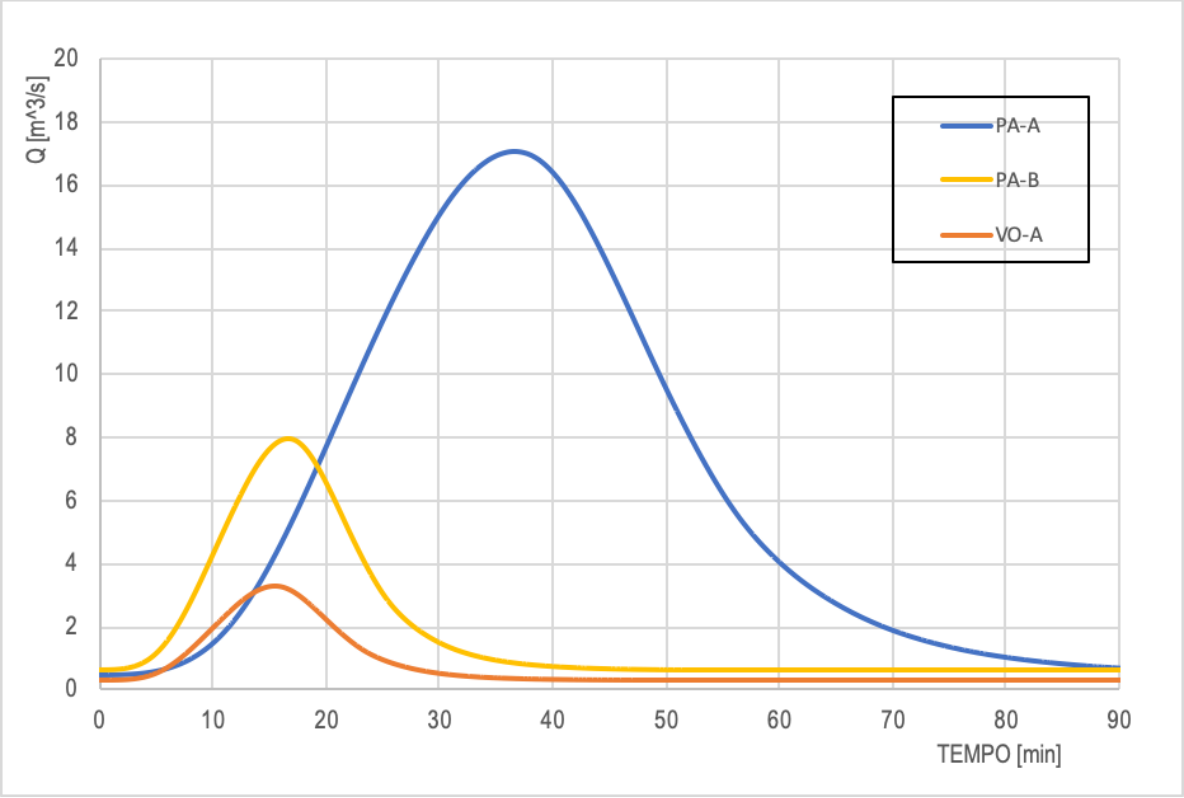


Figura 18 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Pagliari (TR=200 anni).

7.4 Bacino 04: Fossamastra

In Tabella 23 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Fossamastra per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Poiché i valori di calcolo alla sola sezione di foce (FM-A) risultavano significativamente inferiori rispetto all'indicazione dell'attuale PdB, per congruenza è stato introdotto un contributo integrativo nel tratto terminale tale da restituire valori di portata di piena di progetto coerenti con la pianificazione vigente. Tali contributi integrativi sono indicati in Tabella 24.

	Corso d'Acqua	Sezione [-]	Area Bacino S [km²]	Tempo di Corrivazione t_c [min]	Portate di riferimento TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
04 - Fossamastra	Fossamastra	FM-A	7,57	90,96	84,12	101,88	113,61
	Affluente Fossamastra	FM_A1-A	0,50	23,74	10,82	13,00	14,42
	Fossamastra	FM-B	2,32	46,47	40,43	49,19	54,97
	Tombone	FM_TO-A	1,09	35,94	21,61	26,25	29,30
	Colombiera	FM_CO-A	0,52	27,65	12,60	15,19	16,89
	Affluente Fossamastra	FM_A2-A	0,52	29,55	11,54	13,95	15,52
	Fosso di Calcinara	FM_CA-A	1,11	32,86	23,21	28,13	31,35
	Fosso di Calcinara	FM_CA-B	0,55	14,14	13,44	15,90	17,52

Tabella 23 – Portate di progetto per il bacino del Fossamastra.

Corso d'Acqua	Sezione [-]	Incremento di portata TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
Fossamastra	FM-A	7,38	30,42	46,30

Tabella 24 – Incrementi di portata al colmo relativi alla sezione FM-A per ottenere valori congruenti con il vigente PdB.

In Figura 19 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

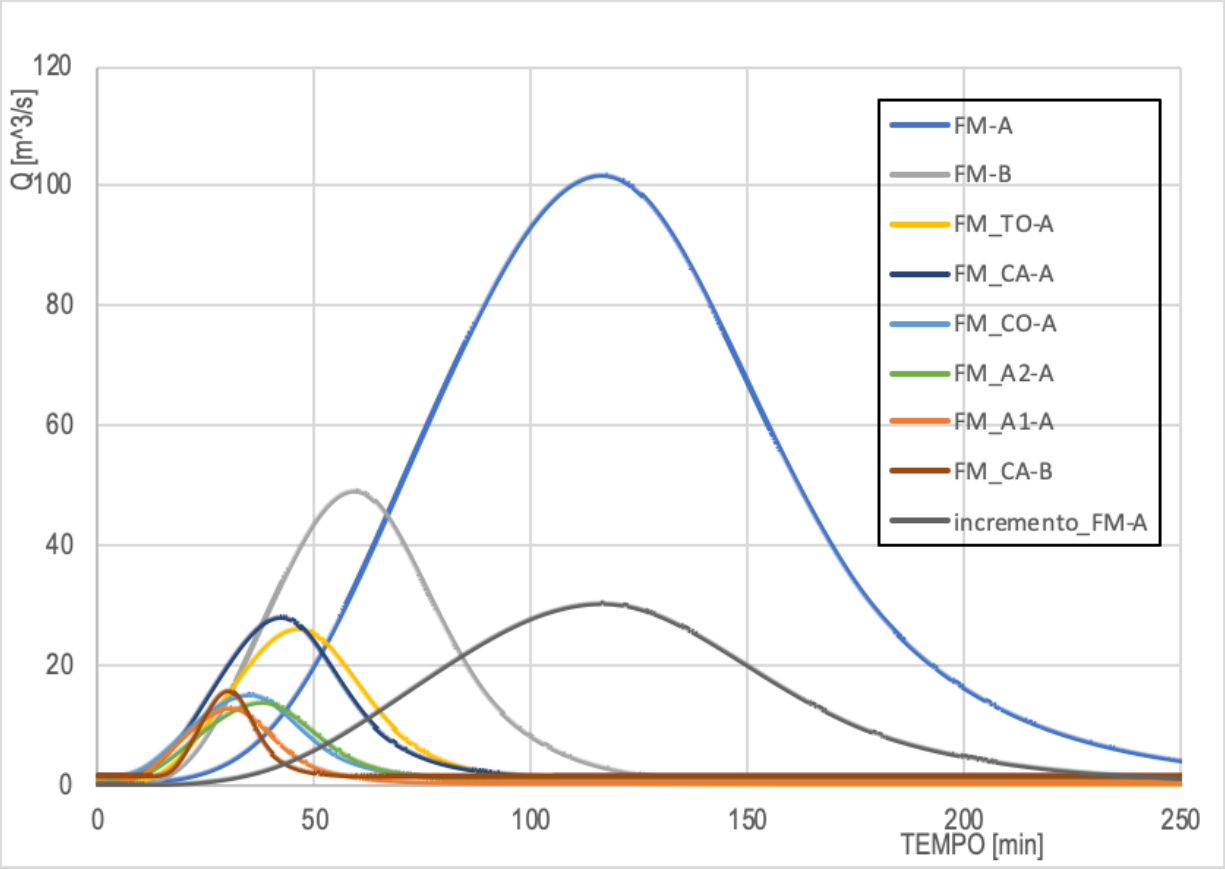


Figura 19 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Fossamastra (TR=200 anni).

7.5 Bacino 05: Melara

In Tabella 25 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Melara per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 20 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione [-]	Area Bacino S [km²]	Tempo di Corrivazione t_c [min]	Portate di riferimento TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
05 - Melara	Melara	ME-A	0,59	29,80	13,46	16,26	18,10
	Melara	ME-B	0,21	17,00	5,38	6,40	7,07
	Melara	ME-C	0,22	15,91	5,98	7,09	7,83
	Melara	ME-D	0,04	10,00	1,15	1,34	1,47

Tabella 25 – Portate di progetto per il bacino del Melara.

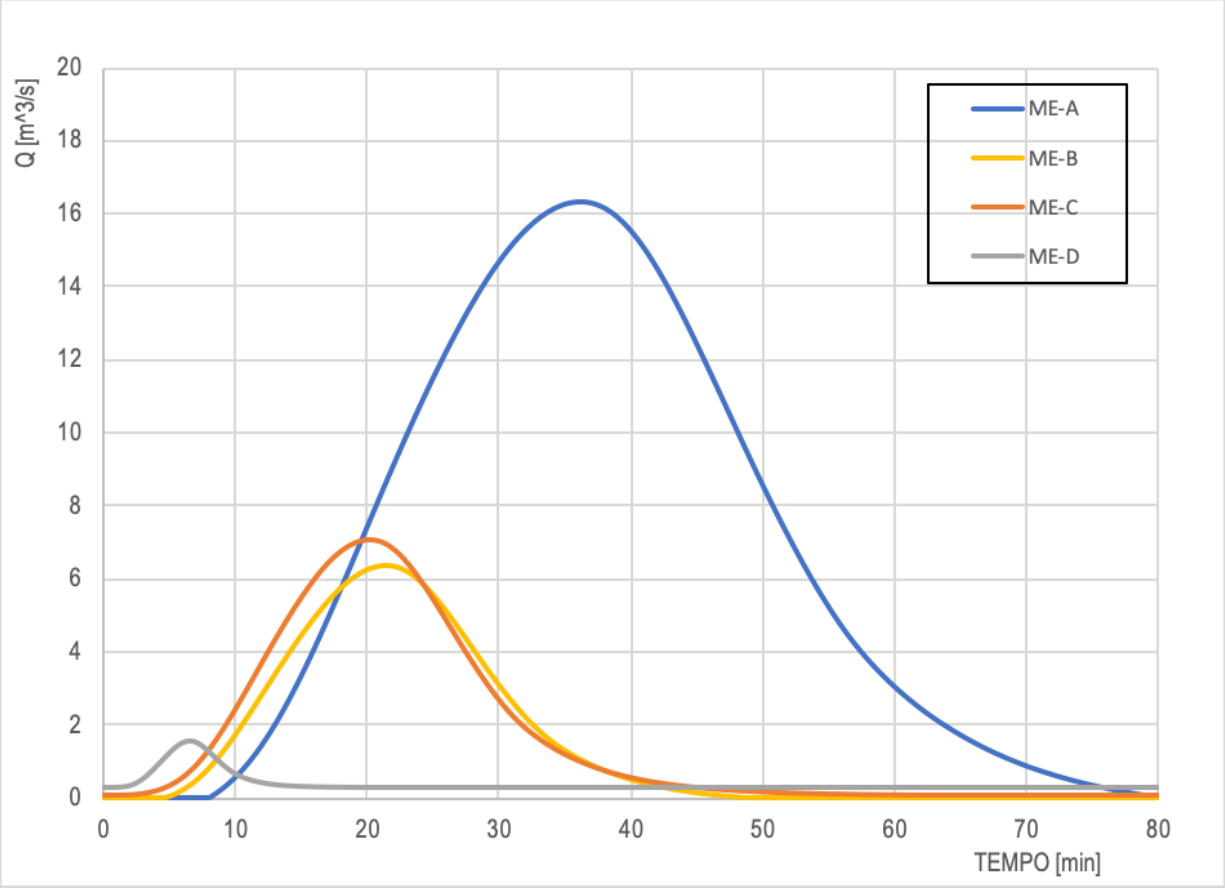


Figura 20 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Melara (TR=200 anni).

7.6 Bacino 06: Vecchia Dorgia

In Tabella 26 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino della Vecchia Dorgia per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 21 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
					TR50	TR200	TR500
		[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
06 - V.Dorgia	Vecchia Dorgia	VD-A	1,73	57,92	27,89	33,88	37,83
	Vecchia Dorgia	VD-B	1,40	43,22	22,63	27,50	30,70
	Vecchia Dorgia	VD-C	0,53	19,70	13,01	15,53	17,19
	Vecchia Dorgia	VD-D	0,38	31,28	8,22	9,95	11,08

Tabella 26 – Portate di progetto per il bacino della Vecchia Dorgia.

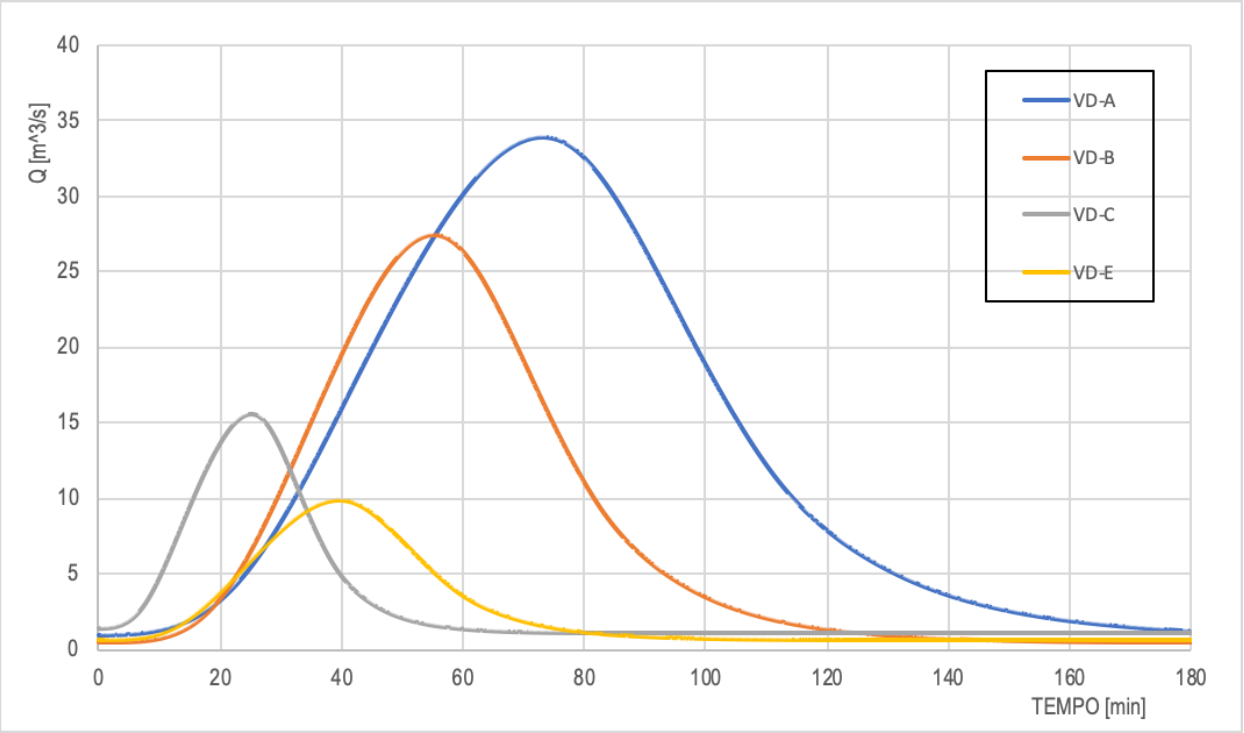


Figura 21 – idrogrammi di massima piena per il bacino della Vecchia Dorgia (TR=200 anni).

7.7 Bacino 07: Nuova Dorgia

In Tabella 27 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino della Nuova Dorgia per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Poiché i valori di calcolo alla sola sezione di foce (ND-A) risultavano significativamente inferiori rispetto all'indicazione dell'attuale PdB, per congruenza è stato introdotto un contributo integrativo nel tratto terminale, tale da restituire valori di portata di piena di progetto coerenti con la pianificazione vigente. Tali contributi integrativi sono indicati in Tabella 28.

In Figura 22 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione [-]	Area Bacino S [km²]	Portate di riferimento TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
07 - N, Dorgia	Nuova Dorgia	ND-A	3,89	52,60	63,82	71,22
	Nuova Dorgia	ND-B	3,49	51,07	60,52	67,24
	Nuova Dorgia	ND-C	2,11	38,77	47,20	52,75
	Fosso di Buonviaggio	ND_BN-A	1,39	29,70	36,02	40,17
	Fosso Pellizzaro	ND_PE-A	0,47	11,85	14,08	15,54

Tabella 27 – Portate di progetto per il bacino della N.Dorgia.

Corso d'Acqua	Sezione [-]	Incrementi di portata TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
Nuova Dorgia	ND-A	0,00	7,08	14,08

Tabella 28 – Incrementi di portata al colmo relativi alla sezione ND-A per ottenere valori congruenti con il vigente PdB.

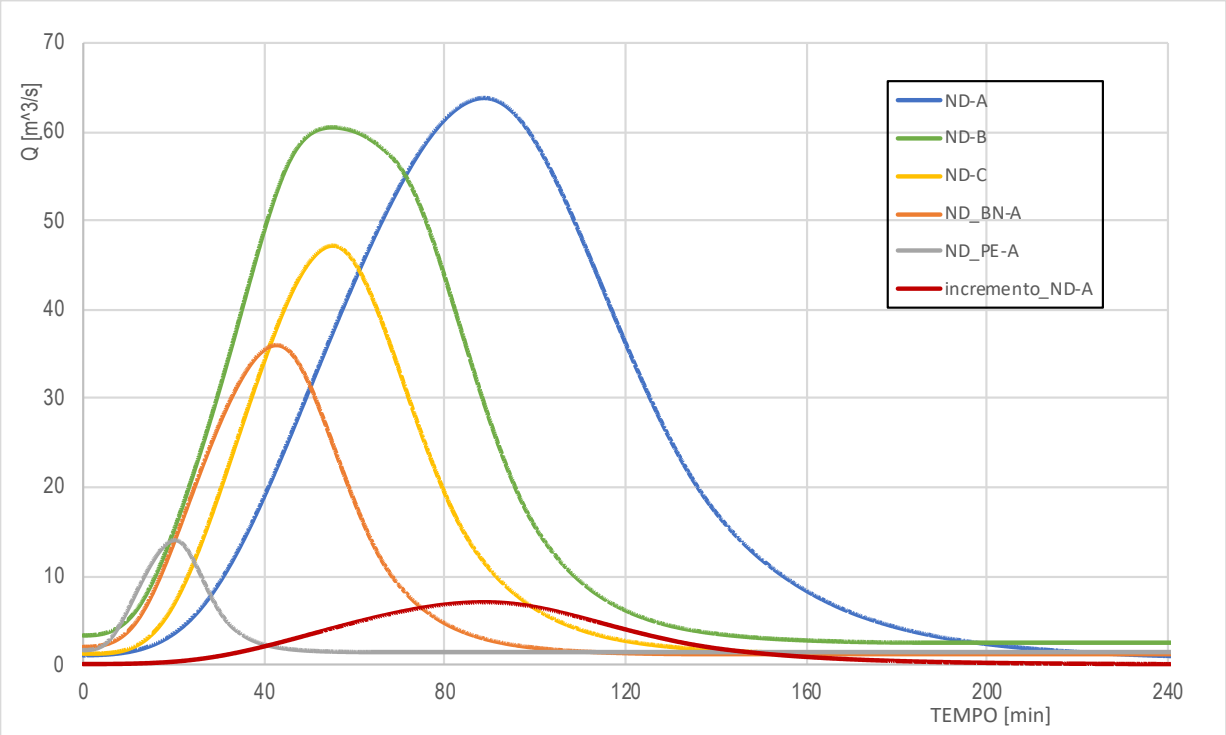


Figura 22 – Idrogrammi di massima piena per il bacino della Nuova Dorgia (TR=200 anni).

7.8 Bacino 08: Rossano

In Tabella 29 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Rossano per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 23 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
					TR50	TR200	TR500
		[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
08 - Rossano	Rossano	RO-A	1,26	48,57	23,59	28,70	32,06
	Rossano	RO-C	0,41	21,10	9,49	11,36	12,58
	Rossano	RO-D	0,28	13,38	6,97	8,24	9,07
	Rossano	RO-B	1,00	25,79	23,44	28,21	31,34
	Fosso Andreino	RO_AN-A	0,36	20,68	8,58	10,27	11,37
	Fosso Andreino	RO_AN-B	0,13	10,00	3,39	3,97	4,36
	Monte Pertico	RO_MP-A	0,15	10,96	4,09	4,80	5,27

Tabella 29 – Portate di progetto per il bacino del Rossano.

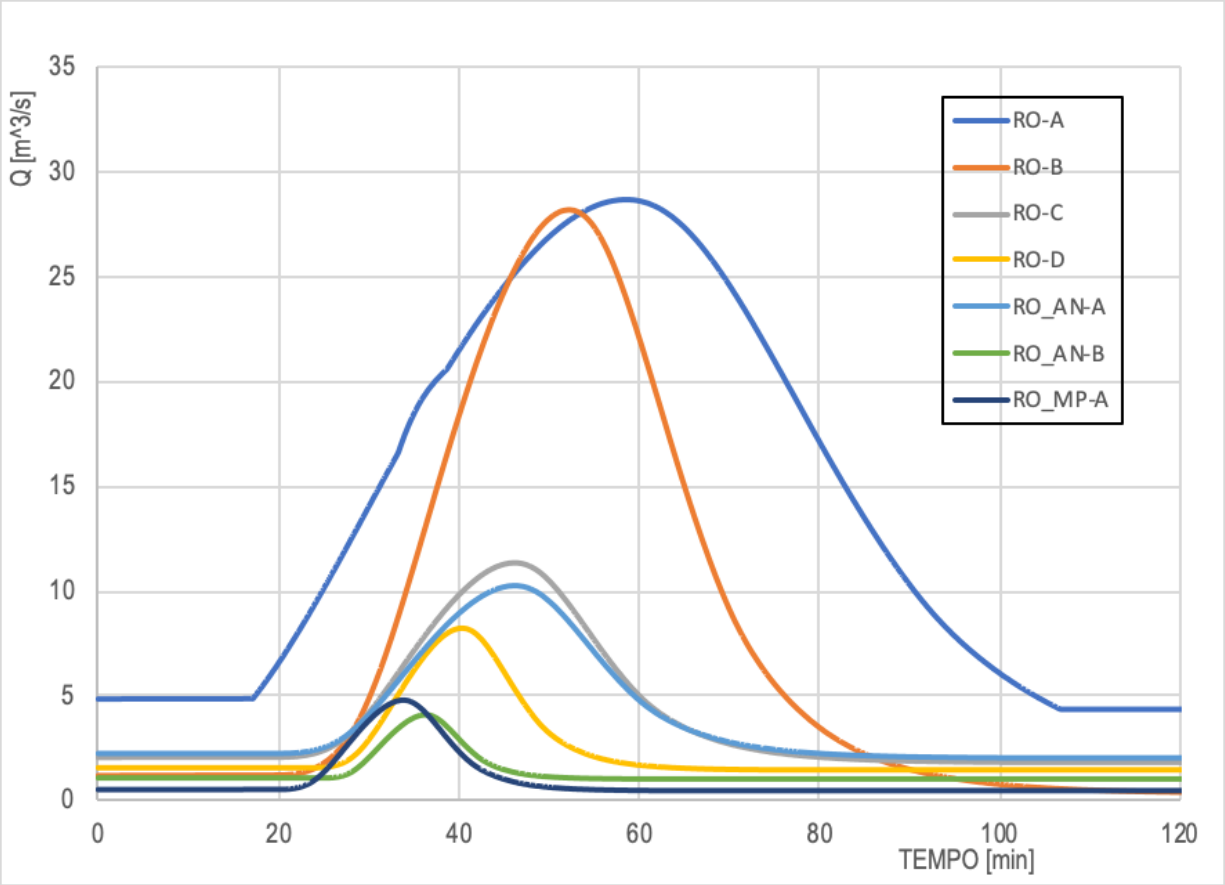


Figura 23 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Rossano (TR=200 anni).

7.9 Bacino 09: Cappelletto

In Tabella 30 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Cappelletto per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 24 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione [-]	Area Bacino S [km²]	Tempo di Corrivazione t_c [min]	Portate di riferimento TR50 Q [m³/s]	TR200 Q [m³/s]	TR500 Q [m³/s]
09 - Cappelletto	Cappelletto	CA-A	1,64	53,50	26,69	32,44	36,23
	Cappelletto	CA-B	1,43	38,81	23,34	28,37	31,68
	Cappelletto	CA-C	1,05	25,90	22,39	26,94	29,94

Tabella 30 – Portate di progetto per il bacino del Cappelletto.

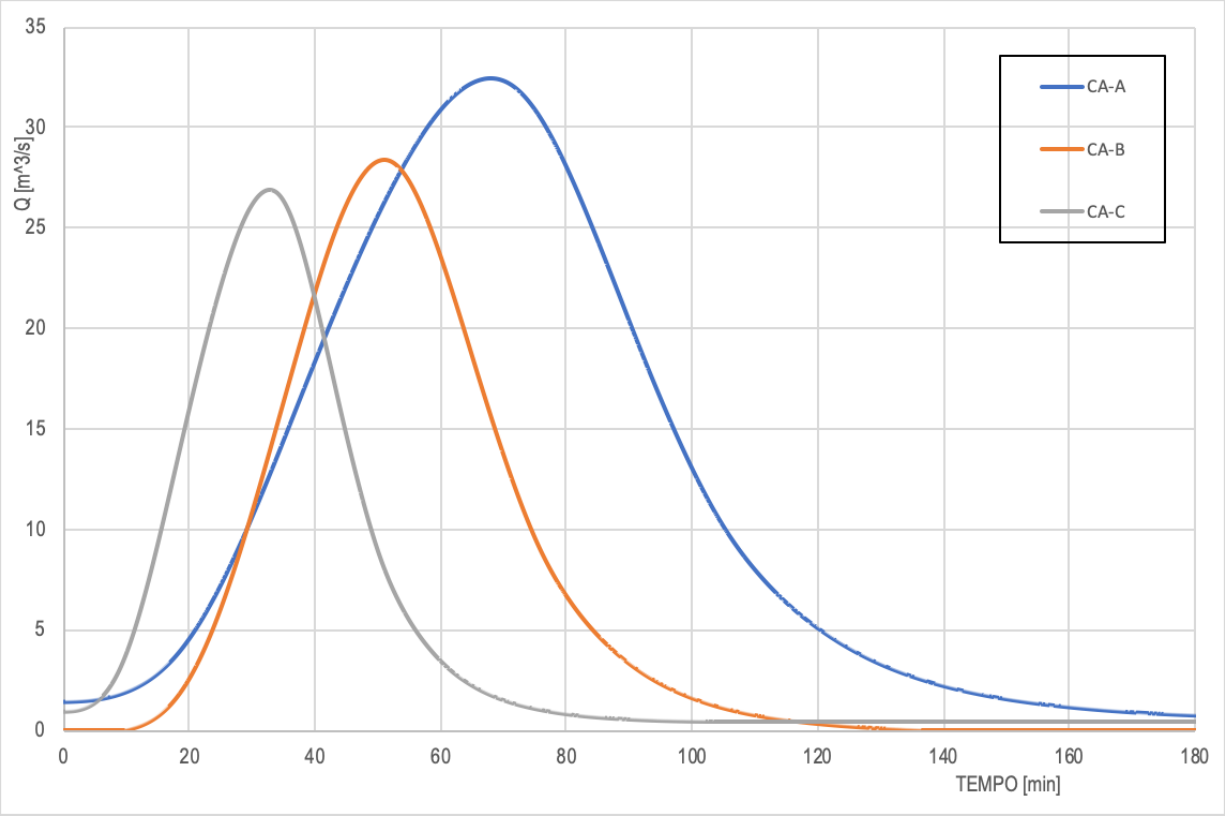


Figura 24 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Cappelletto (TR=200 anni).

7.10 Bacino 10: Val Dell'Ora

In Tabella 31 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino della Val Dell'Ora per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 25 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
					TR50	TR200	TR500
		[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
10 - Val Dell'Ora	Val Dell'Ora	VL-A	0,85	34,54	18,82	22,83	25,47
	Val Dell'Ora	VL-B	0,25	21,71	6,44	7,71	8,55
	Val Dell'Ora	VL-C	0,58	27,00	13,42	16,17	17,98
	Val Dell'Ora	VL-D	0,14	10,72	3,84	4,51	4,95
	Val Dell'Ora	VL-E	0,30	15,06	7,91	9,38	10,35

Tabella 31 – Portate di progetto per il bacino della Val Dell'Ora.

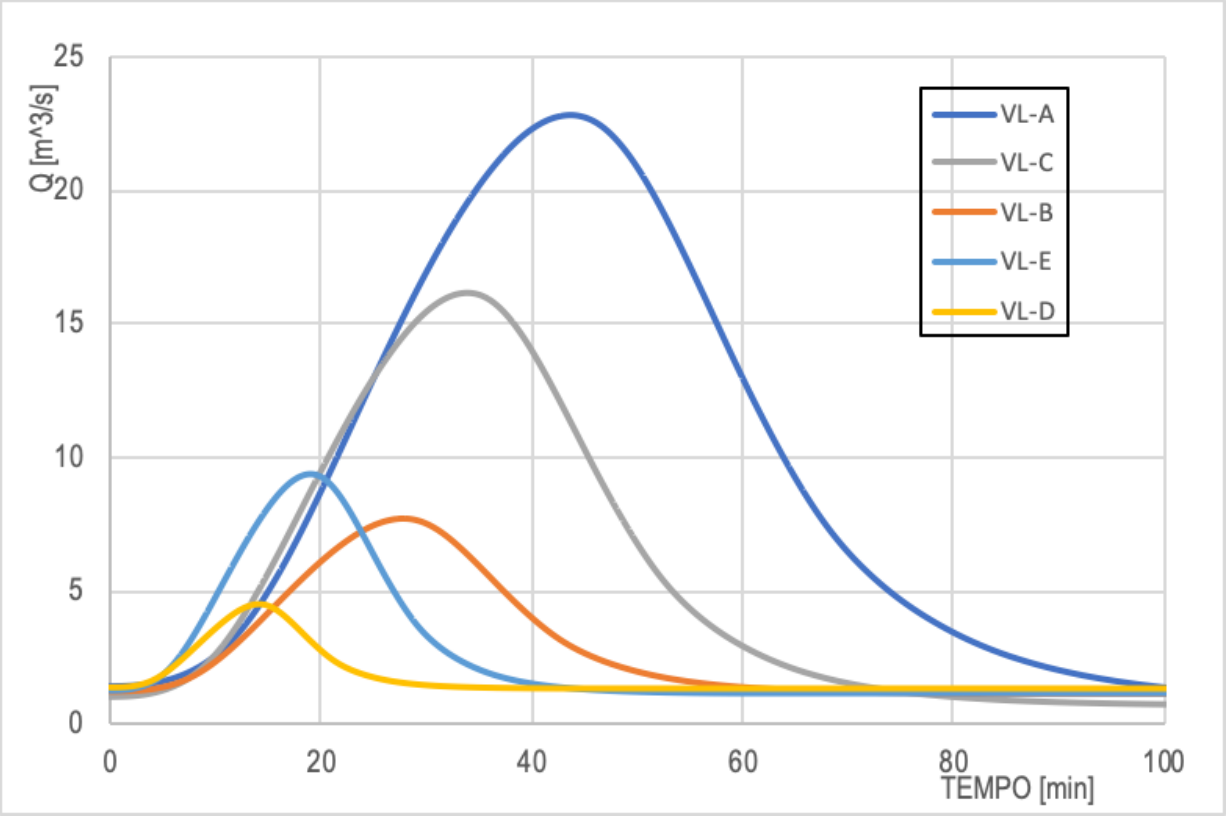


Figura 25 – Idrogrammi di massima piena per il bacino della Val Dell'Ora (TR=200 anni).

7.11 Bacino 11: Lagora

In Tabella 32 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Lagora per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Si precisa che i valori di portata al colmo relativi alla sezione LA-A (sezione che sottende l'intero bacino del Lagora) sono stati ottenuti come combinazione delle portate massime di piena delle sezioni poste più a monte della stessa e non derivano da un calcolo idrologico, che avrebbe restituito valori significativamente inferiori a quelli indicati nel PdB a causa della morfologia peculiare del bacino (il Lagora è una sorta di canale collettore dei contributi di diversi corpi idrici affluenti).

In Figura 26 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

	Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
					TR50	TR200	TR500
		[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
11 - Lagora	Lagora	LA-A	14,38	93,46	188,82	226,60	250,78
	Lagora	LA-B	2,70	50,60	45,26	55,04	61,49
	Fosso di Cantarana	LA_CA-A	0,49	14,61	12,75	15,10	16,65
	Colombaro	LA_CO-A	3,86	55,63	65,53	79,64	88,93
	Colombaro	LA_CO-B	2,44	41,31	49,86	60,72	67,88
	Colombaro	LA_CO-C	0,77	30,79	16,90	20,44	22,76
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-A	0,30	19,17	7,58	9,04	10,00
	Fosso di Via Arzelà	LA_VA-B	0,15	10,44	4,11	4,82	5,29
	Fosso di Borzonasca	LA_BO-A	0,69	25,04	15,88	19,09	21,21
	Fosso di Fabiano	LA_FA-A	1,82	44,91	32,49	39,55	44,19
	Fosso di Ligurzano	LA_LI-A	0,73	19,86	16,62	19,86	21,98
	Fosso di Morio	LA_MO-A	0,71	19,49	16,11	19,23	21,28
	Fosso di Porzano	LA_PO-A	0,49	15,12	11,87	14,07	15,52
	Fosso Stagno	LA_ST-A	1,24	33,31	28,14	34,11	38,04
	Fosso Stagno	LA_ST-B	0,12	10,00	3,18	3,73	4,09
	Fosso di Proffiano	LA_PR-A	0,36	15,65	9,36	11,11	12,26
	Tassonaro	LA_TA-A	5,32	64,04	78,85	95,73	106,87
	Vappa	LA_VP-A	0,19	10,00	5,73	6,72	7,36

Tabella 32 – Portate di progetto per il bacino del Lagora.

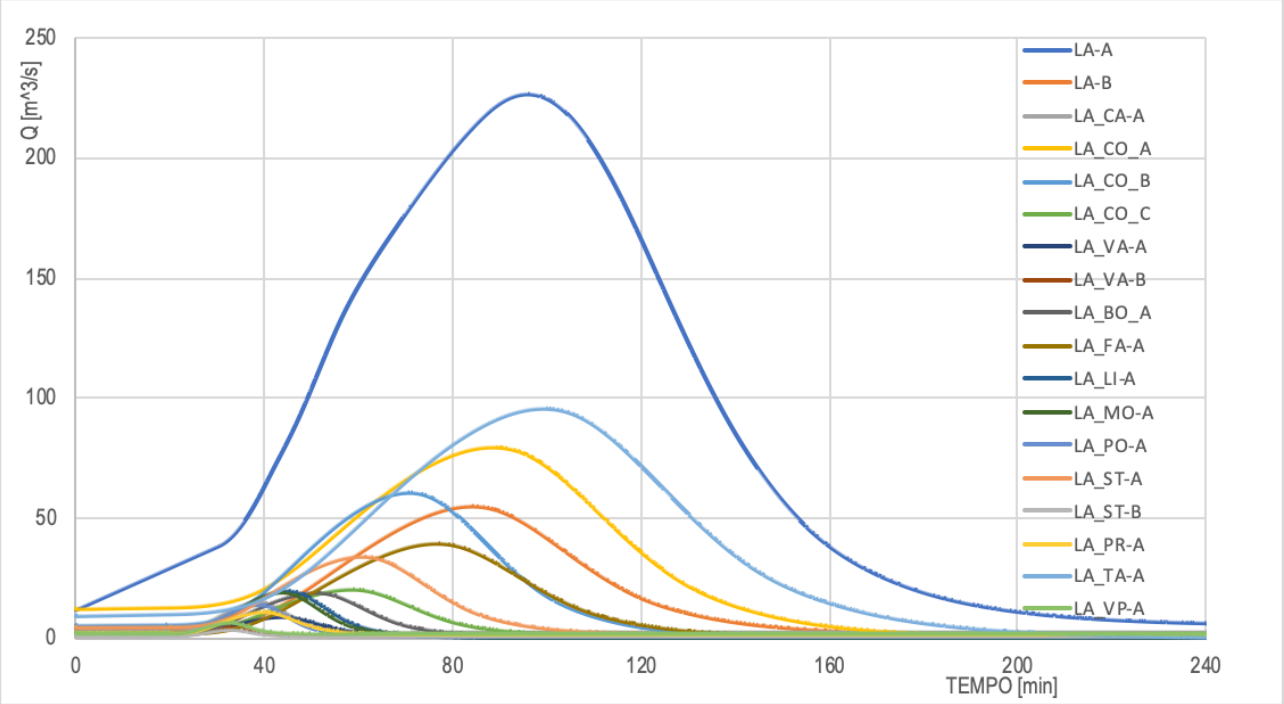


Figura 26 – Idrogrammi di massima piena per il bacino del Lagora (TR=200 anni).

7.12 Bacino 12: Fosso di Caporacca

In Tabella 33 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Fosso di Caporacca per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 27 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
				TR50	TR200	TR500
	[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
12- Fosso di Caporacca	CP-A	2,95	47,68	50,55	61,50	68,71

Tabella 33 – Portate di progetto per il bacino del Fosso di Caporacca.

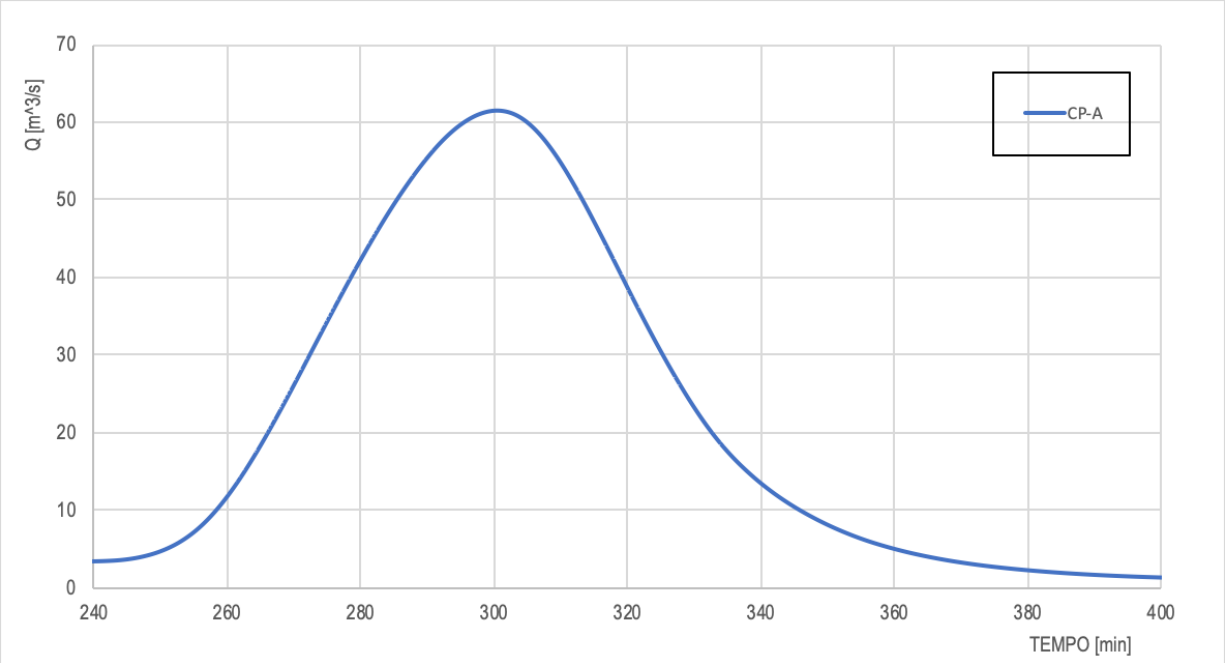


Figura 27 – Idrogramma di massima piena per il bacino del Fosso Caporacca (TR=200 anni).

7.13 Bacino 13: Pianello

In Tabella 34 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Pianello per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 28 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
				TR50	TR200	TR500
	[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
12- Pianello	PN-A	0,11	10,00	3,25	3,81	4,17

Tabella 34 – Portate di progetto per il bacino del Pianello.

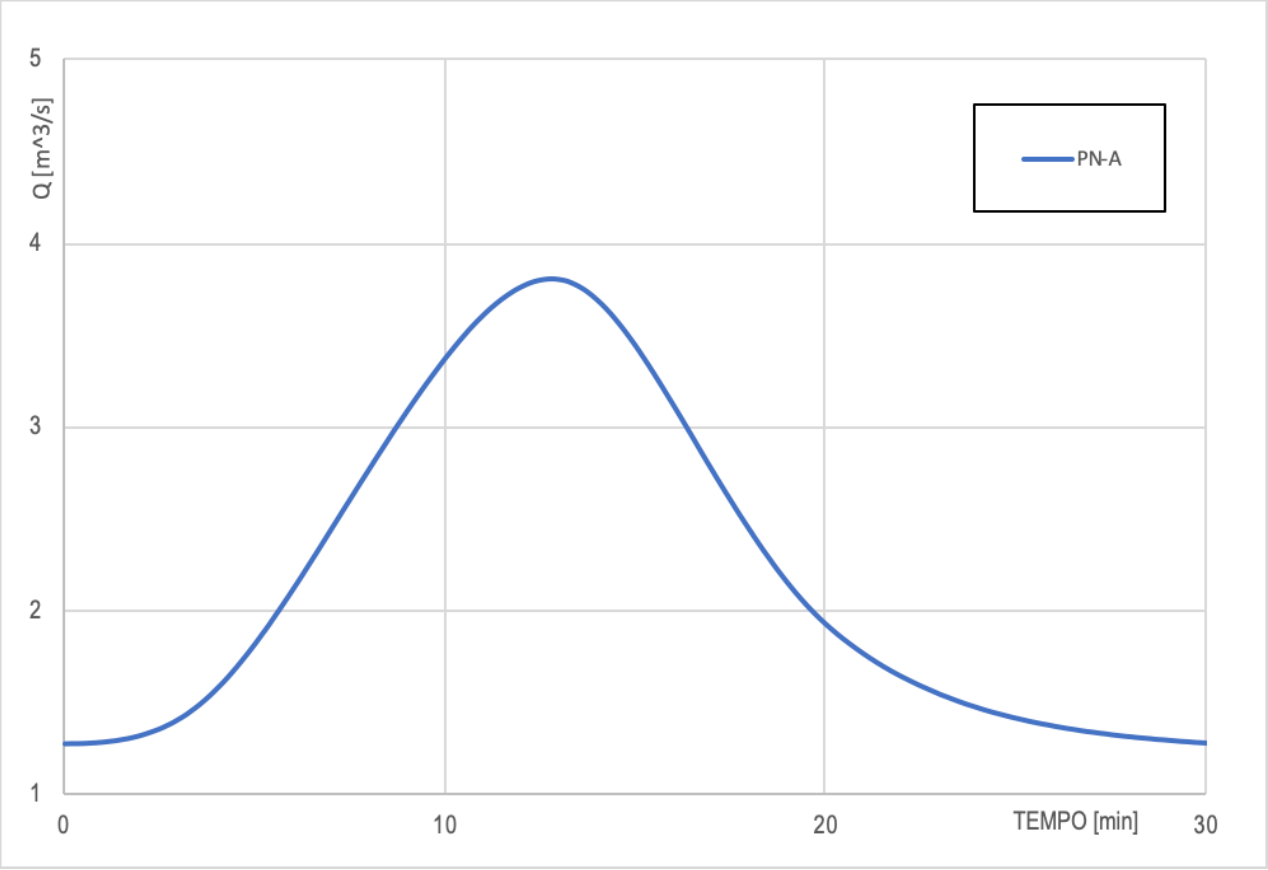


Figura 28 – Idrogramma di massima piena per il bacino del Pianello (TR=200 anni).

7.14 Bacino 14: Canale del Netto

In Tabella 35 sono riepilogati i valori di portata massima di piena di progetto per le sezioni idrologiche di interesse sul bacino del Canale del Netto per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

In Figura 29 si rappresentano i relativi idrogrammi (a titolo di esempio per la sola portata TR=200 anni).

Corso d'Acqua	Sezione	Area Bacino	Tempo di Corrivazione	Portate di riferimento		
				TR50	TR200	TR500
	[-]	S [km²]	t_c [min]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]
14 - Canale del Netto	NE-A	0,93	20,19	22,51	26,90	29,78

Tabella 35 – Portate di progetto per il bacino del Canale del Netto.

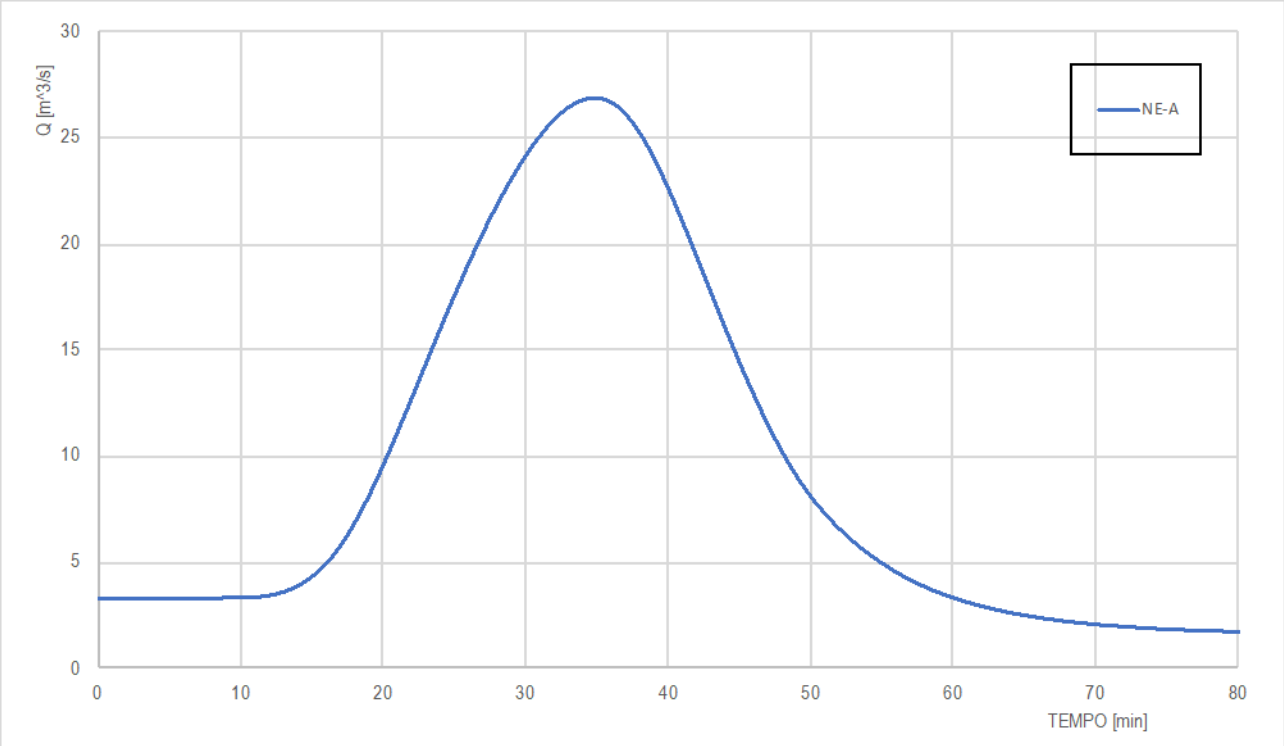


Figura 29 – Idrogramma di massima piena per il bacino del Canale del Netto (TR=200 anni).

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE11 - UHM

Il modulo UHM del codice di calcolo MIKE 11 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.

1. 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.

1. Perdita proporzionale (metodo razionale)

Le perdite sono assunte proporzionali al tasso di precipitazione; la pioggia netta viene espressa come:

$P_{netta} = a*A_f*P$

con:
P_{netta} = pioggia netta (mm/ora);
a = coefficiente di deflusso (fra 0 e 1);
A_f = fattore areale;
P = precipitazione totale (mm/ora).

2. 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.

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

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.

3. 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.

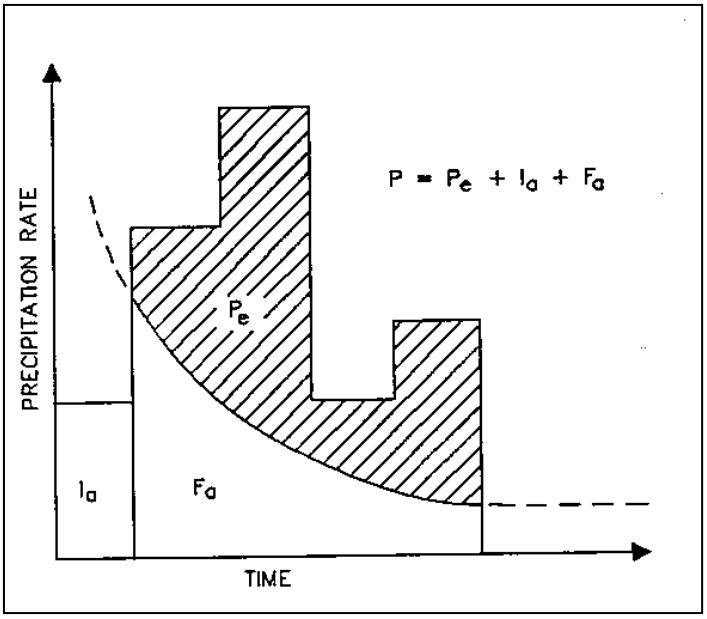


Figura 1. Variabili del metodo SCS.

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:

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

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 e resettato a zero.

CN FOR CONDITION II	CORRESPONDING CN FOR CONDITION	
	I	II
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Tabella 2 - Confronto fra i valori di CN nelle diverse condizioni idrologiche (Mc Cuen - SCS Method).

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
(Antecedent Moisture Condition II, and I_a * 0.2 S)

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition			Hydrologic Soil Group			
Residential:			A	B	C	D
Average lot size	Average Impervious					
1/8 acre or less	65		77	85	90	92
1/4 acre	38		61	75	83	87
1/3 acre	30		57	72	81	86
1/2 acre	25		54	70	80	85
1 acre	20		51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98	98
Streets and roads:						
paved with curbs and storm sewers			98	98	98	98
gravel			76	85	89	91
dirt			72	82	87	89
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94	94
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91	93
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.						
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area			49	69	79	84
Fallow	Straight row	----	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
		Good	61	75	81	84
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
Close - seeded	Straight row	Poor	66	77	85	89
legumes 4/	Straight row	Good	58	72	81	85
or	Contoured	Poor	64	75	83	85
rotation	Contoured	Good	55	69	78	83
meadow	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80
Pasture	Poor	68	79	86	89	
or range	Fair	49	69	79	84	
	Good	39	61	74	80	
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	6	35	70	79
Meadow		Good	30	58	71	78
Woods or		Poor	45	66	77	83
Forest land		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Farmsteads		----	59	74	82	86

Tabella 1 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

2. MODELLO DELL'IDROGRAMMA UNITARIO

Il metodo dell'idrogramma unitario è un semplice modello lineare che può essere usato per derivare l'idrogrammma 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:

(i) la pioggia netta ha intensità costante nella durata effettiva
(ii) la pioggia netta è distribuita uniformemente sull'intero bacino idrografico
(iii) il tempo di base dell'idrogramma di portata risultante da una pioggia netta di data durata è costante
(iv) 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
(v) è applicato il principio di sovrapposizione degli idrogrammi risultanti da periodi in continuo o isolati di pioggia netta a intensità costante
(vi) per un dato bacino, l'idrogramma risultante da una specifica pioggia netta riflette the condizioni invariabili del bacino.

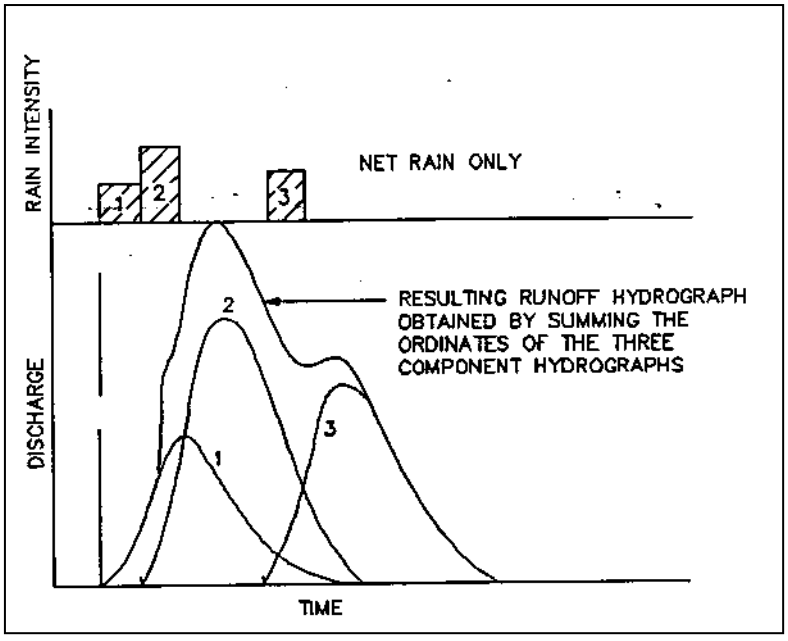


Figura 2. Principio di sovrapposizione degli idrogrammi di portata.

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.

2.1 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.

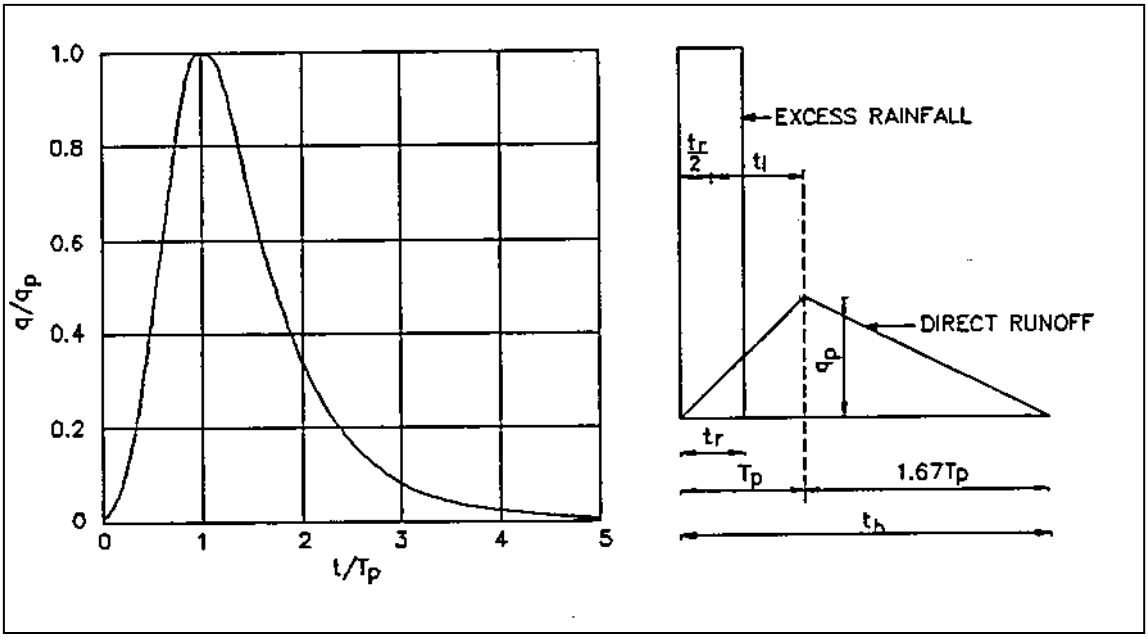


Figura 3. Idrogrammi sintetici del Soil Conservation Service.

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:

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

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.

2.2 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 2 – Certificati delle analisi granulometriche del materiale d'alveo

HYDRODATA
INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

SCHEDA DATI ANALISI GRANULOMETRICA

CLASSIFICAZIONE
3478H001
MOD LMM-M/C
PT 012
rev. 5-26/02/08

RIFERIMENTI CAMPIONAMENTO	
CAMPIONE N°:	1
LUOGO PRELIEVO:	Torrente Lagora (La Spezia) - Fosso Tassonaro a confluenza Morio
DATA PRELIEVO:	08/10/2019
DESCRIZIONE/NOTE:	Ghiaia sabbiosa

☐ PER VIA UMIDA ☑ PER VIA SECCA

ANALISI PER SETACCIATURA

PESO CAMPIONE ESAMINATO IN LABORATORIO (g)					11645			
PESO CAMPIONE COMPLESSIVO (g)					14864			
	SETACCIO N° (ASTM)	**D** luce netta maglia (mm)	**A** tara setaccio (g)	**B** tara + terreno trattenuto (g)	**C** peso trattenuto B-A (g)	**D** peso trattenuto cumulato (g)	Percentuale di passante (%)	NOTE
L	**********	passante 0.075	1006	1038	32	32	**********	
L	200	0,075	887	913	26	58	0	
L	100	0,149	969	1257	288	346	0	
L	35	0,5	1060	2078	1018	1364	2	
L	18	1	1138	2824	1686	3050	9	
L	10	2	1248	3863	2615	5665	21	
L	4	4,76	1144	3521	2377	8042	38	
L		12,5	1483	3365	1882	9924	54	
L		25,4	1410	3131	1721	11645	67	
M		50,8	1238	4457	3219	14864	78	
C		100	0	0	0	14864	100	
C		200	0	0	0	14864	100	
C		400	0	0	0	14864	100	

L= in laboratorio; M= misto; C= in campagna

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE CON AEROMETRO

Zero corretto	Fattore a	Peso campione secco (g)
Menisco	Peso specifico	K

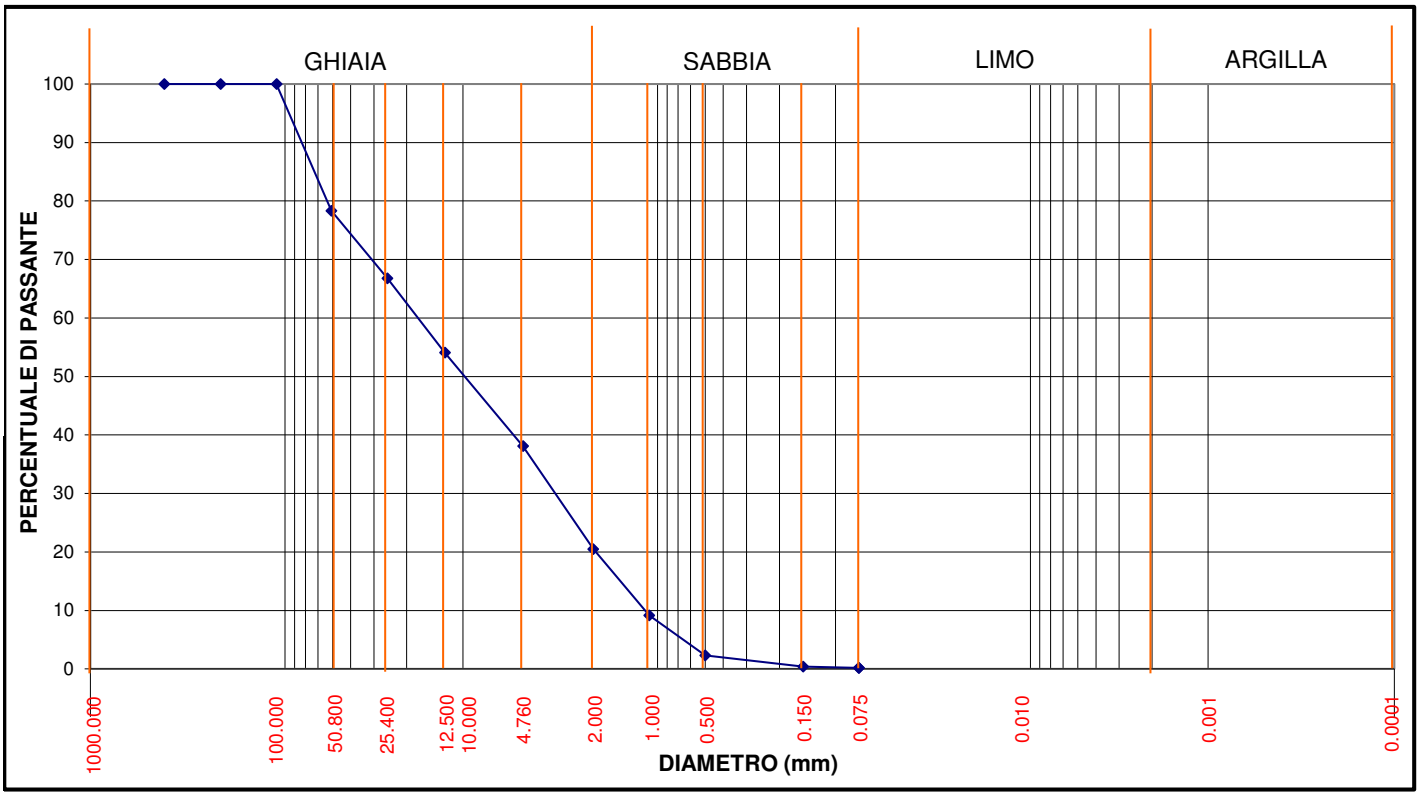
DT intervallo letture (min)	**R** lettura menisco	Lettura corretta	**T** temperatura (C°)	Diametro (mm)	Passante (%)	Passante cumulato (%)	NOTE
1							
2							
4							
8							
15							
30							
60							
120							
240							
480							
1440							

Diametri clasti rilevati in sito	
b (cm)	peso (g)
	0
13,5	3219

ANNOTAZIONI:

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE	**CURVA GRANULOMETRICA**	CLASSIFICAZIONE **3478H001** MOD LMM-M/C **PT 012** rev. 6-25/05/15

RIFERIMENTI CAMPIONAMENTO	
CAMPIONE N°:	1
LUOGO PRELIEVO:	Torrente Lagora (La Spezia) - Fosso Tassonaro a confluenza Morio
DATA PRELIEVO:	08/10/2019
DESCRIZIONE/NOTE:	Ghiaia sabbiosa



D90= 73,144	D60= 17,390	D50= 9,757	D10= 1,052	Cu=D60/D10= 16,537	Cc=D30^2/(D10*D60)= 0,557

CLASSIFICAZIONE CAMPIONE (AGI)	GHIAIA SABBIOSA

ANNOTAZIONI:

ELABORAZIONE:	V.VOMMARO	**DATA ELABORAZIONE:**	26/03/2019	**VERIFICA RLMM:**	L.DUTTO

HYDRODATA
INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

SCHEDA DATI ANALISI GRANULOMETRICA

CLASSIFICAZIONE
3478H002
MOD LMM-M/C
PT 012
rev. 5-26/02/08

RIFERIMENTI CAMPIONAMENTO	
CAMPIONE N°:	2
LUOGO PRELIEVO:	Torrente Pagliari (La Spezia) - presso ponte PA_P6
DATA PRELIEVO:	08/10/2019
DESCRIZIONE/NOTE:	Ghiaia con sabbia debolmente limosa

☐ PER VIA UMIDA ☑ PER VIA SECCA

ANALISI PER SETACCIATURA

PESO CAMPIONE ESAMINATO IN LABORATORIO (g)					7452			
PESO CAMPIONE COMPLESSIVO (g)					7452			
	SETACCIO N° (ASTM)	**D** luce netta maglia (mm)	**A** tara setaccio (g)	**B** tara + terreno trattenuto (g)	**C** peso trattenuto B-A (g)	**D** peso trattenuto cumulato (g)	Percentuale di passante (%)	NOTE
L	**********	passante 0.075	1006	1444	438	438	**********	
L	200	0,075	887	1254	367	805	6	
L	100	0,149	969	1950	981	1786	11	
L	35	0,5	1060	1920	860	2646	24	
L	18	1	1138	2097	959	3605	36	
L	10	2	1248	2691	1443	5048	48	
L	4	4,76	1144	2508	1364	6412	68	
L		12,5	1483	2362	879	7291	86	
L		25,4	1410	1571	161	7452	98	
M		50,8	1238	1238	0	7452	100	
C		100	1000	1000	0	7452	100	
C		200	1000	1000	0	7452	100	
C		400	1000	1000	0	7452	100	

L= in laboratorio; M= misto; C= in campagna

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE CON AEROMETRO

Zero corretto	Fattore a	Peso campione secco (g)
Menisco	Peso specifico	K

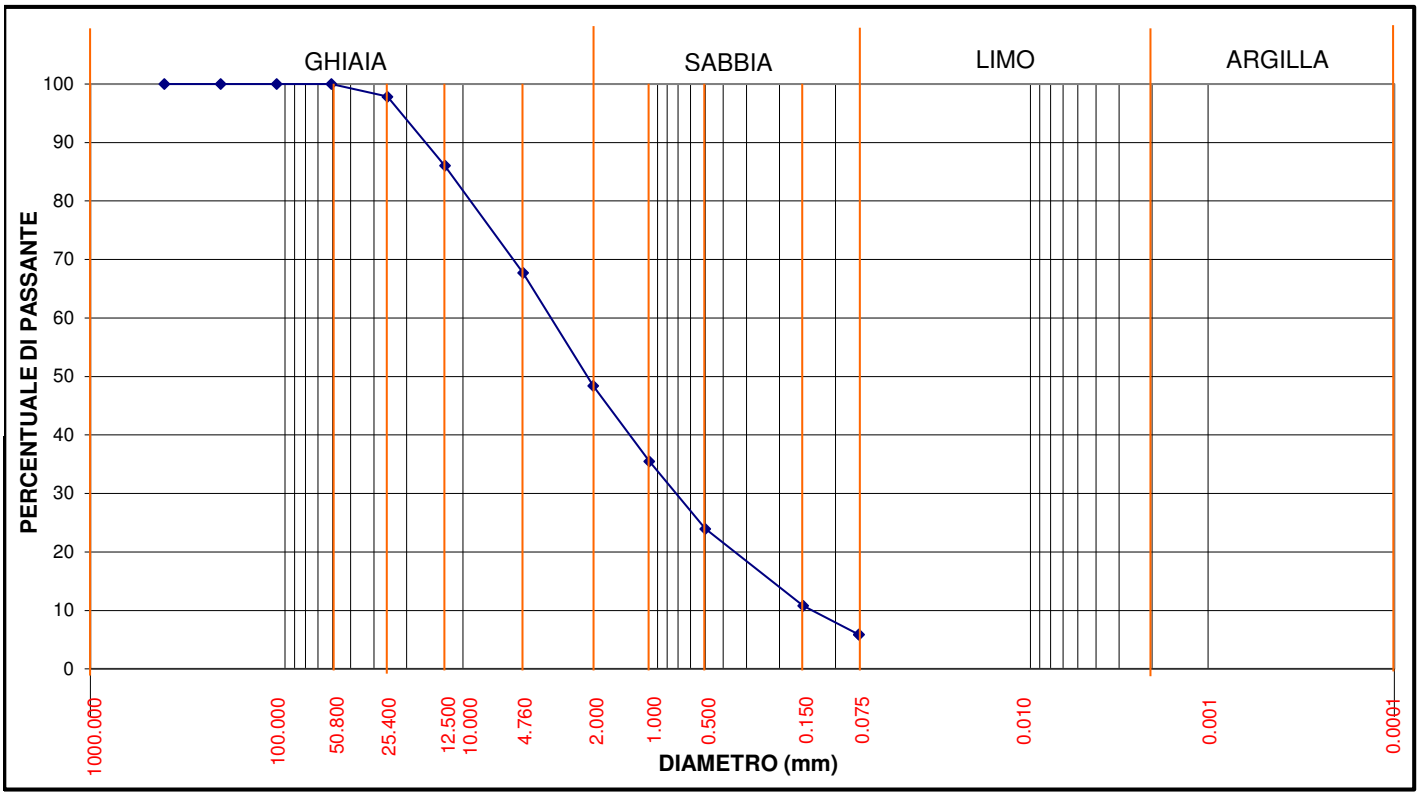
DT intervallo letture (min)	**R** lettura menisco	Lettura corretta	**T** temperatura (C°)	Diametro (mm)	Passante (%)	Passante cumulato (%)	NOTE
1							
2							
4							
8							
15							
30							
60							
120							
240							
480							
1440							

Diametri clasti rilevati in sito	
b (cm)	peso (g)

ANNOTAZIONI:

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE	**CURVA GRANULOMETRICA**	CLASSIFICAZIONE **3478H002** MOD LMM-M/C **PT 012** rev. 6-25/05/15

RIFERIMENTI CAMPIONAMENTO	
CAMPIONE N°:	2
LUOGO PRELIEVO:	Torrente Pagliari (La Spezia) - presso ponte PA_P6
DATA PRELIEVO:	08/10/2019
DESCRIZIONE/NOTE:	Ghiaia con sabbia debolmente limosa



D90= 15,856	D60= 3,366	D50= 2,151	D10= 0,133	Cu=D60/D10= 25,262	Cc=D30^2/(D10*D60)= 1,151

CLASSIFICAZIONE CAMPIONE (AGI)	GHIAIA CON SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA

ANNOTAZIONI:

ELABORAZIONE:	V.VOMMARO	**DATA ELABORAZIONE:**	26/03/2019	**VERIFICA RLLM:**	L.DUTTO

HYDRODATA
INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

SCHEDA DATI ANALISI GRANULOMETRICA

CLASSIFICAZIONE
3478H003
MOD LMM-M/C
PT 012
rev. 5-26/02/08

RIFERIMENTI CAMPIONAMENTO	
CAMPIONE N°:	3
LUOGO PRELIEVO:	Torrente Dorgia (La Spezia) presso ponte ND_P3
DATA PRELIEVO:	08/10/2019
DESCRIZIONE/NOTE:	Ghiaia con sabbia

☐ PER VIA UMIDA ☑ PER VIA SECCA

ANALISI PER SETACCIATURA

PESO CAMPIONE ESAMINATO IN LABORATORIO (g)					8294			
PESO CAMPIONE COMPLESSIVO (g)					8294			
	SETACCIO N° (ASTM)	**D** luce netta maglia (mm)	**A** tara setaccio (g)	**B** tara + terreno trattenuto (g)	**C** peso trattenuto B-A (g)	**D** peso trattenuto cumulato (g)	Percentuale di passante (%)	NOTE
L	**********	passante 0.075	1006	1111	105	105	**********	
L	200	0,075	887	1026	139	244	1	
L	100	0,149	969	2147	1178	1422	3	
L	35	0,5	1060	1482	422	1844	17	
L	18	1	1138	1528	390	2234	22	
L	10	2	1248	2210	962	3196	27	
L	4	4,76	1144	2841	1697	4893	39	
L		12,5	1483	3057	1574	6467	59	
L		25,4	1410	2573	1163	7630	78	
M		50,8	1238	1902	664	8294	92	
C		100	1000	1000	0	8294	100	
C		200	1000	1000	0	8294	100	
C		400	1000	1000	0	8294	100	

L= in laboratorio; M= misto; C= in campagna

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE CON AEROMETRO

Zero corretto	Fattore a	Peso campione secco (g)
Menisco	Peso specifico	K

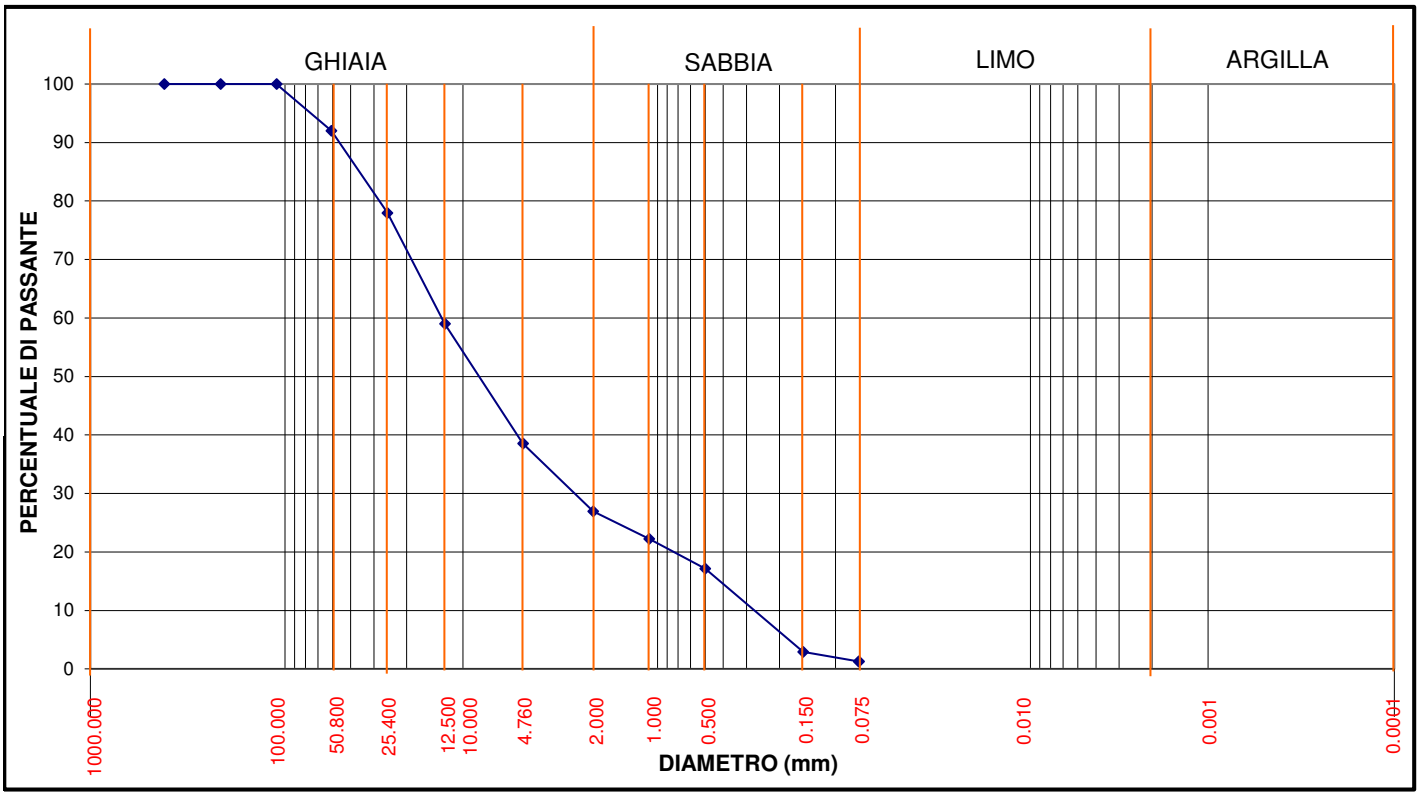
DT intervallo letture (min)	**R** lettura menisco	Lettura corretta	**T** temperatura (C°)	Diametro (mm)	Passante (%)	Passante cumulato (%)	NOTE
1							
2							
4							
8							
15							
30							
60							
120							
240							
480							
1440							

Diametri clasti rilevati in sito	
b (cm)	peso (g)

ANNOTAZIONI:

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE	**CURVA GRANULOMETRICA**	CLASSIFICAZIONE **3478H003** MOD LMM-M/C **PT 012** rev. 6-25/05/15

RIFERIMENTI CAMPIONAMENTO	
CAMPIONE N°:	3
LUOGO PRELIEVO:	Torrente Dorgia (La Spezia) presso ponte ND_P3
DATA PRELIEVO:	08/10/2019
DESCRIZIONE/NOTE:	Ghiaia con sabbia



D90= 46,031	D60= 12,979	D50= 8,177	D10= 0,272	Cu=D60/D10= 47,726	Cc=D30^2/(D10*D60)= 1,792

CLASSIFICAZIONE CAMPIONE (AGI)	GHIAIA CON SABBIA

ANNOTAZIONI:

ELABORAZIONE:	V.VOMMARO	**DATA ELABORAZIONE:**	26/03/2019	**VERIFICA RLMM:**	L.DUTTO

LA SPEZIA CONTAINER TERMINAL

Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale
Porti di La Spezia e Marina di Carrara



PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO

Analisi idrauliche integrative in ottemperanza alle raccomandazioni sugli aspetti idraulici del CSLLPP– rif. Affare 58/2022

CODICE ELABORATO

21 | 08 | PE | R203 | 00

Rev.	Data	Causale
0	24/11/2022	Emissione
1		
2		
3		

IL COMMITTENTE

LSCT S.p.a.
Viale San Bartolomeo, 20
19126 - La Spezia (SP)
C.F.00072960115 - P.IVA 00859620114

IL PROGETTISTA

Modimar Project S.r.l.

GES - Geotechnital Engineering Service S.r.l.

GeoEquipe - Studio Tecnico Associato

STUDIO IDRAULICO

HYDRODATA S.p.A.

Dimensioni foglio: A4

Redatto:	Controllato:	Validato:

Note:

SOMMARIO

1. PREMESSA 2

2. SINTESI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO 5

3. SCHEMA MODELLISTICO E SCENARI DI ANALISI 11

4. PARAMETRI IDROLOGICI DI RIFERIMENTO 16

5. VERIFICHE IDRODINAMICHE 16

5.1 ANALISI IDRAULICA: ASSETTO DI PROGETTO IN ASSENZA DI ESONDAZIONI A MONTE 17

5.1.1 Tempo di ritorno TR=50 anni 17

5.1.2 Tempo di ritorno TR=200 anni 30

5.1.3 Tempo di ritorno TR=500 anni 43

5.1.4 Andamento del franco idraulico 56

5.2 ANALISI IDRAULICA: ASSETTO DI PROGETTO CON ESONDAZIONI A MONTE 57

1.1.1 Tempo di ritorno TR=50 anni 58

1.1.2 Tempo di ritorno TR=200 anni 65

1.1.3 Tempo di ritorno TR=500 anni 71

6. CONCLUSIONI 77

1. PREMESSA

Il presente documento descrive le analisi idrauliche integrative sviluppate in ottemperanza alle raccomandazioni espresse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per il progetto di ampliamento del Terminal Ravano nel porto della Spezia (rif. Affare 58/2022, parere facoltativo CSLLPP ai sensi del D.P.R. 204/2006, art. 2, comma 1, lett. B, trasmesso via PEC all'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale e assunto con Protocollo N. 26190 del 10/10/2022).

In particolare il parere citato riporta quanto segue per quanto attiene gli aspetti idraulici.
Si rileva inoltre che negli studi dell'AdSP viene considerato per lo sbocco dei canali e dei fossi in progetto un livello del mare pari a +0,50 m. Tuttavia, dagli elaborati trasmessi si rileva che la sola marea meteorologica (depurata della marea astronomica variabile tra +/- 8 cm e +-15 cm) assume valori più elevati (sovralzo calcolato pari a 53 cm per eventi con Tr= 2 anni; 0,68 cm Tr =10 anni; 0,83 cm Tr = 50 anni; 0,89 cm Tr = 100 anni). Vista la possibile concomitanza di eventi piovosi intensi e livelli di marea metereologica elevati, la Sezione raccomanda che vengano effettuati ulteriori studi e simulazioni atti ad approfondire gli eventuali effetti di possibili fenomeni di rigurgito nei suddetti fossi con i livelli di sbocco paragonabili a quelli calcolati per le maree, anche alla luce dei noti eventi meteorologici verificatisi nel recente passato. Ciò anche al fine di individuare possibili criticità nel terminal, la loro frequenza ed intensità, nonché, se del caso, le possibili modalità per minimizzarne le conseguenze. Non pare inopportuno sottolineare che, anche dalla semplice lettura dei livelli registrati dalla stazione mareografica di La Spezia il livello di +50 cm è stato superato quasi tutti gli anni.
Val la pena infine di rammentare che, nello studio con tempi di ritorno elevati, non si può trascurare l'effetto del SLR (innalzamento del livello dei mari). Le più recenti stime di tale innalzamento forniscono valori di +35 cm al 2070 e di +55 cm al 2100. E, tali previsioni, sono riferite ad uno "scenario medio" (RCP 4.5), mentre nello scenario più pessimistico (RCP 8.5), sono prevedibili incrementi dei livelli marini addirittura dell'ordine dei +84 cm al 2100 (con una "forchetta" [0.609 - 1.105]). Ovviamente questi incrementi del livello marino andranno aggiunti a quelli discussi in precedenza. Di questo fenomeno si dovrà ovviamente tenere conto nell'approfondimento dello studio.

Il documento risponde, inoltre, alle richieste contenute nel parere di Regione Liguria - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile - Settore Difesa del Suolo La Spezia (rif. Prot.2002-1288909 del 23/11/2022) e nel parere congiunto di Regione Liguria - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile - Settore Assetto del Territorio e di Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (rif. Prot.2002-1289218 del 23/11/2022).

Si precisa come il valore di livello del mare adottato in progetto (0,50 m s.m.), per coerenza con le progettazioni pregresse approvate nell'ultimo decennio nel Comune di La Spezia, anche direttamente interferenti con il medesimo sito portuale (nuovi canali coperti di foce del torrente Vecchia Dorgia e del canale Fossamastra), sia effettivamente pari a un valore assimilabile al massimo annuale (tempo di ritorno prossimo a 2 anni).

Si ritiene tale assunzione adeguata a considerare la concomitanza di un evento di precipitazione di estrema intensità (tempo di ritorno duecentennale), in grado da risultare critico per i bacini in esame – quindi con una durata di pioggia breve, inferiore all'ora –, con un evento di marea metereologica gravoso ma non eccezionale, in modo da rappresentare condizioni maggiormente plausibili di contemporaneità (la concomitanza di eventi maggiormente gravosi corrisponderebbe a un tempo di ritorno superiore ai 200 anni di riferimento). Questi schemi di combinazione non sono infrequenti nella prassi progettuale: a titolo di esempio, la *Direttiva inerente le verifiche idrauliche (...)* dell'Autorità di Bacino regionale dell'Emilia Romagna indica che per portata fluviale con tempo di ritorno di 200 anni la verifica sia condotta con *livello marino statico equivalente pari alla media dei massimi annuali*.

Si conferma quindi l'assunzione di un livello di mare di 0,50 m s.m. per lo scenario di riferimento per la verifica progettuale; tuttavia, per dare riscontro a quanto raccomandato dal CSLLPP, si sono indagati scenari integrativi di maggiore gravosità, variando in aumento il livello idrico di valle, per indagare la resilienza delle opere in progetto a sollecitazioni più gravose di quelle di dimensionamento e analizzare il rischio residuale.

In particolare gli eventi idrologici di riferimento (associati a tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni) sono stati accoppiati a livelli di mare associati a tempi di ritorno di 10 anni e di 100 anni, analizzandone le differenze rispetto allo scenario di progetto (livello di mare associato a un tempo di ritorno di circa 2 anni). Il presente documento fornisce le risultanze di tale confronto, che risultano significative anche per indagare possibili graduali effetti di innalzamento del livello medio del mare.

Rispetto alla configurazione originaria degli interventi definiti dal progetto esecutivo, che risolvono l'interferenza del prolungamento della banchina del terminal con il Fosso Melara (che attualmente sfocia in quest'area) mediante una traslazione di tale foce verso mare per mezzo di un nuovo canale marino esteso fino alla nuova linea di costa artificiale, l'analisi svolta nel presente documento considera anche -per significatività di rappresentazione- gli ulteriori interventi di mitigazione del rischio idraulico previsti nei tratti di corso d'acqua più a monte descritti nel documento *Rio Melara - Proposta progettuale degli interventi di mitigazione del rischio idraulico area SIMAN - via del Molo* (AdSP – LSCT, ottobre 2022).

2. SINTESI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Il Fosso Melara drena un'area prettamente urbana, non presentando caratteri morfologici naturali ma piuttosto caratteristiche affini a quelle di una rete di drenaggio delle acque meteoriche. Esso è suddiviso in due rami principali, Est e Ovest, che confluiscono nel tratto terminale in corrispondenza dell'attraversamento della linea ferroviaria.

La più recente ed aggiornata caratterizzazione dell'assetto del Fosso Melara è contenuta in uno *studio*[1] *idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune* (…) a supporto delle attività di protezione civile e del Piano Urbanistico Comunale, predisposto dal Comune della Spezia nel 2019, aggiornato e integrato nel 2021, dal quale è derivata una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica.

Tale studio ha fatto emergere una generale inadeguatezza allo smaltimento delle portate di piena del reticolo idrografico dell'asta del Melara, che peraltro nei tratti di monte è assimilabile a una rete di fognatura urbana, non direttamente leggibile sul territorio sul piano di superficie. Sia i (prevalenti) tratti tombinati che quelli a cielo aperto del corso d'acqua presentano una capacità di deflusso significativamente inferiore alle portate di riferimento definite dall'analisi idrologica eseguita nello studio citato, per cui già per l'evento di piena cinquantennale si riscontrano ampi allagamenti delle aree urbanizzate circostanti.

Considerando la porzione di valle del reticolo del Fosso Melara, dove esso assume connotazioni proprie di un corso d'acqua (per quanto artificializzato) anziché di rete fognaria, dallo studio citato si desumono due elementi principali di criticità idraulica, localizzati in Figura 1:

[1] Città della Spezia. Studio idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia - Aggiornamento e integrazione con definizione di possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico relativi ad alcune specifiche criticità puntuali. HYDRODATA S.p.A., luglio 2021.

1. il tombino di attraversamento dell'area del depuratore degli Stagnoni (che comporta esondazioni nell'omonima area artigianale non precedentemente considerate nel Piano di Bacino);
2. la tubazione in uscita dalla "vasca di calma" posta a valle dell'attraversamento ferroviario (denominata ME-CP4, in area detta "SIMAN" dal nome della proprietà delle aree), decisamente inferiore come capacità di deflusso alle sezioni di monte, e causa di un allagamento che interessa l'intera sede ferroviaria e si propaga interessando potenzialmente anche la galleria subalvea.

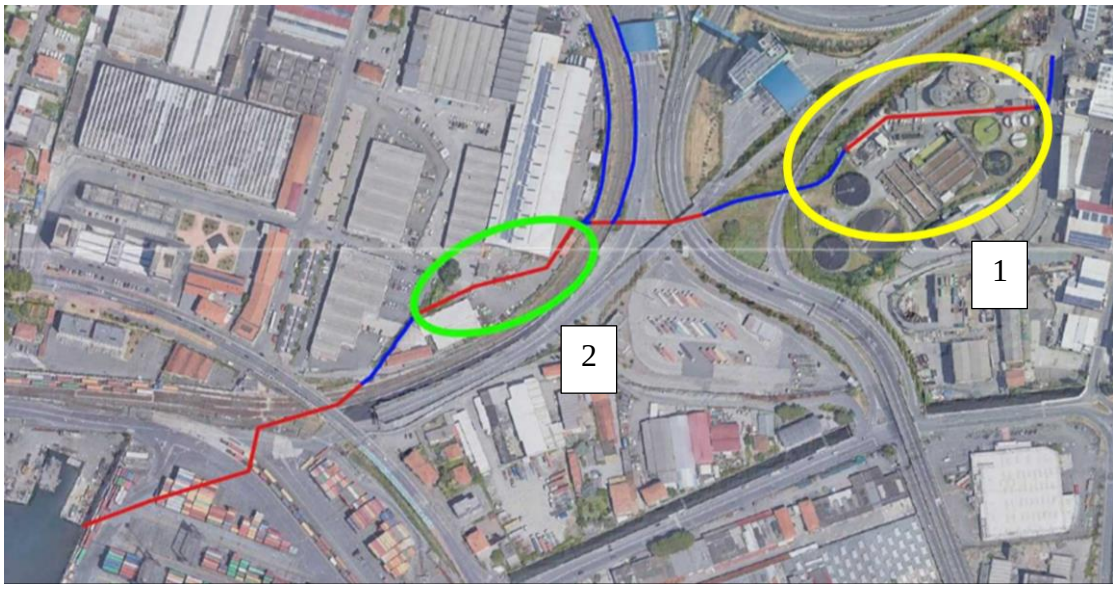


Figura 1 – Corografia con identificazione degli elementi di criticità. I tratti blu rappresentano le porzioni di reticolo idrografico del rio Melara a cielo aperto; quelle rosse i tratti tombati.

Nell'area in esame sono allo stato delle conoscenze previsti (ovvero già in fase di progettazione avanzata) tre interventi rilevanti, di seguito sintetizzati e individuati in Figura 2.

A. Realizzazione del nuovo terminal Ravano nel porto commerciale di La Spezia, dotato di una banchina operativa di lunghezza pari a 520 m circa prevista nell'area dell'attuale foce del Fosso Melara, la quale sarà conseguentemente trasferita a valle, presso la nuova estremità di banchina (linea di costa artificiale), mediante un nuovo canale marino (intervento oggetto del presente documento e del progetto definitivo trasmesso agli Enti al quale si rimanda per ogni dettaglio).

B. Intervento di adeguamento idraulico del tratto di canale che attraversa le aree dell'impianto di depurazione (ad opera del gestore ACAM Acque S.p.A.). Esso prevede di modificare la sezione dell'attuale tombinatura trasformandola in un canale a pelo libero di geometria rettangolare, sostanzialmente "aprendo" la sezione fino al piano soprastante senza modificarne la larghezza. Tale modifica permette quindi di ottenere in corrispondenza dell'area del depuratore un franco idraulico maggiore od uguale ad un metro, sufficiente a garantire la sicurezza idraulica dell'impianto. Tuttavia, i livelli che si generano (dovuti alla limitata larghezza della sezione, circa 2 m) continuano a creare rigurgito verso le aree a monte, e non modificheranno pertanto l'estensione degli allagamenti attesi per la configurazione attuale (si rimanda per maggiori dettagli agli specifici elaborati di progetto).

C. Potenziamento della capacità di deflusso del tratto d'alveo in corrispondenza dell'area SIMAN, realizzando a fianco della tombinatura esistente (DN1800) un nuovo canale (Figura 3), realizzato con una struttura di c.a. a sezione aperta, al di sopra della quale è prevista per ampia parte la posa di un grigliato carrabile, in modo da non compromettere l'operatività del cantiere navale. Il nuovo canale, che avrà una larghezza pari a 3,0 m, non sostituirà la tubazione DN 1800 esistente, che continuerà a svolgere la sua funzione anche dopo la sua realizzazione contribuendo al deflusso delle portate di piena del Fosso Melara.

   In prossimità dell'attuale sbocco della tubazione esistente in un tratto a cielo aperto del Fosso, è prevista inoltre la realizzazione di una vasca in c.a. a cielo aperto in cui confluiranno questi due rami del corso d'acqua, con funzione di vasca di calma ma anche di sedimentazione e di intercettazione del materiale flottante, essendo dotata di briglia selettiva. Tali opere risultano funzionalmente connesse all'intervento A, fungendo da presidio della lunga tombinatura terminale esistente che si connette con il nuovo canale marino. Per ogni dettaglio si rimanda alla proposta tecnica di intervento precedentemente citata.

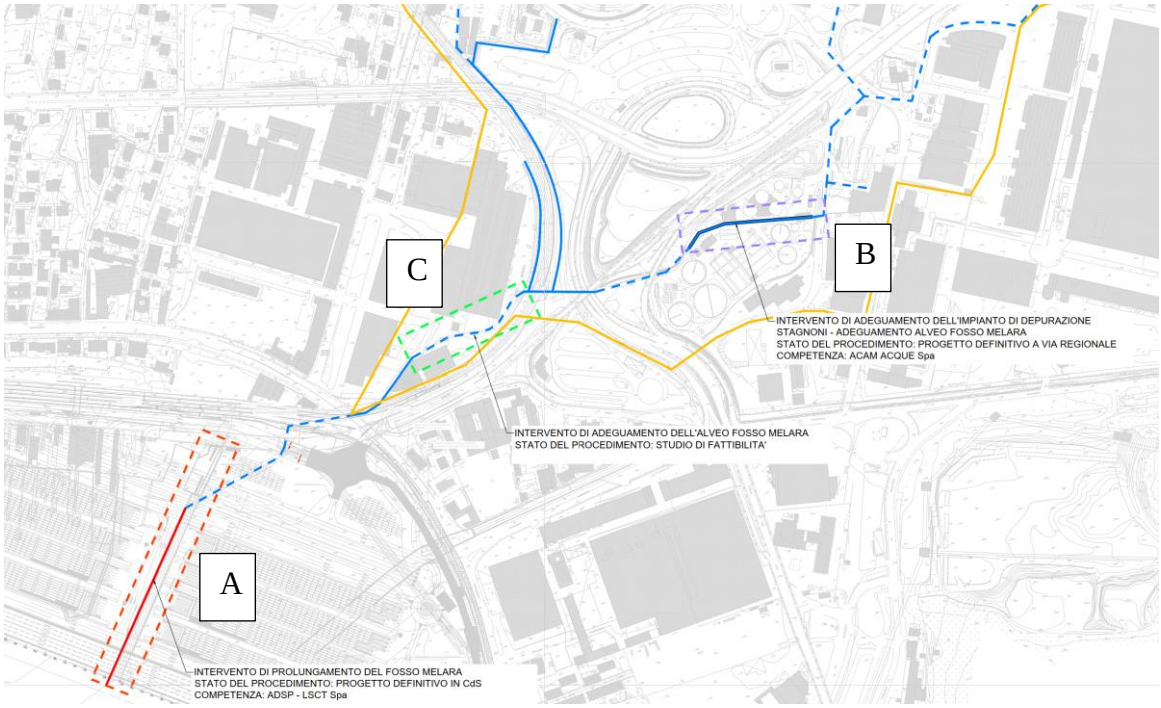


Figura 2 – Corografia con identificazione degli interventi in progetto noti.

L'intervento C è stato impostato in modo da eliminare per quanto tecnicamente possibile gli allagamenti prodotti dall'elemento critico 2 (di Figura 1) costituito dalla tubazione DN1800, senza interferire con l'attuale funzionalità idraulica dei tratti fluviali a monte e a valle.

In accoppiamento con l'intervento A correlato alla realizzazione del nuovo terminal, esso risulta efficace nell'eliminare quasi completamente gli allagamenti nell'area degli Stagnoni, con rilevante mitigazione della pericolosità idraulica. Risultano solo limitate esondazioni residue in corrispondenza del sedime ferroviario, dovute non più all'effetto di rigurgito della tombinatura ma alla limitata capacità di deflusso dei fossi a lato della ferrovia, in relazione alle portate idrologiche teoriche ad essi attribuite (Figura 4).



Figura 3 – Schema di intervento presso l'area SIMAN (C).

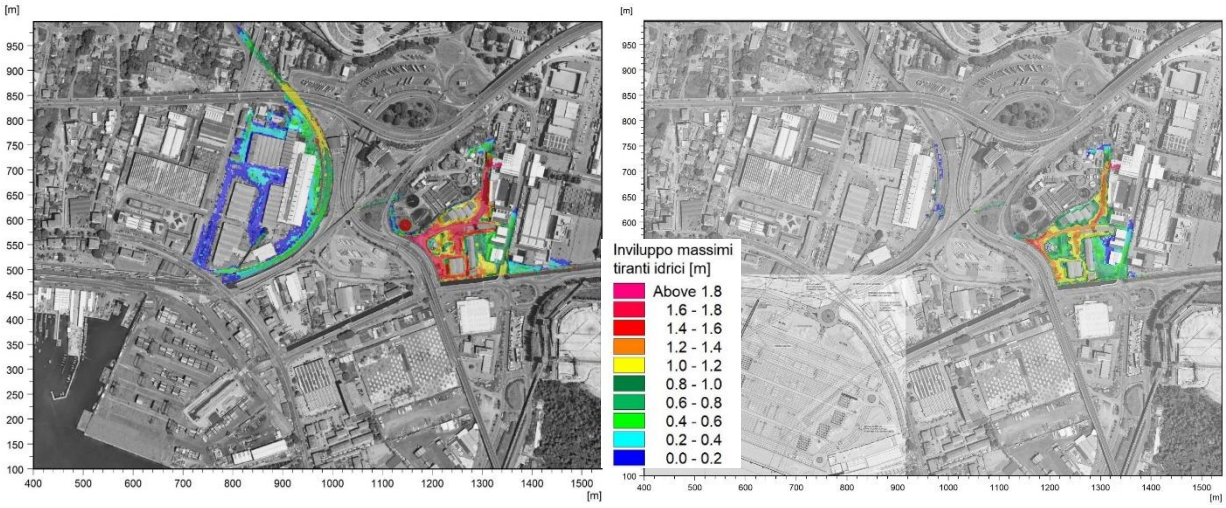


Figura 4 – Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna, TR=200 anni. Stato attuale (sx), stato di progetto A+C (dx)

Sulla base delle aree esondabili ottenute dagli scenari di progetto indagati, nello studio di fattibilità citato è stata proposta a seguito della realizzazione degli interventi A+C la perimetrazione di pericolosità idraulica rappresentata in Figura 6, in variante rispetto alla perimetrazione vigente del Piano di Bacino, che non tiene conto delle esondazioni a monte del depuratore, e a quella proposta nello studio del Comune (2021) rappresentata in Figura 5.



Figura 5 – Estensione delle fasce A, B e C proposte per il Fosso Melara allo stato attuale nello studio del Comune di La spezia (2021).



Figura 6 - Fasce fluviali proposte per il Fosso Melara nello stato di progetto dallo studio di fattibilità citato.

3. SCHEMA MODELLISTICO E SCENARI DI ANALISI

L'analisi di sensitività svolta nel presente documento si basa sul modello numerico allestito per la *Proposta progettuale degli interventi di mitigazione del rischio idraulico area SIMAN - via del Molo* (AdSP – LSCT, ottobre 2022), che schematizza sia la realizzazione del nuovo canale marino (A) sia l'intervento (C) di potenziamento del tratto in area SIMAN.

Si tratta in particolare di modellistica numerica integrata 1D-2D:

- un modello numerico monodimensionale descrittivo dell'alveo del Melara, incluse le strutture interferenti (attraversamenti, tombinature, soglie); si tratta del medesimo modello utilizzato per la predisposizione del già citato studio del Comune di La Spezia (aggiornamento 2021), al quale si rimanda per ogni dettaglio, modificato per l'inserimento delle opere in progetto ("raddoppio" del tratto nell'area SIMAN);
- un modello numerico bidimensionale, dinamicamente accoppiato a quello monodimensionale, esteso all'intero tratto di fosso Melara nelle condizioni di stato attuale; questo modello deriva da quello alla base dello studio del Comune, con affinamento delle geometrie nell'area portuale e nell'area SIMAN sulla base dei rilievi di dettaglio resi disponibile dalla Committenza;
- un'estensione verso valle del modello monodimensionale di stato attuale per schematizzare la configurazione di progetto, rappresentando il nuovo canale marino coperto secondo le geometrie definite dagli elaborati di progetto.

In Figura 7 e Figura 8 si rappresenta la schematizzazione grafica del network del modello 1D che rappresenta l'alveo del Fosso, esteso da via degli Stagnoni alla confluenza in mare.

Si rimanda agli elaborati della sopra citata *Proposta progettuale* per ogni dettaglio in merito al modello allestito.

Le condizioni al contorno adottate sono le medesime applicate al modello per quest'ultimo studio, con l'eccezione del livello idrico di valle (mare), oggetto di un'analisi di sensitività per valutarne gli effetti sugli interventi di sistemazione in progetto.

Per ciascuno degli scenari di piena a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni, si sono pertanto eseguite nuove verifiche idrauliche rispetto a quella già svolta (con livello di marea metereologica pari a 0,50 m s.m.), considerando le seguenti condizioni di marea:

- livello idrico 0,68 m s.m. con tempo di ritorno 10 anni;
- livello idrico 0,89 m s.m. con tempo di ritorno 100 anni.

Nel seguito del presente documento vengono forniti i risultati delle verifiche eseguite, raggruppati per tempi di ritorno omologhi delle portate del Fosso.



Figura 7 – Network del modello di simulazione (1D) da via degli Stagnoni all'area di intervento.



Figura 8 – Network del modello di simulazione (1D) dall'area di intervento alla confluenza in mar Ligure).

In analogia con lo studio pregresso, sono state eseguite simulazioni per due condizioni di verifica:

- "Assetto di progetto": rappresenta con il modello integrato 1D-2D l'effettiva evoluzione dell'evento, incluse le esondazioni e la propagazione dei deflussi nelle aree esterne all'alveo. Si considerano pertanto i possibili fenomeni di laminazione dei colmi di piena degli idrogrammi di riferimento inseriti in input dovuti a tali esondazioni. Con tale rappresentazione si determinano in modo dettagliato gli ambiti di allagamento che si generano nell'alveo di piena in modo da perimetrare le relative superfici e aree di pericolosità idraulica.
- "Assetto di progetto in assenza di laminazione": essa considera la sola propagazione da monte verso valle degli idrogrammi di riferimento, inibendo le esondazioni nei tratti di monte ("scollegando" il modello 1D dal 2D, evitando quindi la fuoriuscita di portata). Questa configurazione consente quindi di dimensionare la geometria delle opere per garantire un adeguato franco idraulico con riferimento a livelli e portate che prescindono dall'inadeguatezza di tratti fluviali a monte e dall'eventuale futura sistemazione degli stessi.

4. PARAMETRI IDROLOGICI DI RIFERIMENTO

Per l'analisi del presente documento si fa riferimento all'analisi idrologica riportata nella già citata *Proposta progettuale degli interventi di mitigazione del rischio idraulico area SIMAN - via del Molo* (AdSP – LSCT, ottobre 2022), che riprende l'originaria impostazione dello Studio del comune di La Spezia (2021), il quale ha determinato gli idrogrammi di piena caratteristici dei bacini e sottobacini di interesse per diversi tempi di ritorno, integrandola con gli apporti di piena di alcuni collettori di drenaggio urbano anch'essi recapitanti nel nuovo canale marino, in quanto sfocianti nella medesima area di realizzazione del nuovo terminal.

Si tratta in particolare dell'area di territorio interclusa tra i bacini idrografici del torrente Vecchia Dorgia e del Fosso Melara. Tale area è drenata da tre corpi idrici principali, denominati Fosso Termomeccanica, Fosso Cieli e Fosso Campitelli.

Si rimanda al documento citato per ogni dettaglio in merito agli idrogrammi adottati.

5. VERIFICHE IDRODINAMICHE

Le verifiche idrauliche oggetto del presente documento (analisi di sensitività alla variazione del livello idrico di mare assunto) sono state eseguite con riferimento a condizioni di moto non stazionario per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Come già indicato, l'analisi è stata svolta mediante modellistica numerica integrata 1D-2D, utilizzando il codice di calcolo MIKE Flood del DHI.

Le simulazioni sono state eseguite unicamente con riferimento alla configurazione geometrica di progetto, come descritto nel capitolo 0, la quale include sia la realizzazione del terminal Ravano, con il relativo canale marino allo sbocco dell'attuale tombinatura terminale del Fosso Melara, sia il nuovo canale in progetto in sinistra Melara nell'area SIMAN.

5.1 Analisi idraulica: assetto di progetto in assenza di esondazioni a monte

Questi scenari sono stati condotti impedendo le esondazioni nel tratto di monte, evitando cioè fuoriuscite di portata nelle aree urbanizzate con conseguenti effetti di laminazione.

Di seguito sono sintetizzati i risultati ottenuti, rappresentati come profili grafici e tabellari per la sola componente monodimensionale (alveo inciso), in quanto in questi scenari non si verificano allagamenti.

5.1.1 Tempo di ritorno TR=50 anni

Si forniscono di seguito i risultati delle simulazioni idrodinamiche eseguite per tempo di ritorno 50 anni rispettivamente per le condizioni di marea di 0,50 m s.m., 0,68 m s.m. e 0,89 m s.m., sia in forma tabellare che grafica; in particolare nelle Tabella 1, Tabella 2 e Tabella 3 si riportano i parametri idrodinamici in forma numerica, mentre in Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14 si rappresentano i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul tratto del nuovo canale in progetto.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	2,84	2,86	5,35	0,62	0,16				
Melara		2	4,99	2,84	2,86	5,34	0,61	0,15				
Melara		3	24,38	2,83	2,85	5,31	0,62	0,14				
Melara		4	37,04	2,83	2,85	5,30	0,69	0,15				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,78	2,80	5,01	0,65	0,14				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,44	2,57	5,01	1,58	0,35				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,10	2,23	4,99	1,61	0,37				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,10	2,18	4,98	1,29	0,29				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,07	2,15	4,96	1,26	0,29				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,03	2,11	4,93	1,24	0,28				
Melara		11	208,96	2,01	2,09	4,94	1,21	0,27				
Melara		12	241,74	1,96	2,03	5,06	1,18	0,26				
Melara		13	257,46	1,93	2,00	5,16	1,16	0,26				
Melara		14	287,91	1,87	1,94	5,55	1,18	0,26				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	imbocco ME_C3.1	14	309,41	1,84	1,91	5,68	1,17	0,25				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	1,82	1,91	5,84	1,35	0,29				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	1,69	1,80	6,27	1,48	0,32				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	1,72	1,75	6,46	0,78	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	1,67	1,71	6,91	0,83	0,18				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	1,68	1,71	7,72	0,73	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	1,65	1,68	8,12	0,77	0,17				
Melara	inizio vasca	21	403,93	1,62	1,68	8,19	1,09	0,24				
Melara	fine vasca	22	410,85	1,61	1,63	4,02	0,56	0,12				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	1,61	1,63	4,09	0,57	0,13				
Melara	ME_C4	23.0	412,56	1,61	1,62	3,86	0,44	0,10	1,36		-0,25	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,49	1,57	3,26	1,26	0,29	1,30		-0,19	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,50	1,57	11,99	1,13	0,26	2,30	2,30	0,80	0,80
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,50	1,57	11,99	1,13	0,25	2,30	2,30	0,80	0,80
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,52	1,55	12,31	0,76	0,17	2,30	2,30	0,78	0,78
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,52	1,55	12,45	0,77	0,17	2,30	2,30	0,78	0,78
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,47	1,55	12,66	1,22	0,28	2,30	2,30	0,83	0,83
Melara		24	557,75	1,42	1,54	12,88	1,55	0,36	2,30	2,68	0,88	1,26
Melara		25	566,82	1,43	1,52	13,18	1,31	0,30				
Melara		26	586,66	1,39	1,48	13,42	1,36	0,31				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,35	1,45	13,44	1,38	0,32	0,61		-0,74	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	0,98	1,13	13,44	1,71	0,44				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	0,99	1,05	13,44	1,09	0,28	1,60		0,61	
Melara	ME_C5	30	659,55	0,92	0,98	13,46	1,09	0,28	1,53		0,61	
Melara	ME_C5	31	708,16	0,84	0,90	13,49	1,09	0,28	1,44		0,60	
Melara	ME_C5	32	741,98	0,78	0,84	13,51	1,09	0,28	1,38		0,60	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,52	0,64	18,54	1,52	0,39	1,14		0,62	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,53	0,55	18,54	0,60	0,11	1,50		0,97	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,52	0,53	18,55	0,43	0,07	1,50		0,98	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,51	0,52	18,55	0,42	0,06	1,50		0,99	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,50	0,50	18,55	0,27	0,03	1,50		1,00	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,50	0,50	18,55	0,27	0,03	1,50		1,00	
Ramo canale prog		P1	0,00	1,61	1,73	9,42	1,53	0,34	2,35	2,35	0,74	0,74
Ramo canale prog		P2	12,37	1,59	1,71	9,41	1,53	0,34	2,34	2,34	0,75	0,75
Ramo canale prog		P3	27,00	1,58	1,70	9,39	1,53	0,34	2,34	2,34	0,76	0,76
Ramo canale prog		P4	39,14	1,57	1,69	9,39	1,54	0,34	2,33	2,33	0,76	0,76
Ramo canale prog		P5	57,26	1,55	1,67	9,38	1,54	0,35	2,32	2,32	0,77	0,77
Ramo canale prog		P6	71,84	1,53	1,65	9,37	1,55	0,35	2,32	2,32	0,79	0,79
Ramo canale prog		P7	110,40	1,50	1,62	9,22	1,54	0,35	2,30	2,30	0,80	0,80

Tabella 1 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 50 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	2,85	2,88	5,36	0,82	0,21				
Melara		2	4,99	2,85	2,88	5,34	0,80	0,20				
Melara		3	24,38	2,84	2,86	4,84	0,69	0,15				
Melara		4	37,04	2,84	2,84	1,25	0,19	0,04				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,79	2,82	4,63	0,71	0,15				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,46	2,58	4,63	1,53	0,34				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,13	2,25	4,63	1,54	0,35				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,13	2,21	4,63	1,26	0,29				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	ME_C2	9	175,64	2,10	2,18	4,63	1,23	0,28				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,07	2,14	4,63	1,20	0,27				
Melara		11	208,96	2,05	2,12	4,63	1,18	0,26				
Melara		12	241,74	2,01	2,07	4,63	1,11	0,24				
Melara		13	257,46	1,98	2,04	4,64	1,08	0,24				
Melara		14	287,91	1,93	1,98	4,64	1,01	0,22				
Melara	imbocco ME_C3.1	14	309,41	1,90	1,95	4,86	1,03	0,22				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	1,88	1,95	5,03	1,19	0,25				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	1,76	1,85	5,60	1,33	0,29				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	1,79	1,81	5,83	0,70	0,15				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	1,74	1,77	6,39	0,77	0,17				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	1,75	1,77	6,78	0,65	0,14				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	1,72	1,74	7,28	0,69	0,15				
Melara	inizio vasca	21	403,93	1,69	1,74	7,37	1,03	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	1,68	1,68	2,15	0,30	0,07				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	1,68	1,68	2,10	0,29	0,06				
Melara	ME_C4	23.0	412,56	1,68	1,68	2,12	0,24	0,05	1,36		-0,32	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,57	1,65	3,28	1,27	0,28	1,30		-0,27	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,59	1,64	11,01	1,04	0,23	2,30	2,30	0,71	0,71
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,59	1,64	11,01	1,04	0,23	2,30	2,30	0,71	0,71
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,61	1,63	11,38	0,70	0,15	2,30	2,30	0,69	0,69
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,60	1,63	11,53	0,71	0,16	2,30	2,30	0,70	0,70
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,56	1,63	11,78	1,13	0,25	2,30	2,30	0,74	0,74
Melara		24	557,75	1,51	1,62	12,02	1,44	0,32	2,30	2,68	0,79	1,17
Melara		25	566,82	1,52	1,60	12,36	1,22	0,27				
Melara		26	586,66	1,49	1,57	12,60	1,27	0,28				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,45	1,53	12,60	1,28	0,29	0,61		-0,84	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,06	1,18	12,60	1,56	0,39				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,07	1,12	12,60	1,00	0,25	1,60		0,53	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,01	1,06	12,62	0,99	0,25	1,53		0,52	
Melara	ME_C5	31	708,16	0,94	0,99	12,64	0,97	0,24	1,44		0,50	
Melara	ME_C5	32	741,98	0,90	0,95	12,66	0,96	0,24	1,38		0,48	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,71	0,79	18,18	1,21	0,30	1,14		0,43	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,70	0,71	18,18	0,52	0,09	1,50		0,80	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,69	0,70	18,20	0,39	0,06	1,50		0,81	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,68	0,69	18,20	0,40	0,06	1,50		0,82	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,68	0,68	18,20	0,26	0,03	1,50		0,82	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,68	0,68	18,20	0,26	0,03	1,50		0,82	
Ramo canale prog		P1	0,00	1,68	1,78	8,60	1,40	0,31	2,35	2,35	0,67	0,67
Ramo canale prog		P2	12,37	1,67	1,77	8,60	1,40	0,31	2,34	2,34	0,67	0,67
Ramo canale prog		P3	27,00	1,66	1,76	8,60	1,41	0,31	2,34	2,34	0,68	0,68
Ramo canale prog		P4	39,14	1,65	1,75	8,59	1,41	0,31	2,33	2,33	0,68	0,68
Ramo canale prog		P5	57,26	1,63	1,73	8,59	1,42	0,31	2,32	2,32	0,69	0,69
Ramo canale prog		P6	71,84	1,62	1,72	8,58	1,42	0,31	2,32	2,32	0,70	0,70
Ramo canale prog		P7	110,40	1,59	1,69	8,43	1,40	0,31	2,30	2,30	0,71	0,71

Tabella 2 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 50 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	2,86	2,88	5,35	0,61	0,15				
Melara		2	4,99	2,86	2,88	5,35	0,60	0,15				
Melara		3	24,38	2,86	2,88	5,33	0,61	0,13				
Melara		4	37,04	2,85	2,87	5,33	0,69	0,14				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,81	2,83	4,90	0,63	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,48	2,60	4,90	1,55	0,34				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,18	2,30	4,89	1,56	0,35				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,19	2,26	4,89	1,21	0,27				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,16	2,23	4,87	1,18	0,26				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,13	2,20	4,84	1,16	0,26				
Melara		11	208,96	2,12	2,18	4,86	1,12	0,24				
Melara		12	241,74	2,08	2,14	4,94	1,06	0,23				
Melara		13	257,46	2,06	2,12	5,03	1,05	0,22				
Melara		14	287,91	2,01	2,07	5,41	1,05	0,22				
Melara	imbocco ME_C3.1	14	309,41	1,99	2,05	5,59	1,05	0,22				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	1,97	2,05	5,75	1,24	0,26				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	1,87	1,96	6,19	1,35	0,28				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	1,90	1,93	6,37	0,76	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	1,85	1,88	6,82	0,82	0,17				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	1,85	1,88	7,63	0,73	0,15				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	1,82	1,85	8,03	0,76	0,16				
Melara	inizio vasca	21	403,93	1,80	1,85	8,09	1,03	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	1,79	1,79	2,10	0,27	0,06				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	1,79	1,79	2,10	0,27	0,06				
Melara	ME_C4	23.0	412,56	1,79	1,79	2,11	0,22	0,05	1,36		-0,43	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,70	1,76	2,30	0,89	0,19	1,30		-0,40	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,71	1,76	11,88	1,01	0,22	2,30	2,30	0,59	0,59
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,71	1,76	11,88	1,01	0,22	2,30	2,30	0,59	0,59
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,73	1,75	12,21	0,68	0,15	2,30	2,30	0,57	0,57
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,73	1,75	12,34	0,69	0,15	2,30	2,30	0,57	0,57
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,69	1,75	12,56	1,09	0,23	2,30	2,30	0,61	0,61
Melara		24	557,75	1,65	1,75	12,77	1,37	0,30	2,30	2,68	0,65	1,03
Melara		25	566,82	1,66	1,73	13,11	1,16	0,25				
Melara		26	586,66	1,63	1,70	13,35	1,20	0,26				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,60	1,67	13,36	1,21	0,26	0,61		-0,99	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,18	1,30	13,37	1,51	0,37				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,19	1,24	13,37	0,96	0,23	1,60		0,41	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,14	1,19	13,40	0,95	0,23	1,53		0,39	
Melara	ME_C5	31	708,16	1,09	1,13	13,43	0,93	0,22	1,44		0,35	
Melara	ME_C5	32	741,98	1,05	1,09	13,45	0,92	0,22	1,38		0,33	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,92	1,00	18,79	1,21	0,28	1,14		0,22	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,92	0,93	18,79	0,54	0,09	1,50		0,58	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,90	0,91	18,80	0,40	0,06	1,50		0,60	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,90	0,91	18,80	0,40	0,06	1,50		0,60	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,90	0,90	18,80	0,26	0,03	1,50		0,60	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,89	0,89	18,80	0,26	0,03	1,50		0,61	
Ramo canale prog		P1	0,00	1,79	1,89	9,58	1,43	0,30	2,35	2,35	0,56	0,56
Ramo canale prog		P2	12,37	1,78	1,88	9,57	1,43	0,30	2,34	2,34	0,56	0,56
Ramo canale prog		P3	27,00	1,77	1,87	9,57	1,43	0,31	2,34	2,34	0,57	0,57
Ramo canale prog		P4	39,14	1,76	1,86	9,56	1,43	0,31	2,33	2,33	0,57	0,57
Ramo canale prog		P5	57,26	1,75	1,85	9,55	1,43	0,31	2,32	2,32	0,57	0,57
Ramo canale prog		P6	71,84	1,74	1,84	9,55	1,43	0,31	2,32	2,32	0,58	0,58
Ramo canale prog		P7	110,40	1,71	1,81	9,39	1,41	0,30	2,30	2,30	0,59	0,59

Tabella 3 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 50 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

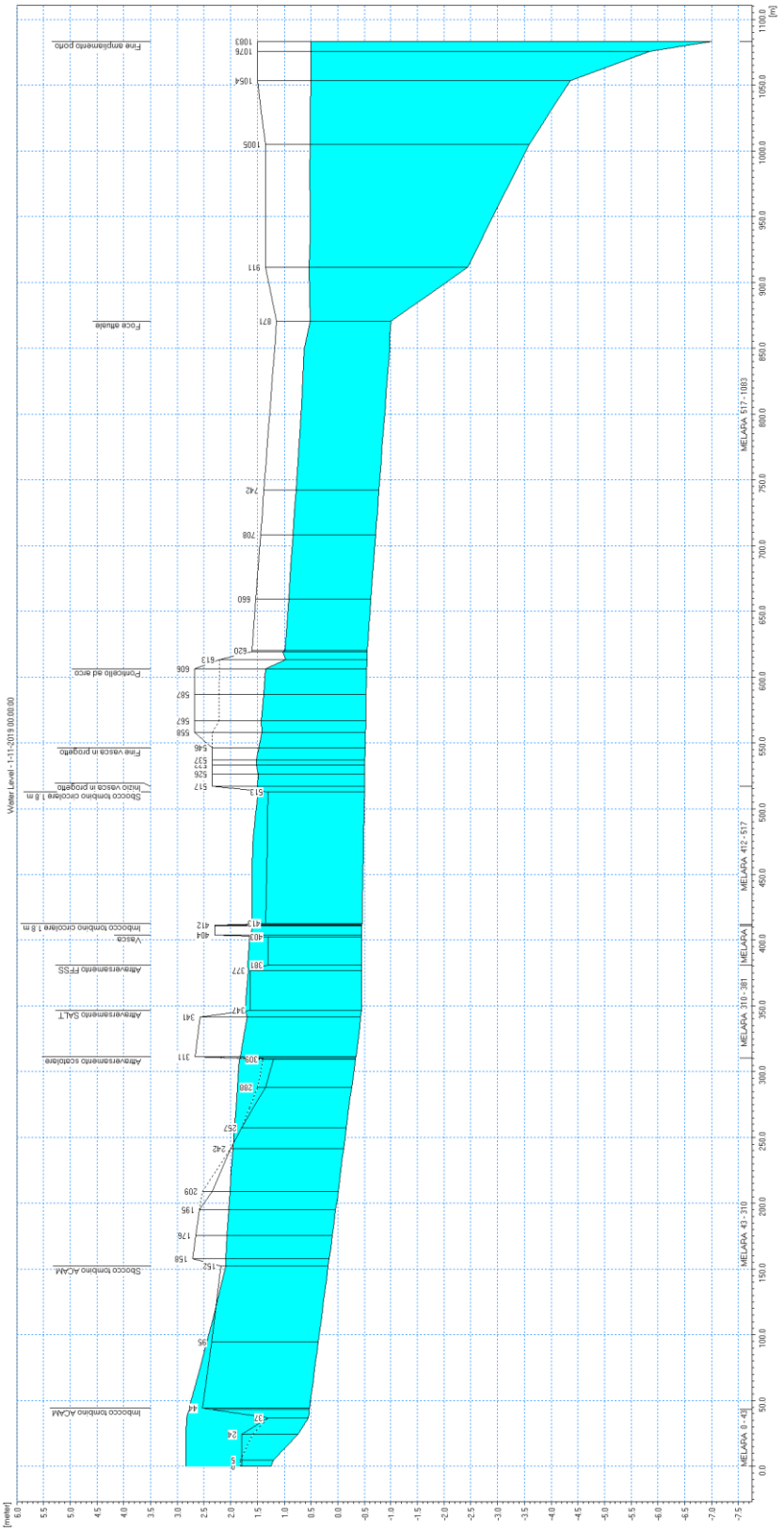


Figura 9 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

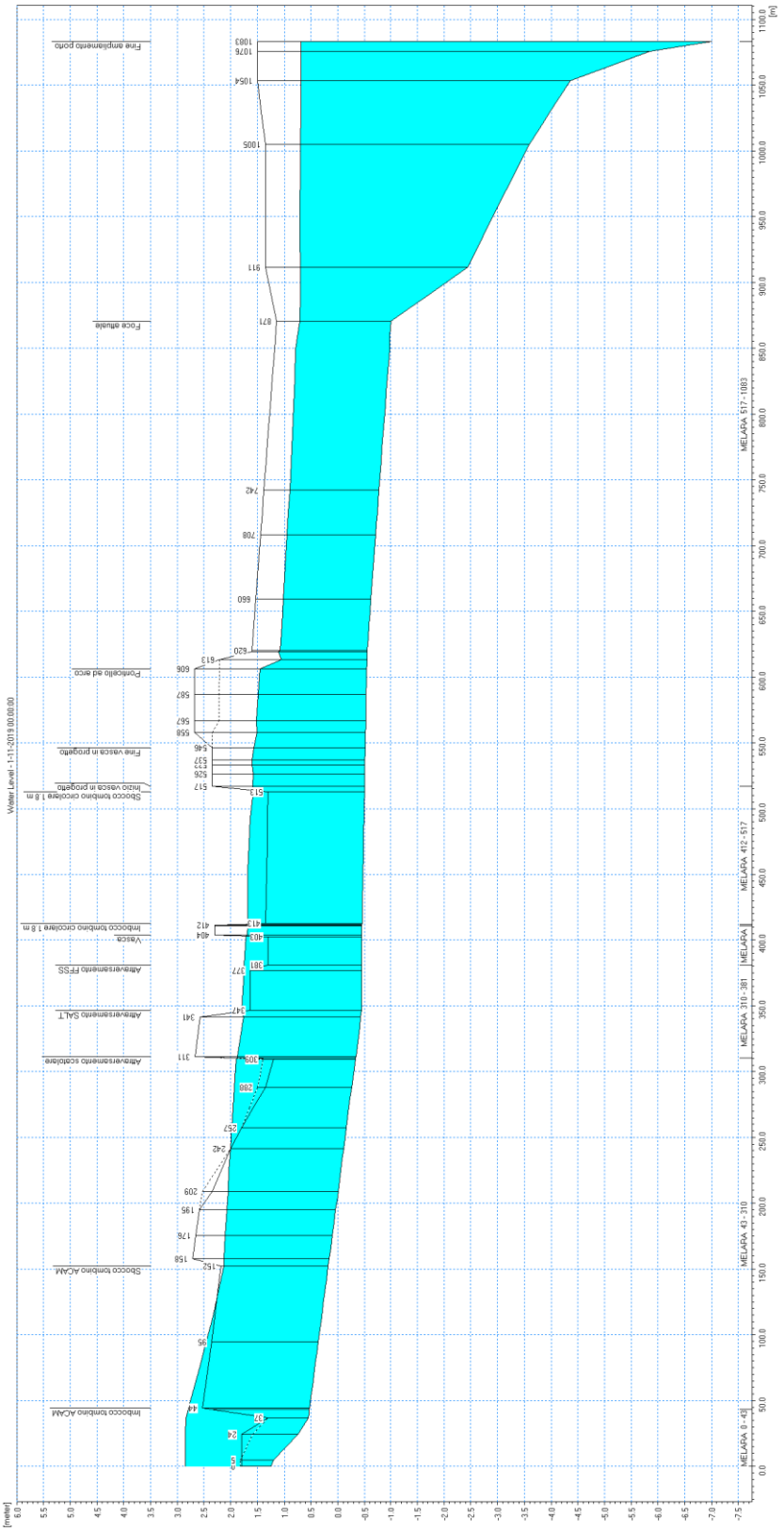


Figura 10 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

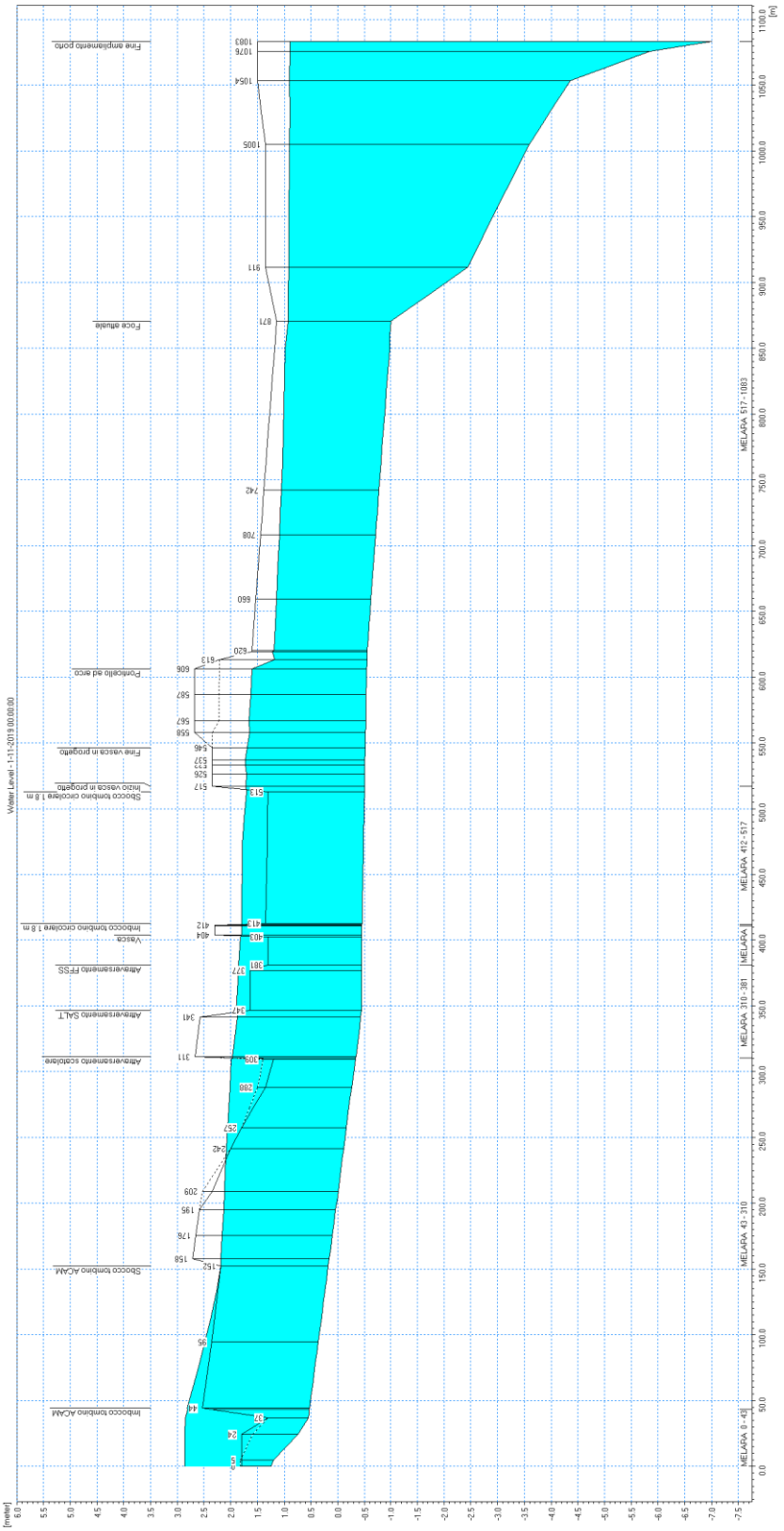


Figura 11 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

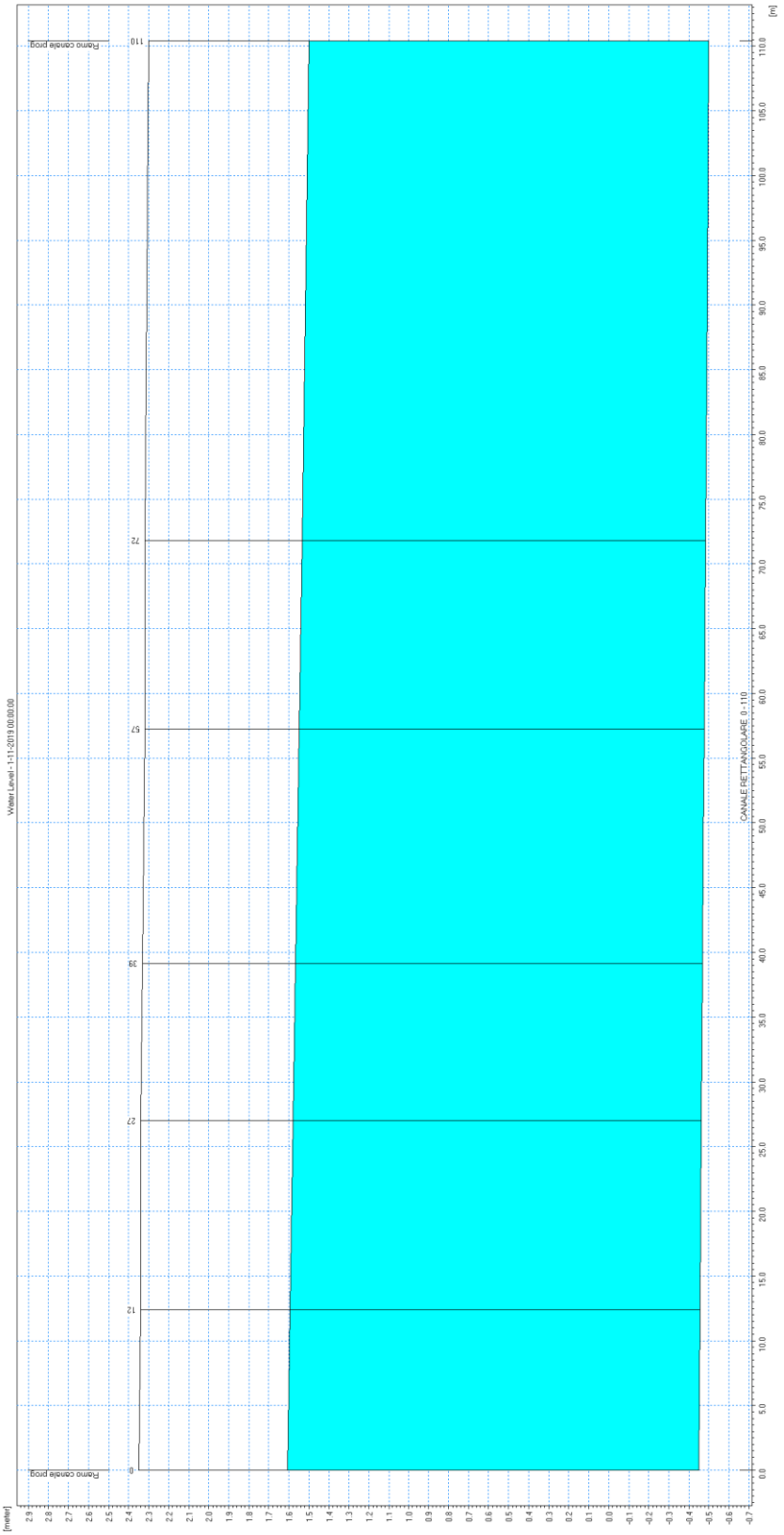


Figura 12 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul canale in progetto in area SIMAN in assenza di esondazioni a monte con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

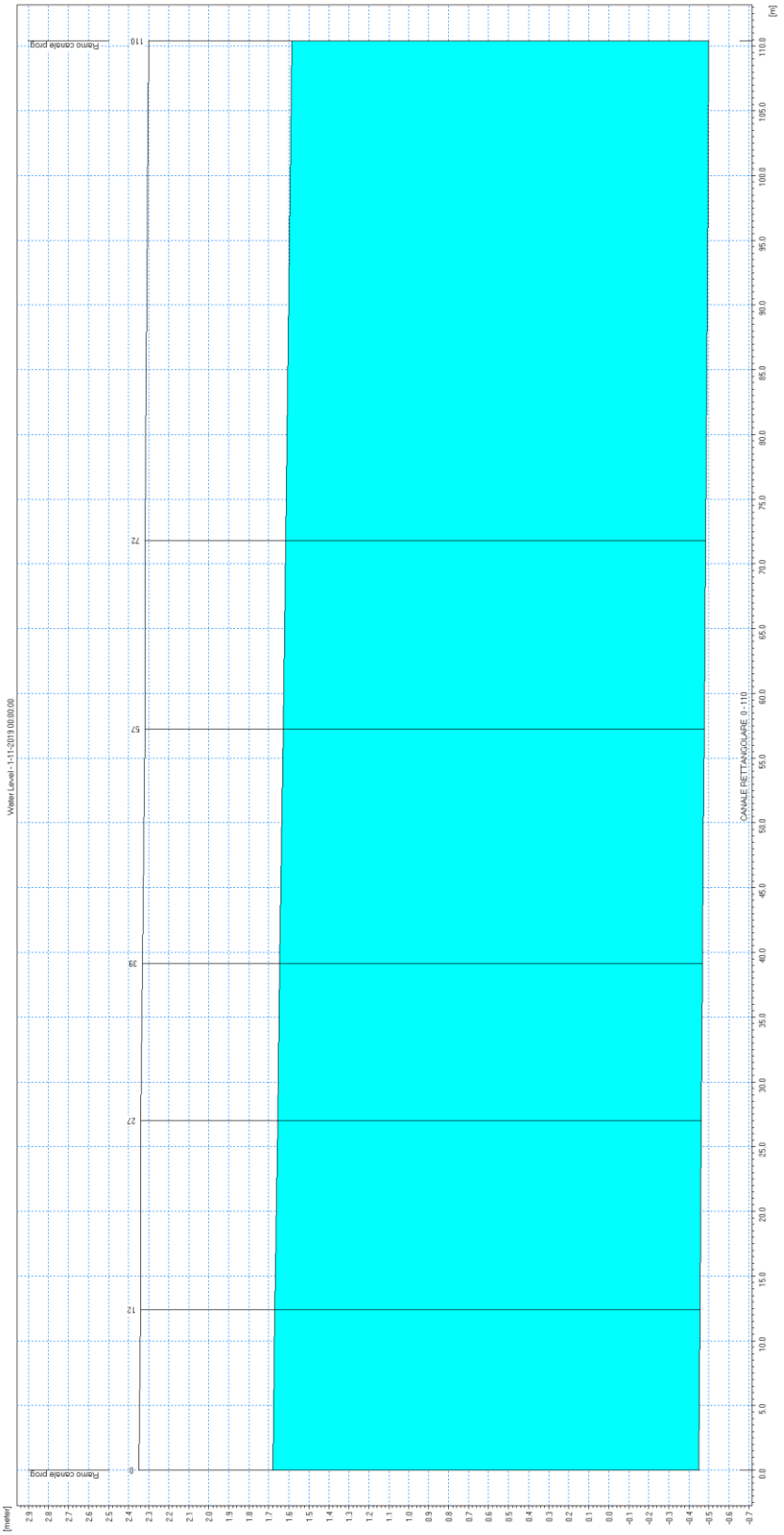


Figura 13 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul canale in progetto in area SIMAN in assenza di esondazioni a monte con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

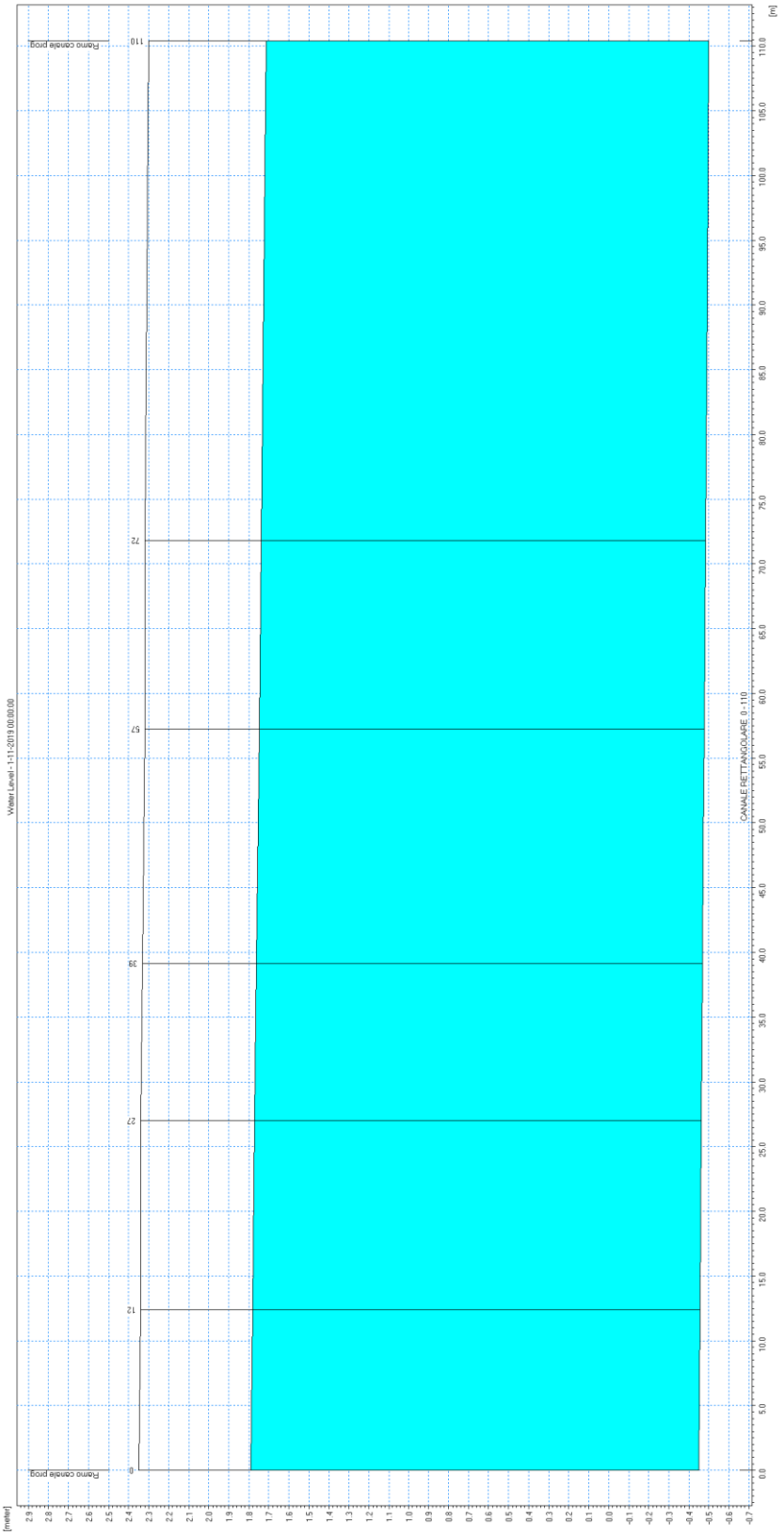


Figura 14 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 50 anni sul canale in progetto in area SIMAN in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

5.1.2 Tempo di ritorno TR=200 anni

Si forniscono di seguito i risultati delle simulazioni idrodinamiche eseguite per tempo di ritorno 200 anni rispettivamente per le condizioni di marea di 0,50 m s.m., 0,68 m s.m. e 0,89 m s.m. sia in forma tabellare che grafica; in particolare in Tabella 4, Tabella 5 e Tabella 6 si riportano i parametri idrodinamici in forma numerica, mentre in Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20 si rappresentano i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul solo tratto del nuovo canale in progetto.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	2,95	2,97	6,36	0,68	0,17				
Melara		2	4,99	2,94	2,97	6,36	0,68	0,16				
Melara		3	24,38	2,94	2,97	6,36	0,70	0,15				
Melara		4	37,04	2,93	2,96	6,36	0,79	0,16				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,93	2,95	5,25	0,65	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,56	2,70	5,24	1,65	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,27	2,41	5,23	1,65	0,36				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,28	2,36	5,23	1,23	0,27				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,26	2,33	5,21	1,20	0,26				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,24	2,31	5,18	1,17	0,25				
Melara		11	208,96	2,23	2,29	5,18	1,11	0,24				
Melara		12	241,74	2,19	2,25	5,26	1,06	0,22				
Melara		13	257,46	2,16	2,22	5,38	1,05	0,22				
Melara		14	287,91	2,11	2,17	5,95	1,10	0,23				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	2,09	2,15	6,17	1,11	0,23				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	2,06	2,15	6,39	1,33	0,27				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	1,95	2,06	7,05	1,48	0,31				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	1,97	2,01	7,32	0,88	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	1,91	1,96	7,99	0,96	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	1,91	1,94	8,67	0,82	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	1,88	1,92	9,26	0,88	0,18				
Melara	inizio vasca	21	403,93	1,85	1,92	9,36	1,16	0,24				
Melara	fine vasca	22	410,85	1,84	1,85	4,02	0,50	0,11				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	1,84	1,85	4,08	0,51	0,11				
Melara	ME_C4	23	412,56	1,84	1,85	3,86	0,39	0,08	1,36		-0,48	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,73	1,81	2,71	1,05	0,22	1,30		-0,43	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,74	1,81	13,69	1,15	0,25	2,30	2,30	0,56	0,56
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,74	1,81	13,69	1,15	0,25	2,30	2,30	0,56	0,56
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,76	1,79	14,08	0,77	0,16	2,30	2,30	0,54	0,54
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,76	1,79	14,27	0,79	0,17	2,30	2,30	0,54	0,54
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,71	1,79	14,57	1,25	0,27	2,30	2,30	0,59	0,59
Melara		24	557,75	1,66	1,79	14,87	1,59	0,34	2,30	2,68	0,64	1,02
Melara		25	566,82	1,67	1,76	15,29	1,35	0,29				
Melara		26	586,66	1,63	1,73	15,57	1,40	0,30				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,59	1,69	15,57	1,42	0,31	0,61		-0,98	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,08	1,25	15,57	1,85	0,46				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,09	1,16	15,57	1,18	0,30	1,60		0,51	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,01	1,08	15,57	1,19	0,30	1,53		0,52	
Melara	ME_C5	31	708,16	0,92	0,99	15,57	1,20	0,30	1,44		0,52	
Melara	ME_C5	32	741,98	0,85	0,92	15,58	1,20	0,30	1,38		0,53	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,52	0,68	21,79	1,78	0,46	1,14		0,62	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,53	0,56	21,80	0,71	0,13	1,50		0,97	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,52	0,53	21,82	0,50	0,08	1,50		0,98	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,51	0,52	21,82	0,50	0,07	1,50		0,99	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,50	0,51	21,82	0,32	0,04	1,50		1,00	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,50	0,51	21,82	0,32	0,04	1,50		1,00	
Ramo canale prog		P1	0,00	1,84	1,97	11,07	1,61	0,34	2,35	2,35	0,51	0,51
Ramo canale prog		P2	12,37	1,83	1,96	11,05	1,61	0,34	2,34	2,34	0,51	0,51
Ramo canale prog		P3	27,00	1,82	1,95	11,04	1,61	0,34	2,34	2,34	0,52	0,52

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Ramo canale prog		P4	39,14	1,80	1,93	11,03	1,62	0,34	2,33	2,33	0,53	0,53
Ramo canale prog		P5	57,26	1,79	1,92	11,01	1,62	0,34	2,32	2,32	0,53	0,53
Ramo canale prog		P6	71,84	1,77	1,90	10,99	1,62	0,35	2,32	2,32	0,55	0,55
Ramo canale prog		P7	110,40	1,74	1,87	10,78	1,60	0,34	2,30	2,30	0,56	0,56

Tabella 4 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	2,95	2,97	6,36	0,68	0,17				
Melara		2	4,99	2,95	2,98	6,36	0,68	0,16				
Melara		3	24,38	2,94	2,96	6,36	0,70	0,15				
Melara		4	37,04	2,93	2,96	6,35	0,78	0,16				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,93	2,95	5,20	0,64	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,58	2,72	5,20	1,64	0,35				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,31	2,45	5,19	1,63	0,36				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,32	2,39	5,19	1,20	0,26				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,30	2,37	5,17	1,17	0,25				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,29	2,36	5,14	1,14	0,24				
Melara		11	208,96	2,27	2,33	5,14	1,08	0,23				
Melara		12	241,74	2,23	2,28	5,20	1,02	0,21				
Melara		13	257,46	2,21	2,26	5,31	1,01	0,21				
Melara		14	287,91	2,17	2,23	5,88	1,05	0,22				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	2,15	2,21	6,10	1,06	0,21				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	2,12	2,20	6,33	1,28	0,26				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	2,01	2,11	6,99	1,43	0,29				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	2,04	2,08	7,26	0,87	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	1,98	2,03	7,93	0,95	0,19				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	1,98	2,01	8,61	0,82	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	1,94	1,98	9,20	0,88	0,18				
Melara	inizio vasca	21	403,93	1,92	1,98	9,30	1,12	0,23				
Melara	fine vasca	22	410,85	1,91	1,91	2,44	0,30	0,06				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	1,91	1,91	2,44	0,30	0,06				
Melara	ME_C4	23	412,56	1,91	1,91	2,46	0,24	0,05	1,36		-0,55	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,81	1,89	2,57	0,99	0,21	1,30		-0,51	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,82	1,88	13,64	1,11	0,23	2,30	2,30	0,48	0,48
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,82	1,88	13,64	1,11	0,23	2,30	2,30	0,48	0,48
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,84	1,87	14,05	0,75	0,16	2,30	2,30	0,46	0,46
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,84	1,87	14,24	0,76	0,16	2,30	2,30	0,46	0,46
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,79	1,86	14,54	1,21	0,25	2,30	2,30	0,51	0,51
Melara		24	557,75	1,74	1,86	14,84	1,52	0,32	2,30	2,68	0,56	0,94
Melara		25	566,82	1,76	1,85	15,26	1,30	0,27				
Melara		26	586,66	1,72	1,81	15,54	1,34	0,29				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,69	1,78	15,54	1,36	0,29	0,61		-1,08	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,15	1,31	15,54	1,78	0,44				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,16	1,23	15,54	1,13	0,28	1,60		0,44	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,09	1,16	15,55	1,13	0,28	1,53		0,44	
Melara	ME_C5	31	708,16	1,01	1,08	15,56	1,13	0,28	1,44		0,43	
Melara	ME_C5	32	741,98	0,95	1,02	15,57	1,13	0,27	1,38		0,43	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,71	0,84	21,96	1,60	0,39	1,14		0,43	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,71	0,73	21,97	0,67	0,12	1,50		0,79	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,69	0,70	21,99	0,49	0,08	1,50		0,81	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,68	0,69	21,99	0,49	0,07	1,50		0,82	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,68	0,68	21,99	0,31	0,04	1,50		0,82	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,68	0,68	21,99	0,31	0,04	1,50		0,82	
Ramo canale prog		P1	0,00	1,91	2,04	11,12	1,57	0,33	2,35	2,35	0,44	0,44
Ramo canale prog		P2	12,37	1,90	2,03	11,11	1,57	0,33	2,34	2,34	0,44	0,44
Ramo canale prog		P3	27,00	1,89	2,02	11,09	1,57	0,33	2,34	2,34	0,45	0,45
Ramo canale prog		P4	39,14	1,88	2,01	11,08	1,57	0,33	2,33	2,33	0,45	0,45
Ramo canale prog		P5	57,26	1,86	1,99	11,06	1,58	0,33	2,32	2,32	0,46	0,46
Ramo canale prog		P6	71,84	1,85	1,98	11,05	1,58	0,33	2,32	2,32	0,47	0,47
Ramo canale prog		P7	110,40	1,82	1,94	10,84	1,56	0,33	2,30	2,30	0,48	0,48

Tabella 5 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	2,96	2,98	6,36	0,68	0,17				
Melara		2	4,99	2,96	2,99	6,36	0,67	0,16				
Melara		3	24,38	2,95	2,97	6,35	0,69	0,15				
Melara		4	37,04	2,94	2,97	6,35	0,78	0,16				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,94	2,96	5,12	0,63	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,61	2,74	5,12	1,61	0,34				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,37	2,50	5,11	1,61	0,35				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,38	2,45	5,11	1,15	0,25				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,37	2,43	5,09	1,12	0,24				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,35	2,41	5,07	1,10	0,23				
Melara		11	208,96	2,34	2,39	5,07	1,02	0,21				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		12	241,74	2,31	2,36	5,10	0,96	0,20				
Melara		13	257,46	2,29	2,34	5,20	0,95	0,19				
Melara		14	287,91	2,25	2,30	5,75	0,98	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	2,23	2,28	5,97	0,99	0,20				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	2,21	2,28	6,21	1,15	0,23				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	2,11	2,20	6,87	1,35	0,27				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	2,14	2,18	7,14	0,86	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	2,07	2,11	7,81	0,94	0,19				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	2,08	2,11	8,49	0,81	0,16				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	2,04	2,08	9,08	0,86	0,17				
Melara	inizio vasca	21	403,93	2,02	2,08	9,18	1,06	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	2,01	2,01	2,25	0,26	0,05				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	2,01	2,01	2,25	0,26	0,05				
Melara	ME_C4	23	412,56	2,01	2,01	2,27	0,21	0,04	1,36		-0,65	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,93	2,00	2,40	0,93	0,19	1,30		-0,63	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,94	2,00	13,52	1,05	0,21	2,30	2,30	0,36	0,36
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,94	2,00	13,52	1,05	0,21	2,30	2,30	0,36	0,36
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,96	1,99	13,95	0,71	0,14	2,30	2,30	0,34	0,34
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,95	1,98	14,14	0,72	0,15	2,30	2,30	0,35	0,35
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,91	1,98	14,45	1,14	0,23	2,30	2,30	0,39	0,39
Melara		24	557,75	1,87	1,97	14,74	1,43	0,29	2,30	2,68	0,43	0,81
Melara		25	566,82	1,88	1,96	15,16	1,22	0,25				
Melara		26	586,66	1,85	1,93	15,45	1,26	0,26				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,82	1,90	15,45	1,27	0,26	0,61		-1,21	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,25	1,39	15,45	1,67	0,40				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,27	1,33	15,45	1,06	0,25	1,60		0,33	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,21	1,27	15,46	1,06	0,25	1,53		0,32	
Melara	ME_C5	31	708,16	1,14	1,20	15,48	1,04	0,25	1,44		0,30	
Melara	ME_C5	32	741,98	1,10	1,15	15,49	1,04	0,24	1,38		0,28	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,92	1,02	22,09	1,43	0,33	1,14		0,22	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,92	0,94	22,10	0,64	0,11	1,50		0,58	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,90	0,91	22,11	0,47	0,07	1,50		0,60	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,90	0,91	22,11	0,47	0,07	1,50		0,60	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,90	0,90	22,11	0,31	0,04	1,50		0,60	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,89	0,89	22,11	0,31	0,04	1,50		0,61	
Ramo canale prog		P1	0,00	2,01	2,13	11,17	1,51	0,31	2,35	2,35	0,34	0,34
Ramo canale prog		P2	12,37	2,01	2,13	11,15	1,51	0,31	2,34	2,34	0,33	0,33
Ramo canale prog		P3	27,00	1,99	2,11	11,14	1,51	0,31	2,34	2,34	0,35	0,35
Ramo canale prog		P4	39,14	1,98	2,10	11,13	1,51	0,31	2,33	2,33	0,35	0,35
Ramo canale prog		P5	57,26	1,97	2,09	11,11	1,51	0,31	2,32	2,32	0,35	0,35
Ramo canale prog		P6	71,84	1,96	2,08	11,09	1,51	0,31	2,32	2,32	0,36	0,36
Ramo canale prog		P7	110,40	1,94	2,05	10,89	1,49	0,30	2,30	2,30	0,36	0,36

Tabella 6 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

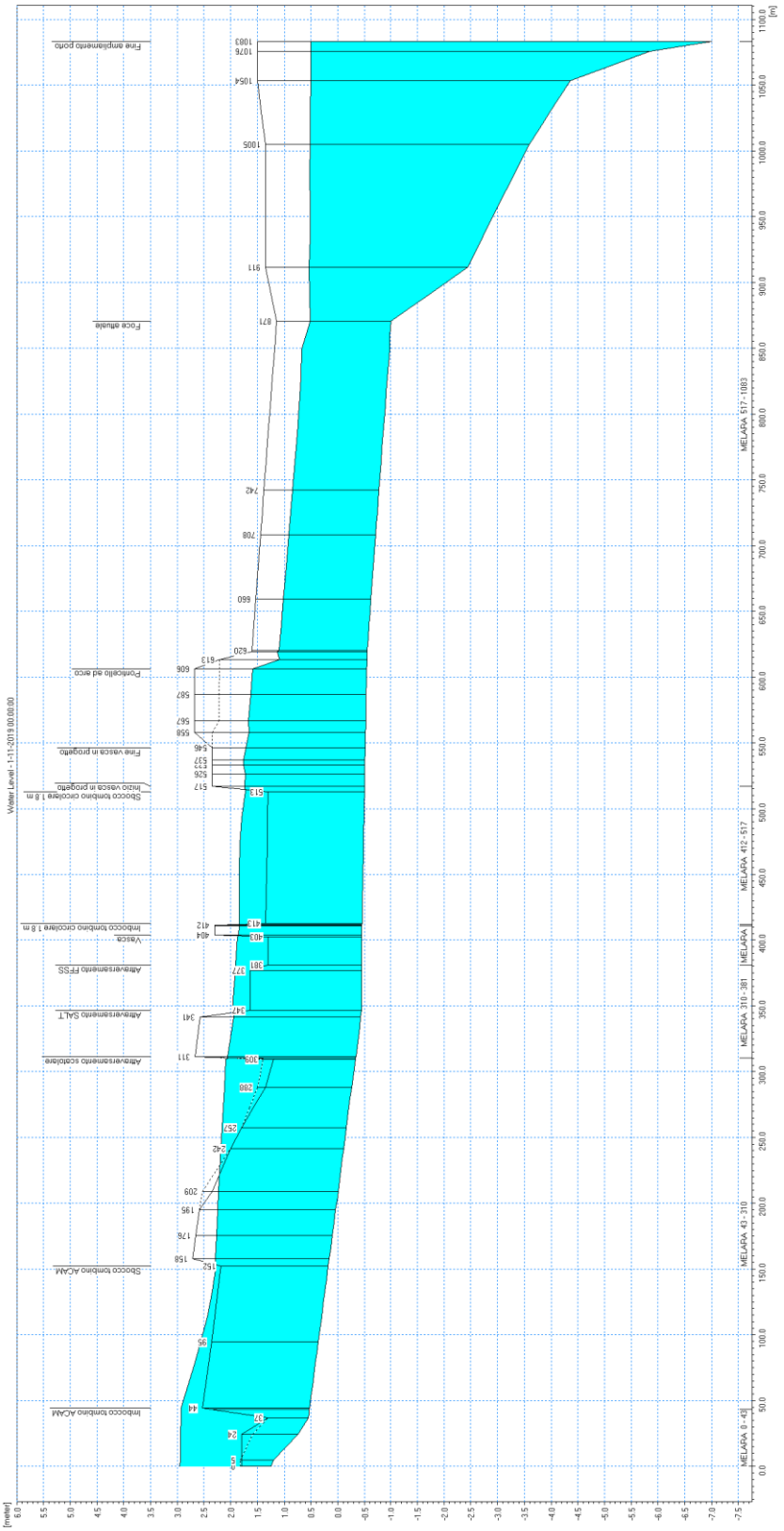


Figura 15 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

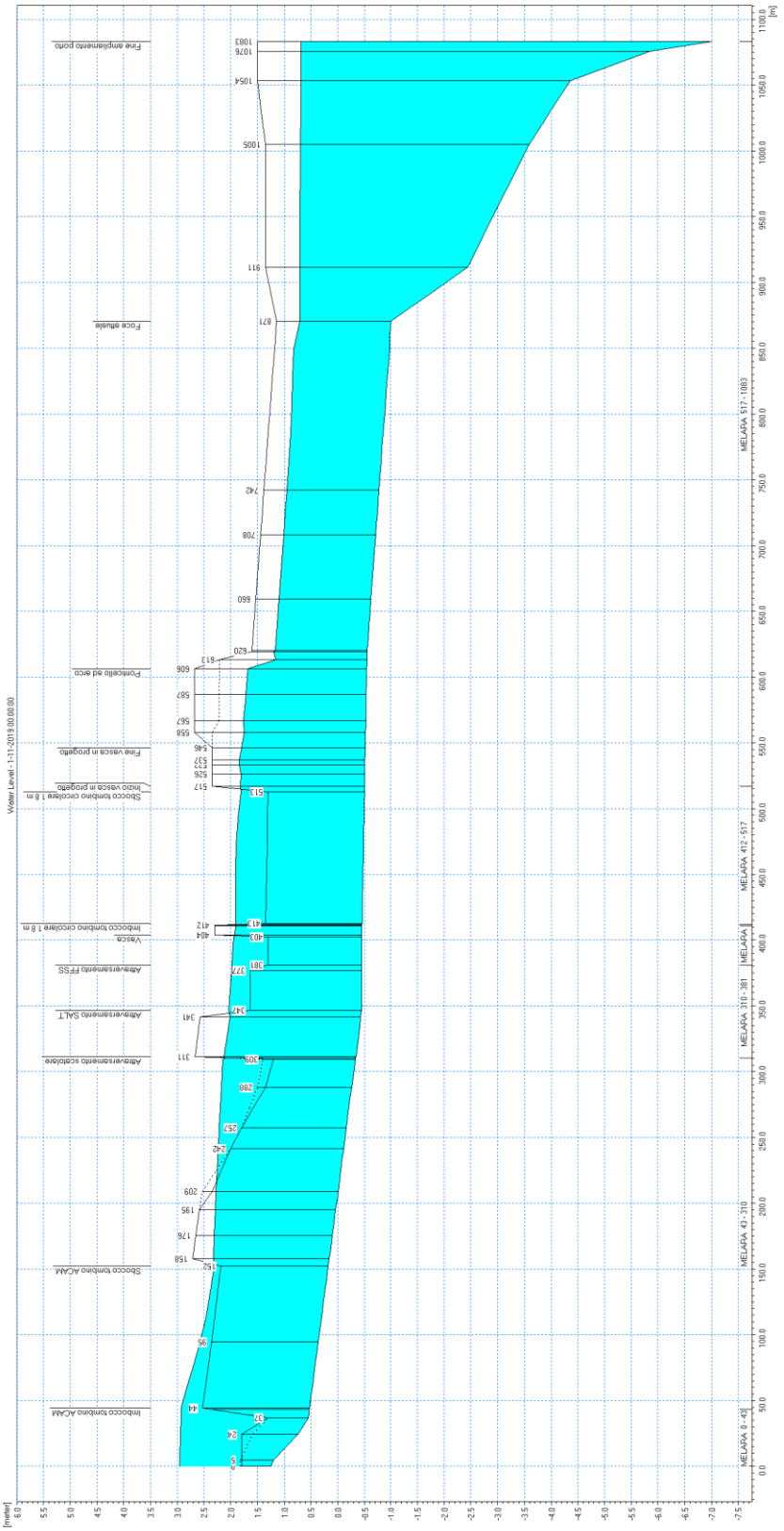


Figura 16 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

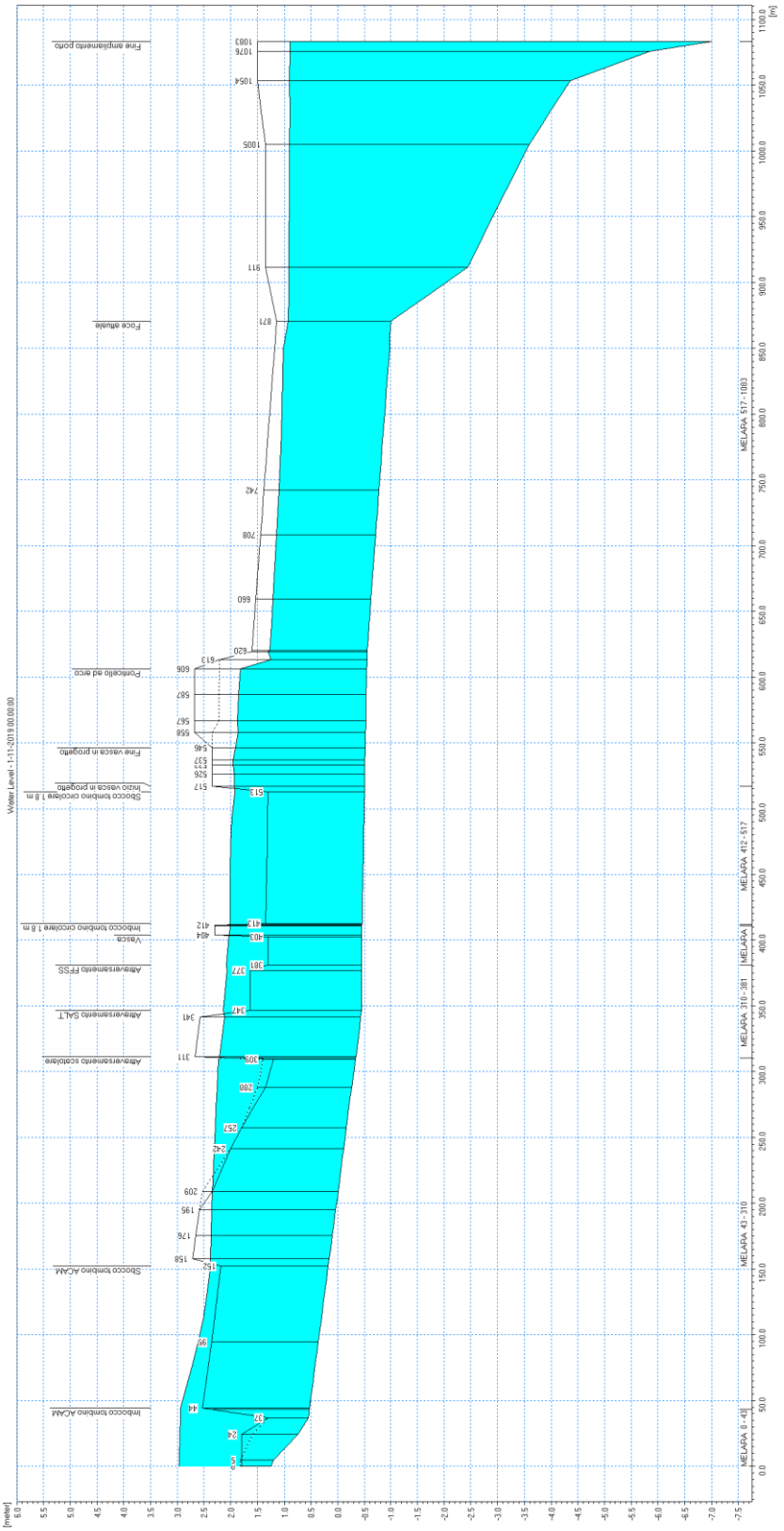


Figura 17 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

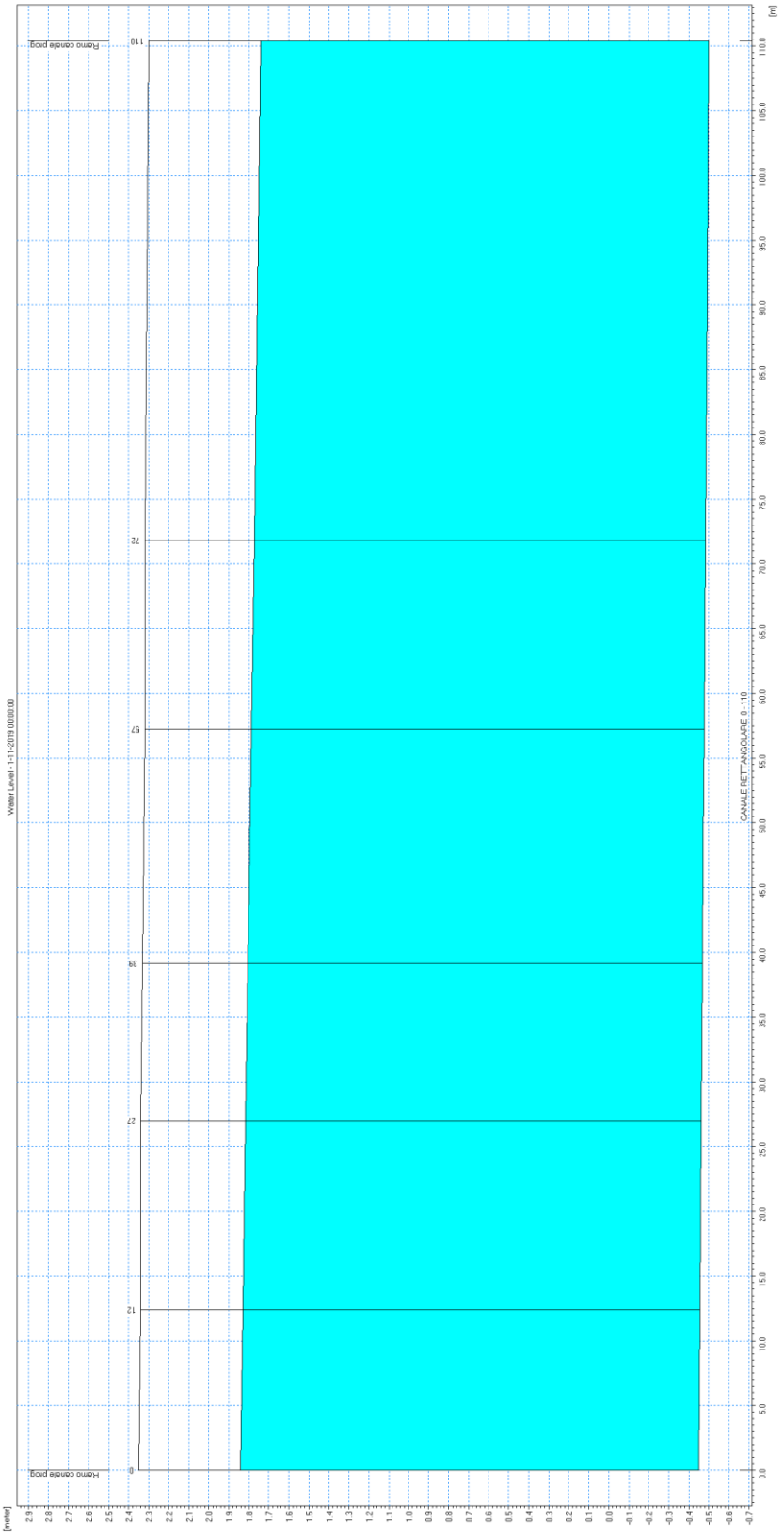


Figura 18 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul canale in progetto in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

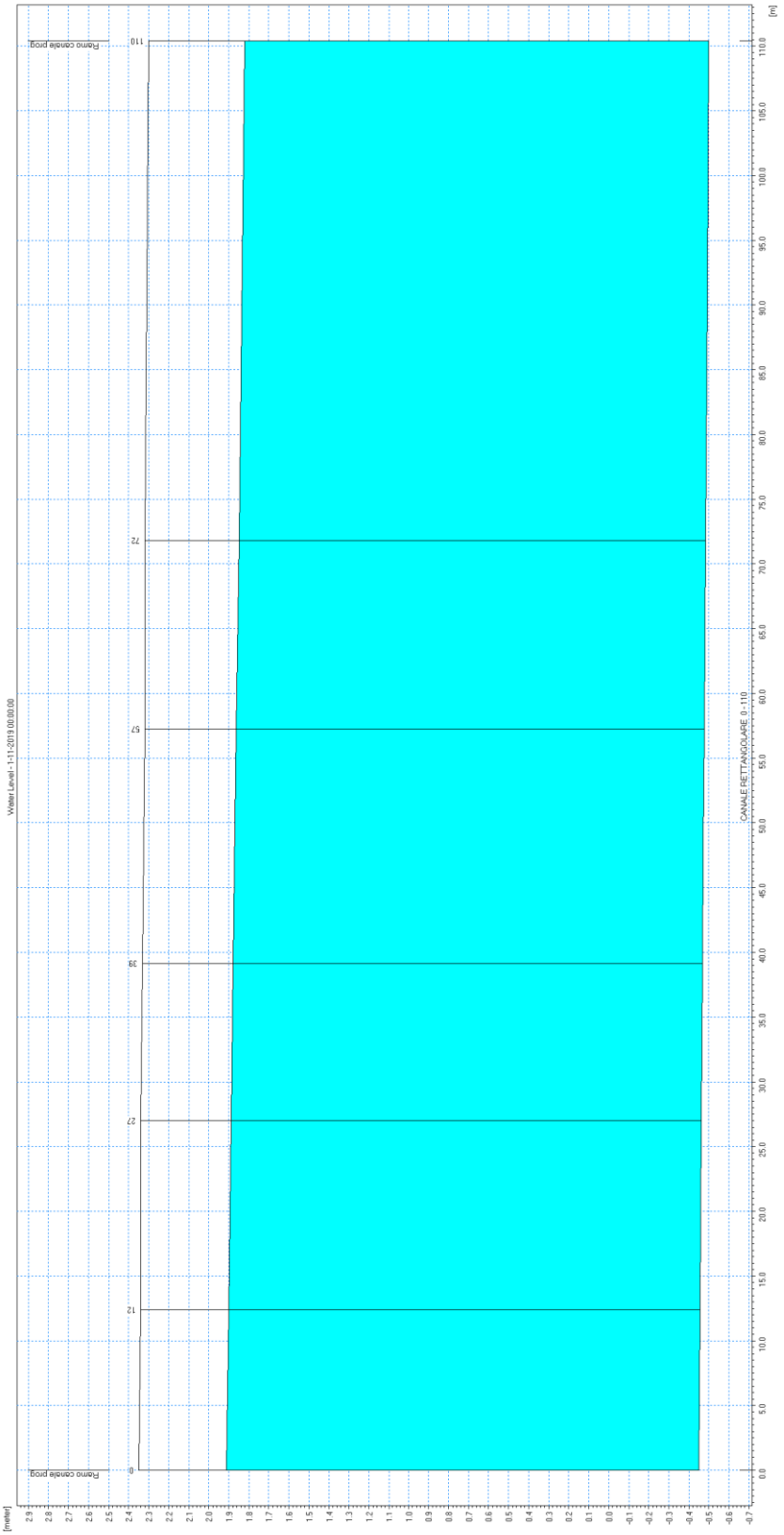


Figura 19 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul canale in progetto in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

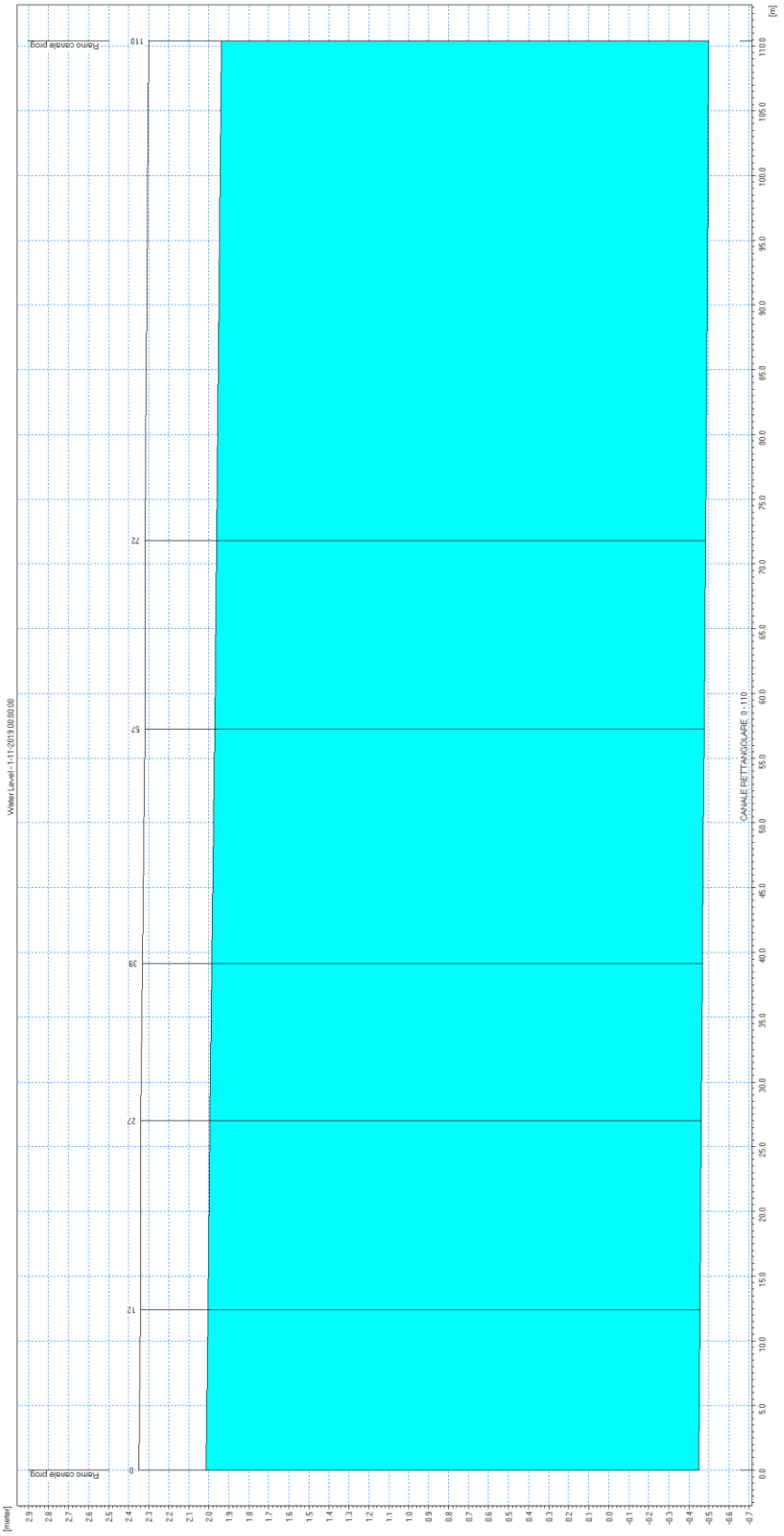


Figura 20 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 200 anni sul canale in progetto in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

5.1.3 Tempo di ritorno TR=500 anni

Si forniscono di seguito i risultati delle simulazioni idrodinamiche eseguite per tempo di ritorno 500 anni rispettivamente per le condizioni di marea di 0,50 m s.m., 0,68 m s.m. e 0,89 m s.m. sia in forma tabellare che grafica; in particolare in Tabella 7, Tabella 8 e Tabella 9 si riportano i parametri idrodinamici in forma numerica, mentre in Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26 si rappresentano i profili longitudinali di corrente sull'asse attuale del fosso Melara e sul solo tratto del nuovo canale in progetto.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	3,01	3,04	7,02	0,73	0,17				
Melara		2	4,99	3,00	3,03	7,02	0,72	0,17				
Melara		3	24,38	3,00	3,03	7,02	0,75	0,16				
Melara		4	37,04	2,99	3,03	7,02	0,85	0,17				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,98	3,00	5,34	0,64	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,62	2,76	5,34	1,67	0,36				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,40	2,54	5,33	1,68	0,36				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,40	2,47	5,33	1,19	0,25				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,39	2,46	5,31	1,16	0,24				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,39	2,45	5,29	1,13	0,23				
Melara		11	208,96	2,38	2,44	5,28	1,04	0,22				
Melara		12	241,74	2,34	2,39	5,32	0,98	0,20				
Melara		13	257,46	2,33	2,38	5,44	0,97	0,20				
Melara		14	287,91	2,28	2,33	6,14	1,04	0,21				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	2,26	2,32	6,40	1,05	0,21				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	2,24	2,32	6,68	1,25	0,25				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	2,12	2,23	7,42	1,45	0,29				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	2,14	2,18	7,73	0,93	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	2,07	2,12	8,50	1,02	0,21				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	2,07	2,11	9,15	0,87	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	2,03	2,07	9,83	0,94	0,19				
Melara	inizio vasca	21	403,93	2,01	2,08	9,95	1,16	0,24				
Melara	fine vasca	22	410,85	2,00	2,01	4,01	0,47	0,10				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	2,00	2,01	4,08	0,48	0,10				
Melara	ME_C4	23	412,56	2,00	2,01	3,85	0,36	0,07	1,36		-0,64	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,89	1,99	3,63	1,40	0,29	1,30		-0,59	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,90	1,97	14,70	1,15	0,24	2,30	2,30	0,40	0,40
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,90	1,97	14,70	1,15	0,24	2,30	2,30	0,40	0,40
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,93	1,96	15,20	0,78	0,16	2,30	2,30	0,37	0,37
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,92	1,95	15,41	0,79	0,16	2,30	2,30	0,38	0,38
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,87	1,95	15,74	1,26	0,26	2,30	2,30	0,43	0,43
Melara		24	557,75	1,82	1,95	16,07	1,59	0,33	2,30	2,68	0,48	0,86
Melara		25	566,82	1,83	1,92	16,55	1,36	0,28				
Melara		26	586,66	1,79	1,89	16,86	1,41	0,30				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,76	1,86	16,88	1,43	0,30	0,61		-1,15	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,15	1,34	16,89	1,93	0,47				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,16	1,24	16,89	1,24	0,30	1,60		0,44	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,07	1,15	16,91	1,25	0,31	1,53		0,46	
Melara	ME_C5	31	708,16	0,97	1,05	16,94	1,26	0,31	1,44		0,47	
Melara	ME_C5	32	741,98	0,89	0,97	16,96	1,28	0,32	1,38		0,49	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,52	0,71	23,33	1,91	0,49	1,14		0,62	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,53	0,56	23,34	0,76	0,14	1,50		0,97	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,52	0,53	23,34	0,54	0,08	1,50		0,98	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,51	0,52	23,34	0,53	0,08	1,50		0,99	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,50	0,51	23,34	0,34	0,04	1,50		1,00	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,50	0,51	23,34	0,35	0,04	1,50		1,00	
Ramo canale prog		P1	0,00	2,00	2,14	12,04	1,64	0,33	2,35	2,35	0,35	0,35
Ramo canale prog		P2	12,37	1,99	2,13	12,03	1,64	0,34	2,34	2,34	0,35	0,35
Ramo canale prog		P3	27,00	1,97	2,11	12,02	1,64	0,34	2,34	2,34	0,37	0,37

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Ramo canale prog		P4	39,14	1,96	2,10	12,01	1,65	0,34	2,33	2,33	0,37	0,37
Ramo canale prog		P5	57,26	1,95	2,09	12,00	1,65	0,34	2,32	2,32	0,37	0,37
Ramo canale prog		P6	71,84	1,93	2,07	11,99	1,65	0,34	2,32	2,32	0,39	0,39
Ramo canale prog		P7	110,40	1,90	2,04	11,75	1,63	0,34	2,30	2,30	0,40	0,40

Tabella 7 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 500 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	3,01	3,04	7,02	0,72	0,17				
Melara		2	4,99	3,01	3,04	7,02	0,72	0,17				
Melara		3	24,38	3,00	3,03	7,02	0,75	0,16				
Melara		4	37,04	2,99	3,03	7,02	0,85	0,17				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	2,99	3,01	5,29	0,64	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,64	2,78	5,29	1,66	0,35				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,44	2,58	5,28	1,66	0,35				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,45	2,52	5,28	1,15	0,24				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,44	2,50	5,26	1,12	0,23				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,43	2,49	5,23	1,09	0,23				
Melara		11	208,96	2,42	2,47	5,23	1,01	0,21				
Melara		12	241,74	2,39	2,44	5,25	0,94	0,19				
Melara		13	257,46	2,37	2,41	5,37	0,93	0,19				
Melara		14	287,91	2,33	2,38	6,06	1,00	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	2,31	2,36	6,31	1,01	0,20				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	2,29	2,36	6,59	1,19	0,23				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	2,18	2,28	7,34	1,41	0,28				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	2,20	2,24	7,65	0,92	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	2,12	2,17	8,46	1,02	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	2,13	2,17	9,09	0,86	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	2,08	2,12	9,81	0,93	0,19				
Melara	inizio vasca	21	403,93	2,06	2,12	9,94	1,07	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	2,05	2,05	2,61	0,30	0,06				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	2,05	2,05	2,61	0,30	0,06				
Melara	ME_C4	23	412,56	2,05	2,05	2,61	0,24	0,05	1,36		-0,69	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	1,96	2,04	2,62	1,01	0,21	1,30		-0,66	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	1,97	2,03	14,53	1,11	0,23	2,30	2,30	0,33	0,33
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	1,97	2,03	14,53	1,11	0,23	2,30	2,30	0,33	0,33
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	1,99	2,02	15,04	0,75	0,15	2,30	2,30	0,31	0,31
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	1,99	2,02	15,25	0,76	0,15	2,30	2,30	0,31	0,31
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	1,94	2,02	15,59	1,22	0,25	2,30	2,30	0,36	0,36
Melara		24	557,75	1,89	2,01	15,93	1,53	0,31	2,30	2,68	0,41	0,79
Melara		25	566,82	1,90	1,99	16,41	1,31	0,27				
Melara		26	586,66	1,86	1,95	16,73	1,36	0,28				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,83	1,93	16,72	1,37	0,28	0,61		-1,22	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,21	1,38	16,73	1,85	0,45				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,22	1,29	16,73	1,18	0,28	1,60		0,38	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,14	1,21	16,76	1,19	0,29	1,53		0,39	
Melara	ME_C5	31	708,16	1,05	1,12	16,80	1,19	0,29	1,44		0,39	
Melara	ME_C5	32	741,98	0,99	1,06	16,83	1,20	0,29	1,38		0,39	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,71	0,86	23,48	1,71	0,42	1,14		0,43	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,71	0,74	23,48	0,72	0,13	1,50		0,79	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,69	0,70	23,49	0,52	0,08	1,50		0,81	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,68	0,69	23,49	0,52	0,07	1,50		0,82	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,68	0,69	23,49	0,33	0,04	1,50		0,82	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,68	0,69	23,49	0,34	0,04	1,50		0,82	
Ramo canale prog		P1	0,00	2,05	2,05		0,00	0,00	2,35	2,35	0,30	0,30
Ramo canale prog		P2	12,37	2,04	2,04		0,00	0,00	2,34	2,34	0,30	0,30
Ramo canale prog		P3	27,00	2,03	2,03		0,00	0,00	2,34	2,34	0,31	0,31
Ramo canale prog		P4	39,14	2,02	2,02		0,00	0,00	2,33	2,33	0,31	0,31
Ramo canale prog		P5	57,26	2,00	2,00		0,00	0,00	2,32	2,32	0,32	0,32
Ramo canale prog		P6	71,84	1,99	1,99		0,00	0,00	2,32	2,32	0,33	0,33
Ramo canale prog		P7	110,40	1,97	1,97		0,00	0,00	2,30	2,30	0,33	0,33

Tabella 8 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 500 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		1	0,00	3,02	3,05	7,02	0,72	0,17				
Melara		2	4,99	3,02	3,05	7,02	0,71	0,17				
Melara		3	24,38	3,01	3,04	7,02	0,75	0,16				
Melara		4	37,04	3,00	3,04	7,01	0,84	0,17				
Melara	imbocco ME_C1	5	44,47	3,00	3,02	5,21	0,62	0,13				
Melara	ME_C1	6	94,63	2,67	2,81	5,21	1,63	0,34				
Melara	sbocco ME_C1	7	152,30	2,49	2,63	5,20	1,63	0,34				
Melara	imbocco ME_C2	8	157,80	2,50	2,56	5,19	1,11	0,23				
Melara	ME_C2	9	175,64	2,49	2,55	5,17	1,08	0,22				
Melara	sbocco ME_C2	10	195,23	2,48	2,54	5,14	1,05	0,21				
Melara		11	208,96	2,48	2,53	5,14	0,96	0,19				

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara		12	241,74	2,45	2,49	5,15	0,90	0,18				
Melara		13	257,46	2,43	2,47	5,25	0,88	0,18				
Melara		14	287,91	2,39	2,44	5,94	0,95	0,19				
Melara	imbocco ME_C3.1	14.1	309,41	2,38	2,43	6,22	0,96	0,19				
Melara	ME_C3.1	15	311,41	2,36	2,43	6,49	1,20	0,23				
Melara	sbocco ME_C3.1	16	341,38	2,25	2,34	7,25	1,36	0,26				
Melara	imbocco ME_C3.2	17	346,51	2,27	2,31	7,57	0,91	0,18				
Melara	sbocco ME_C3.2	18	376,77	2,19	2,24	8,40	1,01	0,20				
Melara	imbocco ME_C3.3	19	380,92	2,19	2,23	9,07	0,86	0,17				
Melara	sbocco ME_C3.3	20	402,54	2,15	2,19	9,78	0,93	0,18				
Melara	inizio vasca	21	403,93	2,13	2,19	9,91	1,10	0,22				
Melara	fine vasca	22	410,85	2,13	2,13	2,44	0,27	0,05				
Melara	imbocco ME_C4	22.1	411,56	2,13	2,13	2,44	0,27	0,05				
Melara	ME_C4	23	412,56	2,13	2,13	2,44	0,22	0,04	1,36		-0,77	
Melara	sbocco ME_C4	23.1	512,76	2,04	2,11	2,44	0,94	0,19	1,30		-0,74	
Melara	inizio vasca progetto	23.2	516,90	2,05	2,11	14,17	1,05	0,21	2,30	2,30	0,25	0,25
Melara	vasca progetto	23.3	526,20	2,05	2,11	14,17	1,05	0,21	2,30	2,30	0,25	0,25
Melara	vasca progetto	23.4	533,27	2,07	2,10	14,68	0,71	0,14	2,30	2,30	0,23	0,23
Melara	vasca progetto	23.5	536,86	2,07	2,10	14,90	0,72	0,14	2,30	2,30	0,23	0,23
Melara	fine vasca in progetto	23.6	546,38	2,03	2,10	15,24	1,15	0,23	2,30	2,30	0,27	0,27
Melara		24	557,75	1,98	2,09	15,58	1,44	0,29	2,30	2,68	0,32	0,70
Melara		25	566,82	1,99	2,07	16,06	1,24	0,25				
Melara		26	586,66	1,96	2,04	16,39	1,28	0,26				
Melara	monte ME_P1	27	606,22	1,93	2,01	16,38	1,29	0,26	0,61		-1,32	
Melara	valle ME_P1	28	613,17	1,29	1,44	16,38	1,73	0,41				
Melara	imbocco ME_C5	29	620,38	1,31	1,37	16,38	1,10	0,26	1,60		0,29	
Melara	ME_C5	30	659,55	1,25	1,31	16,42	1,10	0,26	1,53		0,28	
Melara	ME_C5	31	708,16	1,17	1,23	16,46	1,09	0,25	1,44		0,27	
Melara	ME_C5	32	741,98	1,13	1,19	16,48	1,09	0,25	1,38		0,25	
Melara	sbocco ME_C5	33	870,50	0,92	1,04	23,56	1,53	0,35	1,14		0,22	
Melara	SEZ.39 AMPLIAMENTO PORTO	41	911,49	0,92	0,94	23,56	0,68	0,12	1,50		0,58	
Melara	SEZ.38 AMPLIAMENTO PORTO	42	1005,21	0,90	0,91	23,57	0,50	0,08	1,50		0,60	

Corso d'acqua	Note	Sezione	Progressiva	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Froude	Sommità SX opere/intradosso manufatti	Sommità DX opere/intradosso manufatti	Franco idr. manuf.	
-	-	-	m	m s.m.	m s.m.	m^3/s	m/s	-	m s.m.	m s.m.	m	
Melara	SEZ.37 AMPLIAMENTO PORTO	43	1053,50	0,90	0,91	23,57	0,50	0,07	1,50		0,60	
Melara	SEZ.35 AMPLIAMENTO PORTO	44	1075,83	0,89	0,90	23,58	0,33	0,04	1,50		0,61	
Melara	SEZ.36 AMPLIAMENTO PORTO	45	1083,28	0,89	0,90	23,58	0,33	0,04	1,50		0,61	
Ramo canale prog		P1	0,00	2,13	2,25	11,80	1,53	0,30	2,35	2,35	0,22	0,22
Ramo canale prog		P2	12,37	2,12	2,24	11,79	1,53	0,30	2,34	2,34	0,22	0,22
Ramo canale prog		P3	27,00	2,11	2,23	11,77	1,53	0,30	2,34	2,34	0,23	0,23
Ramo canale prog		P4	39,14	2,1	2,22	11,76	1,53	0,30	2,33	2,33	0,23	0,23
Ramo canale prog		P5	57,26	2,08	2,20	11,74	1,53	0,31	2,32	2,32	0,24	0,24
Ramo canale prog		P6	71,84	2,07	2,19	11,73	1,53	0,31	2,32	2,32	0,25	0,25
Ramo canale prog		P7	110,40	2,05	2,16	11,49	1,50	0,30	2,30	2,30	0,25	0,25

Tabella 9 – Risultati numerici di sintesi per la simulazione con tempo di ritorno 500 anni in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

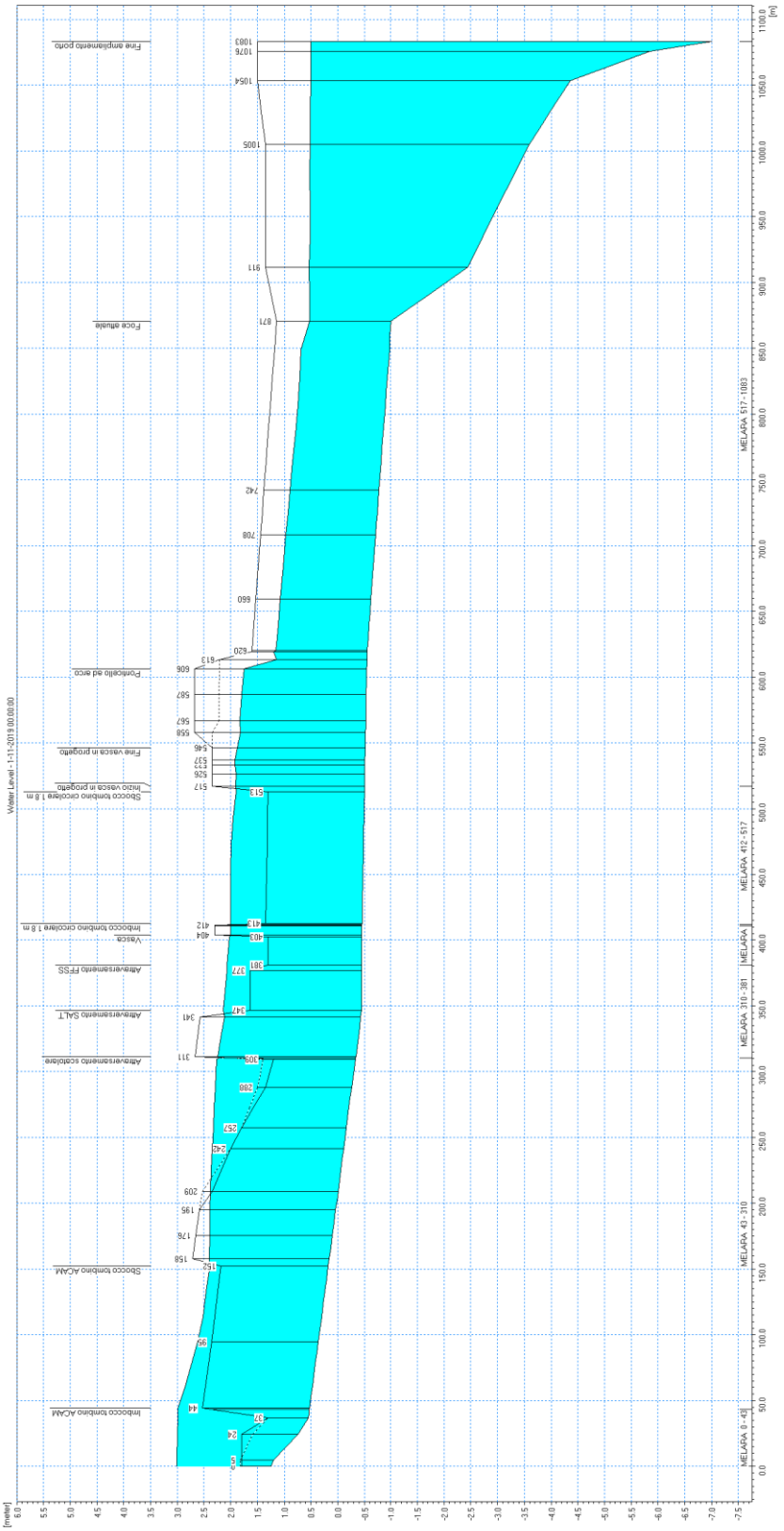


Figura 21 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

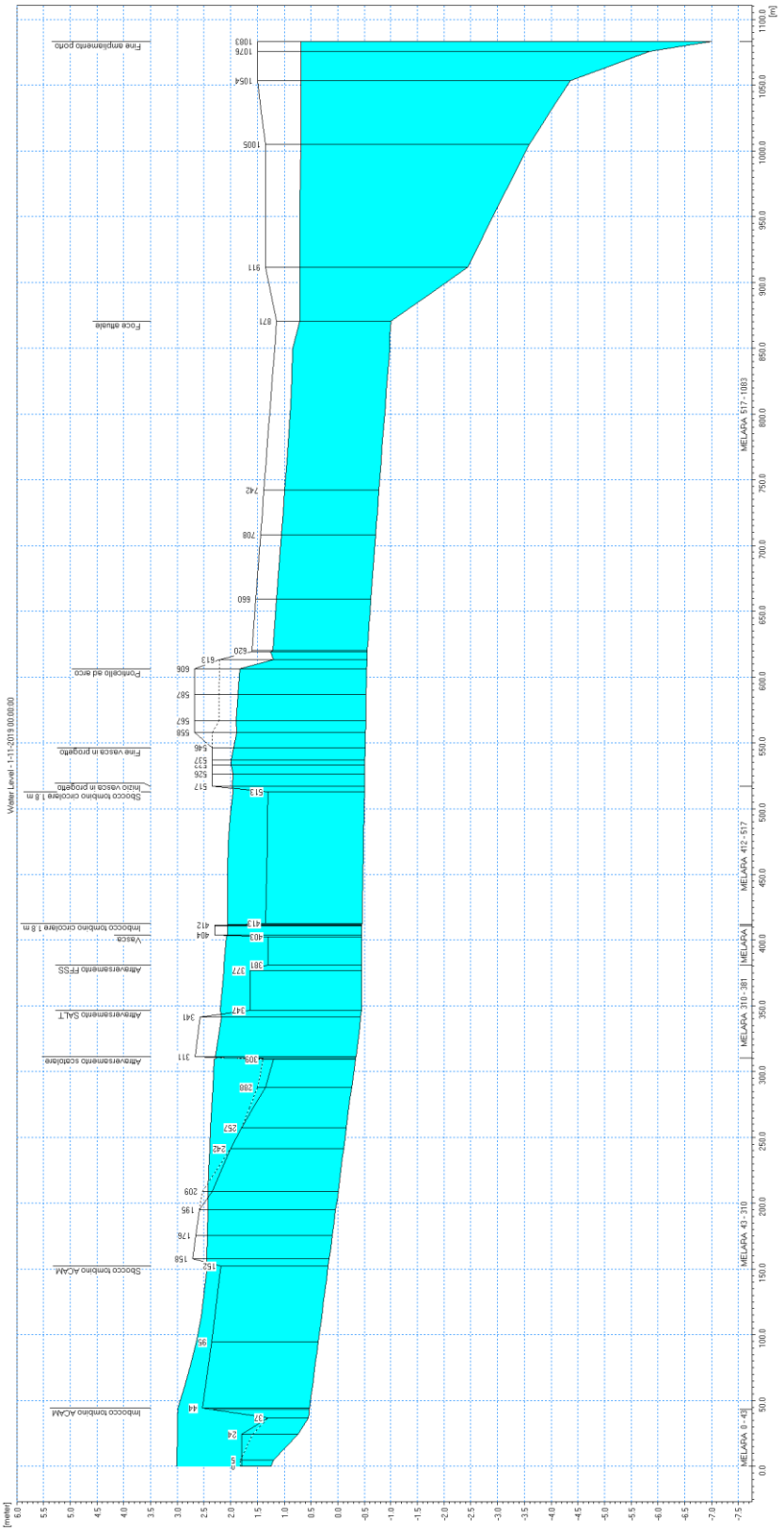


Figura 22 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

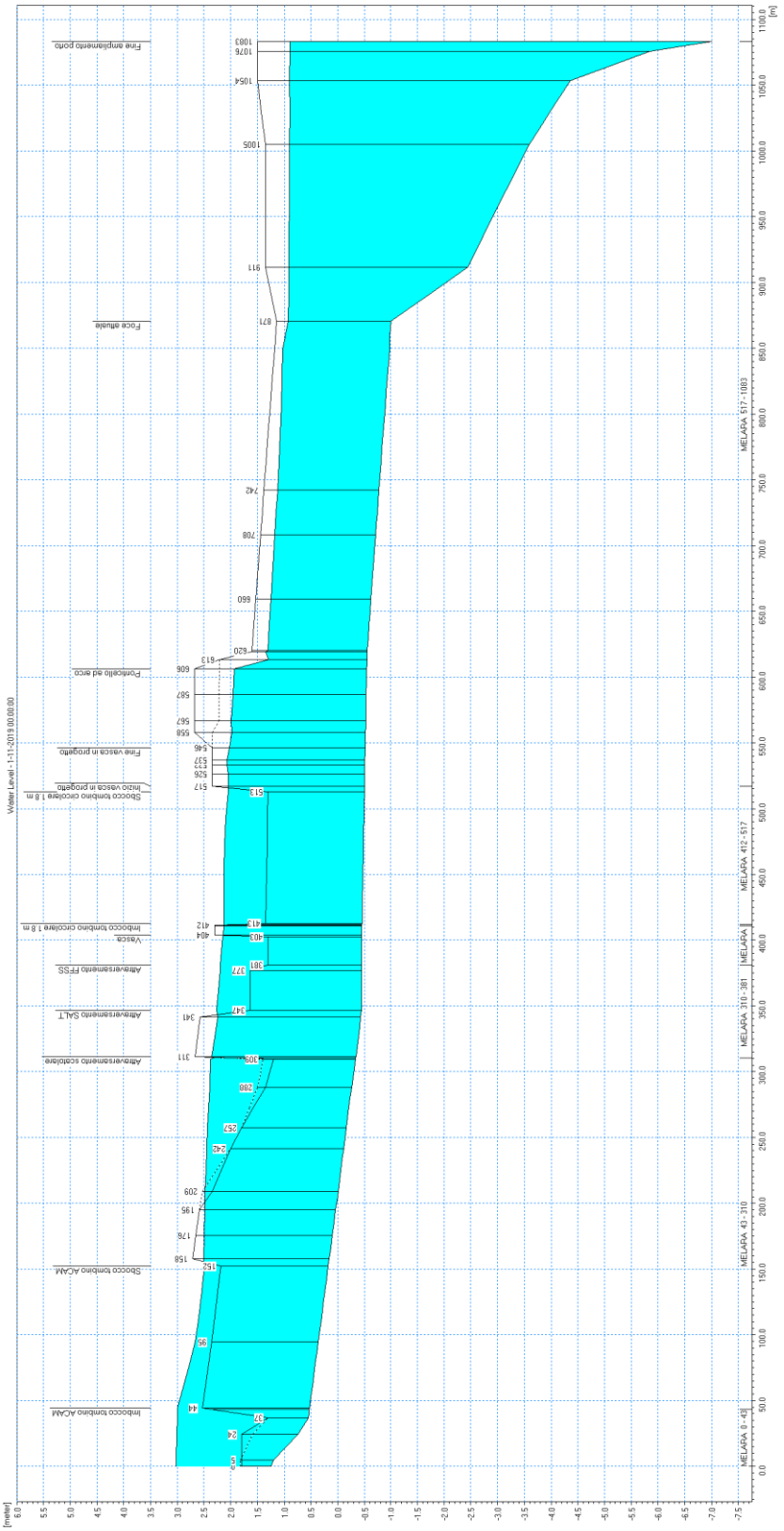


Figura 23 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul fosso Melara in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

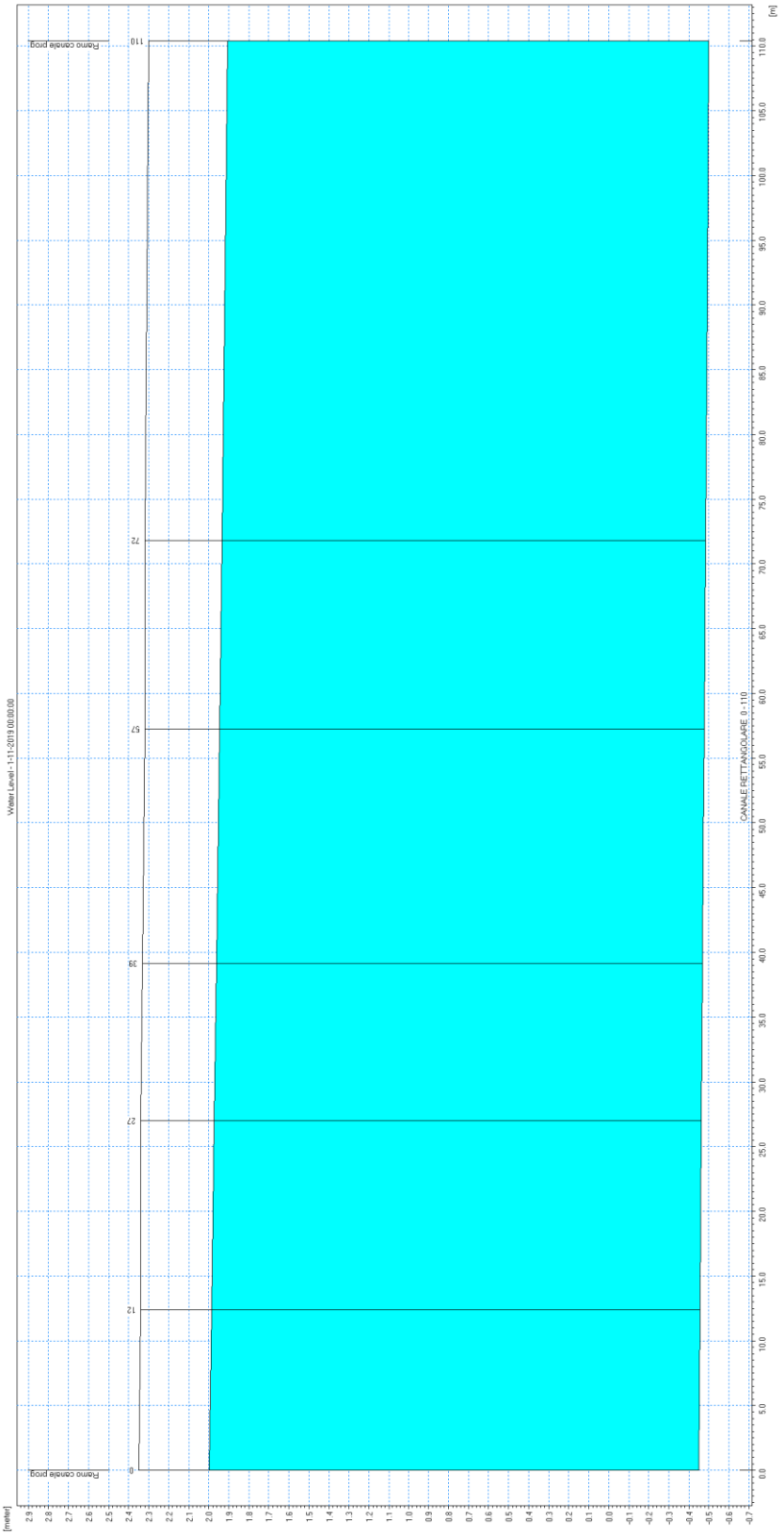


Figura 24 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul canale in progetto in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

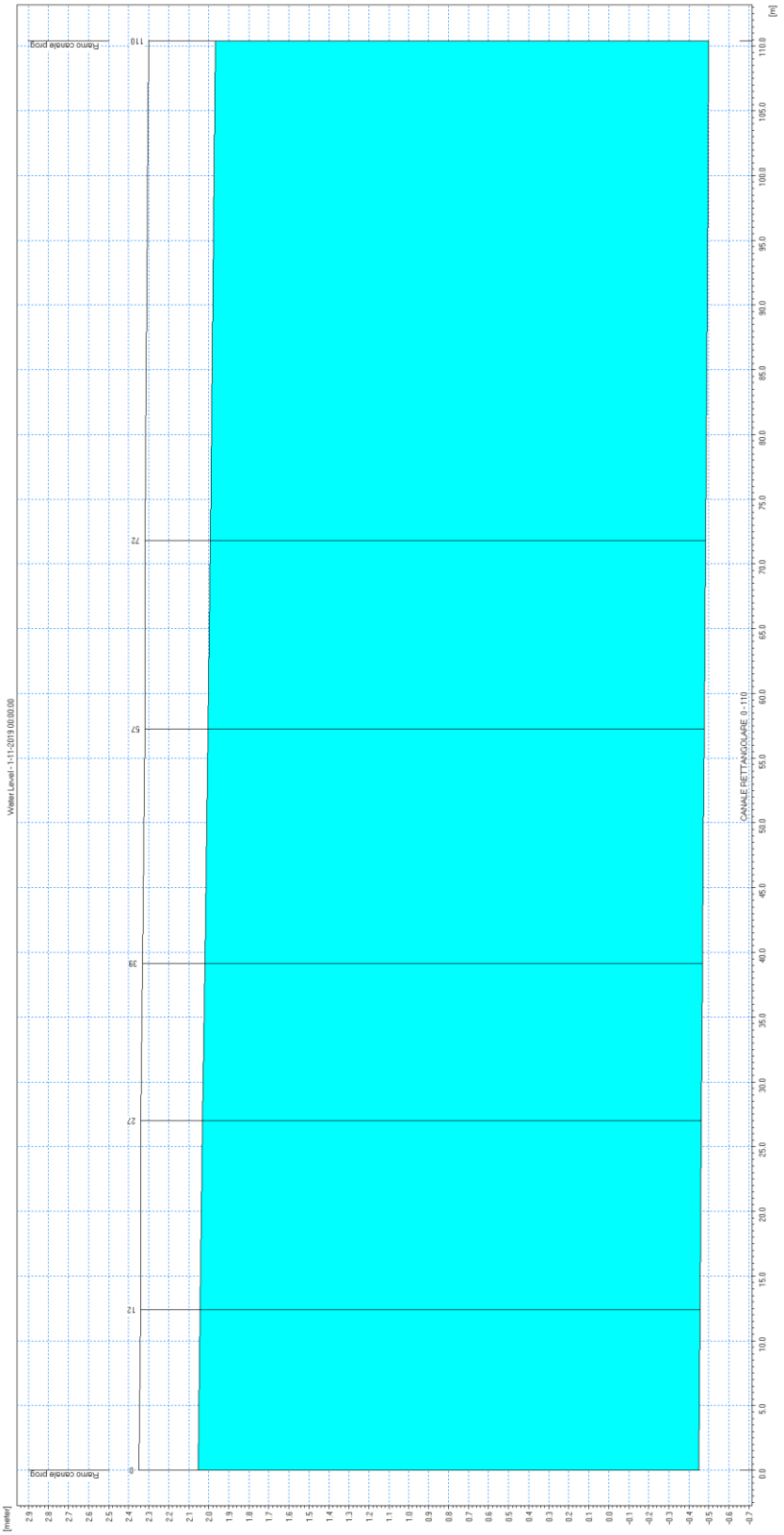


Figura 25 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul canale in progetto in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

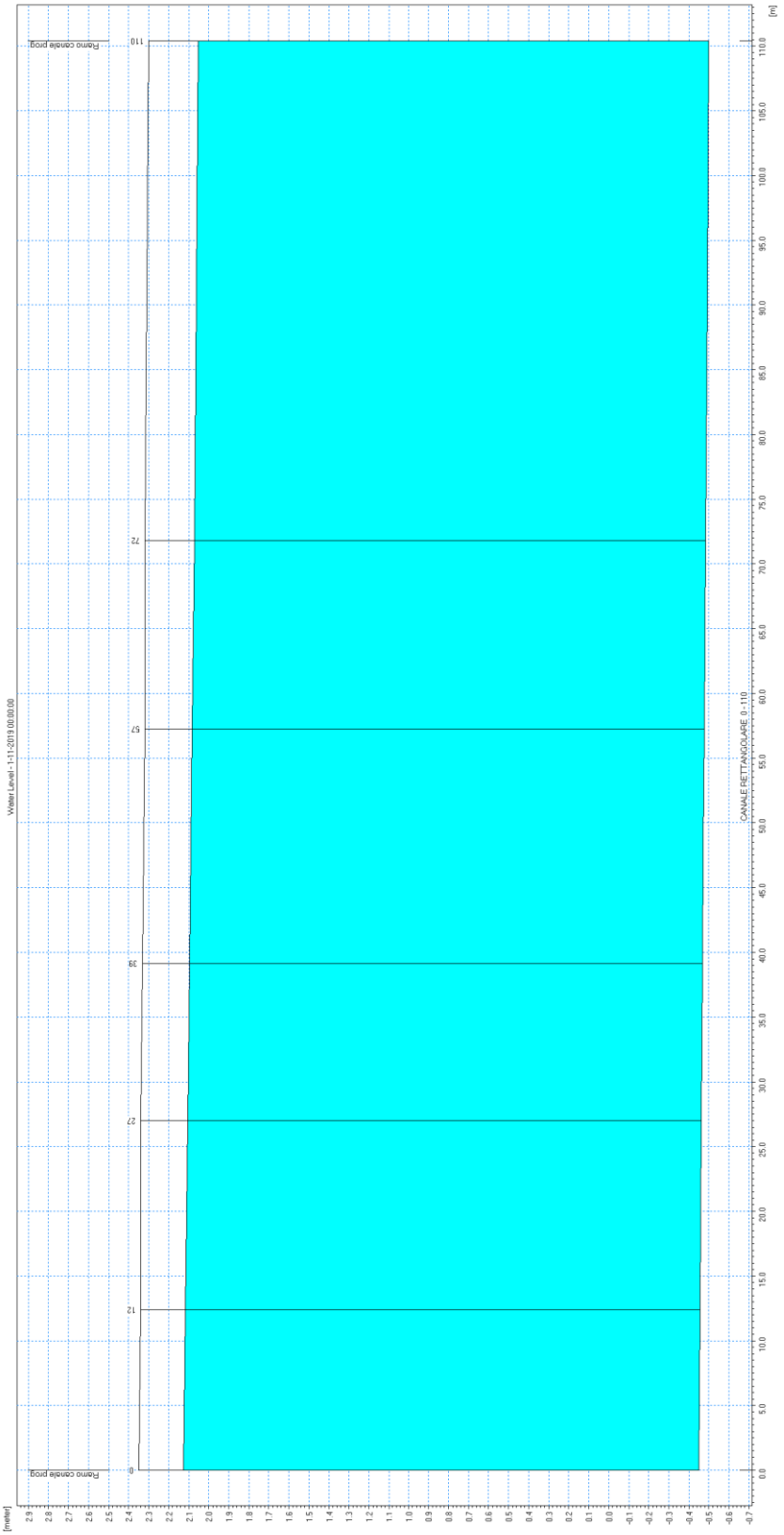


Figura 26 – Profilo di corrente a tempo di ritorno 500 anni sul canale in progetto in assenza di esondazioni a monte, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

5.1.4 Andamento del franco idraulico

Le simulazioni condotte per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni (di riferimento per il dimensionamento idraulico delle opere), valutando l'incidenza della variazione del livello di mare (range dei livelli idrici da 0,50 m s.m. a 0,89 m s.m.) sulla funzionalità idraulica dell'assetto di progetto, hanno messo in evidenza come, pur a fronte di una generale riduzione dei franchi idraulici, l'intervento in progetto resti in grado di contenere i livelli di piena, eliminando completamente gli attuali fenomeni di allagamento responsabili della pericolosità idraulica delle aree in esame.

Nel dettaglio, confrontando per la portata bicentenaria del Fosso la contemporaneità con una marea metereologica associata a un tempo di ritorno di 2 o di 100 anni, si può evincere che:

- nel nuovo canale in progetto all'interno dell'area SIMAN il franco idraulico minimo si riduce da 0,51 m a 0,33 m;
- il tombino circolare esistente di diametro 1,8 m di attraversamento della medesima area SIMAN mostra sempre un funzionamento in pressione, con carico idraulico statico equivalente, misurato rispetto all'intradosso della tubazione, che varia da -0,48 m a -0,65 m;
- nella tombinatura terminale esistente (fino alla foce attuale del fosso Melara) il franco idraulico minimo si riduce da 0,51 a 0,22 m;
- nel nuovo canale marino in corrispondenza del terminal Ravano in progetto il franco idraulico minimo si riduce da 0,97 m a 0,58 m.

Si osserva come nel canale marino vi sia una diretta corrispondenza, come atteso, tra il livello imposto a mare e quello nel canale stesso: ovvero, se il livello di mare sale di 39 cm, il franco si riduce di conseguenza della stessa quantità.

Diversamente accade invece per il tratto più a monte (area SIMAN), in quanto la presenza, poco a monte dell'imbocco della tombinatura terminale esistente, di un ponticello ad arco di dimensioni inadeguate provoca un significativo effetto di innalzamento localizzato dei livelli, con rigurgito del tratto di monte. Questa perdita di carico produce una parziale disconnessione idraulica, che smorza l'effetto verso monte dei maggiori livelli di mare:

nell'area SIMAN il franco idraulico si riduce di circa la metà rispetto all'entità dell'innalzamento del livello di marea.

In Tabella 10 sono riassunti i franchi idraulici minimi per i vari tratti di interesse, per tutti i tempi di ritorno e livelli di mare indagati.

Tratto	TR=50 anni			TR=200 anni			TR=500 anni		
	Hv=0,50 (m s.m.)	Hv=0,68 (m s.m.)	Hv=0,89 (m s.m.)	Hv=0,50 (m s.m.)	Hv=0,68 (m s.m.)	Hv=0,89 (m s.m.)	Hv=0,50 (m s.m.)	Hv=0,68 (m s.m.)	Hv=0,89 (m s.m.)
Tombino esistente	-0.25	-0,32	-0,43	-0,48	-0,55	-0,65	-0,64	-0,69	-0,77
Canale in progetto	0,74	0,67	0,56	0,51	0,44	0,33	0,35	0,30	0,22
Tombinatura terminale	0,60	0,43	0,22	0,51	0,43	0,22	0,44	0,38	0,22
Nuovo canale marino	0,97	0,80	0,58	0,97	0,79	0,58	0,97	0,79	0,58

Tabella 10 – Andamento del franco idraulico di sicurezza.

Si osserva come anche per la portata catastrofica (a tempo di ritorno 500 anni) le opere in progetto continuano a manifestare un franco idraulico, pur minimo, evitando quindi fenomeni di esondazione.

5.2 Analisi idraulica: assetto di progetto con esondazioni a monte

Questa schematizzazione rappresenta in modo realistico le potenziali aree allagabili interessate dagli eventi di piena a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni, accoppiando al modello 1D un modello 2D (MIKE21 del DHI) in grado di determinare la propagazione delle esondazioni nelle aree esterne all'alveo. La portata non contenuta nell'alveo inciso viene infatti trasmessa al modello bidimensionale che la fa defluire nelle aree urbanizzate adiacenti al fosso Melara.

Si rappresentano nel seguito i risultati ottenuti simulando idrodinamicamente gli scenari a pari tempo di ritorno ma con condizioni al contorno di valle (marea metereologica) corrispondenti a livelli idrici di 0,50 m s.m., 0,68 m s.m. e 0,89 m s.m.

I risultati sono espressi in termini di mappe di allagamento che si generano nelle aree esterne all'alveo inciso, riprodotte dal modello 2D in riferimento ai massimi tiranti idrici (altezze d'acqua sul piano campagna) e alle massime velocità.

I risultati delle simulazioni mostrano come le condizioni di mare assunte, seppur producano un maggiore effetto di rigurgito verso monte, non comportino esondazioni delle aree urbane ricomprese nei tratti in progetto.

Si può osservare soltanto un piccolo incremento di esondazione a monte dell'area SIMAN, in corrispondenza dei due fossi localizzati a lato del rilevato ferroviario nel tratto a monte della vasca di calma da cui ha origine il tombino circolare esistente (di diametro 1,80 m): tali fossi hanno dimensione inadeguata rispetto alla portata idrologica teorica assegnata loro, per cui si ha una modestissima fuoriuscita anche per livello di mare di 0,50 m s.m. Con maggiori livelli di valle i volumi complessivamente fuoriusciti incrementano, ma l'area oggetto di potenziale allagamento (sedime ferroviario a monte dell'attraversamento del Melara) è coerente con quella già identificata a pericolosità idraulica residua nelle perimetrazioni "post operam" proposte nel progetto dell'intervento (rif. Figura 6).

Si rileva anche un incremento quasi impercettibile dell'estensione degli allagamenti nelle aree localizzate in corrispondenza del depuratore.

1.1.1 **Tempo di ritorno TR=50 anni**

Nelle mappe di seguito allegate si riportano le mappe relative alla distribuzione delle massime altezze d'acqua (tiranti idrici) e delle velocità generate sulle aree allagate.

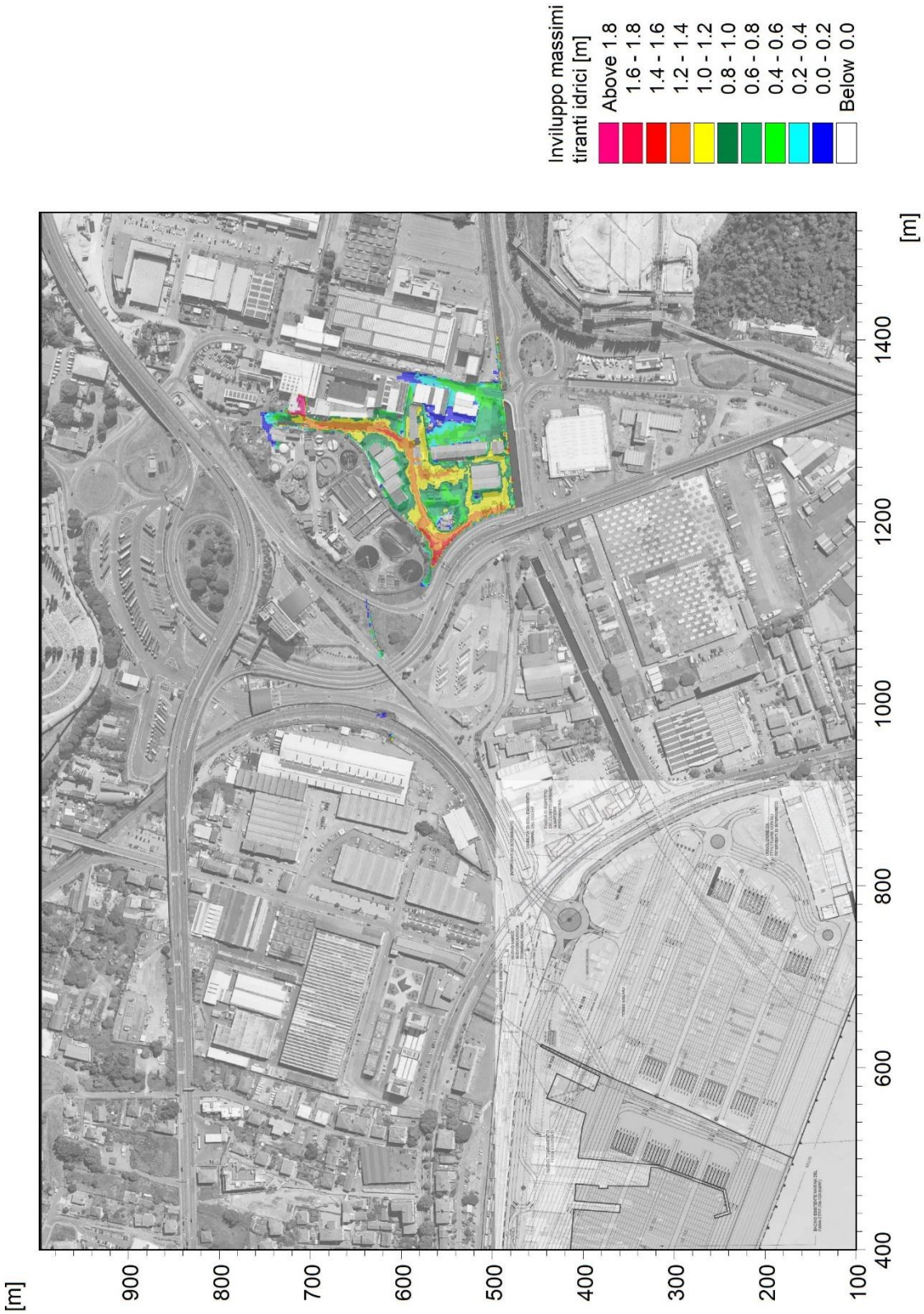


Figura 27 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=50 anni, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

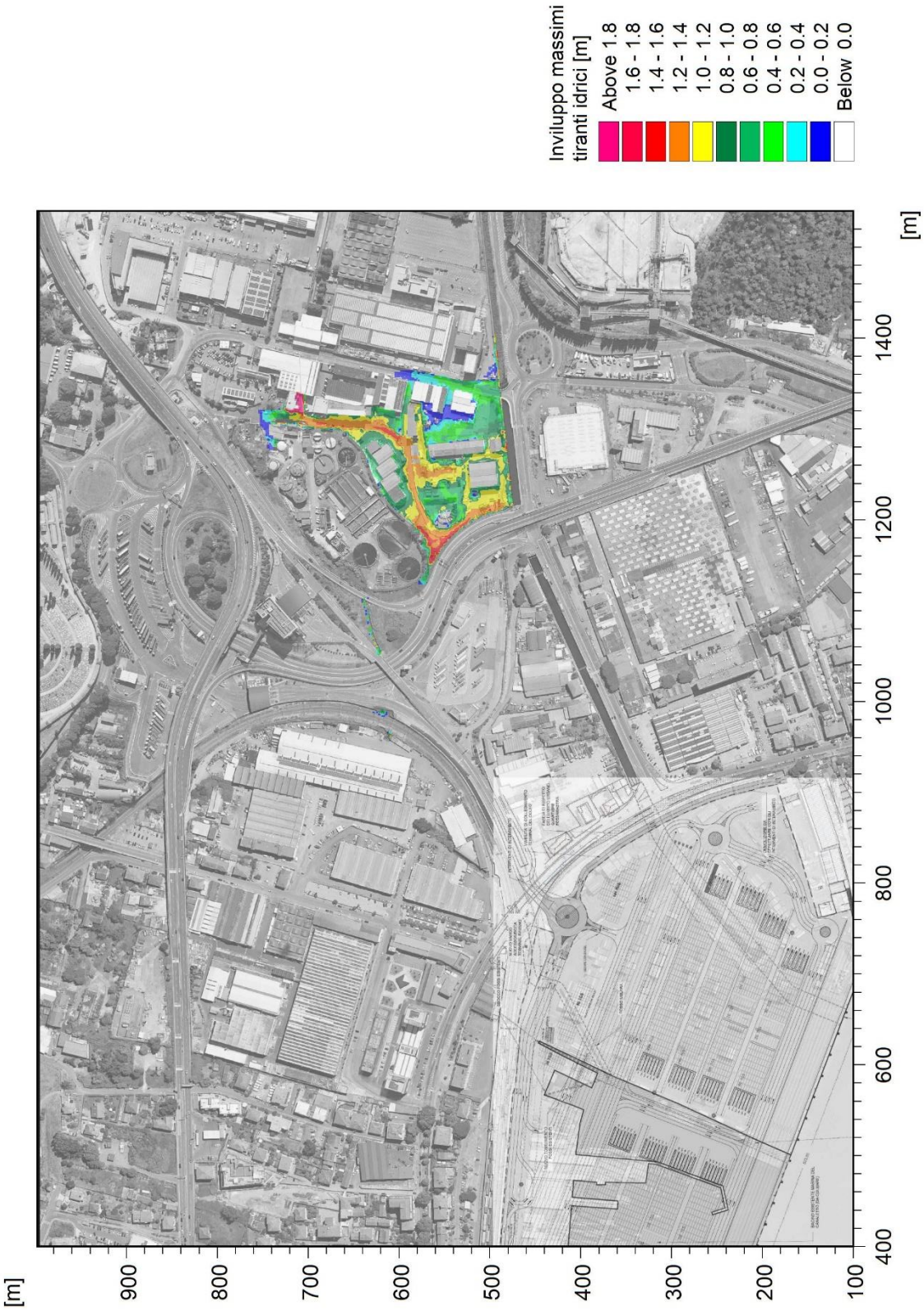


Figura 28 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=50 anni, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

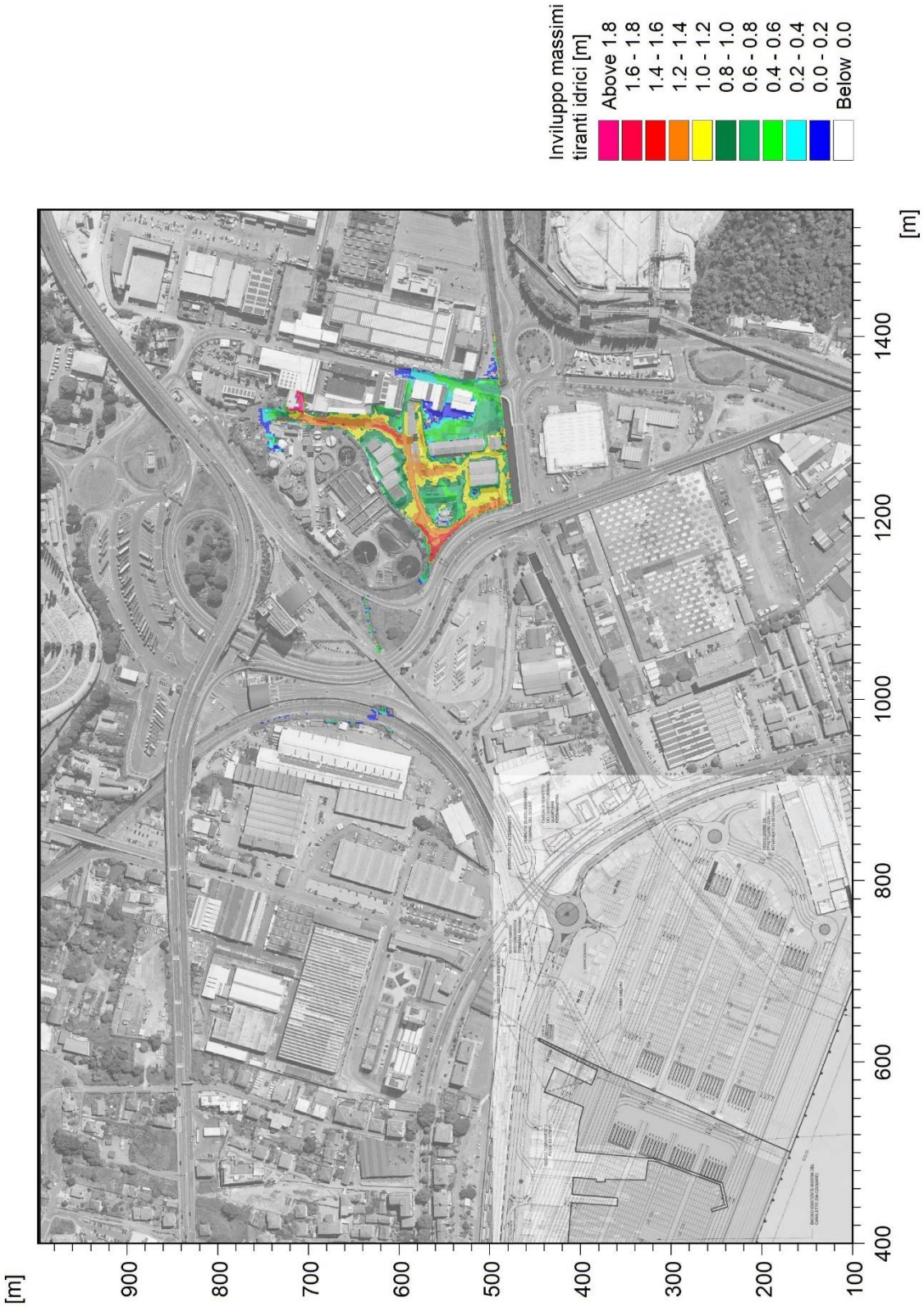


Figura 29 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=50 anni, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

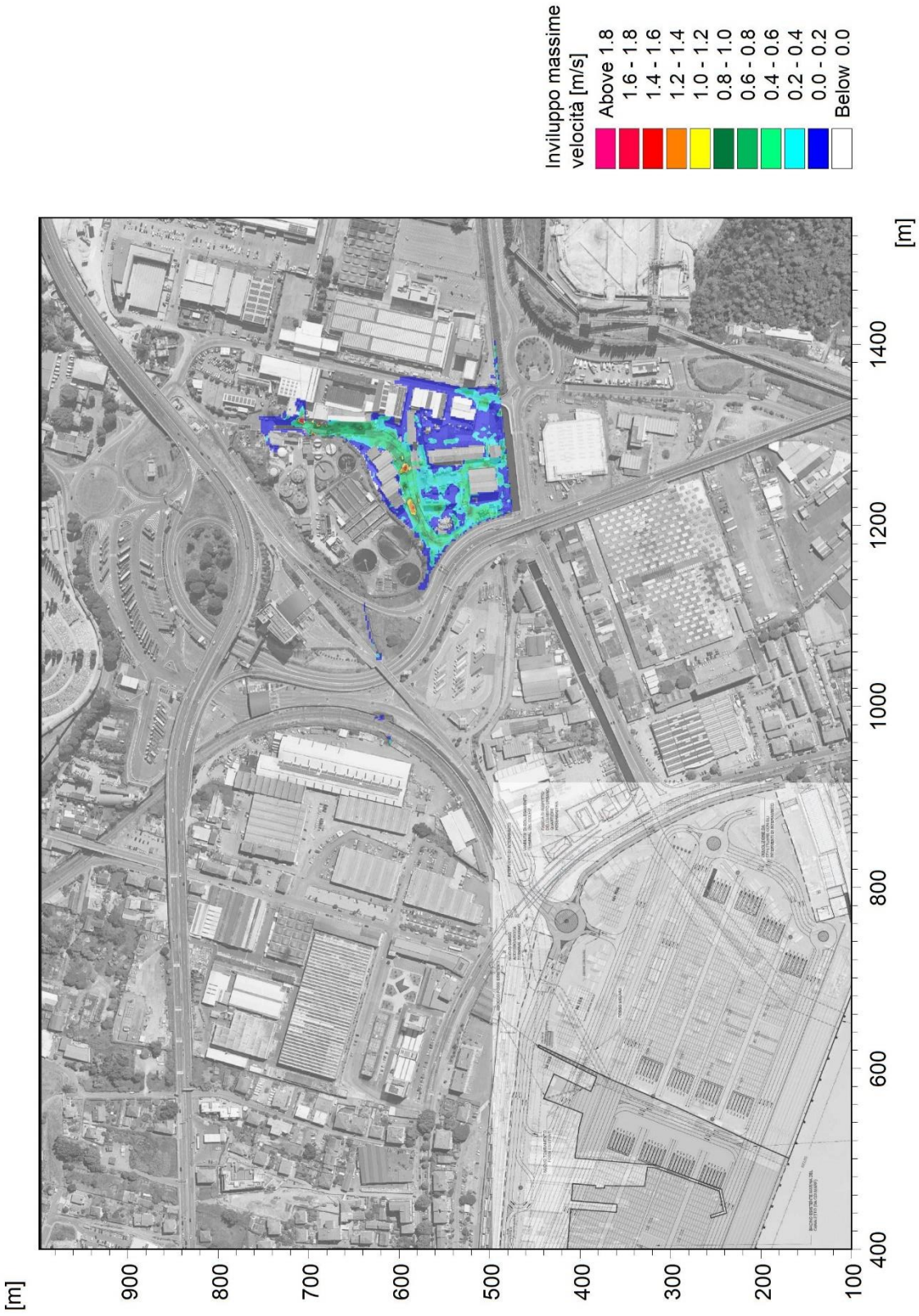


Figura 30 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=50 anni, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

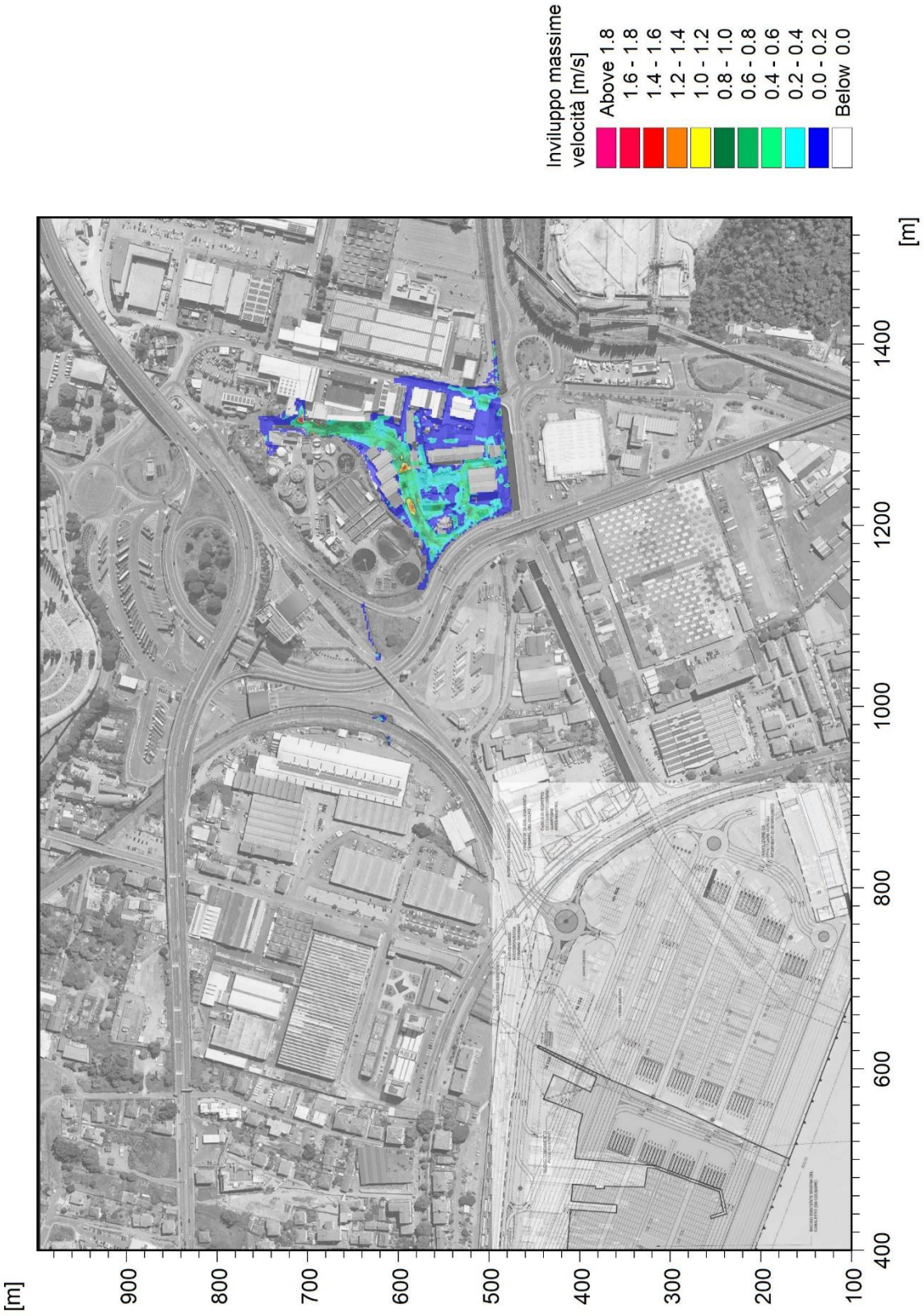


Figura 31 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=50 anni, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

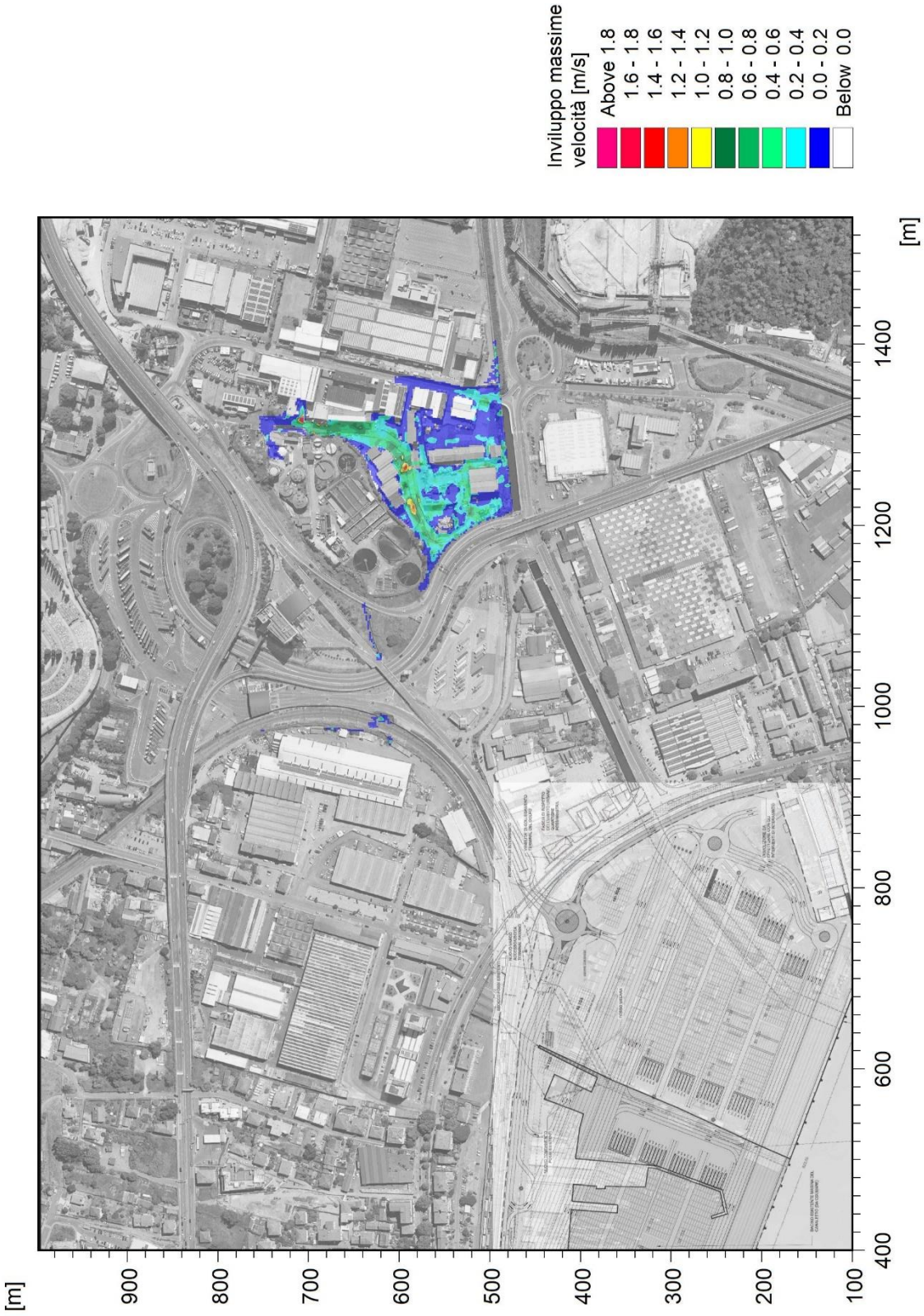


Figura 32 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=50 anni, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

1.1.2 **Tempo di ritorno TR=200 anni**

Nelle figure seguenti si riportano le mappe relative alla distribuzione delle massime altezze d'acqua (tiranti idrici) e delle velocità generate sulle aree allagate per l'evento TR=200 anni.

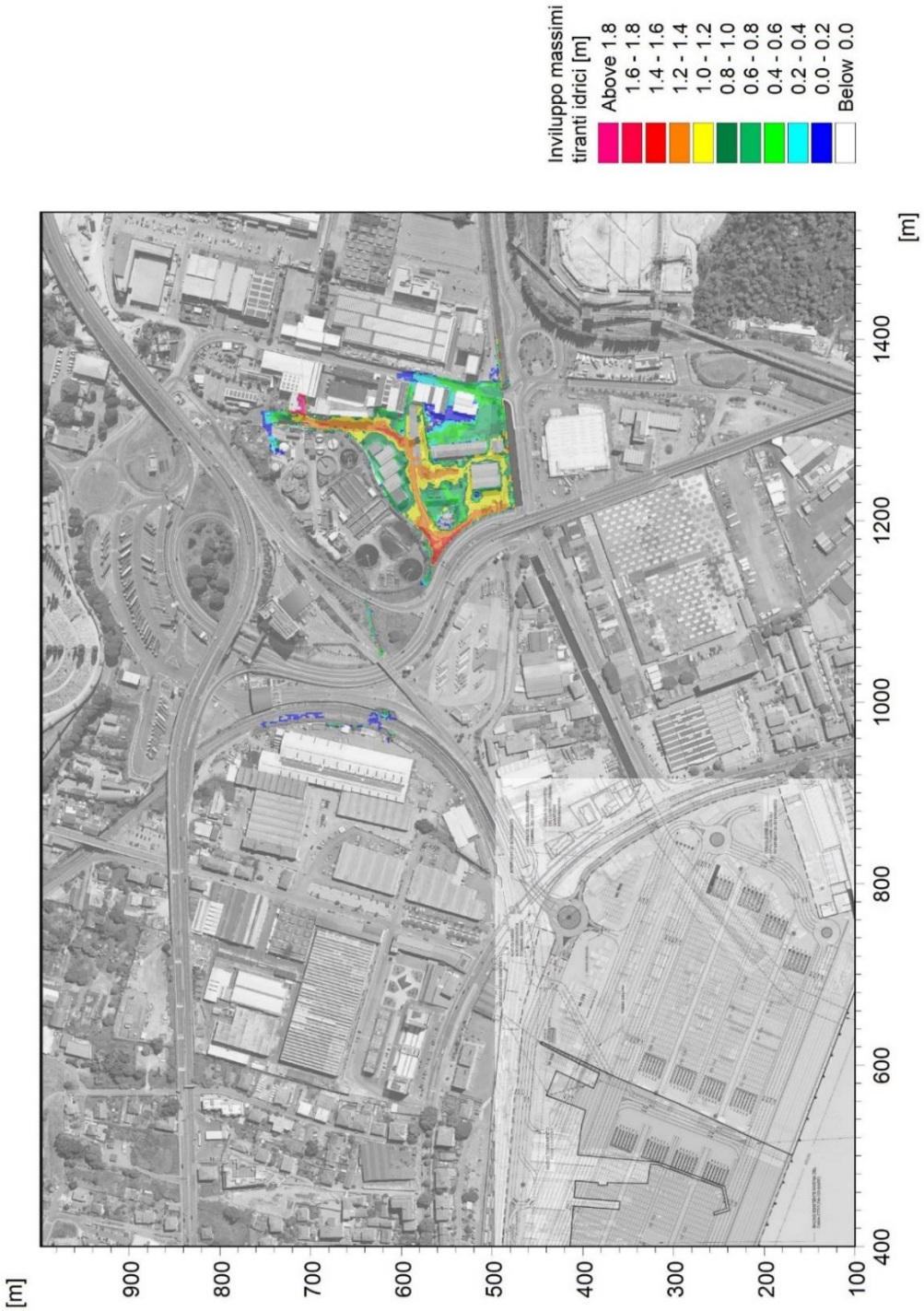


Figura 33 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=200 anni con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

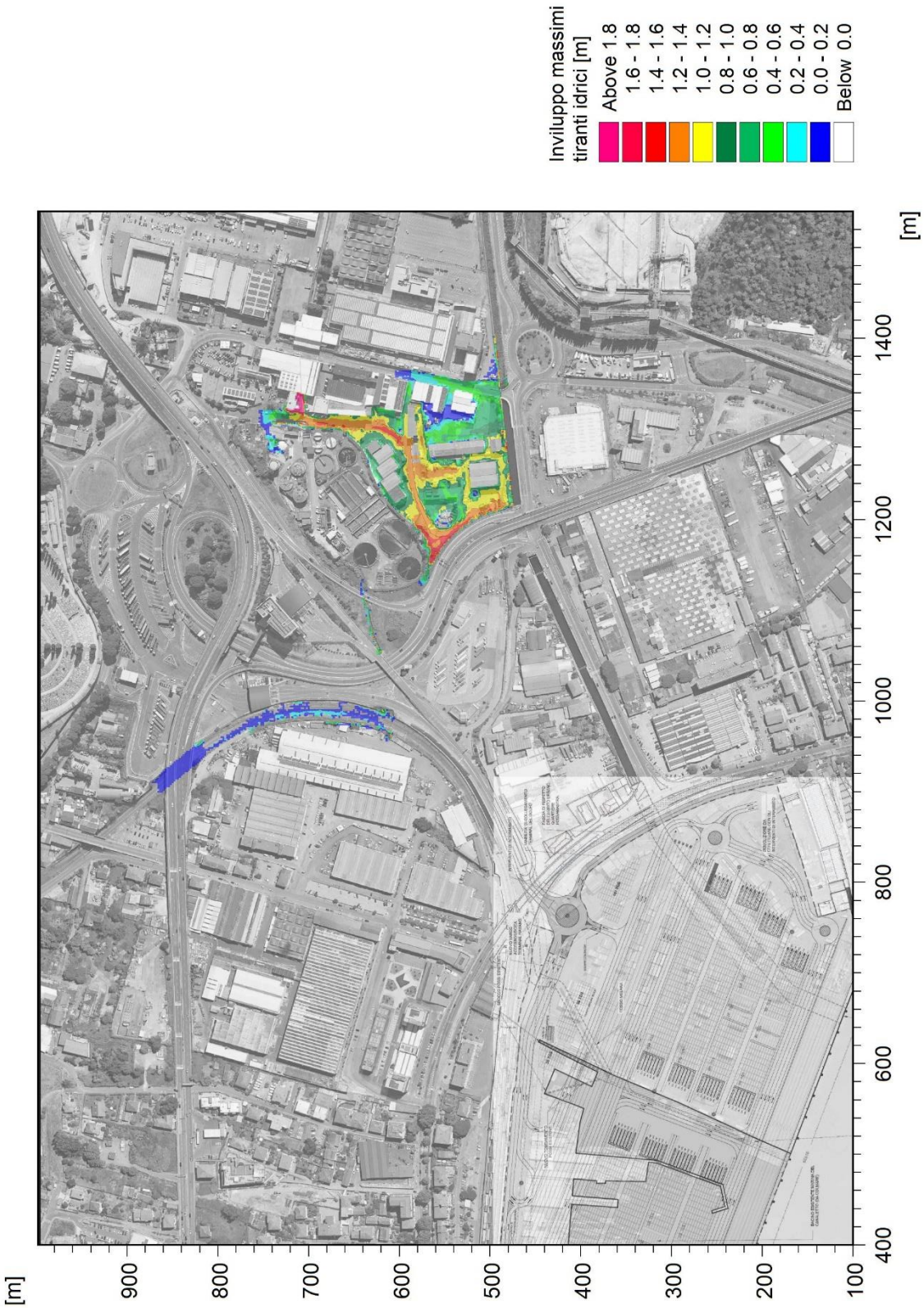


Figura 34 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=200 anni, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

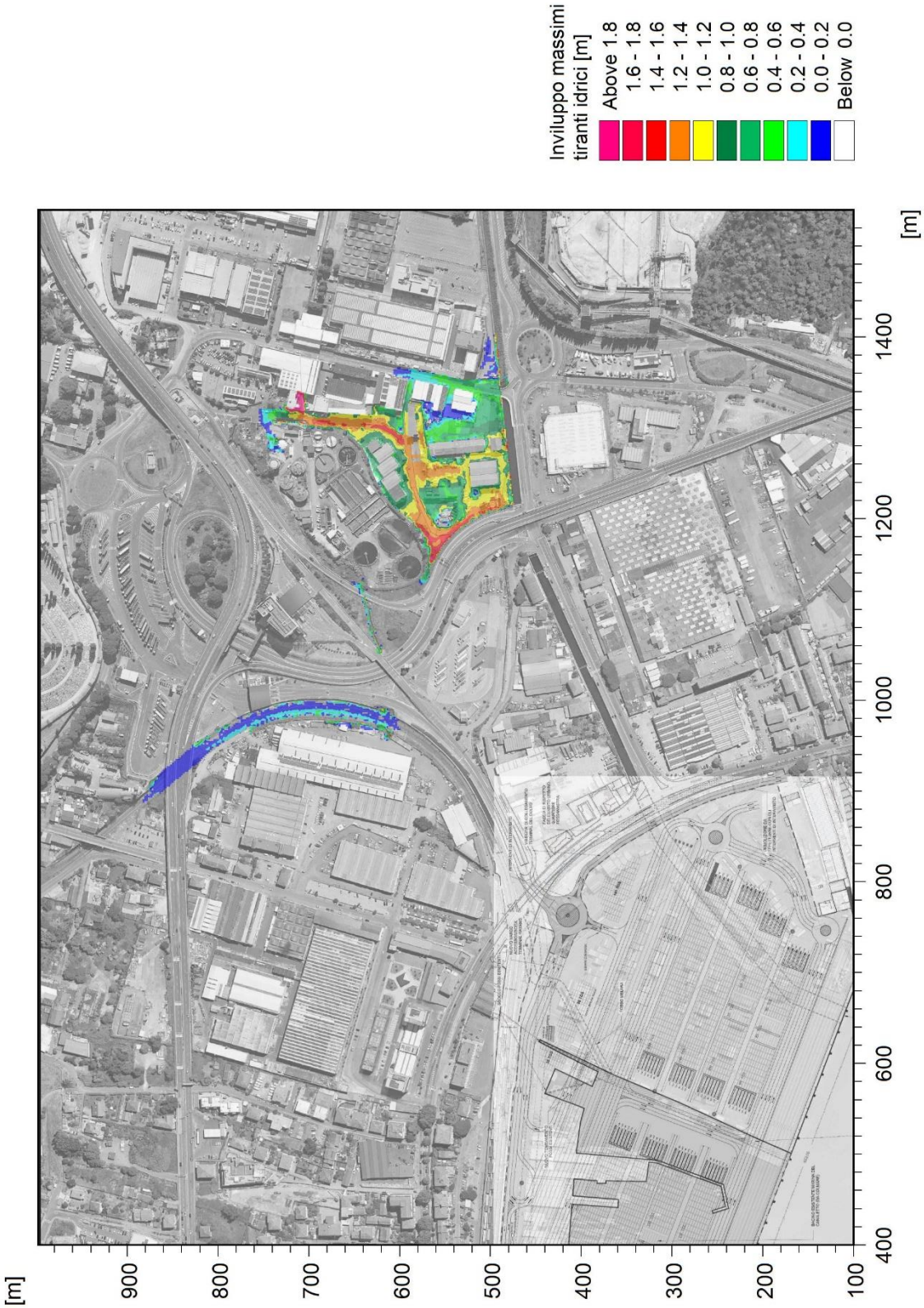


Figura 35 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=200 anni, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

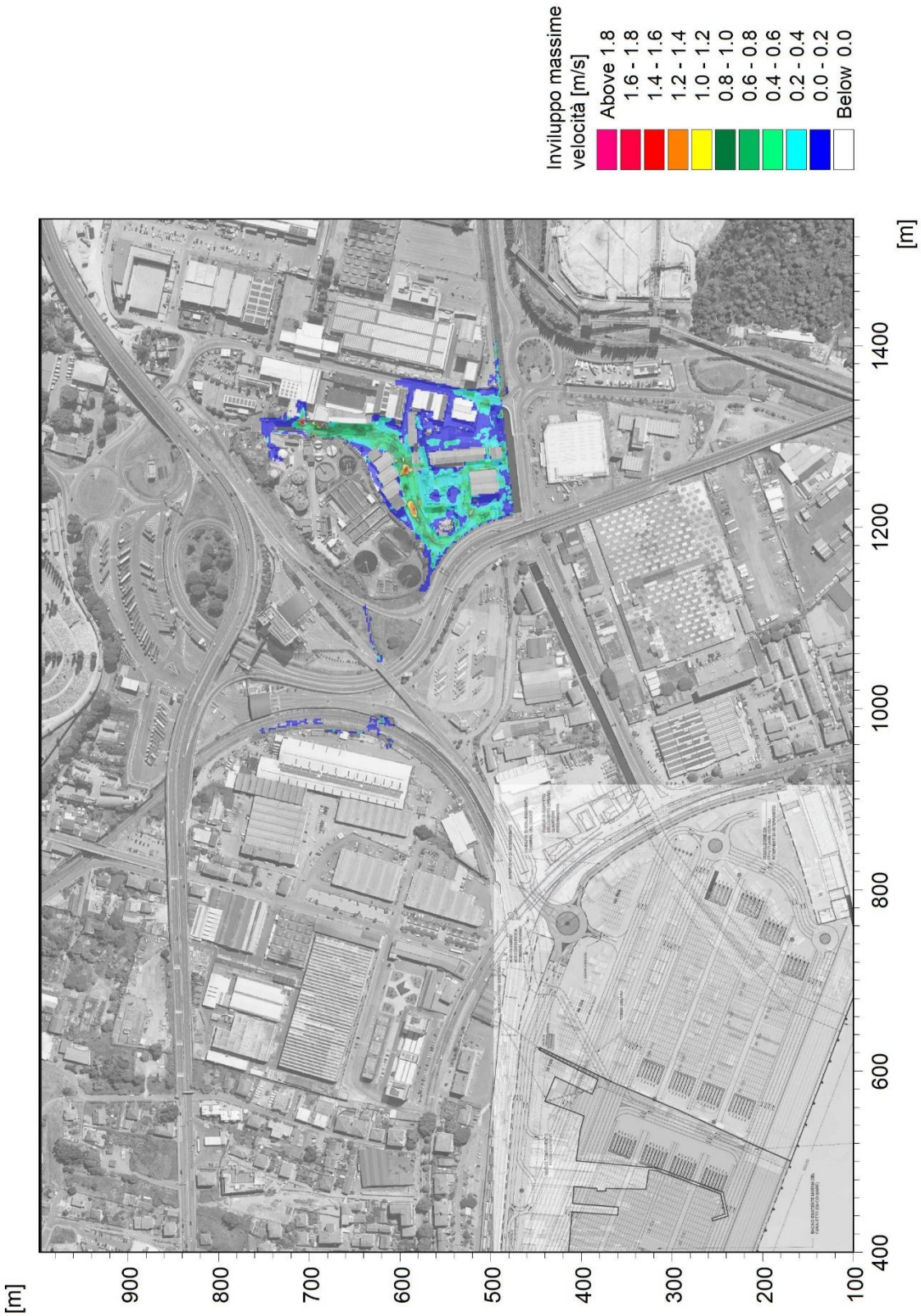


Figura 36 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=200 anni, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

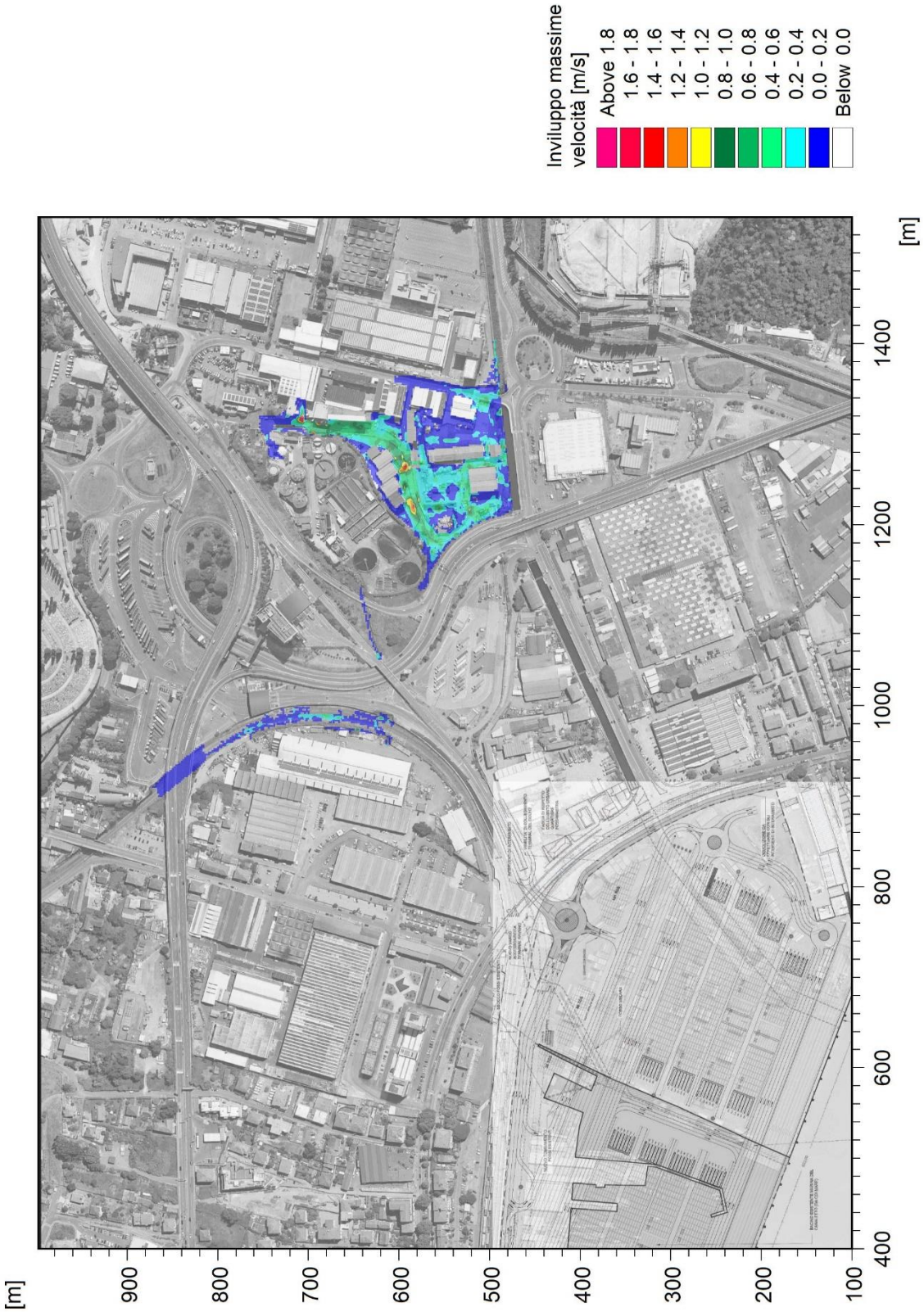


Figura 37 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=200 anni, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

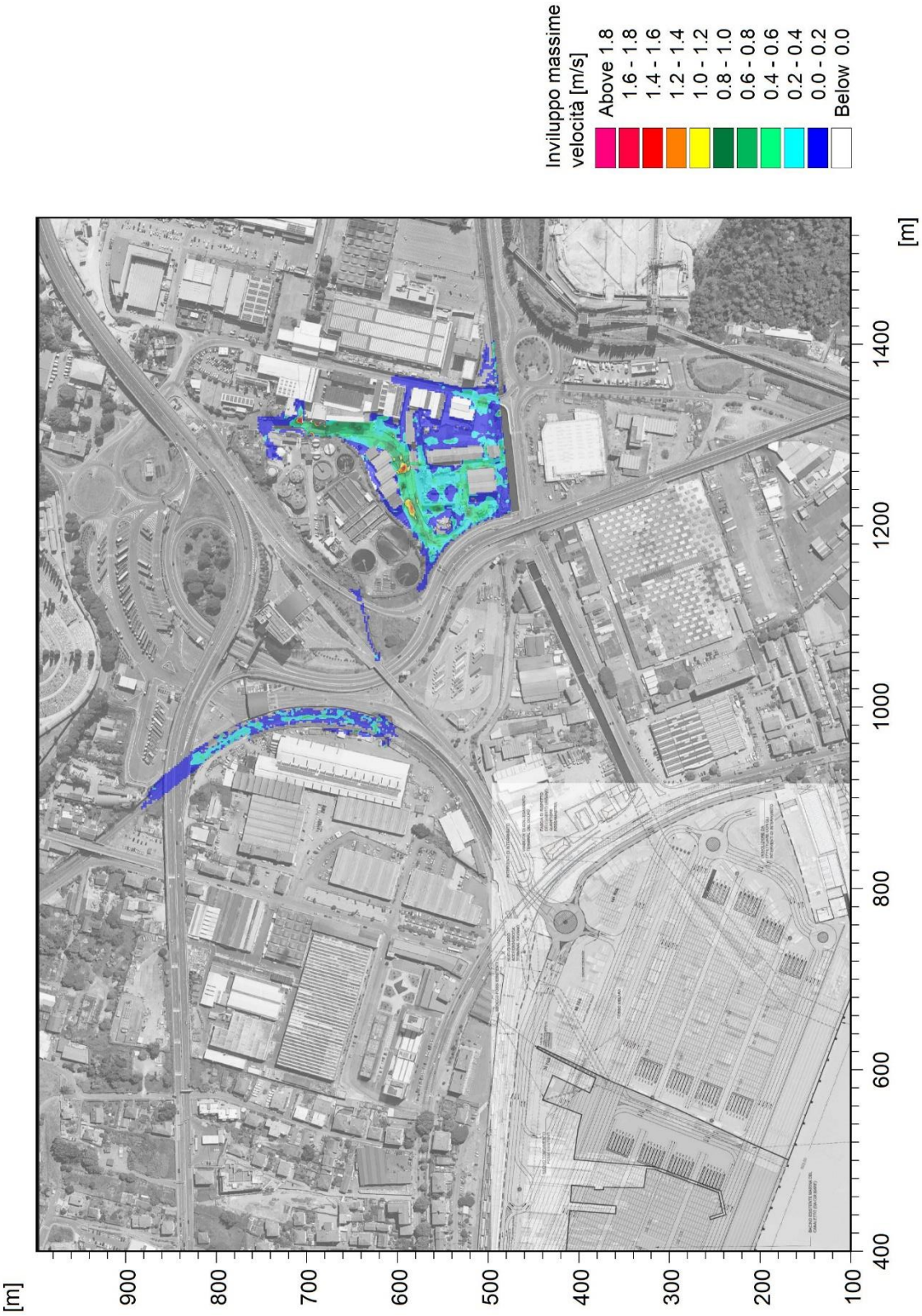


Figura 38 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=200 anni, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

1.1.3 **Tempo di ritorno TR=500 anni**

Nelle figure seguenti si riportano le mappe relative alla distribuzione delle massime altezze d'acqua (tiranti idrici) e delle velocità generate sulle aree allagate per l'evento TR=500 anni.

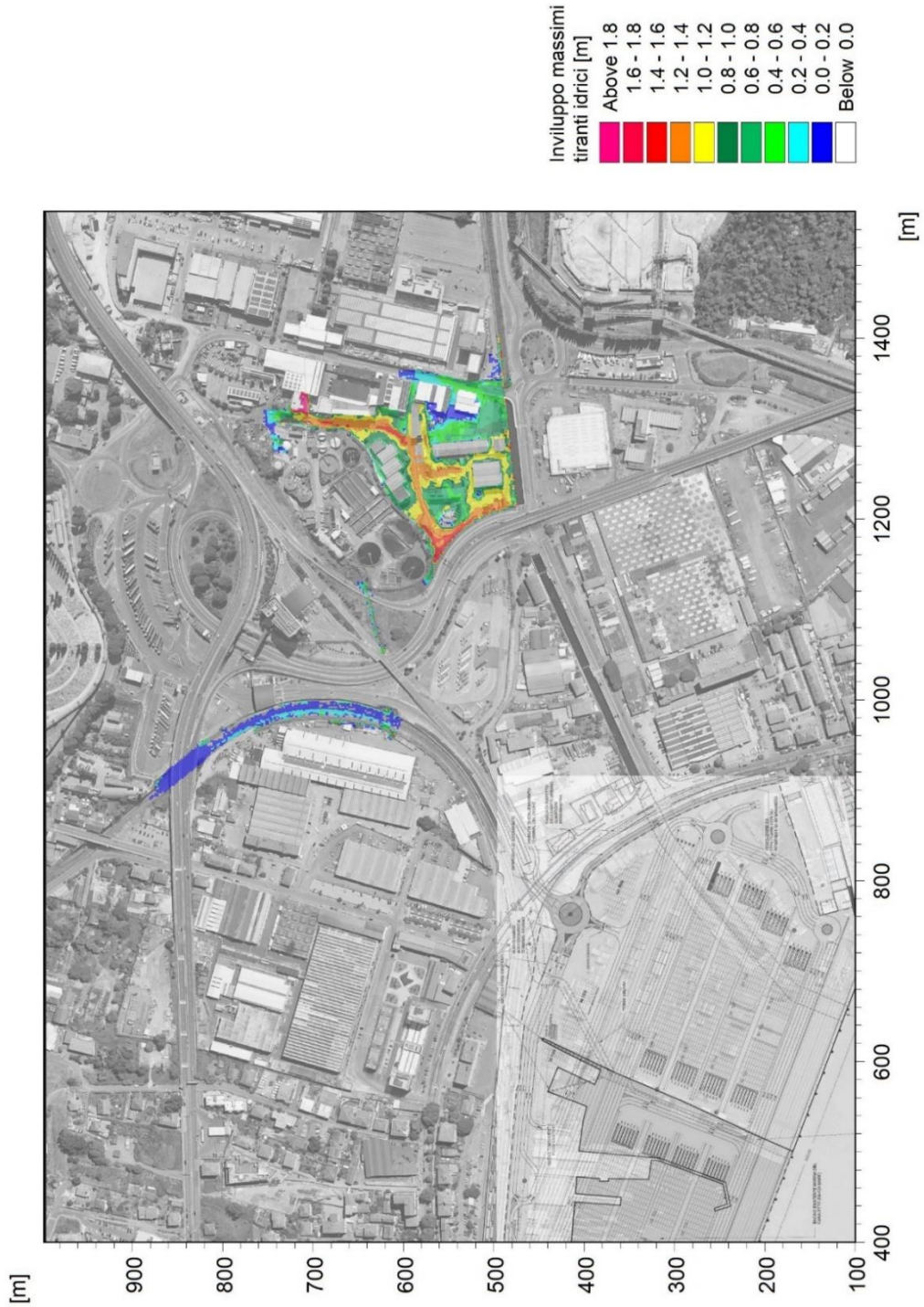


Figura 39 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=500 anni, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

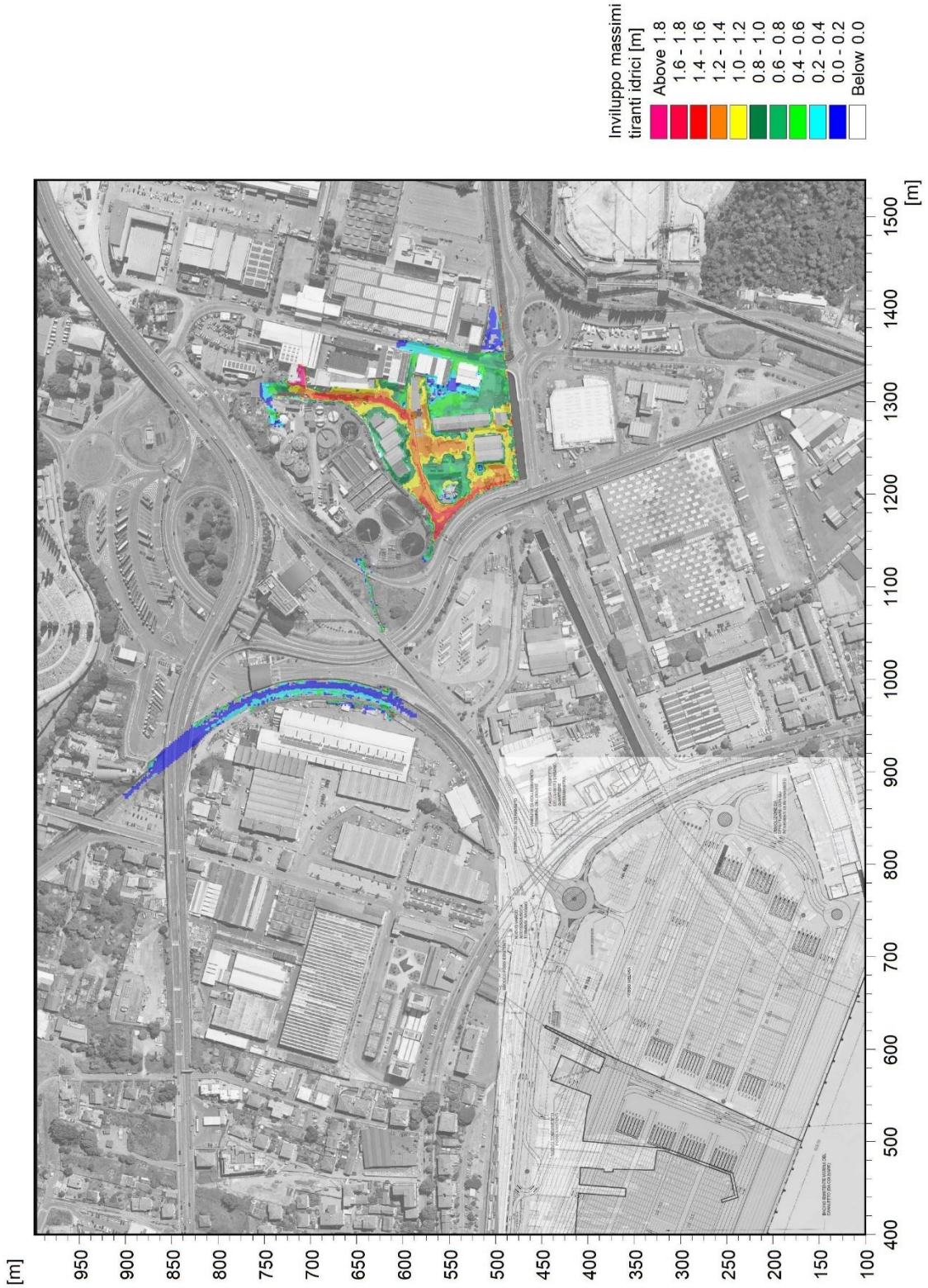


Figura 40 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=500 anni, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

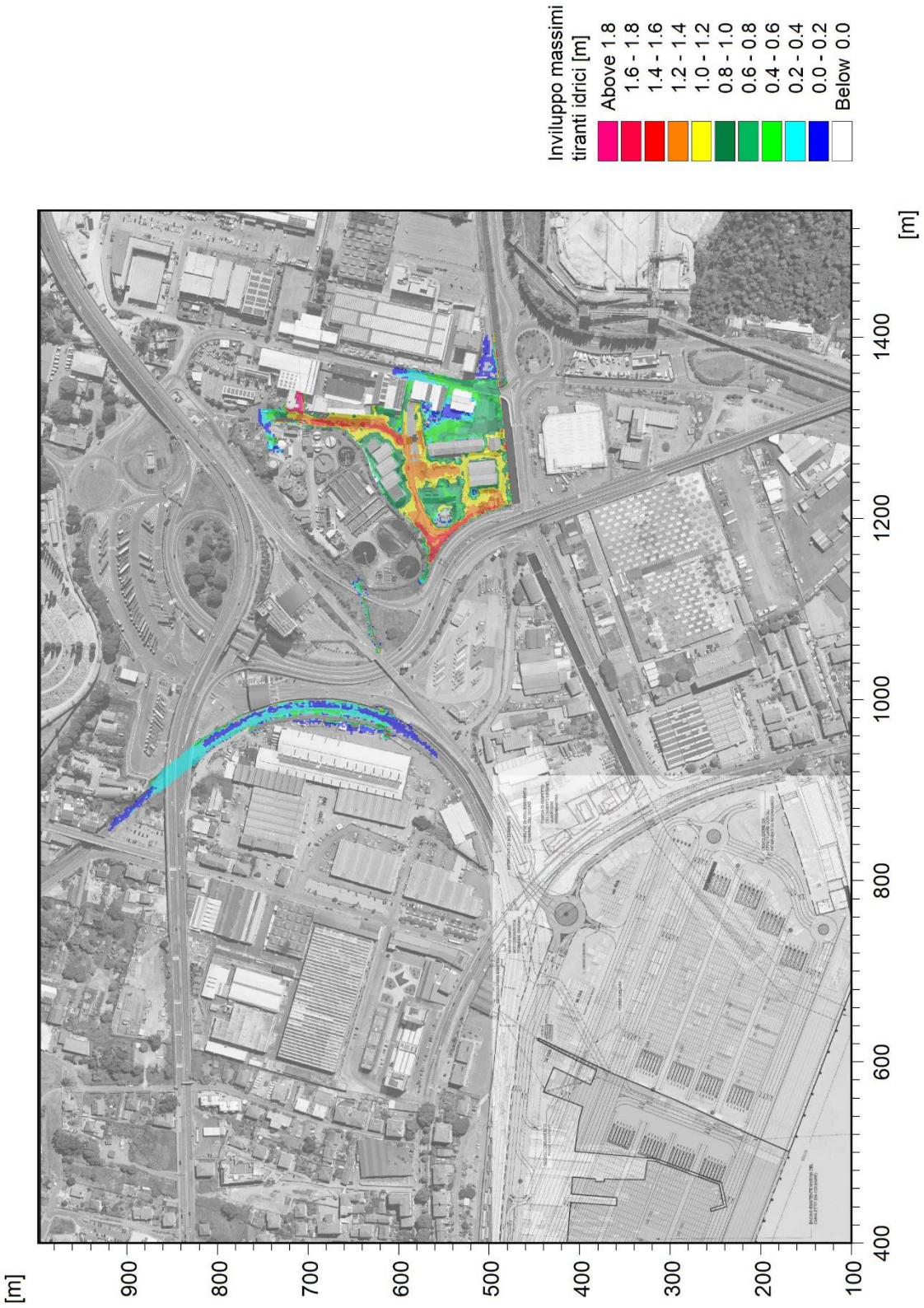


Figura 41 - Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna per TR=500 anni, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

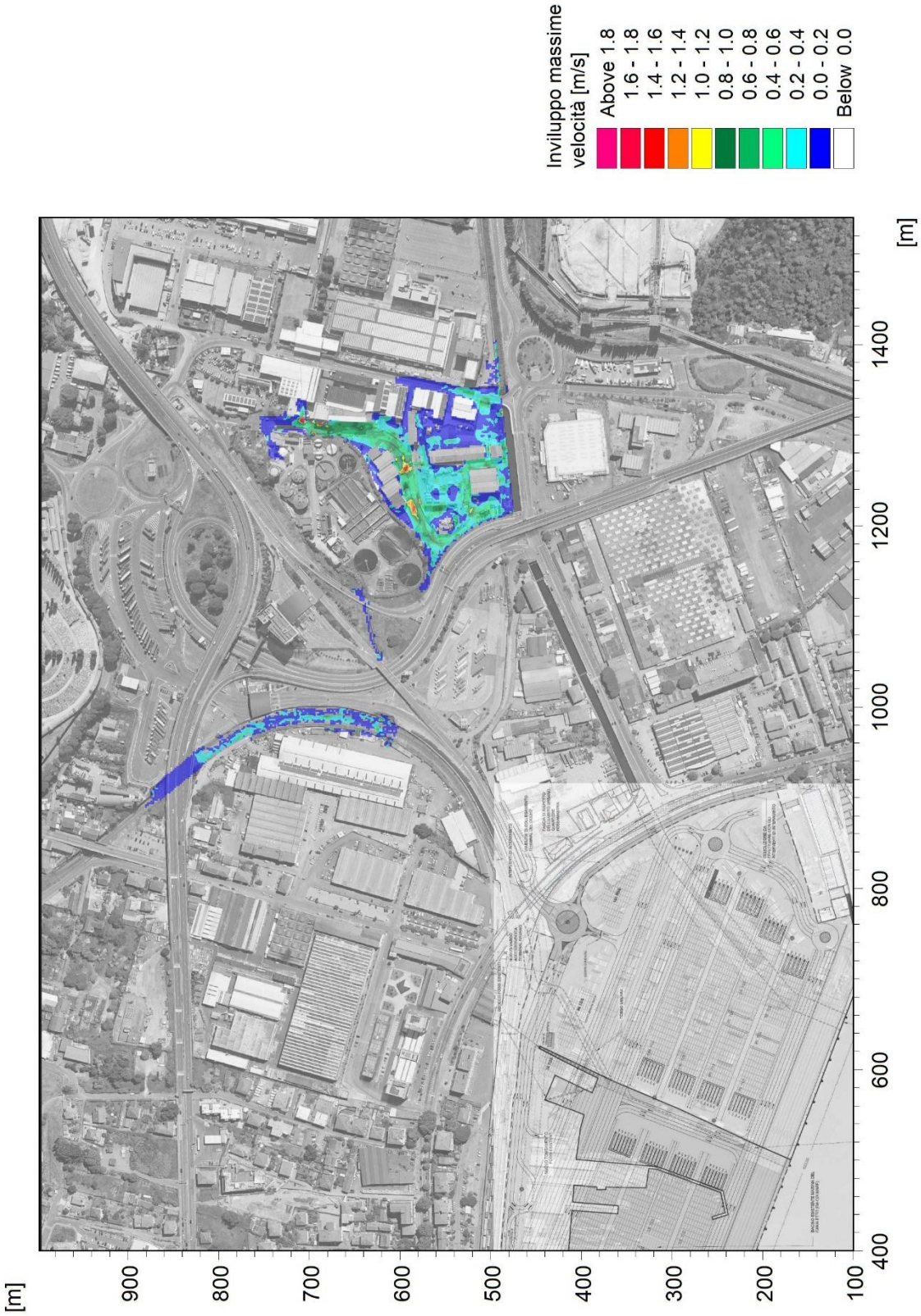


Figura 42 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=500 anni, con livello di mare pari a 0,50 m s.m.

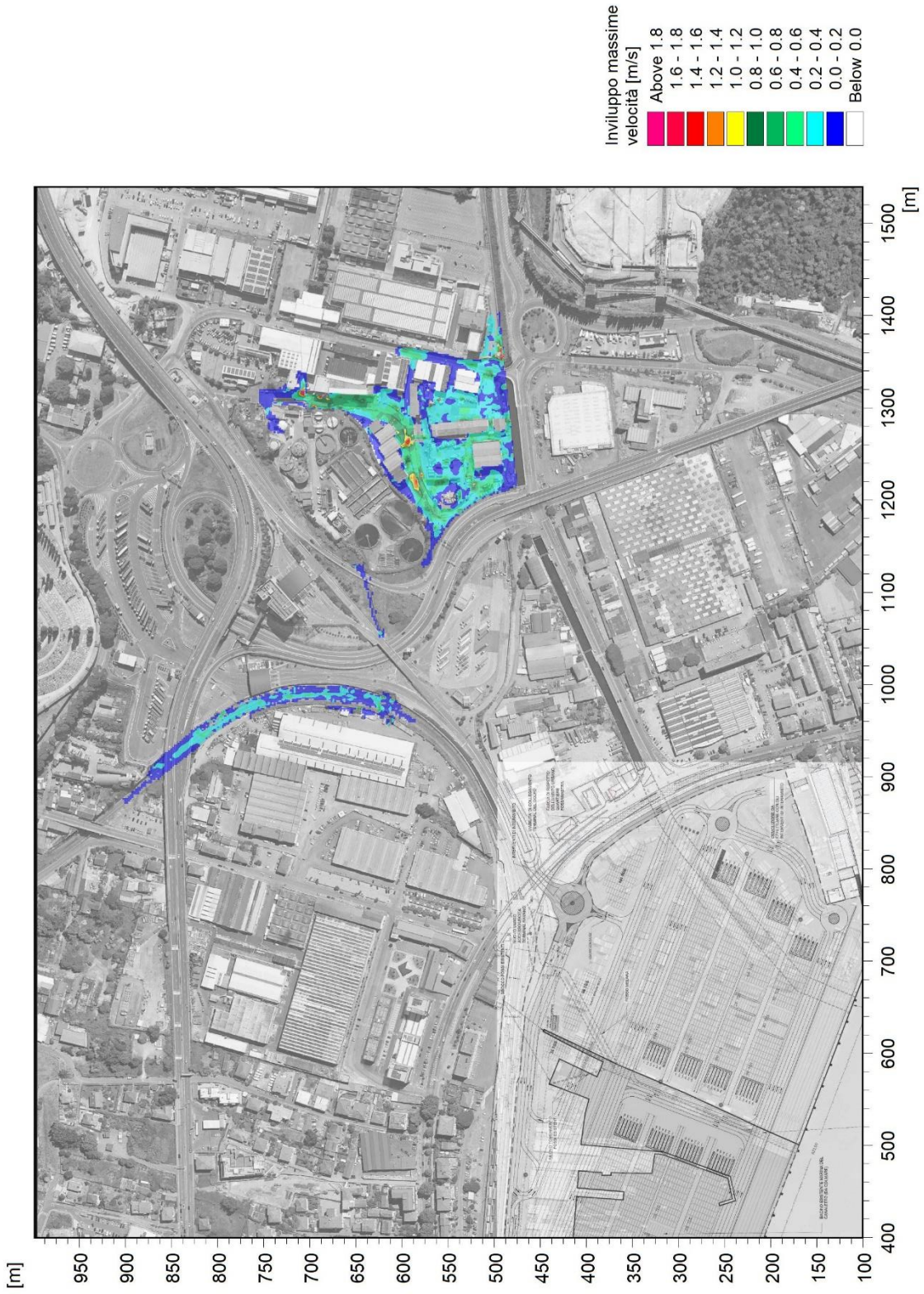


Figura 43 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=500 anni, con livello di mare pari a 0,68 m s.m.

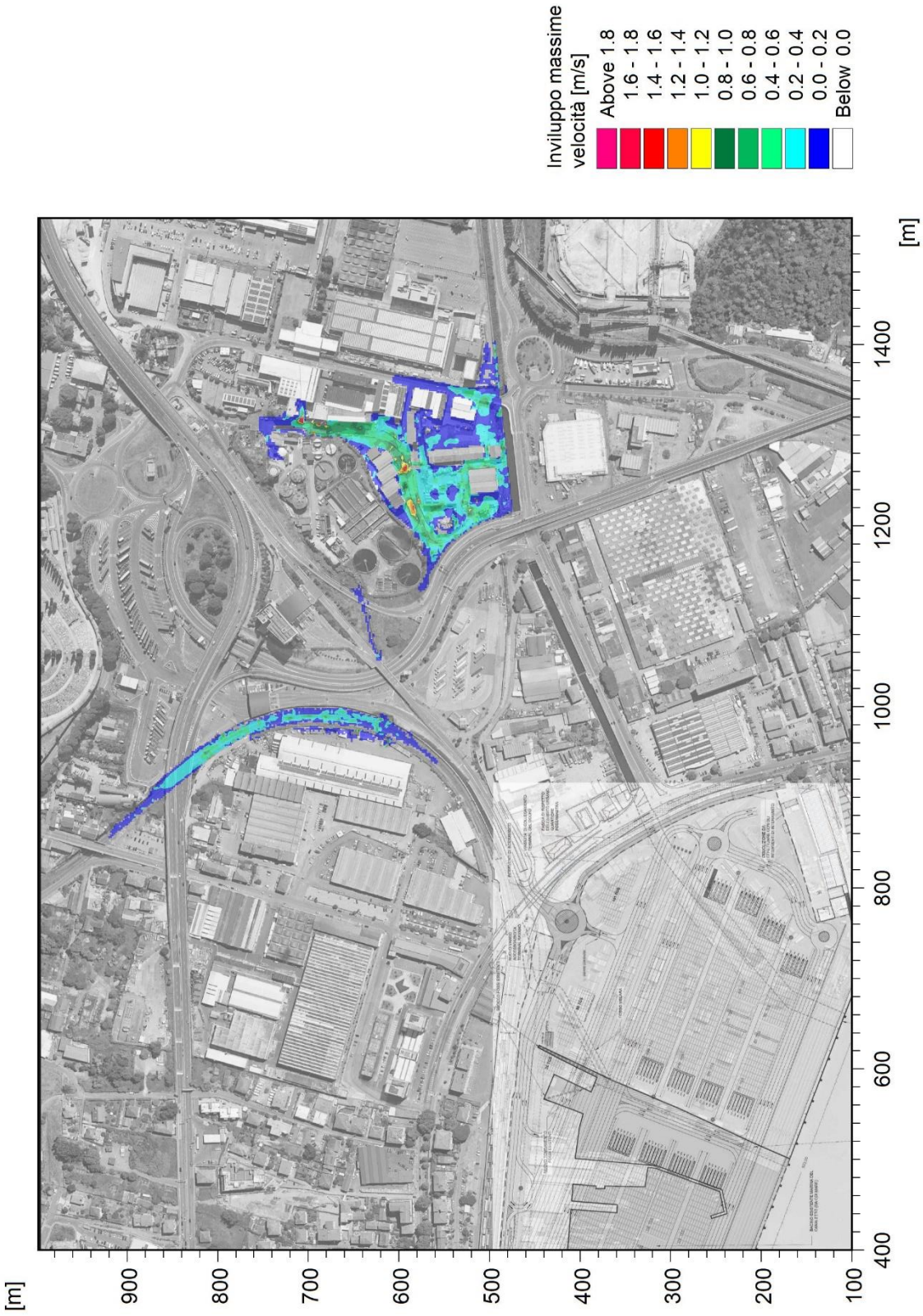


Figura 44 - Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso per TR=500 anni, con livello di mare pari a 0,89 m s.m.

6. CONCLUSIONI

Gli scenari di simulazione condotti nel presente studio hanno indagato la sensitività della funzionalità idraulica delle opere in progetto alla variazione del livello di mare, conseguente alla concomitanza con gli eventi di piena del corso d'acqua di eventi maggiormente gravosi di marea metereologica (che determinano quindi un più elevato tempo di ritorno complessivo della condizione indagata).

Il sistema in progetto risulta sufficientemente "robusto" da assorbire innalzamenti del livello del mare di circa 40 cm senza fuoriuscite dei livelli di piena nei tratti oggetto di intervento, anche per tempi di ritorno di 500 anni, pur con franchi idraulici ridotti. Anche in queste condizioni l'intervento è dunque in grado di eliminare completamente gli attuali fenomeni di allagamento responsabili della pericolosità idraulica delle aree in esame

La stessa analisi consente di valutare la resilienza del sistema anche a possibili scenari di cambiamento climatico per i quali si ipotizza un innalzamento notevole del livello medio del mare. Considerando le condizioni di riferimento per i dimensionamenti idraulici (concomitanza degli eventi di piena con una marea metereologica "ordinaria" – TR circa 2 anni), dalle risultanze del presente studio si può affermare che il sistema risulti in grado di assorbire innalzamenti di livello di circa 40 cm, superiori all'incremento atteso al 2070 (RCP 4.5), mantenendosi efficace nel contrastare i fenomeni di allagamento delle aree circostanti.