

POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE



Tesi di Laurea Magistrale

Metodi geo-idraulici di validazione degli scenari di allagamento per ipotetico collasso dighe

Relatore:

Prof. Pierluigi Claps

Candidato:

S239546 Elisabetta Bruno

Correlatore:

Silvia Cordero

Daniele Ganora

A.A. 2019/2020

*A mia nonna Elisa
e alla mia famiglia*

Ringraziamenti

Prima di tutto, vorrei ringraziare il professore Pierluigi Claps per la fiducia dimostratami, per i preziosi consigli e per la disponibilità durante tutto lo svolgimento del presente lavoro.

I miei sentiti ringraziamenti vanno anche agli ingegneri Daniele Ganora e Silvia Cordero, i quali sono stati di fondamentale supporto per lo sviluppo delle tematiche trattate. Inoltre, ringrazio l'ingegnere Nicola Testa per i suoi suggerimenti e la sua collaborazione.

Un ringraziamento particolare va alla mia cara famiglia che ha sempre creduto nelle mie potenzialità standomi vicina nei momenti in cui le avversità della vita avrebbero potuto compromettere il mio percorso universitario. La loro forza e il loro amore mi ha spinto a lottare per i miei sogni ed a essere la persona che sono oggi. Vorrei anche ringraziare con tutto il cuore mia sorella, la quale ha sempre creduto in me ed è stata sempre un'alleata indispensabile su molteplici fronti.

Ringrazio i miei cari colleghi con i quali ho condiviso gli anni trascorsi a Torino. La loro amicizia e il loro supporto sono stati importanti per me. In fine, ma non per importanza, ringrazio sia la mia socia Alessandra per il suo bene incondizionato, sia Valentina che mi è sempre stata accanto sostenendomi e spronandomi nel bene e nel male, lei è diventata per me una persona molto importante nella mia vita.

Sommario (Abstract)

Negli ultimi decenni il riconoscimento del rischio derivante dalla propagazione delle onde di piena originate dall'ipotetico collasso diga e dal funzionamento degli organi di scarico, ha assunto notevole importanza per la tutela delle aree site a valle dello sbarramento. Infatti, le Autorità di protezione civile dispongono di molti studi idraulici passati, nei quali si definiscono gli scenari di probabile allagamento, come fondamento conoscitivo e documentale per la stesura dei "Piani di Emergenza Dighe" (PED). La problematica riscontrata in questi studi riguarda la qualità dei supporti topografici ed i metodi di analisi idraulica utilizzati.

Lo scopo di questa tesi è quello di formulare un protocollo di analisi per validare gli studi idraulici passati, tramite nuove informazioni topografiche, gestite con procedure informatiche. La procedura proposta per il supporto ai PED ha la diga di Penne in Provincia di Pescara come caso di studio.

La metodologia sviluppata per la validazione dei risultati degli scenari di piena suddetti, si articola in due fasi. La prima fase riguarda il trattamento dei dati cartacei storici, mediante scannerizzazione e vettorializzazione sia delle planimetrie storiche, sia delle tavole contenenti le sezioni trasversali ottenute da rilievi topografici manuali. In particolare, le planimetrie sono georeferenziate e restituite nel software QGIS, mentre le sezioni trasversali sono prima raddrizzate e poi digitalizzate con software MATLAB. La seconda fase della procedura concerne l'analisi di congruenza di tipo geometrico e successivamente idraulico, nella quale il trattamento dei dati digitali attraverso software MATLAB consente di riscontrare sul territorio definito con dati odierni l'applicazione del modello idraulico storico. Ciò avviene rilevando, a parità di altezza idrica ottenuta in ogni sezione, le differenze emergenti con le sezioni attualizzate in termini di area bagnata e di larghezza in superficie.

Dalla valutazione dei risultati conseguiti, si evince come in linea di massima i valori relativi alle aree bagnate ed alle larghezze in superficie delle sezioni trasversali aggiornate siano minori, al diminuire della portata considerata, rispetto ai valori desunti dalle sezioni trasversali storiche. Questo potrebbe essere spiegato sia dal fatto che nel tempo la presenza della diga determina effetti morfologici di riduzione delle sezioni naturali attive, sia dalla maggiore macroscabrezza della superficie topografica descritta dal DTM, la quale comporterebbe una sotto-stima dell'area allagabile specialmente per bassi tiranti.

Per esemplificare le possibili conseguenze in termini di altezza idrica raggiungibile a parità di portata (identificata singolarmente per ogni sezione del modello idraulico storico), si è proceduto costruendo un modello di simulazione monodimensionale semplificato con il software HEC-RAS, per le sole sezioni che presentano la minore congruenza geometrica ed idraulica. Per queste sezioni, si sono quindi valutate in modo speditivo le variazioni (in aumento) dell'altezza idrica rispetto quella storica in entrambi gli scenari idraulici.

Indice

1. Introduzione	1
1.1. Quadro generale e normative afferenti.....	1
1.2. Obbiettivo.....	2
2. Descrizione del caso di studio	5
2.1. Opera di sbarramento: diga di Penne (Pescara).....	5
2.1.1. Definizione dei terreni di fondazione e del corpo diga.....	6
2.1.2. Opere di scarico e di presa.....	9
2.2. Fiume Tavo.....	12
2.2.1. Inquadramento territoriale e caratteristiche morfologiche.....	12
2.3. Evento di piena significativo del 1992.....	14
3. Scenari idraulici valutati	15
3.1. Propagazione dell'onda di piena dovuto all'ipotetico collasso diga.....	16
3.1.1. Documenti acquisiti.....	16
3.2. Onde di piena dovute alle manovre degli organi di scarico.....	17
3.2.1. Documenti acquisiti.....	18
4. Sviluppo di un protocollo di analisi	20
4.1. Descrizione della procedura.....	20
4.2. Supporto topografico: Digital Terrain Model (DTM).....	21
4.3. Software utilizzati.....	22
5. Trattamento dei dati cartacei	24
5.1. Scansione dei documenti passati.....	24
5.2. Georeferenziazione/Restituzione delle planimetrie storiche.....	24
5.3. Vettorializzazione delle sezioni trasversali e delle altezze idriche storiche.....	27
5.3.1. Operatore per il riconoscimento dei contorni.....	27
5.3.2. Operazione di raddrizzamento delle tavole.....	28
5.3.3. Metodi di digitalizzazione.....	30
5.3.4. Scelta e verifica del metodo di digitalizzazione.....	37

5.3.5.	Riscontro risultati conseguiti	39
5.3.6.	Importazione in ambiente GIS delle altezze idriche digitalizzate.....	44
6.	Trattamento dei dati digitali	47
6.1.	Estrazione sezioni trasversali da DTM.....	47
6.2.	Analisi di congruenza di tipo geometrico.....	48
6.3.	Analisi di congruenza di tipo idraulico	54
6.4.	Confronto risultati ottenuti	57
7.	Riscontro idraulico semplificato	67
7.1.	Modello monodimensionale	67
7.1.1.	Premessa.....	67
7.1.2.	Equazioni moto stazionario.....	68
7.2.	Modellazione 1D semplificata degli scenari di piena analizzati	71
8.	Possibile utilizzo dei dati vettoriali georiferiti desunti dal protocollo proposto.....	77
8.1.	Definizione della geometria fluviale nel software di modellazione HEC-RAS.....	77
8.2.	Realizzazione del file KMZ	80
9.	Conclusioni	83
	Fonti bibliografiche e sitografia.....	85
	Codici MATLAB.....	87
	Appendice A.....	87
A.1.	.....	87
A.2.	.....	89
A.3.	.....	91
A.4.	.....	98
A.5.	.....	107
A.6.	.....	111
A.7.	.....	127
A.8.	.....	167

Elenco tabelle

Tabella 2.1 - Caratteristiche generali della diga di Penne.....	8
Tabella 5.1 – Tabella attributi: nel primo campo è riportata la numerazione identificativa le sezioni in ordine crescente da monte verso valle, nel secondo campo è trascritto il layer con il quale in passato si identificavano le sezioni e nel terzo campo è trascritta la Quota s.l.m.[m] definita nel modello idraulico storico (scenario di piena per ipotetico collasso).....	45
Tabella 5.2 – Tabella attributi: nel primo campo è riportata la numerazione identificativa le sezioni in ordine crescente da monte verso valle, nel secondo campo è trascritto il layer con il quale in passato si identificavano le sezioni, nel terzo, nel quarto e nel quinto campo sono trascritte le Quote s.l.m.[m] definite nel modello idraulico storico per una portata di 450 m ³ /s, 186 m ³ /s e 138 m ³ /s (scenario di piena per funzionamento scarichi)	46
Tabella 6.1 – Dati di input nel codice MATLAB	48
Tabella 7.1 – Dati di output del modello 1D avente geometria costituita dalla sezione trasversale numero 12 (scenario di piena per ipotetico collasso).....	74
Tabella 7.2 – Dati di output del modello 1D avente geometria costituita dalla sezione trasversale numero 15 (scenario di piena per ipotetico collasso).....	74
Tabella 7.3 – Dati di output del modello 1D avente geometria costituita dalla sezione trasversale numero 48 (scenario di piena per funzionamento scarichi)	74

Elenco figure

Figura 2.1– Principali elementi e grandezze di una diga secondo la vigente normativa italiana	5
Figura 2.2 - Sezione geologica della stretta	6
Figura 2.3 - Elaborato V3 – Sezione tipo, scala 1:200	7
Figura 2.4 - Vista aerea della diga di Penne ottenuta con Google Earth (moltiplicatore elevazione terreno = 3).....	7
Figura 2.5 - Vista aerea della diga di Penne ottenuta con Google Earth (moltiplicatore elevazione terreno = 1).....	8
Figura 2.6 - Ventola automatica scarico di superficie	9
Figura 2.7 - Traversa di Passo Cordone.....	10
Figura 2.8 – Elaborato V2 – Planimetria, scala 1:500	11
Figura 2.9 - Elaborato V2 - Ingrandimento dell'area di interesse nella planimetria della diga, scala 1:500.....	11
Figura 2.10 – Inquadramento territoriale del tratto del fiume Tavo oggetto di studio	12
Figura 2.11 - Elaborato V1 - Bacino imbrifero del fiume Tavo, sotteso dalla diga di Penne, di superficie 184 km ² , scala 1:100000	13
Figura 2.12 – Bacino idrografico del fiume Tavo, in verde scuro, avete superficie complessiva di 304,06 km ² e stazioni idrometriche rappresentate con quadratini rossi	13
Figura 2.13 - Immagini del crollo del ponte sul fiume Tavo	14
Figura 4.1 – Telerilevamento con tecnologia LIDAR in prossimità della diga di Penne (PE).....	22
Figura 5.1 – Schermata software QGIS: planimetrie storiche georeferenziate relative allo scenario di piena per ipotetico collasso.....	25
Figura 5.2 - Schermata software QGIS: planimetrie storiche georeferenziate relative allo scenario di piena per funzionamento scarichi	25
Figura 5.3 - Schermata software QGIS: restituzione tracce delle sezioni e contorni aree allagabili dello scenario di piena per ipotetico collasso.....	26
Figura 5.4 - Schermata software QGIS: restituzione tracce delle sezioni e contorni aree allagabili dello scenario di piena per funzionamento scarichi. Le aree allagabili relative alla Q=450m ³ /s sono in blu, alla Q=186 m ³ /s sono in azzurro e alla Q=138 m ³ /s sono in celeste.....	26
Figura 5.5 – Sovrapposizione della sezione originale con quella raddrizzata (scenario di piena per ipotetico collasso)	29
Figura 5.6 – Sovrapposizione della sezione originale con quella raddrizzata (scenario di piena per funzionamento scarichi).....	30
Figura 5.7 – Immagine binaria ottenuta dal metodo Canny.....	31
Figura 5.8 – Matrice binaria contenente solo lo sviluppo della sezione trasversale processata	32

Figura 5.9 – Matrice binaria con zoom di una piccola parte di essa per la rilevazione del doppio contorno	33
Figura 5.10 – Risultato codice DigitizeAuto	34
Figura 5.11 – Schermata algoritmo digitize2: definizione delle due scale individuate nell’immagine e digitalizzazione dei vertici/ nodi che compongono la sezione trasversale	35
Figura 5.12 – File di testo ottenuto dal salvataggio delle altezze idriche digitalizzate.....	36
Figura 5.13 – File di testo ottenuto dal salvataggio delle sezioni trasversali digitalizzate.....	37
Figura 5.14 - Schermata software Origin: definizione delle due scale individuate nell’immagine e digitalizzazione dei vertici/nodi che compongono la sezione trasversale.....	39
Figura 5.15 – Sezione trasversale numero (fid) 1 (Layer S1) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati	40
Figura 5.16 – Sezione trasversale (fid) 2 (Layer S2) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati	40
Figura 5.17 – Sezione trasversale (fid) 3 (Layer S3) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati	41
Figura 5.18 – Sezione trasversale (fid) 4 (Layer S6) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati	41
Figura 5.19 – Sezione trasversale (fid) 5 (Layer S7 _m) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati	42
Figura 5.20 – Sezione trasversale (fid) 7 (Layer S11 _m) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati	42
Figura 5.21 – Confronto tra i due metodi di digitalizzazione proposti in termini di area bagnata e larghezza in superficie	43
Figura 5.22 - Verifica del metodo di digitalizzazione “digitize3” mediante software “Origin” in termini di area bagnata e la larghezza in superficie	44
Figura 6.1 – Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 12 (Layer S18).....	50
Figura 6.2 – Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 15 (Layer S27).....	51
Figura 6.3 - Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 43 (Layer S16bisA).....	51
Figura 6.4 - Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 46 (Layer S35).....	52
Figura 6.5 – Stralcio della Tavola 10, in cui sono riportate le due sezioni di riferimento (S18 e S27), le cave e miniere attive e la leggenda dei simboli utilizzati	53
Figura 6.6 – Stralcio della Tavola 10, in cui sono riportate le due sezioni di riferimento (S16bisA e S35), le cave e miniere attive e la leggenda dei simboli utilizzato	53
Figura 6.7 - Risultato grafico area bagnata	55
Figura 6.8 – Risultato grafico larghezza in superficie	56
Figura 6.9 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata.....	58

Figura 6.10 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie.....	58
Figura 6.11 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata.....	59
Figura 6.12 - – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie	59
Figura 6.13 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata (Q=138m ³ /s).....	60
Figura 6.14 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata (Q=186m ³ /s).....	60
Figura 6.15 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata (Q=450m ³ /s).....	61
Figura 6.16 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie (Q=138m ³ /s).....	61
Figura 6.17 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie (Q=186m ³ /s).....	62
Figura 6.18 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie (Q=450m ³ /s).....	62
Figura 6.19 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata (Q=138m ³ /s).....	63
Figura 6.20 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata (Q=186m ³ /s).....	63
Figura 6.21 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata (Q=450m ³ /s).....	64
Figura 6.22 – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie (Q=138m ³ /s)...	64
Figura 6.23 – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie (Q=186m ³ /s)...	65
Figura 6.24 – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie (Q=450m ³ /s)...	65
Figura 7.1 – Sezione trasversale numero 12 (Layer S18): proiezione dell'altezza idrica storica e di quella dedotta dal modello idraulico 1D per la sezione aggiornata	75
Figura 7.2- Sezione trasversale numero 15 (Layer S27): proiezione dell'altezza idrica storica e di quella dedotta dal modello idraulico 1D per la sezione aggiornata	76
Figura 7.3 - Sezione trasversale numero 48 (Layer S38): proiezione dell'altezza idrica storica e di quella dedotta dal modello idraulico 1D per la sezione aggiornata	76
Figura 8.1 – File di testo ottenuto delle coordinate plano-altimetriche delle sezioni trasversali storiche.....	79
Figura 8.2 – Schermata Geometric Data: geometria sovrapposizione sezioni trasversali storiche e aggiornate (scenario di piena per ipotetico collasso).....	80
Figura 8.3 – Schermata Google Earth Pro: rappresentazione dei dati vettoriali georiferiti (scenario di piena per funzionamento scarichi)	82
Figura 8.4 – Schermata Google Earth Pro: rappresentazione dei dati vettoriali georiferiti (scenario di piena per ipotetico collasso diga)	82

1. Introduzione

1.1. Quadro generale e normative afferenti

I possibili scenari di propagazione dell'onda di piena, derivanti dall'ipotetico collasso dell'opera di sbarramento e dalle manovre degli scarichi, possono causare ingenti danni nelle aree vallive in funzione dell'entità delle portate coinvolte. Dunque, risulta necessario tutelare i territori a valle dello sbarramento, i quali sono esposti maggiormente a tali calamità, al fine di preservare le vite umane, le loro infrastrutture e attività.

Da un punto di vista legislativo, il pericolo dovuto ad un eventuale funzionamento errato delle opere di scarico o ad un parziale o totale collasso dell'opera di sbarramento non è stato inizialmente riconosciuto. Infatti, nel Regolamento del D.P.R. n. 1363 dell'1/11/1959 "Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta", si dispone esclusivamente la gestione sicura dell'opera di sbarramento e delle opere accessorie, considerando in modo indiretto che l'esistenza della diga non sia la causa di eventuali eventi alluvionali a valle della medesima, ma anzi permette il loro contenimento. Successivamente, è stata realizzata una prima disposizione normativa, la Circolare Min. Int. 20/3/1987, n.13 MI. PC. (87) 7 "Piani di emergenza per incidenti alle dighe di ritenuta di cui al regolamento approvato con D.P.R. n. 1363 dell'1/11/1959", che consente di prendere atto del pericolo sopra citato e quindi di tutelare i territori situati a valle di grandi opere di sbarramento. Infatti, dalla seconda metà degli anni '80, a seguito di eventi dannosi ed incidenti verificatisi in Italia e al di fuori del territorio nazionale, si sono introdotti nuovi interventi normativi che considerano i rischi originati dalle manovre degli scarichi e dall'ipotetico collasso dello sbarramento. La trattazione dei rischi è esposta, in particolare, nelle Circolari Min. LL.PP. 28/8/1986, n. 1125 e 4/12/1987, n.352, e nelle successive Circolari P.C.M. 13/12/1995, n. DSTN/2/22806 e 19/3/1996, n. DSTN/2/7019 in cui è stabilito sia l'installazione di cartelli monitori di tipo unificato, lungo lo sviluppo dell'alveo a valle degli sbarramenti, "segnalanti il pericolo di piene artificiali, anche improvvise, per manovre degli organi di scarico", sia l'introduzione in ogni opera di sbarramento di una sirena funzionante "esclusivamente per manovre di apertura volontaria degli organi di scarico per avvisare dell'arrivo dell'onda di piena le persone eventualmente presenti nell'area immediatamente a valle dello sbarramento e nelle zone dell'alveo adiacenti gli sbocchi degli scarichi". Un aspetto molto importante riguarda l'acquisizione degli studi attinenti le conseguenze, nelle aree a valle della diga, delle manovre eccezionali delle opere di scarico e dell'eventuale crollo dello sbarramento. In aggiunta, deve essere stimata la portata massima scaricabile nei territori di

valle che resti contenuta nella “fascia di pertinenza fluviale”. Gli “scenari degli incidenti probabili” devono rappresentare il fondamento circa la conoscenza e la documentazione per la stesura del “Piano di Emergenza Diga” (PED) da parte delle Autorità di protezione civile, per tutelare le popolazioni e le infrastrutture soggette alle differenti ipotesi di rischio. Inoltre, i Piani di emergenza devono essere compilati dai Prefetti secondo la Circolare P.C.M. 13/12/1995, n. DSTN/2/22806; mentre la Direttiva P.C.M. 8/7/2014 affida questo incarico alle Regioni. La normativa vigente tratta anche della naturale propensione della diga alla laminazione di eventi di piena, mediante la riduzione dei massimi valori raggiunti dalle portate di valle, con conseguente attenuazione del rischio idraulico e messa in sicurezza dei territori vallivi. Il Concessionario/Gestore deve gestire le attività per fronteggiare l'emergenza mediante una pianificazione riportata nel “Documento di protezione civile”, ricomposto dalla più recente Direttiva P.C.M. 8/7/2014. Quest'ultima Direttiva consente di aggiornare e integrare le procedure e i “Piani di Emergenza Dighe” (PED) per la messa in sicurezza delle dighe e dei territori vallivi soggetti a un maggiore rischio idraulico. Dunque, i PED sono documenti per grandi invasi utili per la gestione programmata e sicura di differenti circostanze di rischio derivanti dalla presenza di un'opera di sbarramento nel territorio, mediante la definizione di scenari relativi alle aree allagabili per collasso dello sbarramento o per manovre degli scarichi. Questi piani di emergenza consentono di definire un quadro operativo e un modello d'intervento finalizzato a allertare, prevenire, gestire l'emergenza e ad assistere la popolazione.

La normativa vigente, attuata dal Concessionario/Gestore dello sbarramento, riguarda sia le “grandi dighe” (altezza diga maggiore o uguale a 15 m o volume di invaso maggiore o uguale a 1 milione di m³) di competenza dello Stato, sia le “piccole dighe” di competenza delle Regioni aventi altezza maggiore di 10 m o che realizzano un invaso superiore a 100000 m³.

1.2. Obiettivo

La definizione degli scenari di probabile allagamento derivanti dalla propagazione delle onde di piena dovute all'ipotetico collasso diga e al funzionamento degli organi di scarico, sono di notevole importanza per la realizzazione di strategie operative alla base di un piano di difesa idraulica atto a tutelare le aree vallive. Infatti, le Autorità di protezione civile dispongono di molti studi idraulici passati, nei quali vengono mappate le aree allagabili, come fondamento conoscitivo e documentale per la stesura dei “Piani di Emergenza Dighe” (PED).

Questi studi sono però stati realizzati in molti casi mediante supporti topografici di minore qualità e da metodi di analisi superati. In aggiunta, il territorio in cui si sviluppa il fiume è soggetto nel corso degli anni a cambiamenti morfologici.

Per queste ragioni, lo scopo di questa tesi è quello di introdurre un protocollo di analisi per il supporto ai PED attraverso il quale si possano validare gli studi idraulici passati, evitando la realizzazione di un progetto ex novo di costi elevati e quindi di nuove simulazioni idrauliche. La validazione dei risultati ottenuti dalle indagini passate, è realizzata mediante nuove informazioni topografiche relative al più recente supporto digitalizzato “Digital Terrain Model” (DTM). Queste informazioni sono gestite con procedure informatiche che consentono di vettorializzare ed elaborare i dati storici e aggiornati. La procedura proposta permette di valutare l’applicabilità del modello idraulico storico al territorio definito con dati aggiornati, attraverso un’analisi di congruenza di tipo geometrico e successivamente di tipo idraulico. Quindi dopo aver digitalizzato le sezioni trasversali storiche si calcolano, a parità di altezza idrica, le differenze con le sezioni attualizzate in termini di area bagnata e di larghezza in superficie.

Il lavoro di tesi è suddiviso in sette capitoli, che espongono la metodologia applicata ai documenti forniti dall’ente gestore della diga di Penne in provincia di Pescara e l’eventuale uso dei dati storici e aggiornati.

Nel secondo capitolo si introduce il caso oggetto di studio costituito dalla diga di Penne e dal fiume Tavo a valle di quest’ultima. Quindi si definiscono sia le caratteristiche dei materiali del corpo diga e dei terreni di fondazione, sia le opere idrauliche facenti parte dell’opera di sbarramento. In aggiunta, è riportato l’inquadramento territoriale del fiume Tavo e le sue caratteristiche morfologiche. In fine si cita un evento di piena storico per evidenziare le vulnerabilità che incidono in questa zona.

Il terzo capitolo tratta dei due scenari idraulici di studio acquisiti da indagini passate condotte in tempi diversi e relativi alla propagazione dell’onda di piena a valle della diga.

Nel quarto capitolo si descrive la procedura proposta per lo sviluppo di un protocollo di analisi che permetta la validazione dei risultati ottenuti da modelli idraulici realizzati in passato. Successivamente, si introduce il supporto topografico aggiornato DTM e si specificano i software utilizzati operanti in tutte le fasi del lavoro.

Nel quinto e sesto capitolo si entra nello specifico della procedura e si definiscono i diversi livelli della metodologia applicata. Innanzitutto, si procede con software QGIS alla georeferenziazione delle planimetrie storiche e alla restituzione in formato digitale delle tracce delle sezioni e dei contorni delle aree allagabili. I passaggi successivi consistono, sia nella trattazione dei metodi proposti per la vettorializzazione delle sezioni trasversali e delle altezze idriche contenute nelle tavole storiche raddrizzate, sia nella scelta e verifica di un metodo di digitalizzazione. Successivamente, si opera ancora nel software QGIS per importare le altezze idriche digitalizzate nella tabella attributi delle tracce delle sezioni e per estrarre le sezioni trasversali dal DTM. I dati vettoriali ottenuti ai punti precedenti sono processati nel software MATLAB per il confronto di tipo geometrico e in seguito per l’elaborazione dei dati mediante calcolo

dell'area bagnata e della larghezza in superficie. Alla fine del sesto capitolo si confrontano i risultati ottenuti per le sezioni trasversali storiche e per quelle aggiornate.

Il settimo capitolo espone un modello idraulico monodimensionale semplificato che permetta di valutare in modo speditivo, per le sezioni trasversali aggiornate che presentano la minore congruenza geometrica ed idraulica, la variazione dell'altezza idrica a parità di portata previa calibrazione del modello.

I risultati e i dati vettoriali georiferiti conseguiti nel quinto capitolo, possono essere importati nel software di modellazione idraulica HEC-RAS, oppure possono essere utilizzati per la creazione di un file KMZ, visualizzabile ad esempio attraverso Google Earth. Quindi, nell'ultimo capitolo sono illustrate le possibilità di utilizzo dei dati storici e dei dati aggiornati.

2. Descrizione del caso di studio

Nel presente capitolo è descritta l'area di studio soggetta ad analisi comprensiva dell'opera di sbarramento e del fiume Tavo che alimenta la diga e che si estende a valle di quest'ultima. Pertanto, si definiscono sia i terreni facenti parte della fondazione-corpo diga e le opere idrauliche dello sbarramento, sia l'inquadramento territoriale, le caratteristiche morfologiche e il bacino idrografico del fiume Tavo.

2.1. Opera di sbarramento: diga di Penne (Pescara)

La diga di Penne è situata in località Collalto nel comune di Penne (PE) ed è posta subito a valle della confluenza del Torrente Gallero nel fiume Tavo. Quest'opera di sbarramento, compiuta tra il 1962 e il 1969, è alimentata dal fiume Tavo.

Lo scopo della realizzazione della Diga di Penne è la creazione di un serbatoio artificiale di circa 9 milioni di m³ alla quota massima di ritenuta di 256 m s.l.m., quota della soglia sfiorante, per l'alimentazione irrigua dei terreni della valle dei fiumi Tavo e Saline¹.

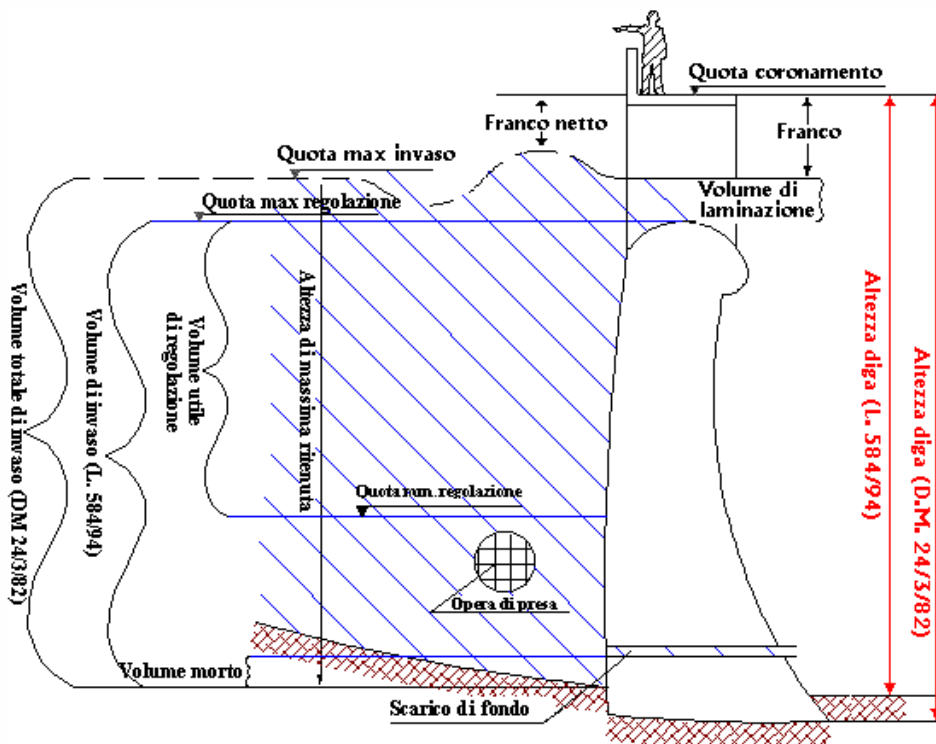


Figura 2.1– Principali elementi e grandezze di una diga secondo la vigente normativa italiana²

¹ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 86.

² Ing. Ghinami Luigi A., «Normativa su dighe e traverse», <https://www.dighe.eu/normativa.htm>.

2.1.1. Definizione dei terreni di fondazione e del corpo diga

La descrizione dei materiali costituenti l'opera di sbarramento e il terreno su cui essa è realizzata, sono espressi nel dettaglio nel rapporto "Ricerca Sistema Energetico" (RSE)³.

Il terreno di fondazione dell'opera di sbarramento è formato, lungo il suo sviluppo in altezza, da quattro strati: marna sabbiosa, bancata di arenaria avente spessore di circa 10 m, marna sabbiosa di spessore da 6 a 10 m e infine uno strato formato da un deposito alluvionale di spessore variabile sino a 16 m. Sotto il nucleo sono state realizzate, durante la fase di costruzione, delle iniezioni di impermeabilizzazione per chiudere eventuali fratture in fondazione.

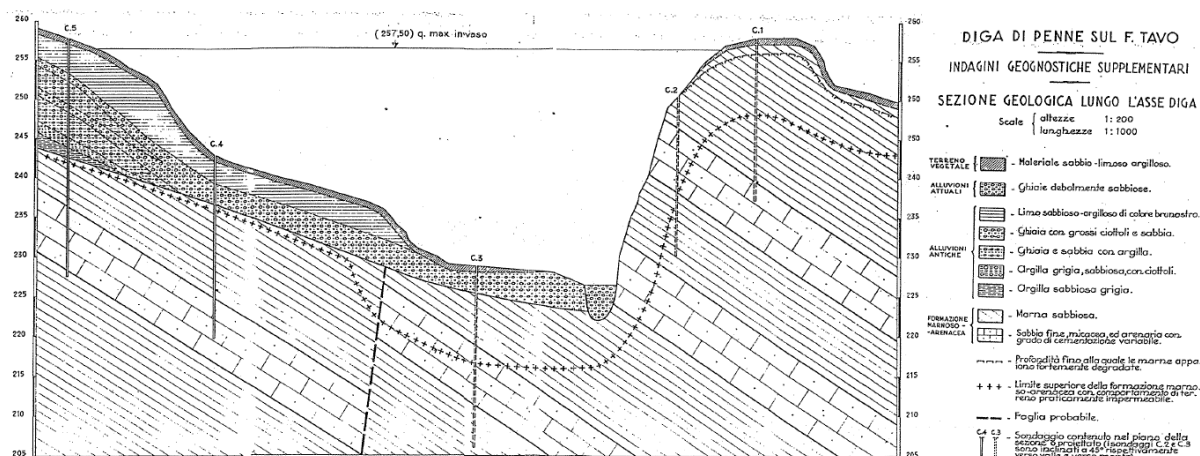


Figura 2.2 - Sezione geologica della stretta⁴

L'opera di sbarramento è realizzata in terra, di tipo zonato, avente nucleo centrale impermeabile costituito da terre sabbio-limo-argillose e contronuclei permeabili formati da alluvioni ghiaio-sabbiose derivanti dall'alveo del fiume Tavo (Figura 2.3). Il nucleo centrale presenta una forma trapezia costituita da una sommità larga di 3 m e da lati inclinati di 5/1. Tra il nucleo e il contronucleo di valle c'è un filtro, formato da uno strato di sabbia, uno di ghiaietto e uno di ghiaia, collegato con un dreno trasversale e longitudinale alla cabina di misura allocata in corrispondenza dell'unghia di valle. In aggiunta, c'è la presenza di un filtro, formato da ghiaietto e ghiaia, situato tra il contronucleo di valle e il proprio piano di imposta avente la funzione di collegamento orizzontale con la scogliera di pietrame dell'unghia di valle. Il paramento di monte presenta delle lastre in calcestruzzo debolmente armate, di spessore 20 cm, per la protezione dalle azioni generate dal moto ondoso, mentre il paramento di valle è protetto dall'erosione causata dalle acque meteoriche attraverso un rivestimento realizzato da manto erboso e un sistema di canalizzazioni atte a raccogliere e a allontanare le acque. Il paramento di monte presenta una doppia pendenza, di 1/2 dalla quota di coronamento fino a 245.5 m

³ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 89-90.

⁴ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 90.

s.l.m. e di 1/2.5 da questa ultima quota fino a 231.5 m s.l.m, quota della testa dell'unghia di monte. Il parametro di valle, interrotto da due banchine poste a quote diverse, è caratterizzato da tre pendenze, 1/1.5 in sommità, 1/1.75 al centro e 1/2 al fondo.

Per realizzare un saldo immersionamento delle strutture soprastanti il terreno di fondazione, il nucleo è incassato per almeno due metri nella formazione marmoso-arenacea di base. Inoltre, sotto il taglione sono state fatte delle iniezioni con miscele di acqua e cemento e/o silicati per l'impermeabilizzazione.

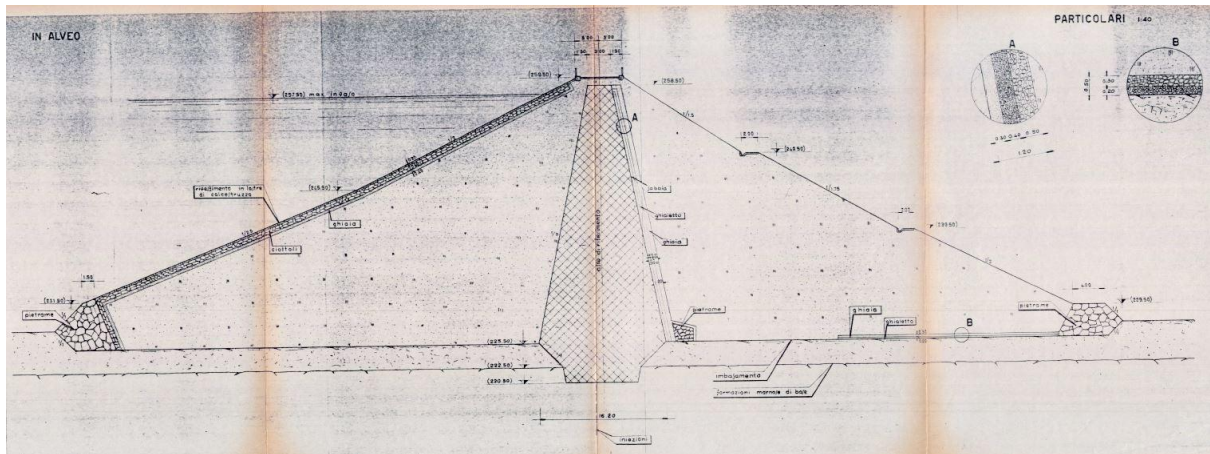


Figura 2.3 - Elaborato V3 – Sezione tipo, scala 1:200⁵



Figura 2.4 - Vista aerea della diga di Penne ottenuta con Google Earth (moltiplicatore elevazione terreno = 3)

⁵ Remedina Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Indagine sulla propagazione dell'onda di piena a seguito di ipotetico collasso dello sbarramento di Penne sul fiume Tavo», 1993.



Figura 2.5 - Vista aerea della diga di Penne ottenuta con Google Earth (moltiplicatore elevazione terreno = 1)

Nella tabella sottostante, sono riassunte le caratteristiche principali dell'opera di sbarramento.

Tabella 2.1 - Caratteristiche generali della diga di Penne⁶

NOTIZIE GENERALI	
Concessionario	Consorzio della Bonifica Vestina
Gestore	Consorzio della Bonifica Vestina
Utilizzazione del serbatoio	Regolazione annuale delle portate del fiume Tavo per usi irrigui
Bacino principale	Fiumi Tavo-Saline
Corso d'acqua	Fiume Tavo (affluente del fiume Saline)
Periodo di costruzione	1962-1966
Coordinate (rispetto al meridiano di Roma Monte Mario) della linea mediana del coronamento	Punto centrale at:42°26'19" Long:1°27'29"
DATI PRINCIPALI DELL'OPERA DI SBARRAMENTO	
Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.1982)	34.00 m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/1994)	35.70 m
Altezza di massima ritenuta	32.00 m
Quota di coronamento	259.50 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	438.00 m
Larghezza del coronamento	6 m
Franco (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.1982)	2.00 m
Franco netto (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.1982)	1.54 m
Volume della diga	520 000 m ³
Classifica ai sensi del D.M. 24.03.1982	Diga in terra, zonata, con nucleo di terra per la tenuta (Bb)
Portata delle opere di scarico (con livello nel serbatoio alla quota 257.50 m.s.m.):	
- Scarico di superficie	312.00 m ³ /s
- Scarico di fondo	138.00 m ³ /s
DATI PRINCIPALI DEL SERBATOIO	
Quota di massimo invaso	257.50 m s.l.m.
Quota massima di regolazione	256.00 m s.l.m.
Quota minima di regolazione	231.00 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido:	
- alla quota di massimo invaso	0.85 km ²
- alla quota massima di regolazione	0.80 km ²
- alla quota minima di regolazione	0.30 km ²
Capacità di invaso di progetto:	
- volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.1982)	10.44×10 ⁶ m ³
- volume totale di invaso (ai sensi della L. 584/1994)	9.20×10 ⁶ m ³
- volume utile di regolazione	8.80×10 ⁶ m ³
- volume di laminazione	1.24×10 ⁶ m ³
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	184.00 km ²
Portata di massima piena di progetto	450 m ³ /s
Tempo di svuotamento	23 ore

⁶ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 92.

2.1.2. Opere di scarico e di presa

Le opere idrauliche, facenti parti della diga di Penne, sono state trattate nel rapporto RSE⁷ da cui se ne traggono le informazioni principali di seguito esposte.

Lo *scarico di superficie* è formato da due tipologie di soglie sfioranti, entrambe situate in sponda sinistra, poste in direzione quasi parallela e normale al coronamento: una soglia fissa, costituita da una lunghezza di 10 m e un ciglio a quota 254 m s.l.m., controllata da una paratoia a ventola che funziona in modo automatico (Figura 2.6) e che permette di avere la quota di massima regolazione di 256 m s.l.m.; e un'adiacente soglia libera costituita da una lunghezza di 52 m e ciglio a quota 256 m s.l.m.

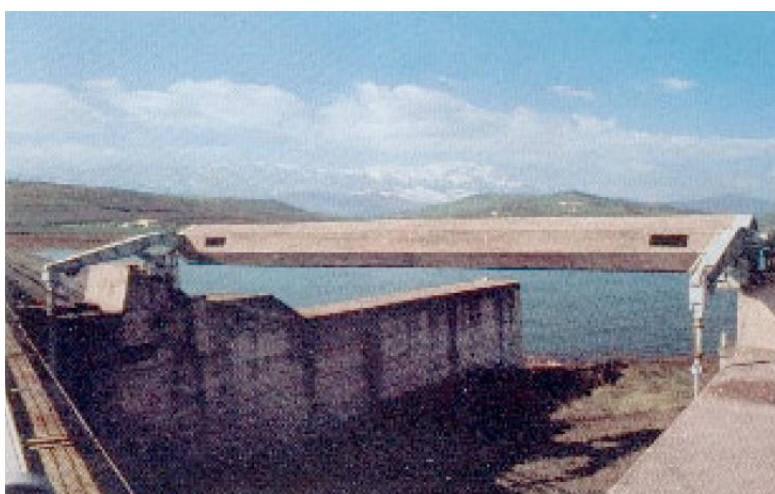


Figura 2.6 - Ventola automatica scarico di superficie⁸

Inoltre, l'acqua che sfiora dalla soglia libera fluisce, attraverso un tratto a debole pendenza, in un canale di scarico, lungo 165 m e largo 22 m, posizionato sul terreno e caratterizzato da uno scivolo a forte pendenza (21 % circa). A valle dello scivolo è posizionata una vasca di dissipazione di lunghezza 45.5 m e larghezza 32 m, dove la corrente dissipa l'energia posseduta per poi ritornare nel fiume Tavo.

Lo *scarico di fondo*, situato in sponda sinistra nello sperone di roccia, è formato da una galleria a sezione circolare di lunghezza 274 m e diametro 3.6 m. La galleria presenta una pendenza dell'1% e all'altezza della camera delle valvole è intercettata da due paratoie piane a strisciamento. Attraverso un pozzo circolare e cunicolo di collegamento sul fondo è possibile accedere alla camera di manovra delle paratoie. La soglia di imbocco dello scarico è posta a

⁷ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 92-95.

⁸ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 93.

quota 228.5 m s.l.m., invece la parte finale relativa all'opera di sbocco è posto a quota 221.5 m s.l.m.

L'opera di presa è stata realizzata attraverso una galleria a sezione circolare di 70 m di lunghezza e diametro interno di 1.6 m. L'imbocco dell'opera di presa è situato in sponda sinistra, a quota 231 m s.l.m., mentre lo sbocco è realizzato in galleria dello scarico di fondo, a valle delle paratoie di chiusura. L'opera di presa dispone sia di un organo di chiusura e regolazione realizzato da due paratoie metalliche piane a strisciamento, sia di un pozzo di accesso alla camera di manovra dello scarico di fondo. Le acque restituite dall'opera di presa, a valle della diga, sono captate da una traversa sul fiume (Figura 2.7), in località Passo Cordone di Loreto, e successivamente incanalate nelle condotte irrigue per la distribuzione in un'area di 2850 ha. Le condotte, aventi diametro variabile da 1.2 m a 0.125 m, sono realizzate in cemento armato, cemento armato precompresso e cemento amianto. Per trasportare le acque in zone che presentano quote maggiori rispetto alla diga, è stato costruito un impianto di sollevamento.



Figura 2.7 - Traversa di Passo Cordone⁹

Le opere idrauliche che costituiscono la diga, sono state rappresentate nella tavola storica realizzata dal professore Remedea negli anni '90 (Figura 2.8) ed è possibile vederle con maggior dettaglio dopo un ingrandimento dell'area interessata (Figura 2.9).

⁹ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 95.

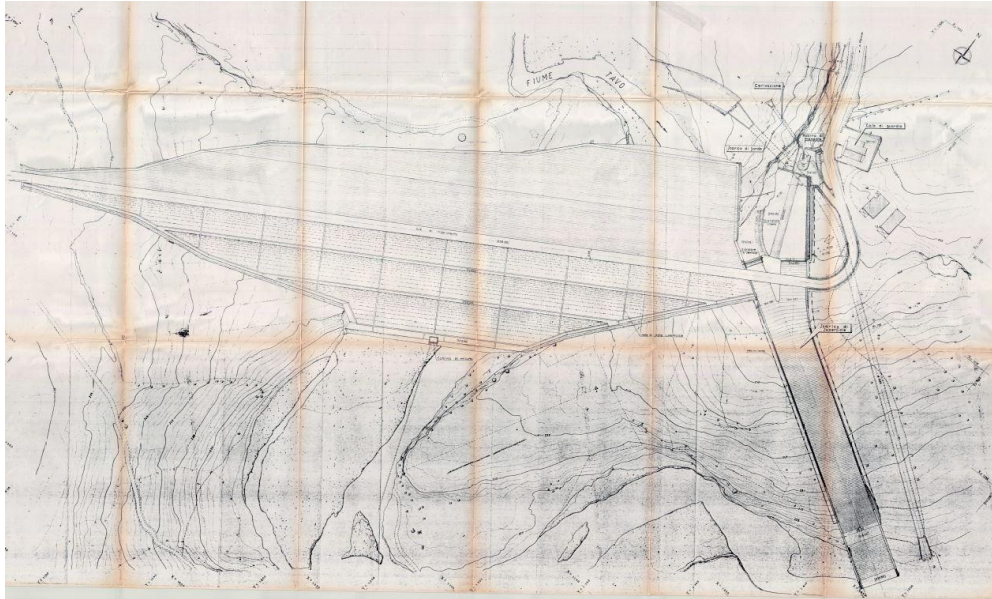


Figura 2.8 – Elaborato V2 – Planimetria, scala 1:500¹⁰

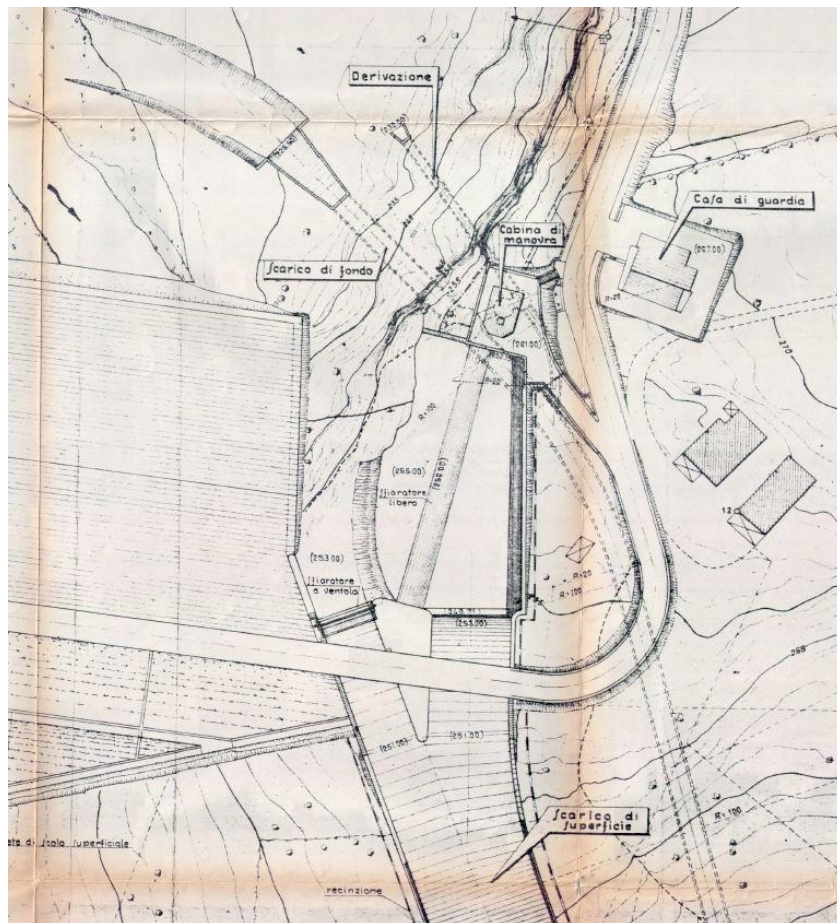


Figura 2.9 - Elaborato V2 - Ingrandimento dell'area di interesse nella planimetria della diga, scala 1:500¹¹

¹⁰ Remedea Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Indagine sulla propagazione dell'onda di piena a seguito di ipotetico collasso dello sbarramento di Penne sul fiume Tavo», 1993.

¹¹ Remedea Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Indagine sulla propagazione dell'onda di piena a seguito di ipotetico collasso dello sbarramento di Penne sul fiume Tavo», 1993.

2.2. Fiume Tavo

2.2.1. Inquadramento territoriale e caratteristiche morfologiche

Il fiume Tavo nasce nel versante orientale del Gran Sasso, a 1560 m s.l.m., vicino al monte Guardiola ed è alimentato dalle sorgenti Vitella d'Oro e Mortaio d'Angri. Il corso fluviale, avente lunghezza complessiva di 42 km, si sviluppa verso valle fino alla confluenza con il fiume Fino per originare alla fine il fiume Saline, il quale si dirige in località di Montesilvano Marina, a nord di Pescara, per poi sfociare nel mare Adriatico.

L'evoluzione del fiume Tavo, a valle della diga di Penne, avviene dentro una valle stretta generata nelle formazioni marnoso – arenacee che caratterizzano sia le sponde che l'alveo. La morfologia del corso d'acqua resta la medesima sino al Ponte S. Pellegrino, il quale è situato a 4.67 km dall'invaso. Andando verso valle l'alveo si allarga progressivamente e presenta delle ampie aree golenali che assumono un'estensione sempre più significativa¹².

Il tratto del fiume Tavo soggetto ad analisi, in questo lavoro di tesi, si sviluppa dalla diga di Penne fino alla confluenza con il fiume Fino per una lunghezza di circa 26 km, rispettando le indicazioni riportate nella Circolare M. LL.PP. 28/08/1986, N. 1125: “La lunghezza del tratto da indagare sarà dell'ordine di 20 Km a meno che questo non confluisca prima in mare, lago o corso d'acqua di grande capacità o portata”.

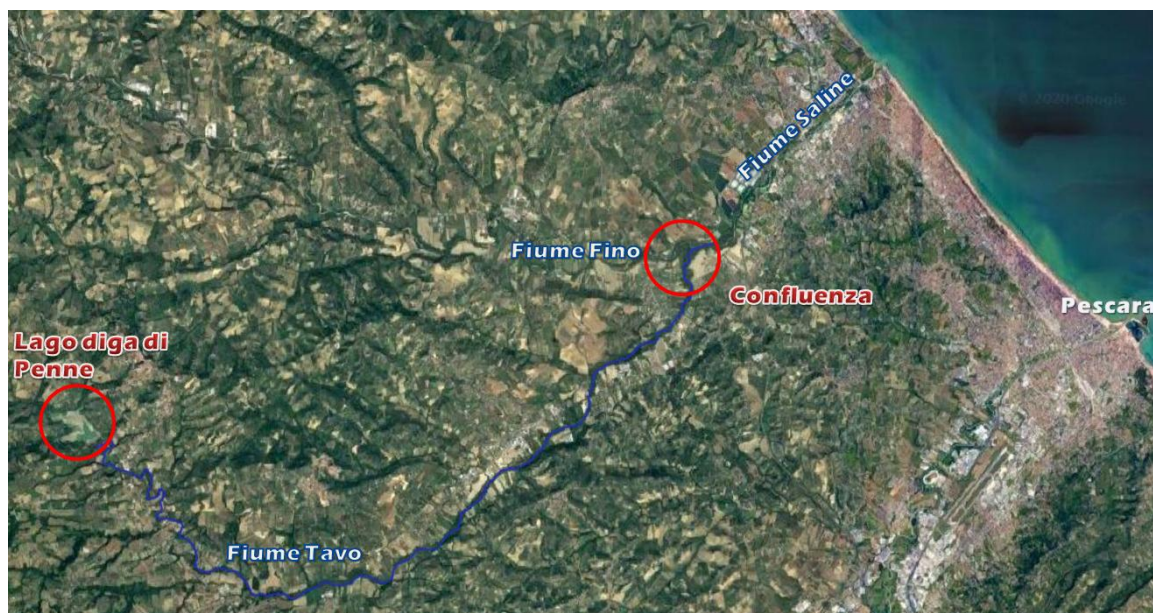


Figura 2.10 – Inquadramento territoriale del tratto del fiume Tavo oggetto di studio

¹² Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 86.

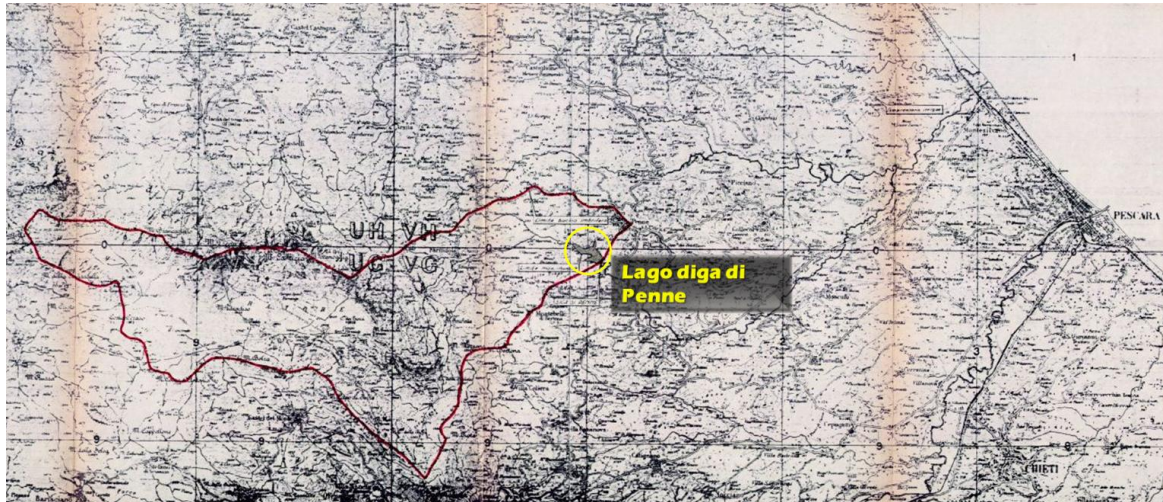


Figura 2.11 - Elaborato VI - Bacino imbrifero del fiume Tavo, sotteso dalla diga di Penne, di superficie 184 km², scala 1:100000¹³

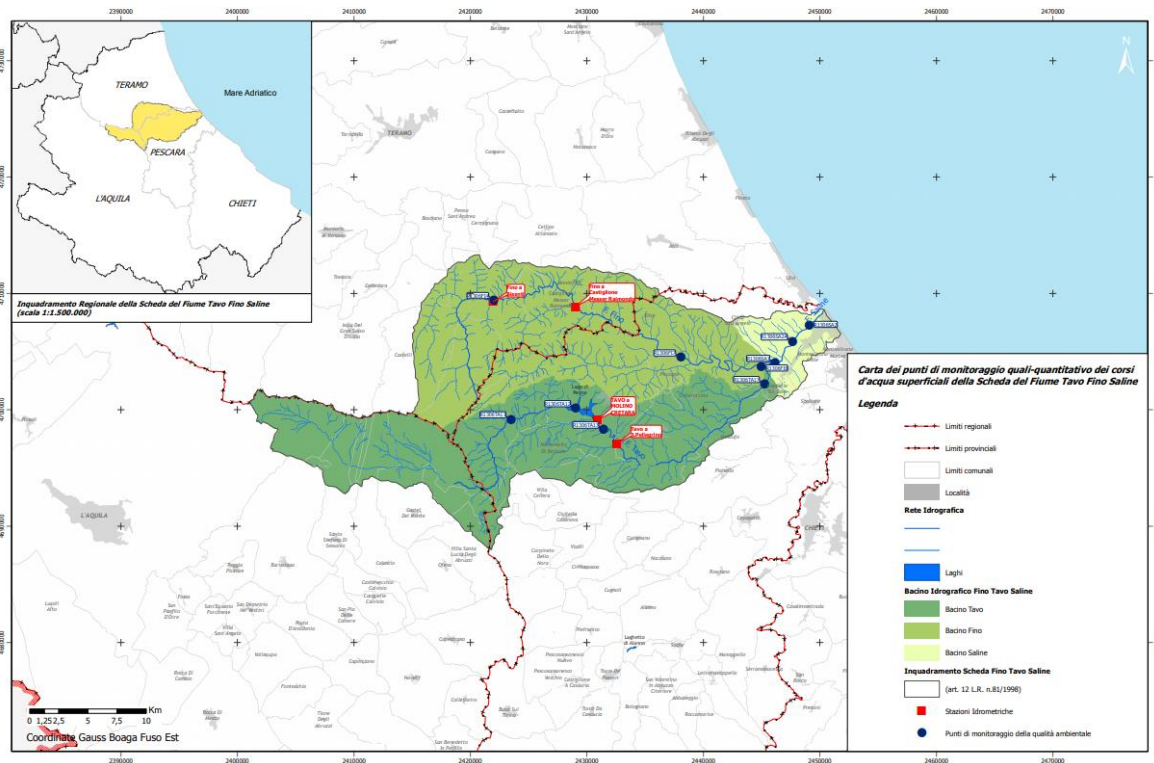


Figura 2.12 – Bacino idrografico del fiume Tavo, in verde scuro, avete superficie complessiva di 304,06 km² e stazioni idrometriche rappresentate con quadratini rossi¹⁴

¹³ Remedia Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Indagine sulla propagazione dell'onda di piena a seguito di ipotetico collasso dello sbarramento di Penne sul fiume Tavo», 1993.

¹⁴ Regione Abruzzo, «Schede Monografiche Bacino del Fiume Fino-Tavo-Saline – Allegato 7: Carta dei punti di monitoraggio quali-quantitativo dei corsi d'acqua superficiali della Scheda del Fiume Fino-Tavo-Saline», 3 Aprile 2006,

<http://www.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/docs/schedeMonograf/Allegati%20Fino-Tavo-Saline/Allegato%207.pdf>.

2.3. Evento di piena significativo del 1992

Un evento storico di rilevante importanza, citato nel rapporto RSE¹⁵, ha riguardato la violenta alluvione che colpì i territori abruzzesi e marchigiani tra il 9 e l'11 aprile del 1992. Questo evento ha evidenziato le vulnerabilità del territorio abruzzese, infatti nel pescarese ci fu il crollo del ponte sul fiume Tavo lungo la SS 151 in prossimità della frazione di Castelluccio nel comune di Collecervino e della frazione di Bivio Casone nel comune di Moscufo. La piena durò circa due giorni e venne causata da piogge molto intense che provocarono ingenti danni, come strade allagate o franate. L'alluvione fu talmente violenta da causare diverse vittime dovute al crollo della campata centrale del ponte sul Tavo e quindi alla caduta in acqua di 40 m di strada. Durante questi due giorni, ma specialmente il 10 aprile del 1992, venne registrata alla diga di Penne una quota di invaso di 256.62 m s.l.m., valore massimo di quell'anno. Sempre lo stesso giorno si rilevò una portata del fiume Tavo di circa 5000 l/s, mentre nella stazione pluviometrica venne osservato il più alto valore di altezza d'acqua di quell'anno, pari a 181.4 mm.



Figura 2.13 - Immagini del crollo del ponte sul fiume Tavo¹⁶

¹⁵ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 98-99.

¹⁶ Faggiani Giorgia et al., «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012, p. 99.

3. Scenari idraulici valutati

Una volta definito il tratto del corso d'acqua soggetto ad analisi, si introducono i due scenari idraulici di studio trattati in questa tesi e derivanti dagli studi idraulici realizzati negli anni '90, di cui si dispongono un gran numero di documenti. Il primo scenario idraulico di studio¹⁷ riguarda la propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento per ipotetico collasso diga. Il secondo scenario idraulico di studio¹⁸ interessa le onde di piena a valle dello sbarramento dovute alle manovre degli organi di scarico. In aggiunta, questi scenari di piena presentano due configurazioni geometriche differenti, infatti per il primo risalente al 1993 sono state studiate 16 sezioni, mentre per il secondo del 1996 il numero di sezioni è notevolmente maggiore e raggiunge le 44 sezioni.

Gli studi idraulici acquisiti dal "Consorzio di Bonifica Centro" gestore della diga di Penne, sono stati condotti dal prof. Ing. Remedia e dal prof. ing. Leopardi per poter determinare le aree potenzialmente allagabili a valle della diga di Penne. Le informazioni di seguito esposte sono ottenute dalla relazione tecnica¹⁹.

Nella fase preliminare dell'indagine storica, si sono definite le caratteristiche geometriche sia dell'area comprensiva l'alveo ordinario e la valle di inondazione del fiume Tavo, sia delle opere d'arte realizzate lungo il suo sviluppo, attraverso un rilievo aerofotogrammetrico e una serie di rilievi topografici realizzati dal "Consorzio della Bonifica Vestina".

Note le caratteristiche del territorio analizzato, per il quale si è assunto il coefficiente di Manning "n" pari a 0.045 (alveo in presenza di alluvioni e con sponde vegetate), è stato condotto lo studio della propagazione delle onde di piena mediante il codice di calcolo DAMBRK²⁰ sviluppato dal "U.S. National Weather Service", nell'ipotesi cautelativa di alveo non soggetto ad alcun intervento di manutenzione. Inoltre, lo studio della propagazione dell'onda di piena, in moto vario gradualmente variato, è stato conseguito mediante l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant che esprimono il principio di conservazione della massa e della quantità di moto. Il sistema di equazioni differenziali non lineari alle derivate parziali di De Saint Venant è stato risolto attraverso metodo numerico alle differenze finite.

¹⁷ Remedia Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Indagine sulla propagazione dell'onda di piena a seguito di ipotetico collasso dello sbarramento di Penne sul fiume Tavo», 1993.

¹⁸ Remedia Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Caratteristiche delle onde di piena a seguito di funzionamento degli organi di scarico della diga di Penne», 1996.

¹⁹ Remedia Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Relazione - Caratteristiche delle onde di piena a seguito di funzionamento degli organi di scarico della diga di Penne», 1996.

²⁰ Fread Danny L., «DAMBRK: the NWS Dam-Break Flood Forecasting Model», National Weather Service, Office of Hydrology, Silver Spring, Maryland, 1984.

A causa della limitata capacità computazionale del modello DAMBRK, lo sviluppo fluviale è stato suddiviso in 8 differenti tronchi aventi ciascuno come condizioni al contorno le onde di piena in ingresso a monte e le scale di deflusso a valle.

I risultati delle simulazioni idrauliche, riguardanti i massimi livelli di piena generati da differenti entità di portata nelle sezioni di calcolo, costituiscono un supporto importante per la definizione di un nuovo quadro di rischio allagamento desunto dalla topografia aggiornata del corso fluviale.

3.1. Propagazione dell'onda di piena dovuto all'ipotetico collasso diga

Nella relazione²¹ si evince come la dinamica evolutiva della formazione della breccia, riguardante il fenomeno del sormonto e del sifonamento, dipende in modo considerevole dalle caratteristiche fisiche e geotecniche dei materiali costituenti la diga di Penne.

I dati messi a disposizione dal “Consorzio della Bonifica Vestina” sono stati elaborati per ottenere le informazioni utili per l'applicazione del codice di calcolo BREACH²², il quale consente di realizzare la simulazione del collasso di una diga in terra, di prevedere l'evoluzione nel tempo della breccia e l'idrogramma relativo alle portate in uscita.

Le diverse indagini condotte in laboratorio e in sito hanno permesso sia di determinare gli indici delle caratteristiche fisiche, idrauliche e meccaniche dei materiali che costituiscono l'opera di sbarramento, sia di riprodurre le condizioni di esercizio gravose del manufatto. Le grandezze geotecniche e fisiche sono state introdotte nel modello BREACH come dati di input per la determinazione dei caratteri delle onde di piena dovute all'ipotetico collasso dello sbarramento.

3.1.1. Documenti acquisiti

- Tavola relativa alla corografia dell'invaso, in cui è tracciato il bacino idrografico del fiume Tavo sotteso dalla diga di Penne, scala 1:100000 (elaborato V1);
- Tavola planimetrica dell'opera di sbarramento, scala 1:500 (elaborato V2);
- Tavola contenente il profilo in asse e la sezione tipo del corpo diga, scala 1:500 e 1:200 (elaborato V3);

²¹ Remedina Gianrenzo e Leopardi Maurizio, «Propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento - caratteristica dei materiali della diga», 1993.

²² Fread Danny L., «BREACH: An Erosion Model for Earthen Dam Failures», National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland, 1988 (revised 1991).

- Tavola planimetrica della valle del fiume Tavo, contenente la delimitazione delle aree potenzialmente esondabile nel caso di ipotetico collasso dell'opera di sbarramento per sifonamento o per sormonto, scala 1:4000 (elaborati V4);
- Tavola contenente il rilievo delle opere d'arte insistenti lungo lo sviluppo del fiume Tavo oggetto di studio, scala 1:200 e 1:100 (elaborato V5);
- Tavole riguardanti le sezioni trasversali ottenute dal rilievo topografico, scala 1:200 e 1:2000 (elaborato V6);
- Tavola rappresentanti il profilo dei colmi di piena, scala 1:1000 e 1:10000 (elaborato V7);
- Relazione "Propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento - caratteristica dei materiali della diga";
- Elaborato "Propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento - dati di input";
- "Appendice A – Onda di piena generata da collasso della diga per sifonamento", output del software DAMBRK;
- "Appendice B - Onda di piena generata da collasso della diga per sormonto", output del software DAMBRK;
- "Appendice C – Propagazione dell'onda di piena generata da collasso della diga per sifonamento", output del software DAMBRK riguardante le differenti sezioni di studio in termini di massimo livello raggiunto, massima portata e massima velocità.

3.2. Onde di piena dovute alle manovre degli organi di scarico

Per poter condurre le elaborazioni realizzate con il modello di calcolo DAMBRK, è stato necessario conoscere sia la portata di picco, sia l'onda di piena complessiva degli organi di scarico e di sfioro.

L'idrogramma di piena è definito da tre distinti andamenti: nel primo si ha il passaggio della portata dal valore minimo di $5 \text{ m}^3/\text{s}$ al valore massimo, nel tempo di manovra da completa chiusura a completa apertura di 0.5 ore; nel secondo il valore massimo della portata raggiunta resta costante per la durata di 5 ore; nel terzo la portata dal valore massimo ritorna al valore minimo di $5 \text{ m}^3/\text{s}$, sempre in 0.5 ore.

Le caratteristiche idrauliche relative alle onde di piena generate dalle manovre degli organi di scarico sono:

- a) SCARICO DI FONDO – LIVELLO IDRICO NELL'INVASO 256 m s.l.m.
- tempo di salita 0.5 ore
 - tempo di discesa 0.5 ore

- portata minima 5 m³/s
- portata massima 138 m³/s
- durata complessiva dell'evento 6 ore

b) SCARICO DI FONDO E SCARICO DI SUPERFICIE – LIVELLO IDRICO NELL'INVASO
256 m s.l.m.

- tempo di salita 0.5 ore
- tempo di discesa 0.5 ore
- portata minima 5 m³/s
- portata massima 186 m³/s
- durata complessiva dell'evento 6 ore

c) SCARICO DI FONDO E SCARICO DI SUPERFICIE – LIVELLO IDRICO DELL'INVASO
257.5 m s.l.m.

- tempo di salita 0.5 ore
- tempo di discesa 0.5 ore
- portata minima 5 m³/s
- portata massima 450 m³/s
- durata complessiva dell'evento 6 ore

Secondo quanto riportato nella relazione tecnica, per poter determinare le scale di deflusso (condizioni al contorno a valle) sono stati utilizzati criteri diversi per i tronchi o gruppo di tronchi costituenti lo sviluppo fluviale. Quindi per tutti i tronchi che terminano con alte briglie è stato ipotizzato il flusso delle portate sulle opere d'arte in condizioni critiche.

3.2.1. Documenti acquisiti

- “Relazione - Caratteristiche delle onde di piena a seguito di funzionamento degli organi di scarico della diga di Penne”, in cui viene descritto lo studio idraulico realizzato con il modello di calcolo DAMBRK;
- N. 15 tavole planimetriche contenenti le delimitazioni delle aree potenzialmente esondabili nel caso di funzionamento degli organi di scarico, scala 1:2000;
- N. 47 tavole contenenti le sezioni trasversali ottenute dal rilievo topografico utilizzate nello studio idraulico comprese le eventuali opere d'arte presenti (ponti e traverse), scala 1:500/1:50;

- “Tabulati di calcolo – Caratteristiche delle onde di piena a seguito di funzionamento degli organi di scarico della diga di Penne”, output del software DAMBRK per le varie sezioni di studio in termini di massimo livello raggiunto, massima portata e massima velocità.

4. Sviluppo di un protocollo di analisi

Nel quarto capitolo è introdotto il riassunto della procedura, atto ad esplicitare il contenuto del protocollo di analisi utilizzato. I paragrafi successivi espongono sia il supporto topografico aggiornato, “Digital Terrain Model” (DTM), mediante il quale si verifica la validità dei risultati derivanti da indagini passate, sia i software che operano nei vari livelli della procedura.

4.1. Descrizione della procedura

La metodologia proposta in questa tesi, si articola in diversi punti finalizzati alla definizione di un protocollo di analisi che consenta di validare i risultati degli studi realizzati in passato, riguardanti entrambi gli scenari idraulici relativi alla propagazione delle onde di piena a valle dell’opera di sbarramento.

La prima fase della procedura riguarda il trattamento dei dati cartacei. In primis, si acquisiscono tutti i documenti scannerizzati delle indagini realizzate negli anni '90 relativi alle tavole contenenti le sezioni trasversali e alle planimetrie a valle dello sbarramento. La prima operazione si svolge in ambiente “Geographic Information Systems” (GIS) e prevede la georeferenziazione delle planimetrie storiche, introducendo la loro dislocazione geografica in uno specifico Sistema di Riferimento geodetico (WGS 84/UTM zone 33N). Dopo questa operazione si realizza la restituzione in formato digitale delle tracce delle sezioni e dei contorni delle aree allagabili. I passaggi successivi della prima parte della procedura fanno riferimento esclusivamente alle sezioni trasversali contenute nelle tavole storiche. Innanzitutto, si corregge l’eventuale angolo di distorsione dovuto ad una errata scannerizzazione delle tavole storiche, attraverso un algoritmo realizzato con un software di programmazione. Una volta effettuata l’operazione di raddrizzamento, occorre scegliere un metodo opportuno per vettorializzare le sezioni trasversali e le loro altezze idriche. I due metodi proposti in questa tesi sono ottenuti entrambi mediante software di programmazione e differiscono tra loro per il diverso grado di automatizzazione del processo di vettorializzazione. Il primo metodo di digitalizzazione è rappresentato da un codice che opera digitalizzando in modo automatico i vertici e i nodi della sezione trasversale, previa introduzione manuale delle scale relative alle distanze progressive e alle quote. Le problematiche riscontrate riguardano fondamentalmente sia la ridotta qualità delle scansioni delle tavole storiche, in quanto in talune immagini sono presenti discontinuità lungo lo sviluppo della sezione trasversale o anche segmenti verticali rappresentativi delle pieghe delle tavole, sia il modo in cui avviene il rilevamento dei bordi, infatti la segmentazione dell’immagine crea un doppio bordo lungo tutta la larghezza della sezione. Il secondo metodo di digitalizzazione consente di automatizzare le operazioni di caricamento delle tavole e

di salvataggio dei dati, come nel primo metodo, ma bisogna acquisire manualmente ciascun singolo vertice e nodo che compone la sezione, dopo aver introdotto sempre manualmente le scale delle distanze progressive e delle quote. Si sceglie quest'ultimo metodo di digitalizzazione in quanto, anche se richiede un ingente mole di lavoro rispetto al primo, risulta essere più attendibile e non prevede modifiche alle immagini di input per essere vettorializzate. Successivamente, questo metodo sarà soggetto ad una verifica realizzata mediante l'uso di un altro software, non di programmazione, che consente di digitalizzare manualmente le sezioni dopo aver inserito le opportune scale. Una volta digitalizzati i valori delle altezze idriche storiche, queste si importano nella tabella attributi delle tracce delle sezioni presenti all'interno dell'ambiente GIS. Alla fine della procedura di vettorializzazione si realizza la comparazione dei risultati ottenuti.

La seconda fase della procedura consiste nel trattamento dei dati digitali. Dopo aver estratto le sezioni trasversali dal DTM con software GIS, si conduce un confronto di tipo geometrico tra queste ultime e le sezioni trasversali vettorializzate nella prima fase della procedura. Per compiere tale operazione, è necessario scrivere un codice in grado di gestire l'elevato numero di dati digitali. Il medesimo codice consente di elaborare i dati relativi ad entrambe le tipologie di sezioni trasversali processate, per constatare l'applicabilità del modello idraulico storico sul territorio definito con dati aggiornati. Per fare ciò, si proietta l'altezza idrica storica digitalizzata e successivamente si calcolano le differenze in termini di area bagnata e di larghezza in superficie. La procedura si conclude con il riscontro dei risultati conseguiti.

4.2. Supporto topografico: Digital Terrain Model (DTM)

Attualmente il supporto topografico a elevata risoluzione di grandi porzioni del territorio è il "Digital Terrain Model" (DTM), messo a disposizione dal "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare"²³ e ricavato mediante tecnologia "Laser Imaging Detection and Ranging" (LIDAR). Questa "tecnica di telerilevamento attivo" del territorio sfrutta l'emissione di impulsi laser per la determinazione della distanza di una superficie o di un oggetto. Il rilievo topografico è realizzato per mezzo di un aereo, in cui è installata tutta la strumentazione necessaria al rilevamento e all'acquisizione dei dati. Il risultato è una nuvola di punti, acquisiti ad alta velocità, la cui posizione nello spazio è calcolata in base al tempo che intercorre tra l'impulso emesso e quello successivamente riflesso dall'oggetto che si intende rilevare. Da questa operazione si ottiene una nuvola di punti contenente informazioni geogra-

²³ Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, «Procedura per la Richiesta dei Dati Lidar e/o Interferometrici», Geoportale Nazionale (blog), 17 gennaio 2017, <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/procedura-richiesta-dati-lidar-e-interferometrici-ps/>.

fiche degli oggetti riflettenti. Per ottenere il DTM, si procede al filtraggio dei soli punti costituenti il terreno eliminando le interferenze di tutto ciò che è presente sulla sua superficie.

Il DTM che si dispone è stato conseguito a seguito di rilievi aerei tra il 2008 e il 2009. Inoltre, è georeferenziato nel Sistema di Riferimento WGS (EPSG 4326), presenta risoluzione di 1 m (maglia 1m x 1m) e un'accuratezza di 30 cm in planimetria e 15 cm in altezza.



Figura 4.1 – Telerilevamento con tecnologia LIDAR in prossimità della diga di Penne (PE)

4.3. Software utilizzati

La metodologia proposta per lo sviluppo del protocollo di analisi ha richiesto l'utilizzo di varie tipologie di software differenti tra loro.

Il software QGIS²⁴ nella versione 3.8.1 è utilizzato per le operazioni di georeferenziazione nel “Sistema di Riferimento geodetico” (WGS 84/UTM zone 33N) e di vettorializzazione delle tracce delle sezioni e dei contorni delle aree allagabili presenti nelle planimetrie storiche. Inoltre, tramite il medesimo software sono estratte le sezioni trasversali dal supporto topografico aggiornato (DTM). QGIS è un software GIS (“Geographic Information System”), open source scritto tramite linguaggio di programmazione e avente numerosi plugin che consentono di lavorare con i dati spaziali.

Il software MATLAB²⁵ R2019b (“**Matrix Laboratory**”) ha rivestito un compito fondamentale per la realizzazione delle fasi che costituiscono questa tesi. Inizialmente è impiegato per il

²⁴ «QGIS - Geographic Information System», s.d., <https://www.qgis.org/it/site/>.

²⁵ MathWorks, «MATLAB - Il linguaggio del calcolo tecnico - MATLAB & Simulink», s.d., <https://it.mathworks.com/products/matlab.html>.

trattamento dei dati cartacei, in relazione al raddrizzamento e successiva vettorializzazione delle sezioni trasversali storiche contenute nelle tavole. In seguito, consente il trattamento dei dati digitali storici e aggiornati, in cui si realizza l'analisi di congruenza di tipo geometrico e idraulico in termini di area bagnata e larghezza in superficie. MATLAB è un software di programmazione, creato e distribuito da MathWorks, che genera codici C per molte applicazioni matriciali, tra cui simulazioni di sistemi dinamici e analisi numerica e statistica.

Per verificare la qualità delle sezioni trasversali storiche vettorializzate con codice MATLAB, si è deciso di operare mediante software Origin²⁶ 2019b, sviluppato dalla “OriginLab Corporation” per analizzare i dati e visualizzarli in modo interattivo. Dunque, si conduce la digitalizzazione manuale di vertici e nodi appartenenti alla sezione, dopo aver introdotto le opportune scale.

Infine, per valutare in modo speditivo la variazione dell'altezza idrica rispetto quella storica è costruito un modello monodimensionale semplificato con il software HEC-RAS²⁷ nella versione 5.0.6. Questo software open source di modellazione idraulica fluviale (“RAS - River Analysis System”) è stato prodotto dallo “United States Army Corps of Engineers”, in particolare dal “Hydrologic Engineering Center” (HEC) di Davis, California. Dalla sua pubblica uscita del 1995 sino ad oggi, è stato soggetto a continue implementazioni e migliorie da un punto di vista di stabilità computazionale. Inoltre, la possibilità di realizzare analisi di flusso con conseguente definizione delle aree di probabile inondazione, ha permesso il suo utilizzo in vasta scala nell'ambito dell'ingegneria idraulica.

²⁶ OriginLab Corporation, «OriginLab», s.d., <https://www.originlab.com/>.

²⁷ U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), «HEC-RAS – Hydrologic Engineering Center - Army», s.d., <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

5. Trattamento dei dati cartacei

In questo capitolo sono descritte le operazioni necessarie allo svolgimento della prima fase del protocollo, riguardante il trattamento dei dati cartacei delle planimetrie storiche nella prima parte e delle tavole delle sezioni trasversali nella seconda parte. La metodologia indicata per la vettorializzazione delle informazioni contenute nelle tavole, è di notevole importanza, in quanto i risultati derivati dai successivi processi di elaborazione dei dati digitalizzati, dipendono dalla buona riuscita della digitalizzazione testata.

5.1. Scansione dei documenti passati

Le indagini idrauliche storiche oggetto di studio, acquisite dal “Consorzio di Bonifica Centro” gestore della diga di Penne, sono soggette a scannerizzazione per il passaggio dalla forma cartacea alla forma informatica. Questa è un’azione di prassi per poter conseguire in formato digitale le planimetrie e tavole storiche contenenti tutte le informazioni di nostro interesse. Complessivamente sono scannerizzate per i due scenari di piena analizzati, 21 planimetrie e 47 tavole in cui sono rappresentate rispettivamente le tracce delle sezioni e i contorni delle aree potenzialmente allagabili, e le sezioni trasversali con le relative altezze idriche. Inoltre, è necessario precisare che le planimetrie, le tavole e i disegni sono consegnati già scannerizzati.

5.2. Georeferenziazione/Restituzione delle planimetrie storiche

La *georeferenziazione* rappresenta un processo che consente di associare ad ogni pixel dell’immagine raster le coordinate corrispondenti alla sua dislocazione sul territorio. Tali coordinate possono essere ottenute in diversi modi, mediante indagini sul campo che permettono di acquisire con strumentazioni GPS alcune coordinate relative a geometrie individuabili nell’immagine da georeferenziare, o disponendo di una Carta Tecnica Regionale georeferenziata (CTR), o ancora con Google Earth. Per il caso analizzato, si decide di utilizzare l’ultima Carta Tecnica Regionale distribuita sul geoportale della Regione Abruzzo²⁸, cioè quella dell’anno 2007. A questo punto, si possono georeferenziare le planimetrie storiche su sistemi di coordinate tramite il software QGIS, quindi si attribuisce la loro posizione geografica nel territorio regionale. Nel software in questione si seleziona il plugin “Georeferenziatore”, dopodiché si aprono le immagini raster e si seleziona il Sistema di Riferimento Cartografico relativo al CTR che si sta utilizzando (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33 N). Il passo suc-

²⁸ Regione Abruzzo, «Geoportale della Regione Abruzzo», s.d., <http://geoportale.regione.abruzzo.it/>.

cessivo è quello di inserire all'interno delle planimetrie il maggior numero possibile di “Punti di Controllo al Suolo” di coordinate note (almeno 4), ricercando punti in comune con la CTR ben riconoscibili. Infine, si avvia un ulteriore plugin che consente di scegliere differenti algoritmi di trasformazione. Dunque, si è deciso di applicare “la trasformazione di Helmert” che permette una rototraslazione delle planimetrie con un fattore di scala senza l'apporto di distorsioni.



Figura 5.1 – Schermata software QGIS: planimetrie storiche georeferenziate relative allo scenario di piena per ipotetico collasso

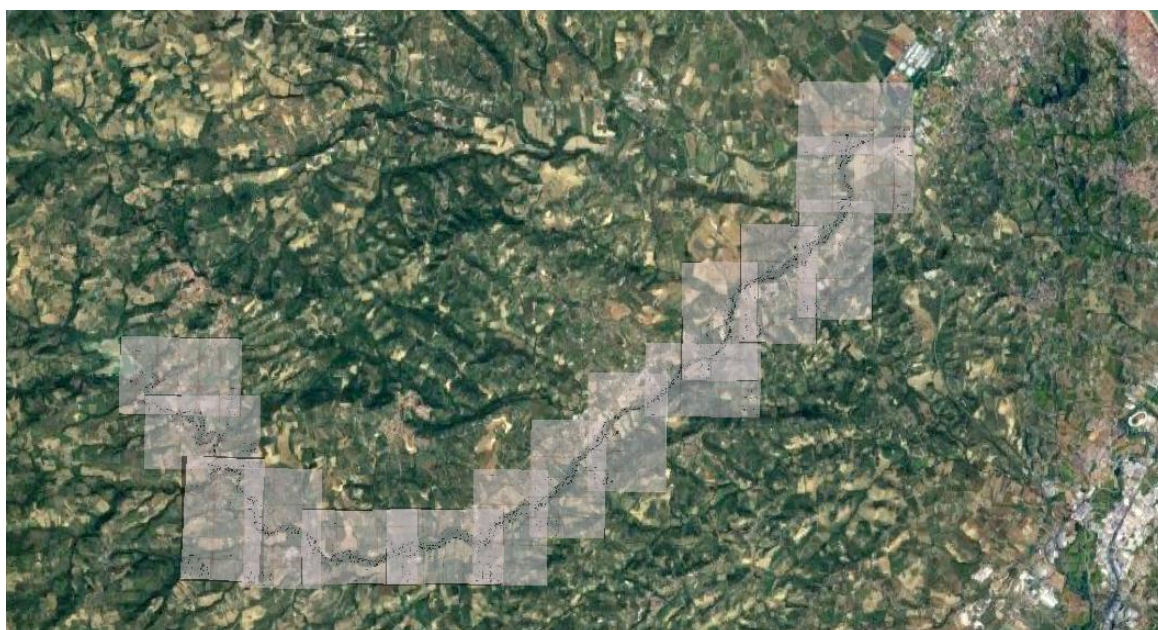


Figura 5.2 - Schermata software QGIS: planimetrie storiche georeferenziate relative allo scenario di piena per funzionamento scarichi

Una volta terminato il processo di georeferenziazione, si procede con la *restituzione* in formato digitale delle tracce delle sezioni e dei contorni delle aree allagabili. Quindi questa operazione consente di vettorializzare il contenuto delle planimetrie storiche, ottenendo elementi geometrici areali e lineari associati ad una specifica tabella attributi di dati e informazioni (ID e Layer sezioni).

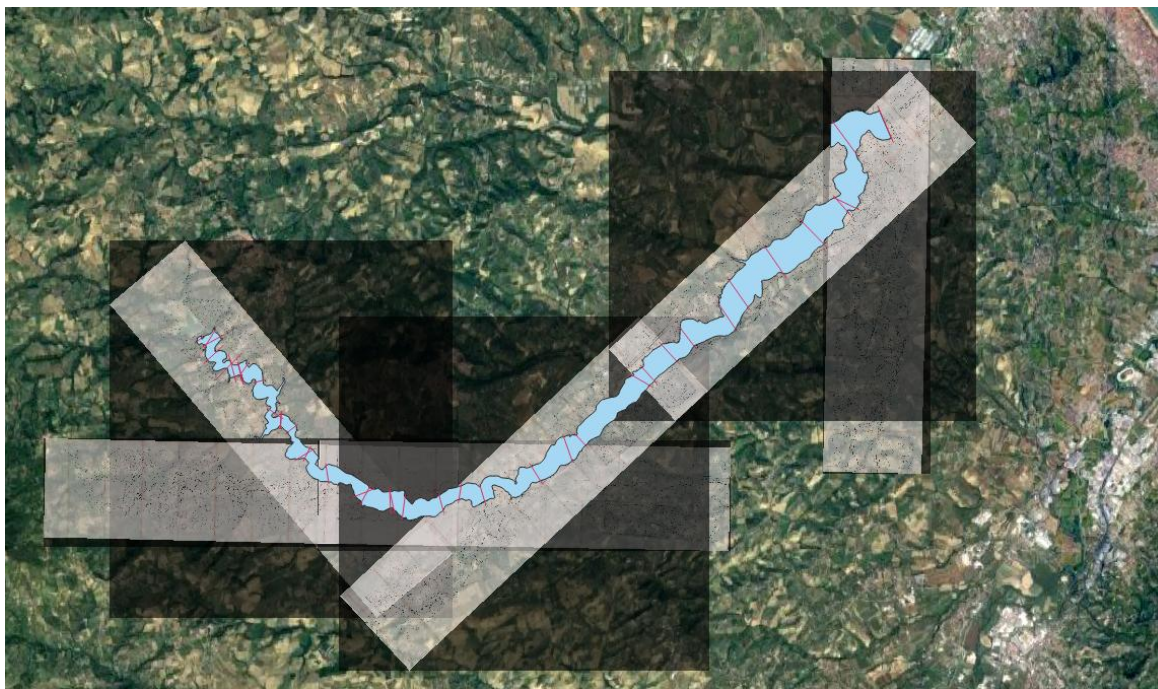


Figura 5.3 - Schermata software QGIS: restituzione tracce delle sezioni e contorni aree allagabili dello scenario di piena per ipotetico collasso

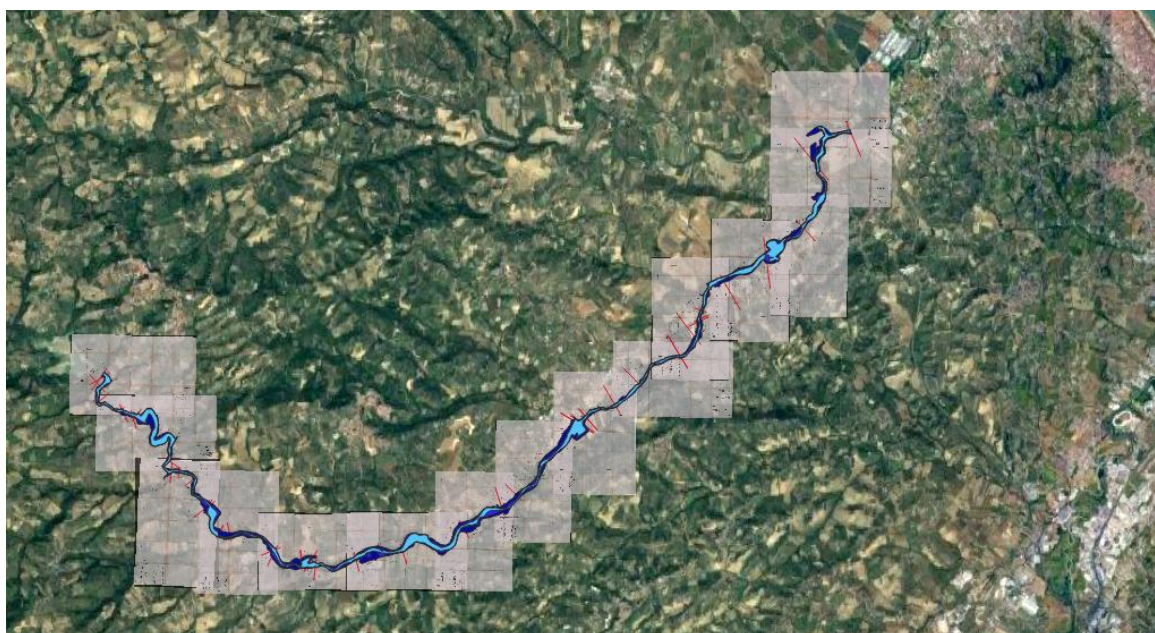


Figura 5.4 - Schermata software QGIS: restituzione tracce delle sezioni e contorni aree allagabili dello scenario di piena per funzionamento scarichi. Le aree allagabili relative alla $Q=450\text{m}^3/\text{s}$ sono in blu, alla $Q=186\text{ m}^3/\text{s}$ sono in azzurro e alla $Q=138\text{ m}^3/\text{s}$ sono in celeste

5.3. Vettorializzazione delle sezioni trasversali e delle altezze idriche storiche

5.3.1. Operatore per il riconoscimento dei contorni

Il trattamento dei dati cartacei presenti nelle tavole storiche richiede innanzitutto l'introduzione dell'algoritmo per il riconoscimento dei bordi, indispensabile per le operazioni successive di raddrizzamento e digitalizzazione semi-automatica delle sezioni trasversali.

Per elaborare le immagini è necessario scegliere un opportuno operatore in grado di rilevare i bordi (edge detection), mediante riconoscimento dei punti in cui si ha un cambiamento improvviso della luminosità. I punti di questa tipologia consentono di definire i contorni degli oggetti rappresentati in un'immagine, anche se il cambiamento della luminosità potrebbe derivare anche da rumore o da illuminazione disomogenea.

Nel caso in esame si è deciso di utilizzare "l'algoritmo di Canny"²⁹, in quanto può essere modificato per l'adattamento a differenti tipologie di immagini. Inoltre, la maggiore qualità dei risultati derivabili dall'applicazione del metodo, rispetto ad altri operatori di gradiente, si deve al fatto che il metodo definisce una tecnica a doppia soglia ("Histeresys thresholding") per rilevare i contorni più netti e più deboli riducendo l'influenza del rumore.

"Il metodo di Canny" mira a soddisfare tre obiettivi per il riconoscimento dei contorni delle immagini:

- Tutti i contorni principali all'interno di un'immagine devono essere individuati e marcati;
- I contorni marcati devono approssimare il più possibile i contorni dell'immagine elaborata;
- Ogni contorno dell'immagine deve essere marcato solo una volta e qualora fosse possibile, il rumore dell'immagine non deve portare all'individuazione di falsi contorni.

I tre requisiti sono espressi da una funzione matematica simile alla derivata prima di una funzione gaussiana. I punti all'interno dell'immagine in cui si ha un repentino cambiamento della funzione di luminosità, possono essere interpretati come punti in cui la derivata prima della funzione gaussiana è massima. Tuttavia, la presenza del rumore rende insufficiente il filtro basato solo sulla derivata prima a soddisfare i requisiti suddetti.

Perciò, "l'algoritmo di Canny" presenta quattro fasi di elaborazione:

²⁹ Canny John, «A Computational Approach to Edge Detection», in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679-698, Nov. 1986.

- Riduzione del rumore;
- Ricerca del gradiente della luminosità di un'immagine;
- Soppressione dei non-massimi;
- Individuazione dei contorni tramite sogliatura con isteresi.

L'implementazione "dell'algoritmo di Canny"³⁰ utilizzato in questa tesi e scaricato dal sito MathWorks, si compone nei seguenti passaggi:

- Convoluzione con coefficiente di filtro gaussiano;
- Convoluzione con filtro Canny per orientamento orizzontale e verticale;
- Calcolo delle direzioni utilizzando "atan2";
- Adattamento al più vicino 0, 45, 90 e 135 gradi;
- Soppressione non-massima";
- Soglia di isteresi.

Il codice restituisce un'immagine binaria, in cui l'oggetto rilevato ha colore bianco mentre lo sfondo presenta colore nero. Ogni pixel dell'immagine è registrato come un solo bit: 1 per il bianco e 0 per il nero. Queste tipologie di immagini digitali sono perciò dette anche bi-livello.

5.3.2. Operazione di raddrizzamento delle tavole

Le tavole storiche contenenti le sezioni trasversali e le altezze idriche, sono pervenute direttamente in formato digitale. A causa dell'imprecisione osservata nell'operazione di scannerizzazione, le tavole presentano una certa rotazione all'intero dell'immagine. Dunque, è richiesta la correzione dell'angolo di distorsione differente in ogni tavola, al fine di ottenere nel processo di vettorializzazione valori dei vertici, nodi e altezze idriche non affetti dall'errore di distorsione e quindi il più possibile fedeli alle tavole cartacee. Si introduce a tale scopo l'operazione di raddrizzamento, realizzata attraverso la scrittura di un codice in MATLAB (A.1.).

- Per poter leggere e processare tutte le tavole storiche in un ciclo, è necessario prima elencare i files con nome "S_*.jpg" presenti nella cartella corrente mediante il comando "dir". Infatti, questa funzione consente di creare una struttura a 4 campi, ciascuno con un'informazione diversa riguardante il file trattato, ad esempio il suo nome o percorso. Successivamente, si riduce il numero di righe dell'immagine binaria, ottenuta

³⁰ Rachmawan, «Canny Edge Detection – File Exchange - MathWorks», 5 Giugno 2014, <https://it.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46859-canny-edge-detection>.

dall'applicazione "dell'algoritmo di Canny", in modo che includa quasi esclusivamente l'asse orizzontale utile per il raddrizzamento delle tavole.

- A questo punto, si trovano gli indici (comando "*find*") relativi alle righe e alle colonne dei punti di estremità dell'asse orizzontale, previa indicizzazione dei valori unitari della matrice binaria. I due punti che definiscono l'inizio e la fine dell'asse orizzontale sono:

$$P1 = [c_min \ r_min]$$

$$P2 = [c_max \ r_max]$$

- Note le righe dei due punti sopra definiti, si calcola il coefficiente "w" che indica il senso di rotazione per il raddrizzamento tramite il ciclo "*if*". Quindi si dispone di tutte le informazioni necessarie per il calcolo dell'angolo di distorsione:

$$angolo = w \cdot atan\left(\frac{abs(P2(2) - P1(2))}{(P2(2) - P1(2))}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

Infine, si ruotano le tavole con il comando "*imrotate*".

- Nei passaggi successivi, si verifica la buona riuscita dell'operazione di raddrizzamento, calcolando nuovamente l'angolo di distorsione di tutte le immagini processate. Questa verifica risulta soddisfatta in quanto l'angolo è sempre pari a zero.
- Il codice si conclude con il salvataggio delle immagini raddrizzate ("*rad_*.jpg*") nella cartella "Sezioni_rad", tramite il comando "*imwrite*".

Per valutare il risultato ottenuto a seguito dell'operazione di raddrizzamento, si riporta di seguito una sola sezione per ogni scenario di piena analizzato.

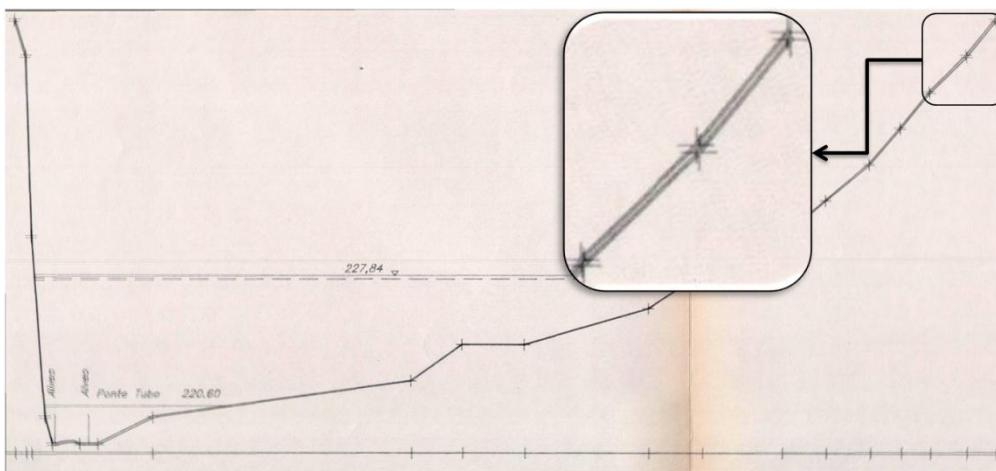


Figura 5.5 – Sovrapposizione della sezione originale con quella raddrizzata (scenario di piena per ipotetico collasso)

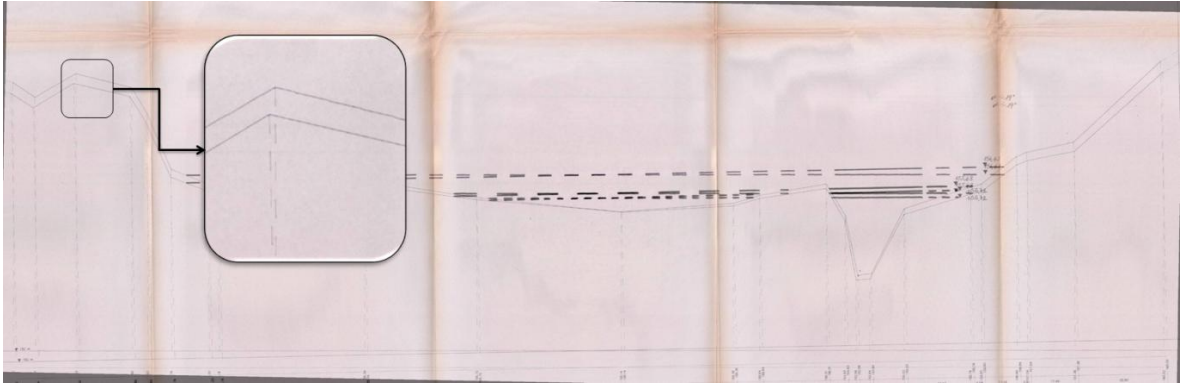


Figura 5.6 – Sovrapposizione della sezione originale con quella raddrizzata (scenario di piena per funzionamento scarichi)

5.3.3. Metodi di digitalizzazione

A seguito dell'operazione di raddrizzamento delle tavole storiche, si procede alla vettorializzazione delle sezioni trasversali e delle altezze idriche. A tale scopo, si introducono due metodi di digitalizzazione, sviluppati tramite codice nel software MATLAB, differenti tra loro per il diverso grado di automatizzazione del processo.

a) Metodo di digitalizzazione semi-automatico (*DigitizeAuto*) (A.2.)

Innanzitutto, prima della descrizione del metodo, occorre chiarire che il codice consente di vettorializzare solo le sezioni trasversali.

In questo metodo si lavora con l'immagine binaria "T_res" ottenuta dall'applicazione "dell'algoritmo di Canny", modificando il contrasto dell'immagine per migliorare il rilevamento di tutti i contorni principali della sezione trasversale. Nell'elaborazione delle immagini, si è riscontrata tal volta una certa discontinuità dei contorni dell'immagine binaria, sicuramente dovuta al tracciamento poco marcato delle sezioni trasversali nelle tavole cartacee. Per ovviare a tale problema, potrebbe essere necessario introdurre una maschera e realizzare una convoluzione bidimensionale tra la maschera e l'immagine binaria. Tale operazione però, comporta in alcuni casi un'errata restituzione dei valori della sezione trasversale digitalizzata. Per questo motivo, è necessario evitare l'uso della maschera e marcare manualmente, nell'immagine di input, solo i tratti della sezione trasversale per i quali si riscontra tale problematica. Il medesimo discorso vale per i tratti in cui c'è la presenza della "piega" della tavola storica, la quale crea un'interruzione del contorno bianco. Inoltre, è necessario disconnettere manualmente dal resto della sezione le "pieghe" molto accentuate, le linee orizzontali delle altezze idriche e eventuali ponti, in quanto l'algoritmo di Canny li identifica come parte dell'oggetto sezione. Questo signifi-

ca che per condurre una buona digitalizzazione, si devono prima analizzare accuratamente le tavole cartacee da elaborare e poi apportare le relative modifiche manualmente.

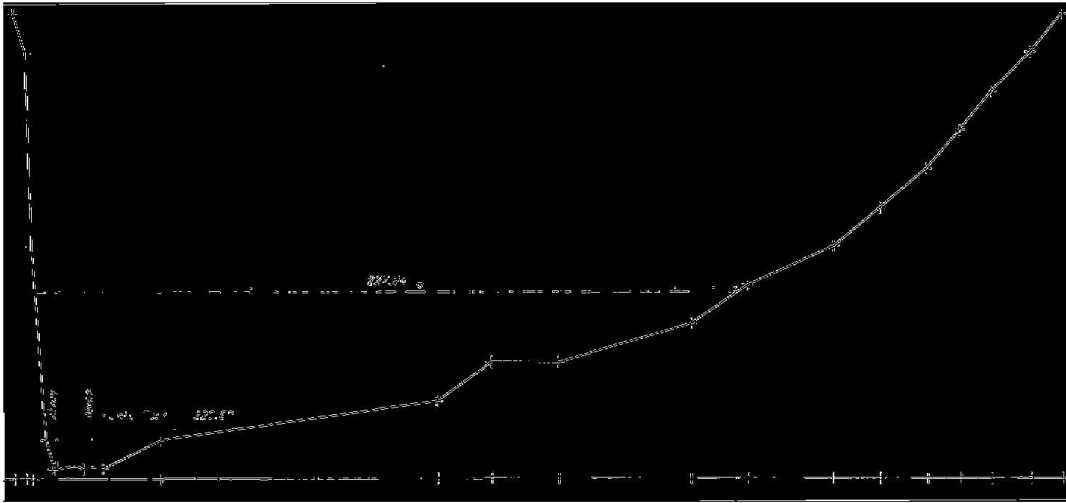


Figura 5.7 – Immagine binaria ottenuta dal metodo Canny

- La prima operazione del codice consiste nell'utilizzare per l'immagine binaria raddrizzata (ottenuta dalla lettura dell'immagine raddrizzata con comando `"imread"` e successivo rilevamento dei bordi) il comando `"bwconncomp"`, che restituisce una struttura con 4 campi: Connectivity (connettività dei componenti\oggetti collegati), ImageSize (dimensione dell'immagine di input), NumObjects (numero di componenti\oggetti collegati nell'immagine di input) e PixelIdxList (Array di celle 1-by-NumObjects, in cui il k-esimo elemento nell'array di celle è un vettore contenente gli indici lineari dei pixels nel k-esimo oggetto).
Dal comando `"bwconncomp"`, si crea attraverso un sistema di connettività un insieme di blocchi/oggetti distinti pari a NumObjects, collegati nell'immagine di input e riportati nella struttura di array di celle. Dunque, ogni oggetto è rappresentato da un array di cella, cioè un vettore contenente una lista di posizioni dei pixels appartenenti al blocco in esame.
- Successivamente, dopo aver contato il numero di posizioni dei pixels appartenenti a ciascun blocco/oggetto mediante il comando `"cellfun"`, si individua l'array di cella contenente il massimo numero di posizioni. Questa operazione è condotta con il comando `"max"`, che restituisce il numero e la posizione (`"idx"`) del blocco/oggetto individuato.
- Gli oggetti collegati nella matrice binaria, sono etichettati con valori interi univoci derivanti dalle posizioni di ciascun oggetto nella PixelIdxList (comando `"labelmatrix"`). Dopodichè, si definisce la matrice contenente solo lo sviluppo della sezione

trasversale (Figura 5.8), mediante il comando “*ismember*” che restituisce un array contenente “1” logico quando i valori univoci, derivati dal comando “*labelmatrix*”, si trovano nella posizione “*idx*”, mentre altrove contiene “0” logico.

Le righe di codice utilizzate fino a questo punto sono le seguenti:

```
cc = bwconncomp (T_res )
numPixels = cellfun(@ numel, cc.PixelIdxList)
[maggiore, idx] = max (numPixels)
Sez = ismember(labelmatrix (cc), idx)
```

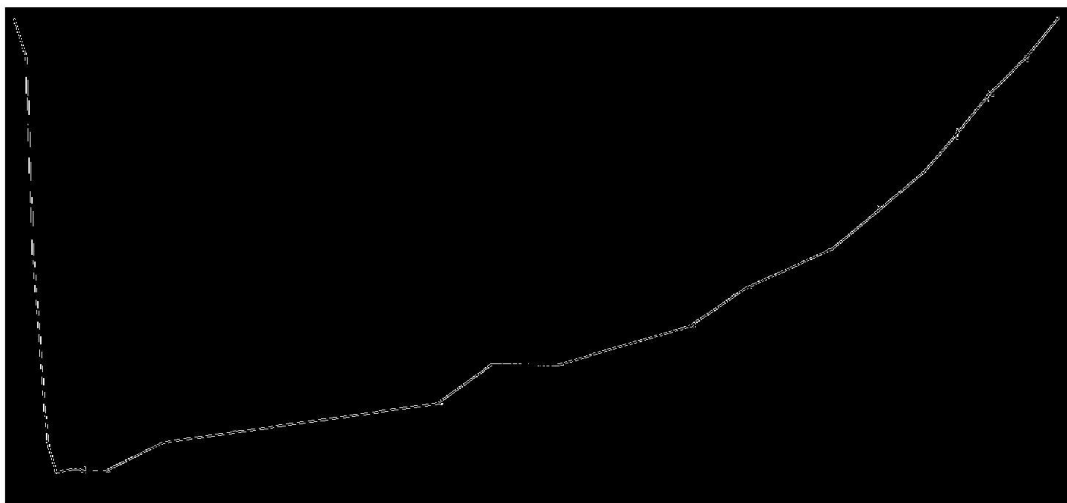


Figura 5.8 – Matrice binaria contenente solo lo sviluppo della sezione trasversale processata

- Il passaggio successivo consiste nel moltiplicare la matrice binaria, delimitata solo dai contorni bianchi della sezione, prima per l’asse delle distanze progressive e poi per quella delle quote, definite entrambe dall’introduzione manuale dei valori di massimo e minimo. La matrice “Distanze” presenta valori costanti per ogni singola colonna, al contrario la matrice “Quote” presenta valori costanti per ogni singola riga. Occorre precisare, che queste matrici non sono caratterizzate da un unico valore per ogni colonna e riga, in quanto la matrice binaria presenta un doppio contorno (Figura 5.9).

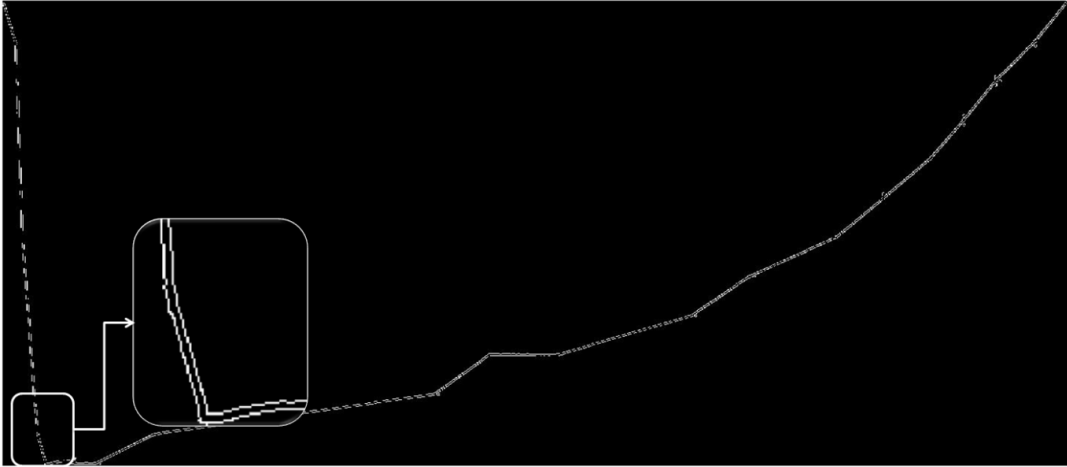


Figura 5.9 – Matrice binaria con zoom di una piccola parte di essa per la rilevazione del doppio contorno

- Dopo aver trovato, con il comando *“find”*, gli indici delle righe e delle colonne per le quali la matrice binaria suddetta è diversa da zero, si applica il comando *“sub2ind”* per convertire gli indici prima derivati in indici lineari utilizzati per la matrice Distanze e Quote del punto precedente. Da questa operazione, si desumono i vettori Distanze e Quote. Il passaggio conclusivo è quello di definire un nuovo vettore Distanze (“D”) rappresentato da valori univoci e ordinati (comando *“unique”*). Gli indici di tali valori sono poi utilizzati per la costruzione del nuovo vettore Quote (“Q”).

Le righe di codice in cui sono definite queste ultime operazioni sono:

```
[righe,colonne] = find(Matrix ~ = 0)
Distanze = Distanze (sub2ind (size (Distanze), righe, colonne))
Quote = Quote(sub2ind (size (Quote), righe, colonne))
[D, ia, ic] = unique( Distanze, 'stable')
Q = Quote(ia)
```

Il risultato finale del codice per la sezione considerata è il seguente.

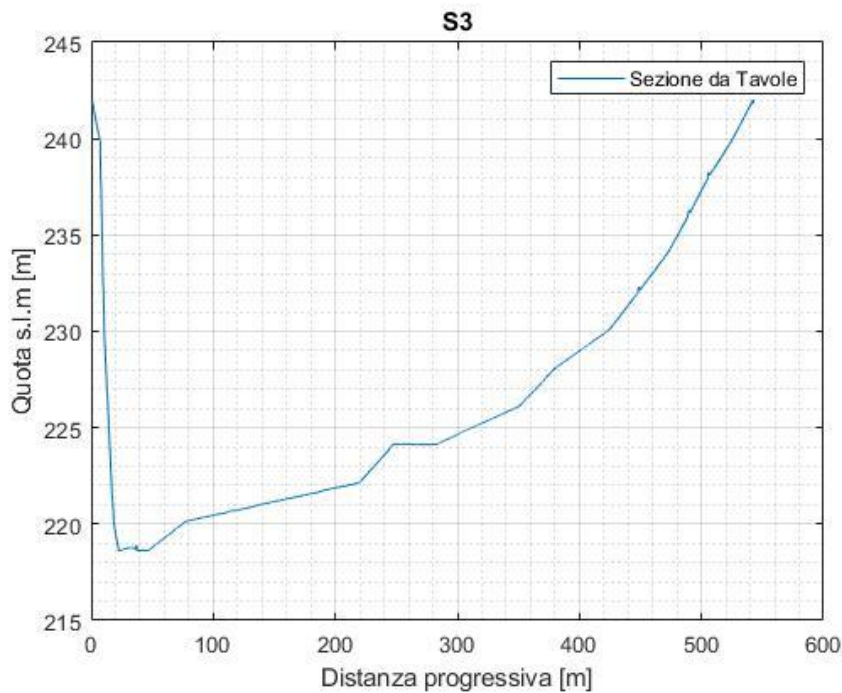


Figura 5.10 – Risultato codice DigitizeAuto

b) Metodo di digitalizzazione manuale (*digitize3*) (A.3. e A.4.)

Il sito MathWorks dispone di molti codici utili per diverse applicazioni ed elaborazioni, perciò si è usufruito di questo servizio per scaricare il codice di digitalizzazione “digitize2”³¹.

La funzione “digitize2” consente di vettorializzare manualmente una sezione trasversale alla volta, interagendo direttamente con l’operatore umano mediante una serie di finestre di dialogo:

- Finestra di dialogo per la selezione manuale delle immagini da importare (comando “*ui-getfile*”).
- Finestre di dialogo che permettono di realizzare una scelta e restituire la risposta ad essa corrispondente (comando “*questdlg*” associato alla struttura “*switch*”). Quindi, si sceglie se selezionare o meno sull’immagine i punti relativi alle scale utilizzate, oppure se utilizzare la scala lineare/logaritmica, o ancora se uscire o meno dall’operazione di vettorializzazione. Un’altra tipologia di finestre di dialogo contiene uno o più campi di modifica e restituisce i valori immessi dall’utente (comando “*inputdlg*”), cioè i valori di minimo e di massimo della scala delle ascisse (distanze progressive) e delle ordinate (quote). In fine, l’algoritmo offre la possibilità di impedire l’esecuzione del programma fino a quando

³¹ Anil, « digitize2.m - File Exchange - MATLAB central - MathWorks », 15 Ottobre 2001, <https://it.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/928-digitize2-m>.

l'utente risponde ad una finestra di dialogo contenente un messaggio modale (comando "uiwait").

- Finestra di dialogo per il salvataggio manuale delle immagini digitalizzate (comando "ui-putfile").

Inoltre, l'interattività del metodo utilizzato porta all'Individuazione dei punti rappresentativi gli assi e i vertici/nodi costituenti la sezione trasversale, tramite cursore mobile che lascia un segno distintivo del punto acquisito direttamente sull'immagine (comando "ginput").

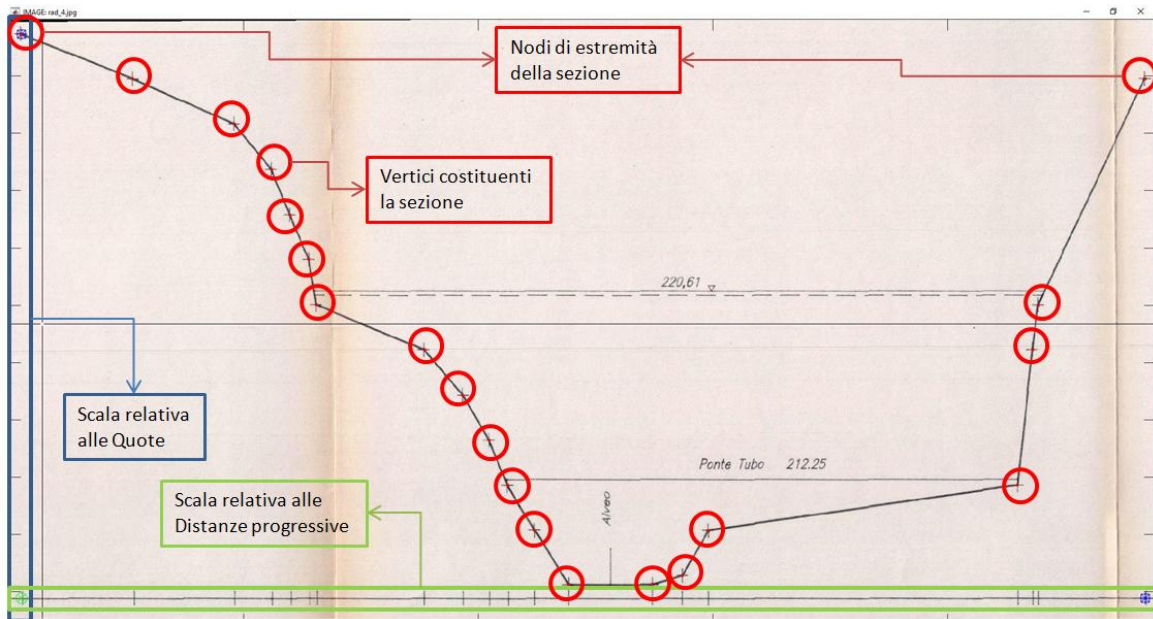


Figura 5.11 – Schermata algoritmo digitize2: definizione delle due scale individuate nell'immagine e digitalizzazione dei vertici/nodi che compongono la sezione trasversale

Considerata la manualità con la quale si svolgono alcune operazioni, si è ritenuto necessario implementare l'algoritmo "digitize2" per apportare le seguenti migliorie e aggiunte:

- *Automatizzazione della procedura di importazione delle tavole*

Le immagini da elaborare sono prima elencate all'interno di una struttura a 4 campi, mediante comando "dir" e poi processate all'interno di un ciclo "for". Quindi, in sostanza, si è sostituito il comando "uigetfile" riportato nel codice "digitize2" con un semplice comando di lettura "imread" delle immagini elencate.

- *Possibilità di digitalizzare le altezze idriche storiche presenti nelle tavole*

Si introduce una nuova finestra di dialogo in cui si può decidere se digitalizzare o meno le altezze idriche, in seguito a ciò il codice restituisce la risposta conforme alla scelta fatta (comando "questdlg" associato alla struttura "switch").

- *Automatizzazione della procedura di salvataggio dei dati*

Nella parte iniziale del codice prima del ciclo “for”, si introducono i comandi “fopen” e “fprintf” che consentono rispettivamente di aprire un file di testo e di trascrivere le intersezioni dei dati che si intendono salvare. Successivamente alla procedura di digitalizzazione delle sezioni trasversali e delle altezze idriche, si definisce una matrice avente nel primo campo il numero identificativo di ciascuna sezione (“ID”), nel secondo campo e nel terzo campo le distanze progressive (“DISTANZA”) e le quote (“QUOTA”) dei punti digitalizzati. Si precisa che le altezze idriche sono salvate in un file di testo differente dalle sezioni, nel quale è riportato solo il campo “ID” e il campo “QUOTA”. I dati della matrice sono poi trascritti con il comando “fprintf” nel file di testo creato all’inizio del codice e successivamente chiuso mediante comando “fclose” a fine ciclo. Per evitare che i dati digitalizzati possano essere sovrascritti, si introduce un ciclo “if” che elimina i dati in memoria dalla seconda sezione processata in poi.

Un altro vantaggio dell’algoritmo implementato è quello di digitalizzare e salvare, durante il processamento di tutte le immagini, sia le sezioni trasversali che le altezze idriche, oppure solo una delle due, in base alla scelta fatta dall’utente.

ID	QUOTA
1	233.76
2	229.81
3	227.84
4	220.61
5	220.45
5	214.82
6	197.63
6	193.28
7	178.2
8	170.87
9	159.57
10	153.2
11	119.83
12	111.43
13	87.32
14	86.05
15	70.6
16	41.14

Figura 5.12 – File di testo ottenuto dal salvataggio delle altezze idriche digitalizzate

ID	DISTANZA	QUOTA
1	0	242.00
1	17.43	239.97
1	45.95	237.97
1	66.38	235.97
1	116.76	234.00
1	123.26	229.99
1	133.56	224.53
1	153.84	224.53
1	165.72	224.80
1	179.35	224.91
1	188.06	224.87
1	197.41	224.82
1	204.54	224.82
1	213.09	224.61
1	216.42	224.55
1	220.38	224.55
1	237.33	226.03
1	247.31	228.05
1	255.39	230.06
1	286.92	240.08
1	295.00	242.00
2	0	244.00
2	5.37	242.02
2	13.58	239.99
2	19.58	237.99
2	26.53	236.01
2	38.21	234.01
2	43.89	231.98
2	58.11	230.00
2	68.21	228.00
2	73.58	225.97
.	.	.
.	.	.

Figura 5.13 – File di testo ottenuto dal salvataggio delle sezioni trasversali digitalizzate

5.3.4. Scelta e verifica del metodo di digitalizzazione

Scelta del metodo di digitalizzazione

I due metodi di digitalizzazione, trattati al paragrafo precedente, differiscono tra loro sia per logica con la quale avviene il processo di vettorializzazione, sia per il diverso livello di automatizzazione.

Il metodo di digitalizzazione semi-automatizzato “DigitizeAuto” non risulta essere consono a queste tipologie di tavole da vettorializzare, considerate ad esempio le problematiche riscontrate nel riconoscimento dei bordi della sezione trasversale. Infatti, la presenza di tratti della sezione poco marcati e di “pieghe” nelle tavole possono creare discontinuità nel rilevamento dei contorni. Inoltre, il codice consente di realizzare una buona digitalizzazione della sezione trasversale, qualora si eliminassero i pixels di unione con le linee orizzontali relative alle altezze idriche, con le “pieghe” verticali molto marcate delle tavole e con eventuali ponti. Dun-

que, per poter applicare questo codice occorre prima valutare il contenuto e la qualità delle immagini, poi apportare eventuali modifiche all'immagine di input.

Il metodo di digitalizzazione manuale "digitize3" si adatta bene a molti tipi di immagine e risulta essere affidabile. Questo metodo, rispetto a quello precedentemente citato, consente di processare tutte le immagini in un unico ciclo, ma richiede una rilevante mole di tempo per il processo di vettorializzazione, in quanto le scale e i vertici/nodi sono definiti manualmente.

Una volta valutati i pro e contro di ciascun metodo proposto, si decide di utilizzare il metodo di digitalizzazione manuale "digitize3".

Verifica del metodo di digitalizzazione scelto

La verifica del metodo di digitalizzazione manuale "digitize3" è compiuta attraverso il software Origin, che permette di vettorializzare la sezione trasversale.

Una volta avviato il software, si seleziona il modello di sistema "Blank Workbook" (2 colonne generiche come X Y) con cui si intende lavorare. In seguito, dal menu degli strumenti standard si clicca su "Digitize Image" e dopo aver scelto la tavola si aprono due tipologie di finestre, con le quali avviene il processo di digitalizzazione. Infatti, in una finestra è presente la tavola sulla quale si posizionano inizialmente le due coppie di linee degli assi (X1, Y1 e X2, Y2), successivamente i vertici/nodi della sezione. L'altra è una finestra di dialogo con un menu e diversi pulsanti utili per l'operazione di digitalizzazione, per ruotare l'immagine, per aggiungere e cancellare una linea e per passare al grafico, o alla tabella, o ancora all'immagine. Questa finestra di dialogo prende quindi il nome di digitalizzatore e permette l'inserimento manuale dei valori delle scale e la digitalizzazione dei vertici/nodi della sezione tramite 4 possibili modi:

- Seleziona i punti uno per uno manualmente;
- Traccia automatica linea per punti;
- Selezione automatica dei punti per griglia;
- Tracciamento automatico dell'area;
- Tracciamento automatico dell'area limitata.

Nel nostro caso si è usato il primo metodo, in quanto risulta essere il migliore per il tipo di immagini trattate.

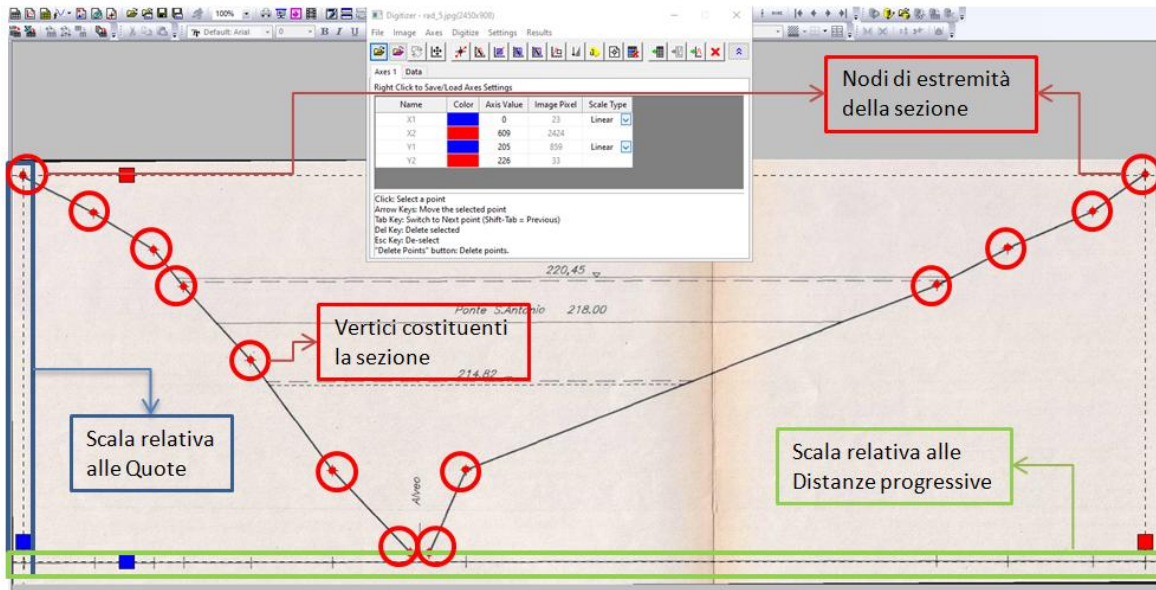


Figura 5.14 - Schermata software Origin: definizione delle due scale individuate nell'immagine e digitalizzazione dei vertici/nodi che compongono la sezione trasversale

5.3.5. Riscontro risultati conseguiti

Terminata l'operazione di digitalizzazione delle sezioni trasversali storiche con i metodi precedentemente trattati, si valuta la corrispondenza dei risultati ottenuti. In primis si conduce un confronto qualitativo sovrapponendo le sezioni vettorializzate, successivamente si realizza un confronto quantitativo, determinando per le sezioni restituite dal codice "digitize3" la variazione percentuale dell'area bagnata e della larghezza in superficie rispetto ai valori ricavati dal codice "DigitizeAuto" e dal software "Origin". In funzione del segno della variazione percentuale, si possono avere tre casi: incremento percentuale se la variazione è positiva, decremento percentuale se la variazione è negativa e variazione nulla se la variazione percentuale è pari a zero.

Il riscontro dei risultati conseguiti è condotto mediante la scrittura di un codice in MATLAB (A.5.), in cui sono importati i tre files in formato "xlsx", relativi alle sezioni digitalizzate con i metodi suddetti, con il comando "xlsread" e le tracce delle sezioni storiche contenenti le altezze idriche con il comando "shaperead". Si definisce per ciascuno di questi files il vettore delle distanze progressive e delle quote del terreno per il confronto qualitativo, mentre per valutare la corrispondenza in termini idraulici occorre determinare anche il vettore dell'altezza idrica proiettata su ciascuna sezione digitalizzata, i valori delle aree bagnate (con comando "trapz") e delle larghezze in superficie.

Il trattamento dei dati digitali è esplicito nel capitolo successivo, mentre questo paragrafo si limita a comparare i risultati ottenuti dal codice.

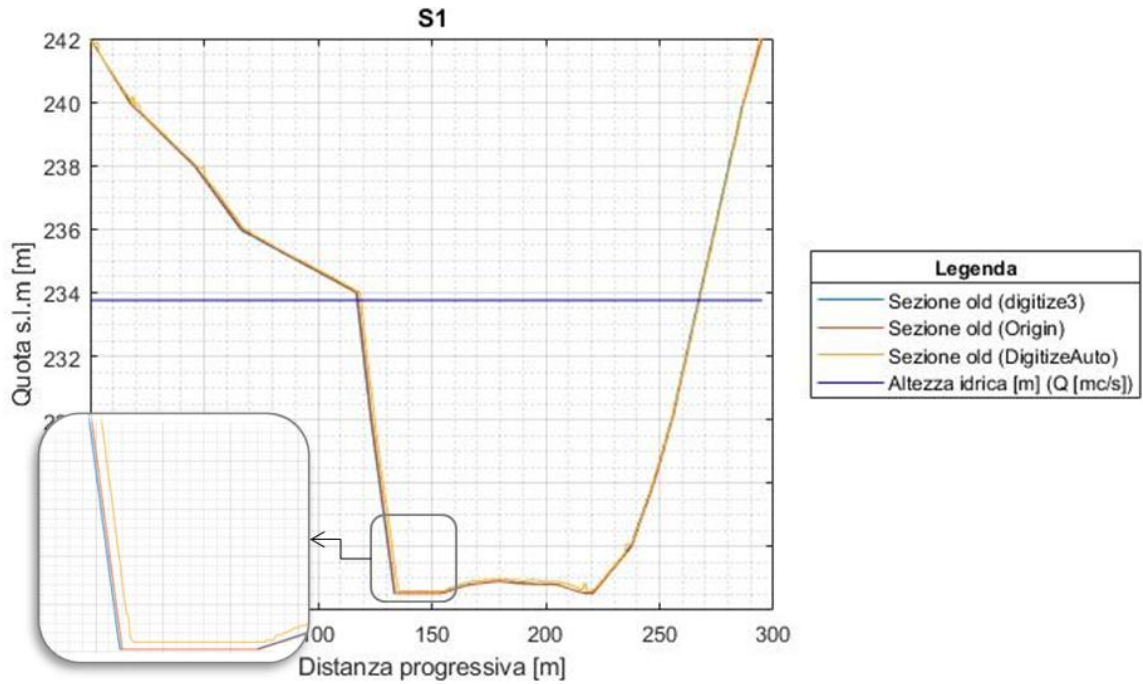


Figura 5.15 – Sezione trasversale numero (fid) 1 (Layer S1) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati

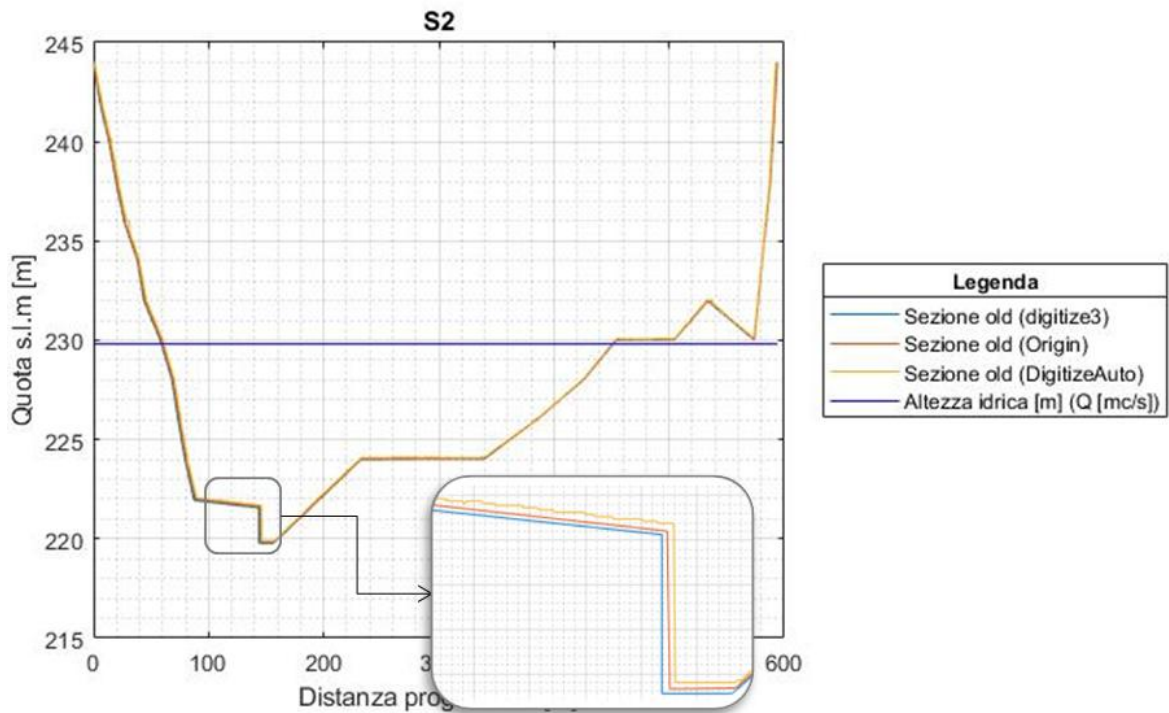


Figura 5.16 – Sezione trasversale (fid) 2 (Layer S2) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati

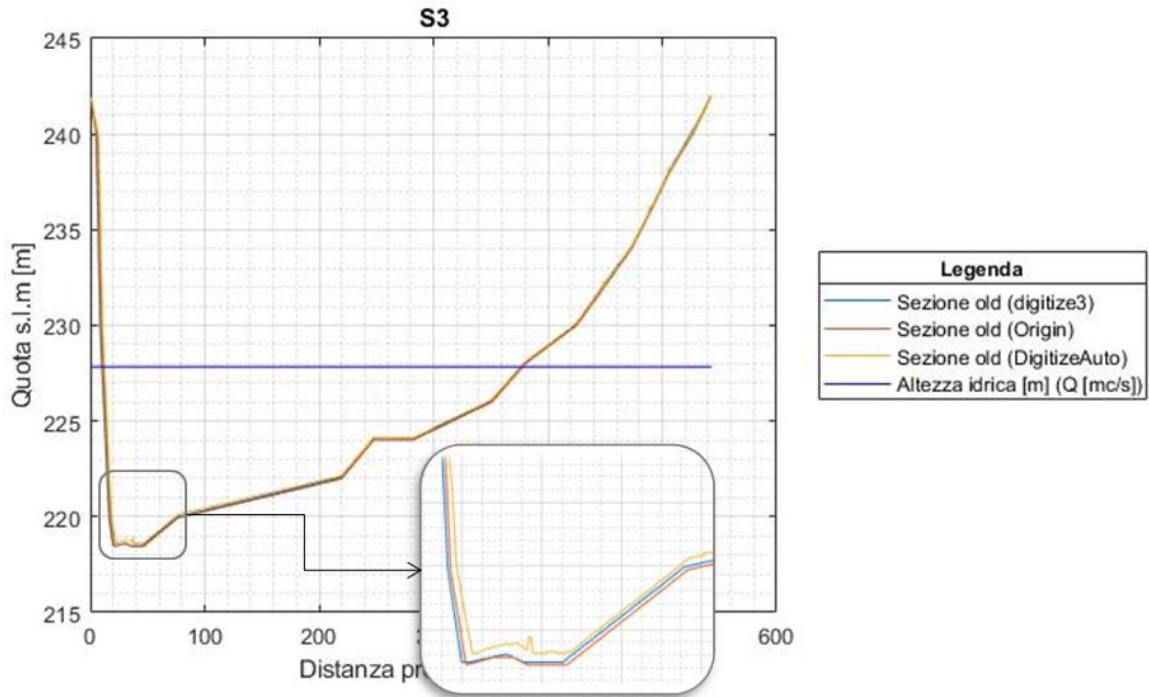


Figura 5.17 – Sezione trasversale (fid) 3 (Layer S3) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati

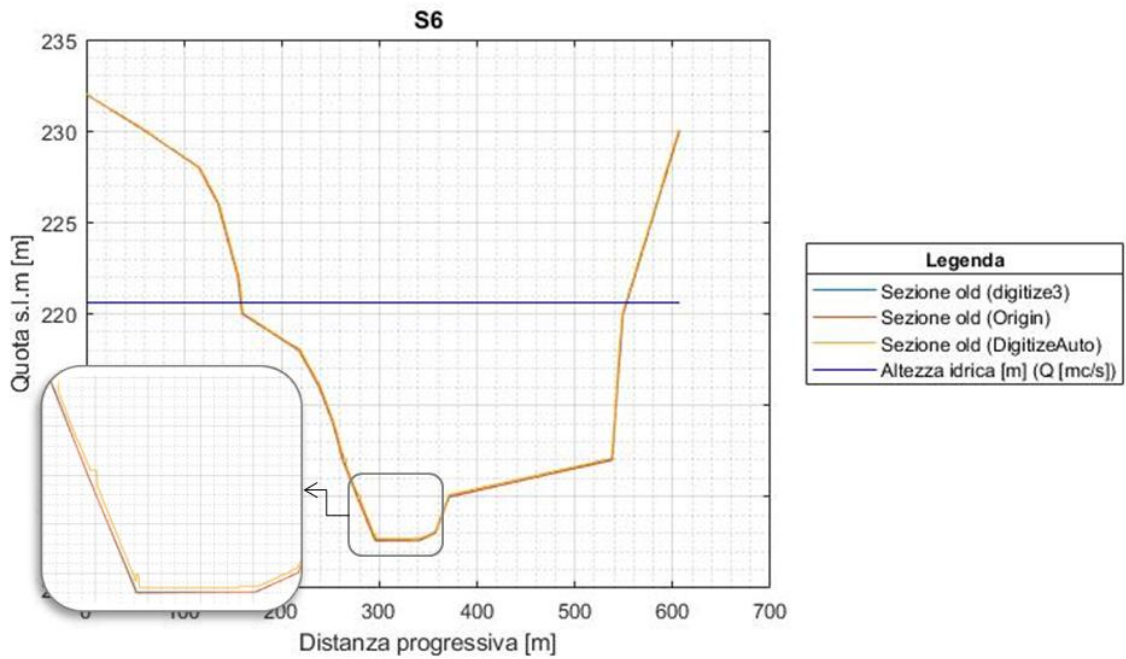


Figura 5.18 – Sezione trasversale (fid) 4 (Layer S6) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati

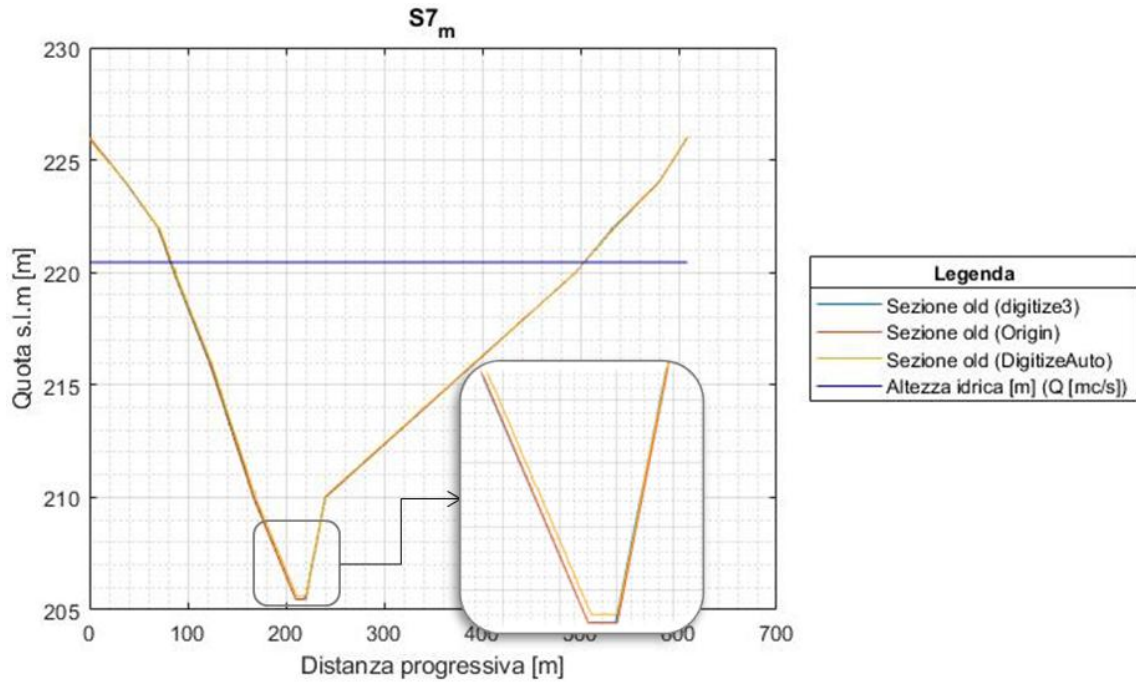


Figura 5.19 – Sezione trasversale (fid) 5 (Layer S7_m) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati

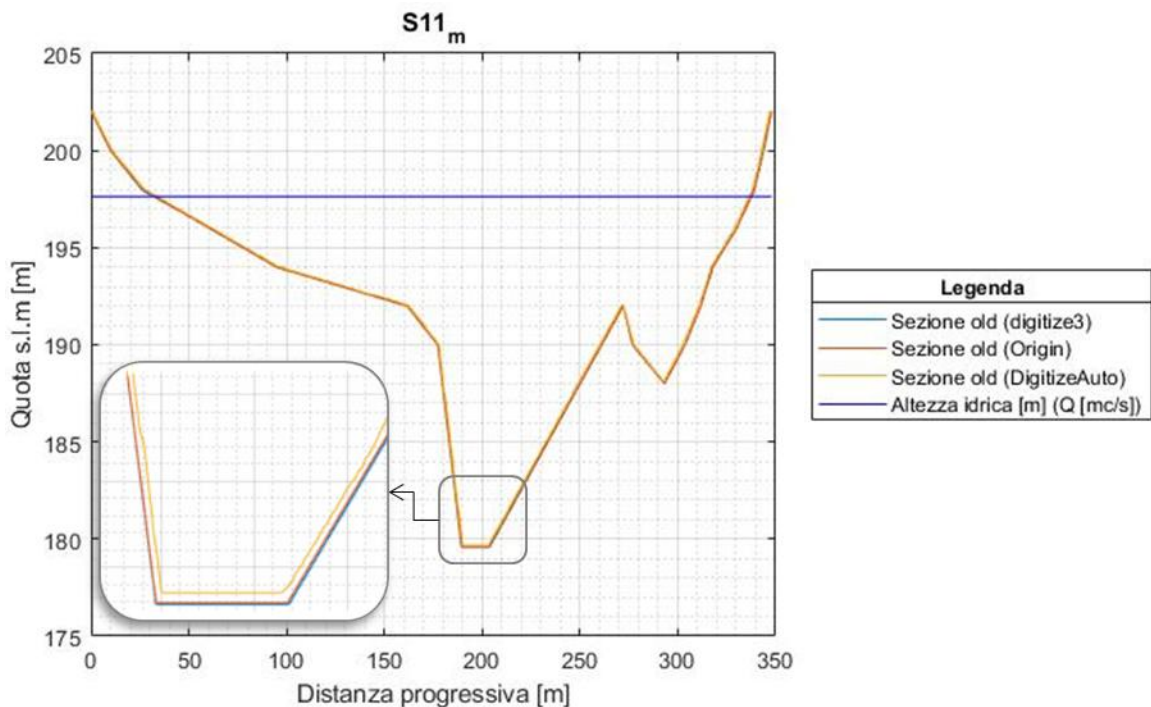


Figura 5.20 – Sezione trasversale (fid) 7 (Layer S11_m) digitalizzata con zoom di una piccola parte di essa per rilevare le differenze emerse dai risultati

Dal riscontro dei risultati è emerso che le sezioni trasversali digitalizzate con l’algoritmo “digitize3” e il software “Origin” risultano essere pressochè coincidenti, mentre quelle digitalizzate con l’algoritmo “DigitizeAuto” presentano quote leggermente superiori, come se l’andamento della sezione fosse di poco shiftato in alto. Quest’ultima disuguaglianza è dovuta

al fatto che tra i due contorni della sezione trasversale, generati dal processo di estrazione dei bordi (“algoritmo di Canny”), viene digitalizzato solo il contorno superiore.

Di seguito, si riportano le formule utilizzate per il confronto e i grafici da esse ricavati, riguardanti la variazione percentuale dell’area bagnata e della larghezza in superficie dei due metodi di digitalizzazione proposti (“digitize3” e “DigitizeAuto”) :

$$\Delta Area(\%) = \frac{Area(digitize3) - Area(DigitizeAuto)}{Area(DigitizeAuto)} \cdot 100$$

$$\Delta Larghezza(\%) = \frac{Larghezza(digitize3) - Larghezza(DigitizeAuto)}{Larghezza(DigitizeAuto)} \cdot 100$$

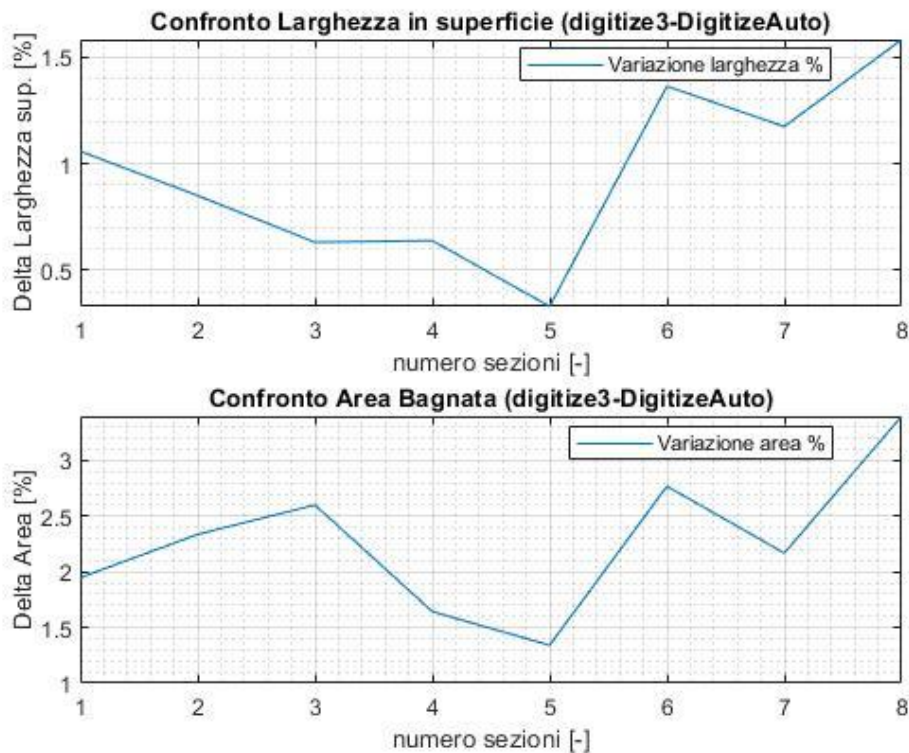


Figura 5.21 – Confronto tra i due metodi di digitalizzazione proposti in termini di area bagnata e larghezza in superficie

I grafici mostrano quanto osservato dal confronto qualitativo di tutte le sezioni trasversali analizzate e cioè una maggiore area e larghezza delle sezioni vettorializzate con il codice “digitize3” rispetto a quelle vettorializzate con il codice “DigitizeAuto”.

In seguito, si definiscono le formule utilizzate e i grafici da esse desunti, relativi alla verifica del metodo di digitalizzazione “digitize3” mediante software “Origin” in termini di variazione percentuale dell’area bagnata e della larghezza in superficie:

$$\Delta Area = \frac{Area(digitize3) - Area(Origin)}{Area(Origin)} \cdot 100$$

$$\Delta Larghezza(\%) = \frac{Larghezza(digitize3) - Larghezza(Origin)}{Larghezza(Origin)} \cdot 100$$

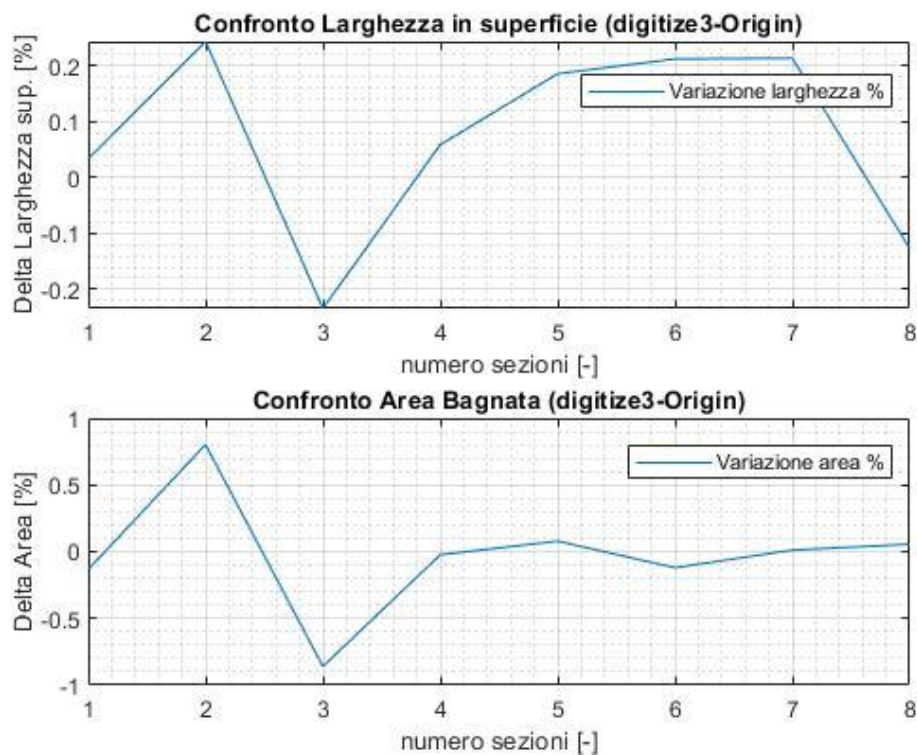


Figura 5.22 - Verifica del metodo di digitalizzazione “digitize3” mediante software “Origin” in termini di area bagnata e la larghezza in superficie

Dai risultati dei due grafici, si evince che la verifica del metodo di digitalizzazione “digitize3” con software “Origin” è soddisfatta, in quanto la variazione percentuale in termini di area e larghezza assume valori positivi e negativi bassi.

5.3.6. Importazione in ambiente GIS delle altezze idriche digitalizzate

Le altezze idriche di ciascuna sezione trasversale storica sono digitalizzate con l’algoritmo “digitize3”, al fine di essere importate nella tabella attributi delle tracce delle sezioni restituite dal software QGIS. I files di testo contenenti i dati relativi alle altezze idriche sono salvati nel

file CSV (formato di testo delimitato), per essere importati nel software QGIS attraverso il comando “Aggiungi layer testo delimitato”. A questo punto, si seleziona la voce “Join” dalle proprietà del layer vettoriale contenente le tracce delle sezioni. Nella finestra di dialogo, si clicca su aggiungi e si apre una finestra, nella quale in corrispondenza della voce “Vettore di join” si introducono le altezze idriche importate, mentre in corrispondenza del “Campo unione” e “Campo destinazione” si introduce il campo comune tra le tracce delle sezioni e il file CSV, cioè il campo contenente il numero identificativo di ogni sezione (ID/fid).

In fine, si esporta il layer vettoriale, sempre in formato “shapefile”, per salvare le modifiche apportate alla tabella attributi.

Tabella 5.1 – Tabella attributi: nel primo campo è riportata la numerazione identificativa le sezioni in ordine crescente da monte verso valle, nel secondo campo è trascritto il layer con il quale in passato si identificavano le sezioni e nel terzo campo è trascritta la Quota s.l.m.[m] definita nel modello idraulico storico (scenario di piena per ipotetico collasso)

fid	layer	Q
1	S1	233.76
2	S2	229.81
3	S3	227.84
4	S6	220.61
5	S7_m	220.45
6	S7_v	214.82
7	S11_m	197.63
8	S11_v	193.28
9	S14	178.2
10	S15	170.87
11	S16	159.57
12	S18	153.2
13	S24	119.83
14	S25	111.43
15	S27	87.32
16	S28	86.05
17	S31	70.6
18	S35	41.14

Tabella 5.2 – Tabella attributi: nel primo campo è riportata la numerazione identificativa le sezioni in ordine crescente da monte verso valle, nel secondo campo è trascritto il layer con il quale in passato si identificavano le sezioni, nel terzo, nel quarto e nel quinto campo sono trascritte le Quote s.l.m.[m] definite nel modello idraulico storico per una portata di 450 m³/s, 186 m³/s e 138 m³/s (scenario di piena per funzionamento scarichi)

fid	layer	Q450	Q186	Q138
1	S2	222.1	221.11	220.86
2	S3	221.5	220.3	-
3	S4	218.97	217.82	217.48
4	S4B	216	214.75	214.32
5	S5	210.94	209.88	209.6
6	S6	210.46	209.4	209.12
7	S7	208.75	207.67	207.38
8	S8	207.96	206.95	206.64
9	S9	200.45	199.45	199.21
10	S10	190.01	188.94	188.67
11	S11A	186.76	185.94	185.75
12	S11	184.14	182.53	182.22
13	S12	181.75	179.82	179.25
14	S13	175.21	173.99	173.53
15	S14	174.97	173.83	173.39
16	S14A_m	169.07	168.61	168.51
17	S14A_v	168.87	166.88	166.55
18	S15	166.6	164.76	164.13
19	S16	156.69	156.07	155.89
20	S17	156.43	155.88	155.72
21	S18	150.45	149.68	149.47
22	S19	149.8	149.16	148.98
23	S19A	149.01	148.41	148.24
24	S20	145.6	144.42	144.09
25	S21	138.27	137.07	136.69
26	S22	134.34	133.52	133.28
27	S23	128.25	127.58	127.39
28	S24	115.56	114.56	113.86
29	S25	107.98	106.28	105.84
30	S26	103.94	102.28	101.88
31	S27_m	87.75	87.18	87.05
32	S27_v	85.6	84.67	84.41
33	S27A	85.21	84.34	84.1
34	S28_m	83.3	82.41	82.2
35	S28_v	81.97	80.49	80.08
36	S29	77.53	76.09	75.77
37	S30	75.1	73.32	72.92
38	S31_m	65.67	64.74	64.45
39	S31_v	65.7	64.23	63.76
40	S32	63.15	61.94	61.57
41	S16bis	60.57	59.18	58.68
42	S16bisB	58.23	56.88	56.58
43	S16bisA	57.13	55.6	55.12
44	S33	51.97	51.09	50.75
45	S34A	43.68	43.14	43
46	S35	36.94	35.94	35.51
47	S37	23.94	23.07	22.86
48	S38	17.29	16.12	15.79

6. Trattamento dei dati digitali

Questo capitolo tratta dei calcoli realizzati per lo sviluppo della seconda fase del protocollo, concernente il trattamento dei dati digitali relativi sia alle sezioni trasversali storiche ottenute dal metodo di digitalizzazione “digitize3” nel precedente capitolo, sia alle sezioni trasversali estratte dalla topografia aggiornata del fiume Tavo. L’obiettivo è quello di verificare la validità del modello idraulico storico sul territorio caratterizzato con dati odierni, conducendo un’analisi di congruenza di tipo geometrico e poi idraulico. Dunque, si desumono le differenze con le sezioni attualizzate, a parità di altezza idrica in ogni sezione, in termini di area bagnata e di larghezza in superficie. Nel presente capitolo, si descrive il codice sviluppato in MATLAB (A.6. e A.7.) uguale per entrambi gli scenari di piena. Questo codice è suddiviso fondamentalmente in tre parti: analisi di congruenza geometrica, analisi di congruenza idraulica e confronto risultati ottenuti. Nell’algoritmo scritto per lo scenario di piena per ipotetico collasso, si svolgono i calcoli rispetto ad una sola altezza idrica, al contrario in quello scritto per lo scenario di piena per funzionamento scarichi si considerano tre altezze idriche corrispondenti alle portate di $450 \text{ m}^3/\text{s}$, $186 \text{ m}^3/\text{s}$ e $138 \text{ m}^3/\text{s}$. Per semplificare la trattazione del codice, si fa riferimento al primo scenario idraulico.

6.1. Estrazione sezioni trasversali da DTM

E’ necessario ricavare le sezioni trasversali aggiornate per valutare l’applicabilità dei risultati delle indagini storiche sul nuovo supporto topografico aggiornato.

Per proiettare l’informazione altimetrica aggiornata, presente nel supporto topografico DTM, in corrispondenza di tutte le tracce delle sezioni storiche, si lavora nel software QGIS utilizzando il plugin “Profiles from lines” di SAGA GIS (“System for Automated Geoscientific Analyses”), che richiede come dati di input il DEM (“Digital Elevation Model”) e i vettori linea delle tracce delle sezioni. Questo applicativo restituisce un tematismo vettoriale puntiforme formato da punti che si posizionano su una linea e la loro distanza, rispetto all’origine della linea, sarà crescente con un intervallo costante. Ogni punto rappresenta il centro della cella del raster lungo la linea.

La tabella degli attributi contiene informazioni derivate dal raster utilizzato ed è complessivamente costituita dalle seguenti colonne:

- LINE_ID: ID identificativo di tutte le tracce delle sezioni, numerate da monte verso valle partendo da “0” (costante per tutti i punti appartenenti alla stessa traccia);
- ID: ID caratteristico di ciascun punto numerato a partire dal punto iniziale della prima traccia della sezione di monte;

- DIST: distanza di ciascun punto definita a partire dal punto iniziale di ogni traccia della sezione;
- DIST_SURF: distanza di ciascun punto definita lungo il DEM a partire dal punto iniziale di ogni traccia della sezione (quindi questo valore è leggermente più grande di quello ottenuto nel campo DIST);
- Coordinate planimetriche X Y e coordinata altimetrica Z.

6.2. Analisi di congruenza di tipo geometrico

Noti i dati digitali riguardanti le sezioni trasversali storiche con le loro altezze idriche e le sezioni attualizzate, si prosegue con una prima analisi di validazione del modello idraulico storico da un punto di vista geometrico.

L'elevato numero di dati è gestito e successivamente elaborato, attraverso lo sviluppo di un codice nel linguaggio MATLAB per entrambi gli scenari di piena analizzati.

La prima operazione consiste nell'esportare dal software QGIS, gli shapefiles sia delle sezioni trasversali aggiornate comprendenti le informazioni del DTM, sia delle tracce delle sezioni storiche contenenti le altezze idriche digitalizzate. In aggiunta, i files di testo delle sezioni trasversali storiche, restituiti dal codice di digitalizzazione "digitize3", sono salvati in formato "xlsx".

La tabella sottostante riassume i files di input dell'algoritmo formulato:

Tabella 6.1 – Dati di input nel codice MATLAB

<i>File in ingresso</i>	<i>Tipologia vettore</i>	<i>Note</i>
Tracce delle sezioni storiche (shp)	Lineare	Contenute negli studi storici e restituite dal software QGIS
Sezioni trasversali attualizzate (shp)	Puntuale	Definite a partire dalle tracce delle sezioni storiche mediante plugin "Profiles from lines"
Sezioni trasversali storiche (xlsx)	Puntuale	Presenti nelle tavole storiche e digitalizzate con codice "digitize3"

Di seguito, sono spiegati i passaggi necessari per poter condurre un confronto qualitativo tramite sovrapposizione delle sezioni trasversali storiche e di quelle attualizzate.

- Innanzitutto, si utilizza il comando “shaperead” per la lettura dei layers vettoriali e delle loro tabelle attributi, descritti in MATLAB in una struttura con diversi campi. Quindi, nella prima parte dell’algoritmo, si importano le tracce delle sezioni storiche (“sez”) contenenti le altezze idriche e successivamente le sezioni trasversali attualizzate (“Punti_sez”), dopo aver introdotto il ciclo “for” della variabile “n” per il processamento delle sezioni con “fid” identificativo. Si individua per ciascuna sezione processata, l’altezza idrica (“Q”) nella struttura “sez” con comando “find” e il vettore delle distanze progressive (“DIST”) e delle quote del terreno (“Z”). Per quanto concerne la definizione del vettore delle distanze e delle quote si crea un vettore logico, il quale restituisce “1” logico quando il valore del campo “LINE_ID” nella struttura “Punti.sez” coincide con la sezione processata, dopodiché si moltiplica il vettore ottenuto con le distanze (“DIST”) e quote (“Z”) riportate sempre nella medesima struttura.

Le righe di codice utilizzate sono le seguenti:

```
Q = [sez(find([sez.fid] == n)).Q]
```

```
DIST = ([Punti_sez.LINE_ID] == nn(n)).* [Punti_sez.DIST]
DIST(DIST == 0) = []
DIST = [0, DIST]
```

```
Z = ([Punti_sez.LINE_ID] == nn(n)).* [Punti_sez.Z]
Z(Z == 0) = []
```

Dove,

- “n” è la variabile del ciclo “for” di lunghezza pari al campo “fid” nella struttura “sez”.
 - “nn” è il vettore di lunghezza pari al campo “fid” meno “1”, introdotto in quanto il valore iniziale del campo “LINE_ID” è pari a “0” e non a “1” come per il campo “fid”.
- Nella seconda parte dell’algoritmo sono importate, con comando “xlsread”, le sezioni trasversali storiche digitalizzate. Per poter utilizzare questi dati, si estraggono i vettori relativi al campo del numero identificativo di ciascuna sezione “ID”, al campo delle distanze “DISTANZA” e al campo delle quote “QUOTA”. Successivamente, si determina la lunghezza del vettore di ciascuna sezione processata andando a ricercare, con il comando “find”, gli indici per i quali il campo “ID” coincide con il vettore “n”. Dunque, una volta definito l’indice iniziale e finale di ogni sezione, si deduce il vettore delle distanze progressive e delle quote del terreno.

A questo punto, si possono sovrapporre le sezioni derivate dai punti precedenti, cioè le sezioni “new” e “old” corrispondenti rispettivamente alle sezioni attualizzate e alle sezioni storiche.

Prima di proseguire con il raffronto grafico, occorre specificare che in molti casi le tracce delle sezioni riportate sulle planimetrie storiche, dalle quali si ottengono le sezioni trasversali aggiornate, non presentano la stessa estensione delle sezioni trasversali storiche. Per questo motivo, la sovrapposizione delle sezioni è fatta rispetto al fondo alveo e in taluni casi è modificata manualmente in modo da farle coincidere il più possibile. Inoltre, il vettore dell'altezza idrica proiettato sulle sezioni trasversali ha una dimensione pari al vettore delle distanze progressive con lunghezza maggiore.

A titolo di esempio, si riportano le sovrapposizioni di due sezioni trasversali, tra quelle che presentano la minore congruenza geometrica, per ogni scenario di piena studiato. Inoltre, le tracce di queste sezioni sono molto distanti tra loro, al fine di valutare il cambiamento morfologico riscontrato lungo il corso del fiume Tavo.

- *Scenario idraulico 1: propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento a seguito di ipotetico collasso (portata Q variabile lungo il percorso)*

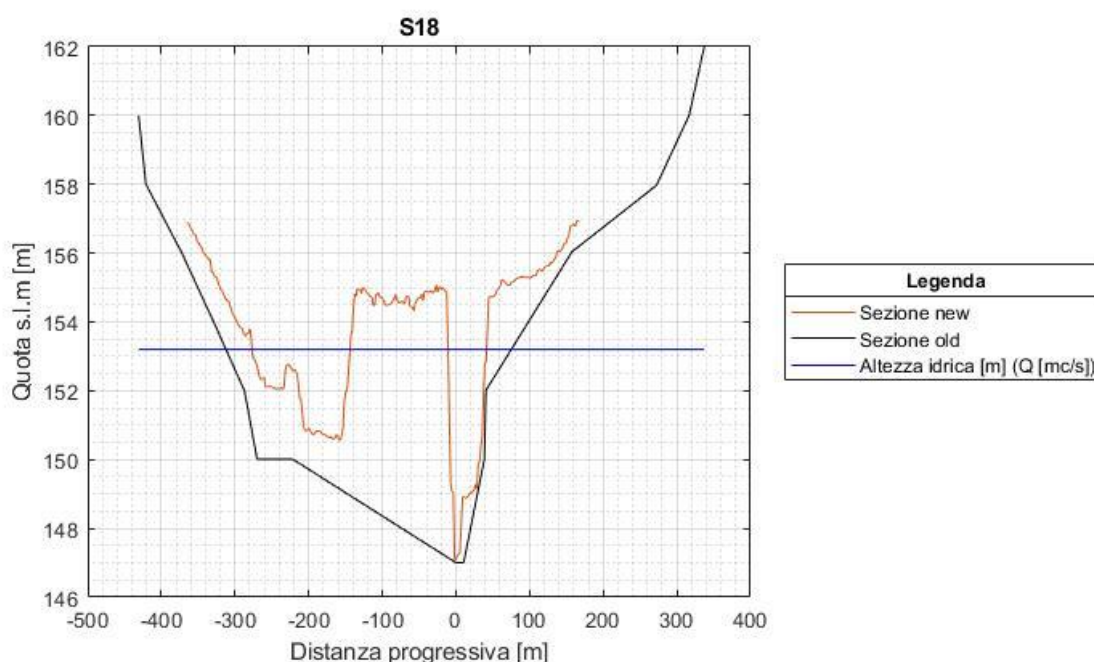


Figura 6.1 – Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 12 (Layer S18)

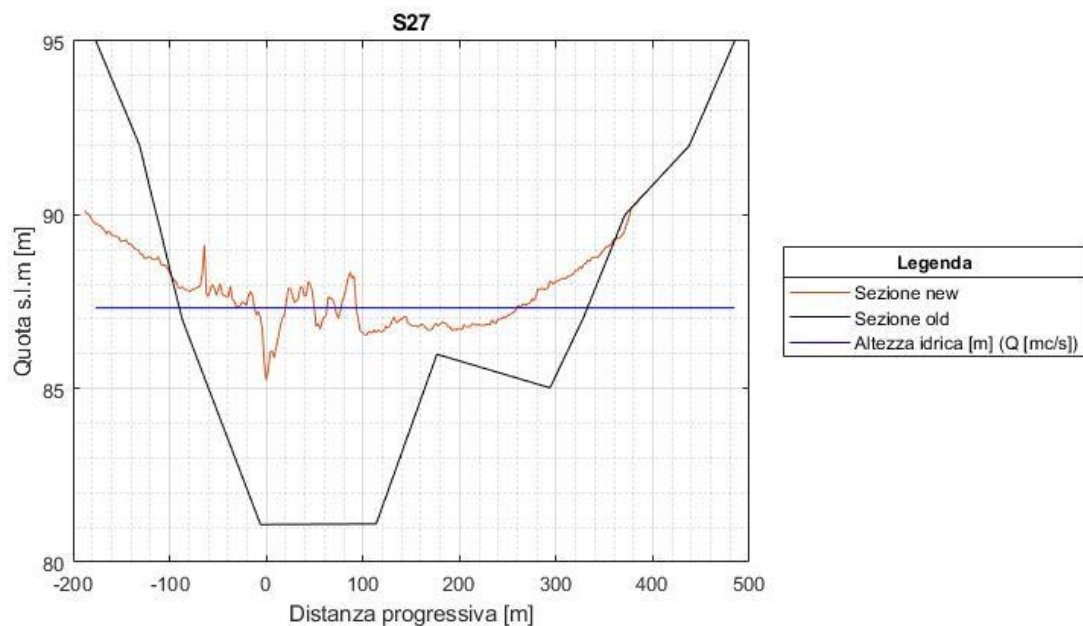


Figura 6.2 – Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 15 (Layer S27)

- Scenario idraulico 2: onde di piena a valle dello sbarramento a seguito del funzionamento degli organi di scarico (portate valutate in funzione dell'apertura degli scarichi e del livello idrico nell'invaso: $Q=138 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q=186 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$)

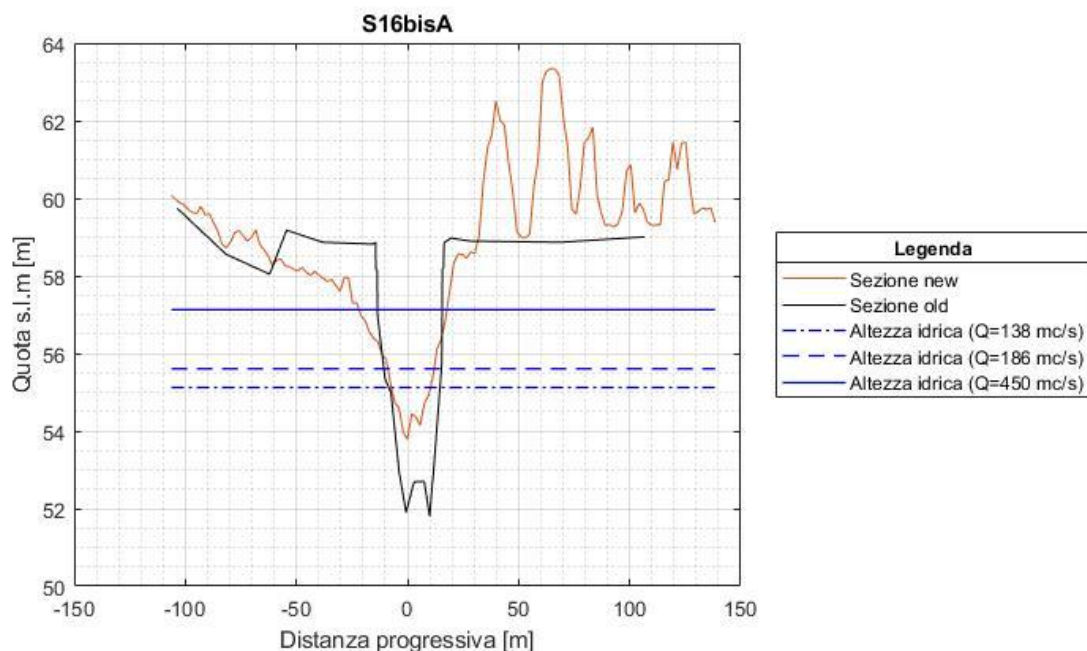


Figura 6.3 - Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 43 (Layer S16bisA)

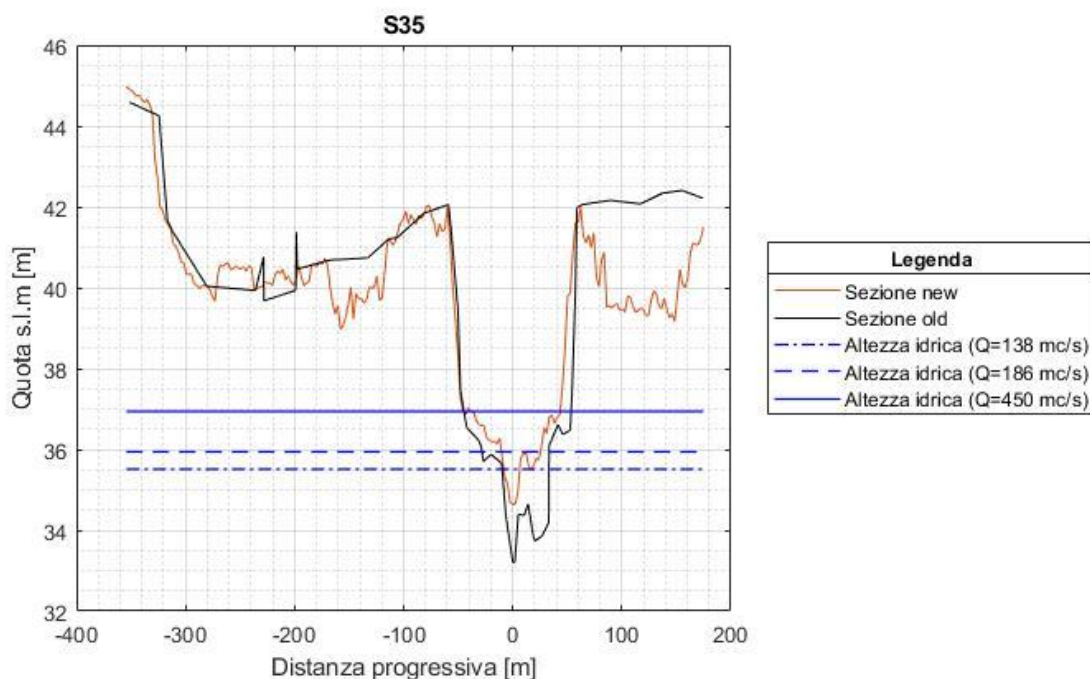


Figura 6.4 - Riscontro geometrico sezione trasversale numero (fid) 46 (Layer S35)

Conclusioni

Dal raffronto delle sezioni trasversali, negli esempi riportati, si evince una rilevante incongruenza geometrica specialmente per lo scenario di piena per ipotetico collasso risalente ad indagini condotte nel 1993.

Nonostante la presenza a monte della diga riduca la variabilità delle portate naturali, consentendo la generale conservazione geometrica delle sezioni, molte sezioni presentano, oltre a quelle considerate, una rilevante disomogeneità morfologica. Questa potrebbe derivare da interventi antropici esistiti negli ultimi decenni.

Infatti, lungo lo sviluppo del fiume Tavo ci sono un numero rilevante di cave e miniere attive e dismesse (censimento 2012) riportate sul sito della Regione Abruzzo³², sottoforma di tavole, shapefiles, files Excel e files KMZ. Per giustificare in parte l'incongruenza geometrica emersa per le quattro sezioni sopra riportate, si individua la loro collocazione sull'asta fluviale nello stralcio della Tavola 10 - "Sovrapposizione cave e miniere attive con aree protette".

Nella Figura 6.5 le sezioni S18 e S27, relative allo scenario di piena per ipotetico collasso, sono in prossimità delle cave e miniere attive per estrazione di ghiaie, di ghiaie/sabbie e di argille/aggregati argilloso sabbiosi; mentre nella Figura 6.6 le sezioni S16bisA e S35, dello scenario di piena per funzionamento scarichi, sono in prossimità delle cave e miniere attive per estrazione di ghiaie e sabbie. Quindi, la maggiore difformità geometrica delle sezioni trasversali attualizzate prese come riferimento per lo scenario per ipotetico collasso, potrebbe essere

³² Regione Abruzzo, «Allegati DGR 683/2018 | Regione Abruzzo», s.d., <http://www.regione.abruzzo.it/content/prae-piano-regionale-attivita%3%A0-estrattive>.

dovuta alla presenza di molte cave e miniere attive nelle loro vicinanze, le quali avrebbero incentivato, in passato, la riduzione delle quote a seguito di attività estrattive di varie tipologie di materiali. In caso contrario, questa differenza morfologica potrebbe derivare dall'incremento delle quote delle sezioni aggiornate a seguito di eventuale materiale di accumulo non utilizzato e depositato accanto al fiume. Quest'ultima circostanza è riscontrabile visivamente in corrispondenza della Figura 6.3, relativa allo scenario per funzionamento scari-

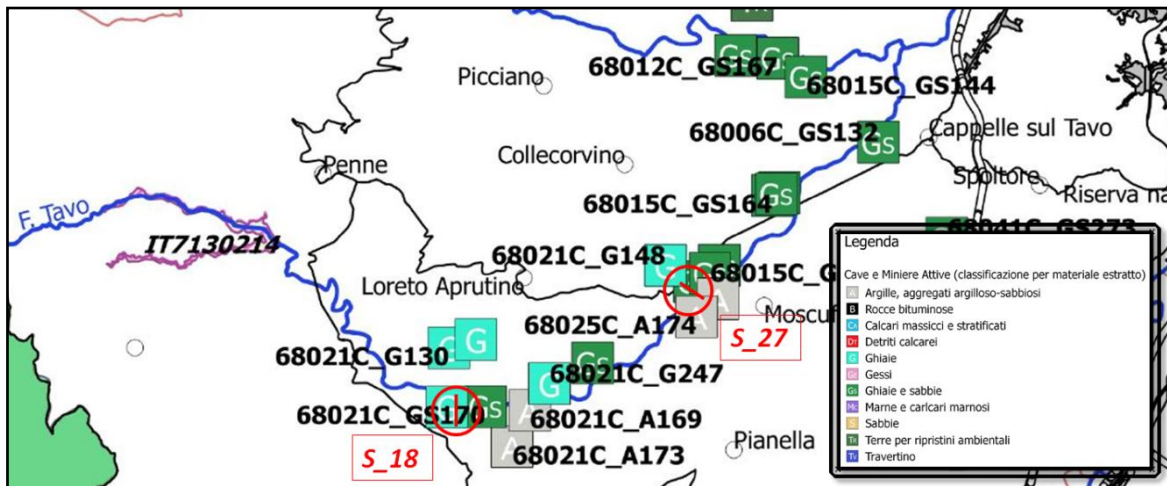


Figura 6.5 – Stralcio della Tavola 10³³, in cui sono riportate le due sezioni di riferimento (S18 e S27), le cave e miniere attive e la legenda dei simboli utilizzati

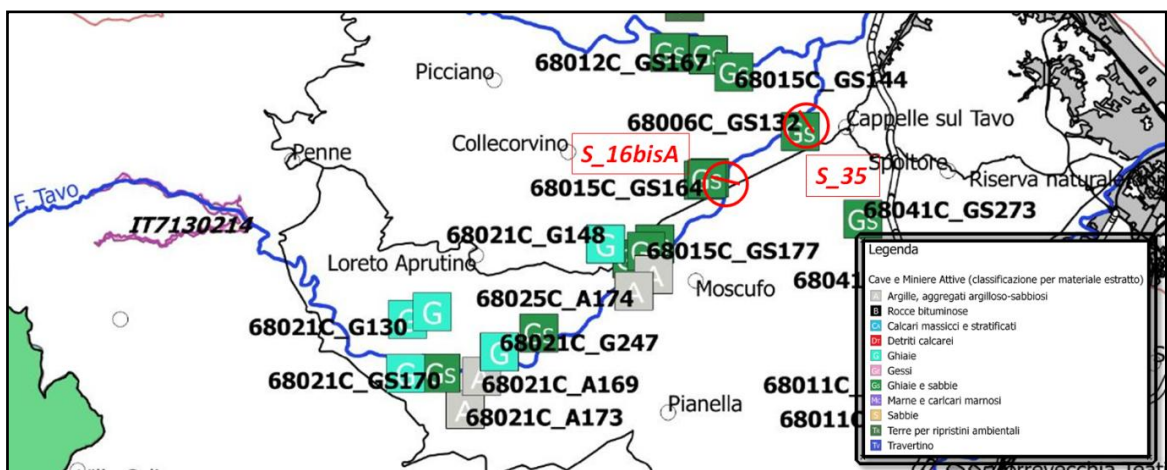


Figura 6.6 – Stralcio della Tavola 10³⁴, in cui sono riportate le due sezioni di riferimento (S16bisA e S35), le cave e miniere attive e la legenda dei simboli utilizzato

³³ Regione Abruzzo, «Allegati DGR 683/2018 | Regione Abruzzo», s.d., <http://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/attivita-estrattive/dgr683-2018/Tavola10.pdf>.

³⁴ Regione Abruzzo, «Allegati DGR 683/2018 | Regione Abruzzo», s.d., <http://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/attivita-estrattive/dgr683-2018/Tavola10.pdf>.

6.3. Analisi di congruenza di tipo idraulico

Il codice trattato nel precedente paragrafo è implementato per il calcolo dell'area bagnata e della larghezza in superficie, affinché si possa condurre una comparazione idraulica tra le sezioni storiche e quelle aggiornate.

Il codice si articola nei seguenti passaggi:

- Per conseguire una maggiore precisione di calcolo, dell'area bagnata, si definisce il nuovo vettore delle distanze progressive "DIST_N" su un intervallo da 0 al massimo valore di "DIST" con un incremento di 0.01 metri. Da questo vettore si deduce sia il vettore dell'altezza idrica "Q_N", avente valore corrispondente all'altezza idrica "Q" dedotta nel paragrafo precedente, sia il vettore delle quote del terreno "Z_N" mediante il comando "*interp1*".
- Dopo aver dedotto il vettore dell'altezza idrica "Q_N", si conduce un "test" in cui si mettono a confronto le quote del terreno "Z_N" con il valore di "Q_N". La disuguaglianza restituisce un vettore contenente "1" logico quando Z_N è maggiore di Q_N e "0" logico in caso contrario. Successivamente, questo vettore è moltiplicato per il vettore delle quote "Z_N", mentre la sua negazione logica (operatore NOT logico ~) è moltiplicata per il vettore dell'altezza idrica "Q_N". Dalla somma dei due vettori appena ricavati si definisce il vettore "q_integr" comprensivo sia dello sviluppo della sezione al di sopra dell'altezza idrica, sia dell'altezza idrica stessa.

L'area bagnata è data dalla differenza di due integrazioni numeriche trapezoidali (comando "*trapz*"), ciascuna delle quali è ottenuta integrando i vettori "q_integr" e "Z_N" rispetto al vettore dell'intervallo di integrazione "DIST_N" che risulta essere la variabile indipendente.

Il metodo trapezoidale stima l'area sottesa ad una curva suddividendola in tanti trapezi quanti sono gli intervalli di calcolo, da ciò si deduce che l'accuratezza dei risultati aumenta all'aumentare del numero di intervalli. Questo metodo è applicabile qualora le dimensioni dei due vettori risultino uguali.

Il codice utilizzato per il calcolo dell'area bagnata è:

$$Q_N = (\text{one}(1, \text{length}(\text{DIST}_N)) .* Q$$

$$\text{testZ} = Z_N > Q_N$$

$$\text{testZ1} = \sim \text{testZ}$$

$$q_{\text{integr}} = \text{testZ} .* Z_N + \text{testZ1} .* Q_N$$

$$\text{Area}(n) = \text{trapz}(\text{DIST}_N, q_{\text{integr}}) - \text{trapz}(\text{DIST}_N, Z_N)$$

Per poter rappresentare graficamente l'area bagnata con il comando “*patch*”, si riportano le seguenti righe di codice per le sezioni trasversali aggiornate:

```
D_area = testZ1.* DIST_N
Z_area = Z_N - q_integr + Q_N
```

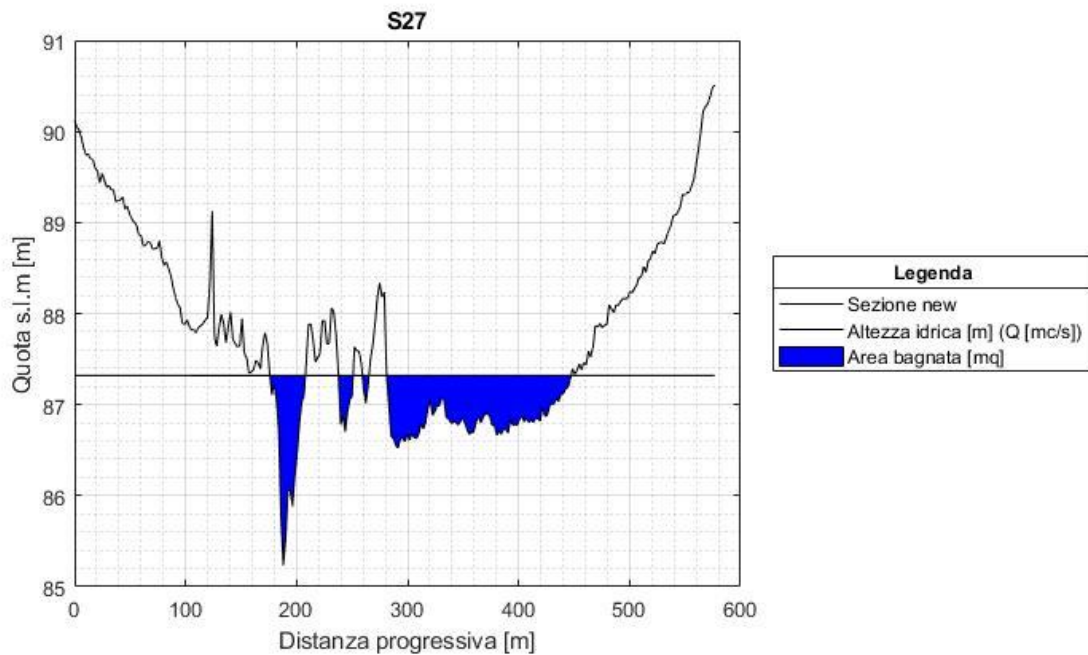


Figura 6.7 - Risultato grafico area bagnata

- Il calcolo della larghezza in superficie si realizza con un ciclo “*if*”, il quale permette di considerare la possibilità dell'assenza del dato relativo all'altezza idrica che in MATLAB si traduce con il simbolo “NaN” (“Not a Number”). Per cominciare, si applica il comando “*isnan*” a ciascuna altezza idrica “Q” ottenendo un valore logico “q”, in cui “1” logico corrisponde a “Q” pari a “NaN” e “0” logico in caso contrario. Quindi, si imposta il ciclo “*if*” con il quale si pone la larghezza in superficie pari a NaN se il valore logico “q” è uguale a 1, altrimenti si determina il valore della larghezza con alcune operazioni riportate di seguito. Per cominciare, si eliminano dal vettore logico “testZ1”, determinato per il calcolo dell'area bagnata, i valori nulli e poi mediante il comando “*find*” si individuano gli indici per i quali “testZ1” è diverso da 0. In fine, si deducono i valori del vettore “DIST_N” corrispondenti agli indici e di questi valori se ne prende l'ultimo che coincide con la larghezza in superficie.

Il codice rappresentativo quel'ultimo calcolo è:


```

q = isnan(Q)
if q == 1
Larghezza_sup_DTM(n) = NaN
else
testZ1 (testZ1 == 0) = []
Idx = find(testZ1 ~= 0)
DIST_idx = DIST_N (Idx)
Larghezza_a_sup_DTM(n) = DIST_idx(end)
end

```

Per poter riportare graficamente la larghezza in superficie, si usa il codice:

```

testZ1 = ~ testZ
q1 = testZ1.* Q_N
q1(q1 == 0) = NaN

```

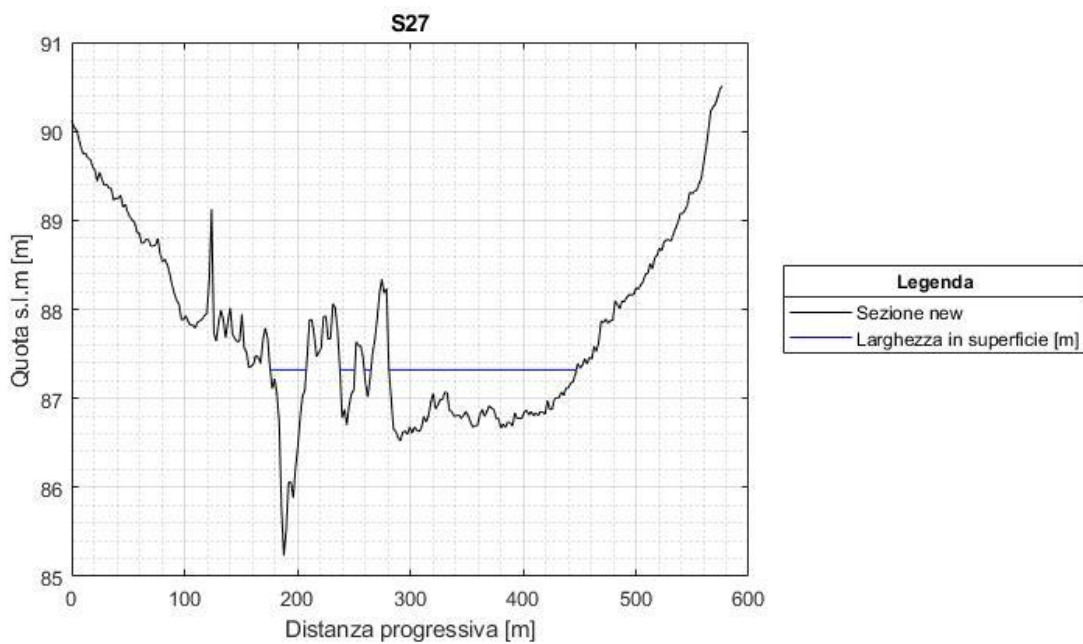


Figura 6.8 – Risultato grafico larghezza in superficie

6.4. Confronto risultati ottenuti

I risultati pervenuti dal codice sono graficizzati attraverso due tipologie di rappresentazioni, in modo da poter apprezzare maggiormente le differenze riscontrate.

Nella prima tipologia, si introducono le aree bagnate e le larghezze in superficie delle sezioni trasversali storiche sull'asse delle ascisse e delle sezioni trasversali attualizzate sull'asse delle ordinate. Dopo aver costruito la bisettrice degli assi, si osserva la posizione dei punti per rapportare i valori calcolati. Possono esserci tre possibilità: se i punti ricadono sotto la bisettrice allora le sezioni trasversali storiche presentano valori maggiori, se i punti ricadono al di sopra della bisettrice allora le sezioni trasversali attualizzate hanno valori più elevati, in fine se i punti ricadono sulla bisettrice allora i valori dei due tipi di sezioni coincidono.

Nella seconda tipologia, si riportano due differenti grafici relativi alle aree bagnate e alle larghezze in superficie di tutte le sezioni processate. Il primo grafico mostra i valori ricavati dal codice in ordinata e in ascissa il numero delle sezioni analizzate. Il secondo grafico definisce per le sezioni trasversali attualizzate la variazione percentuale dell'area bagnata e della larghezza in superficie rispetto ai valori desunti dalle sezioni trasversali storiche. Dunque, la variazione percentuale esprime la differenza tra il valore finale (aggiornato) e il valore iniziale (storico) di una grandezza in termini percentuali, considerando come valore di riferimento quello iniziale. In base al segno di questa variazione, si possono avere tre casistiche: incremento percentuale se la variazione è positiva, decremento percentuale se la variazione è negativa e variazione nulla se la variazione percentuale è pari a zero. Le formule utilizzate per questo calcolo sono:

$$\Delta Area(\%) = \frac{Area(DTM) - Area(storica)}{Area(storica)} \cdot 100$$

$$\Delta Larghezza(\%) = \frac{Larghezza(DTM) - Larghezza(storica)}{Larghezza(storica)} \cdot 100$$

- *Scenario idraulico 1: propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento a seguito di ipotetico collasso (portata Q variabile lungo il percorso)*

Prima rappresentazione grafica

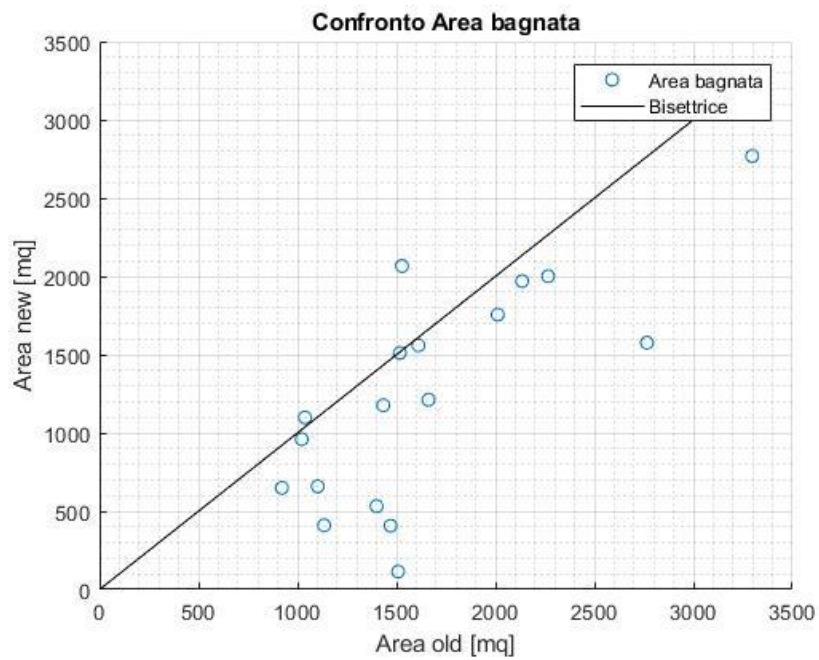


Figura 6.9 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata

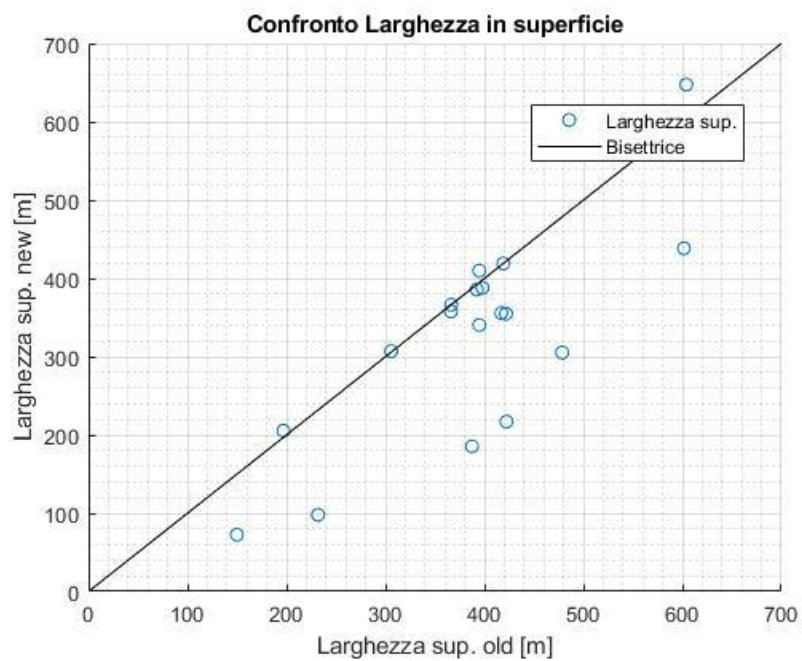


Figura 6.10 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie

Seconda rappresentazione grafica

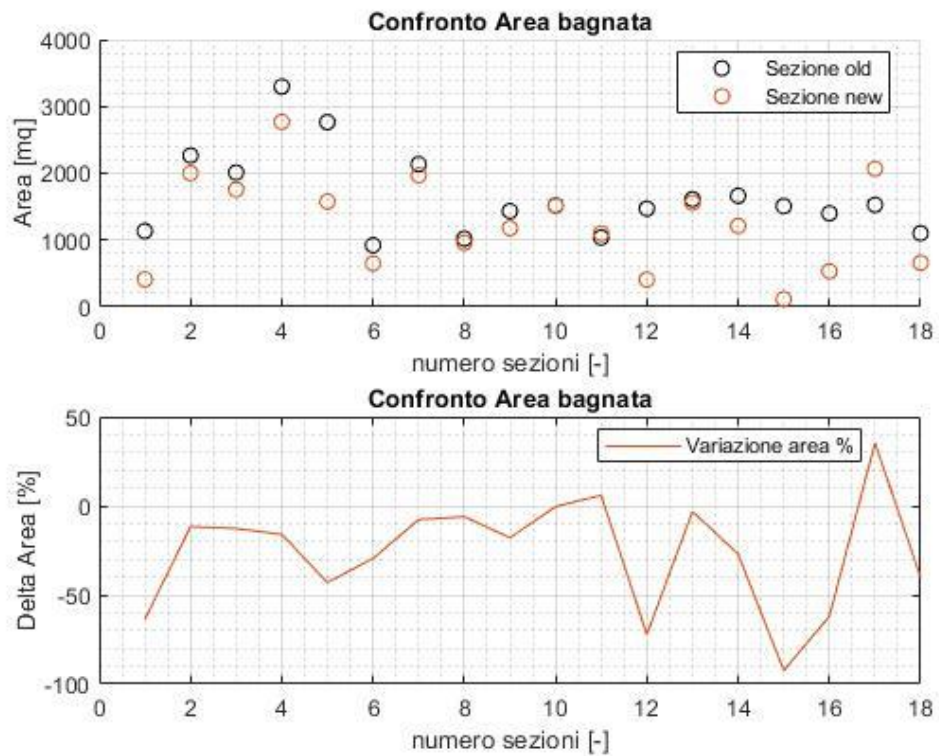


Figura 6.11 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata

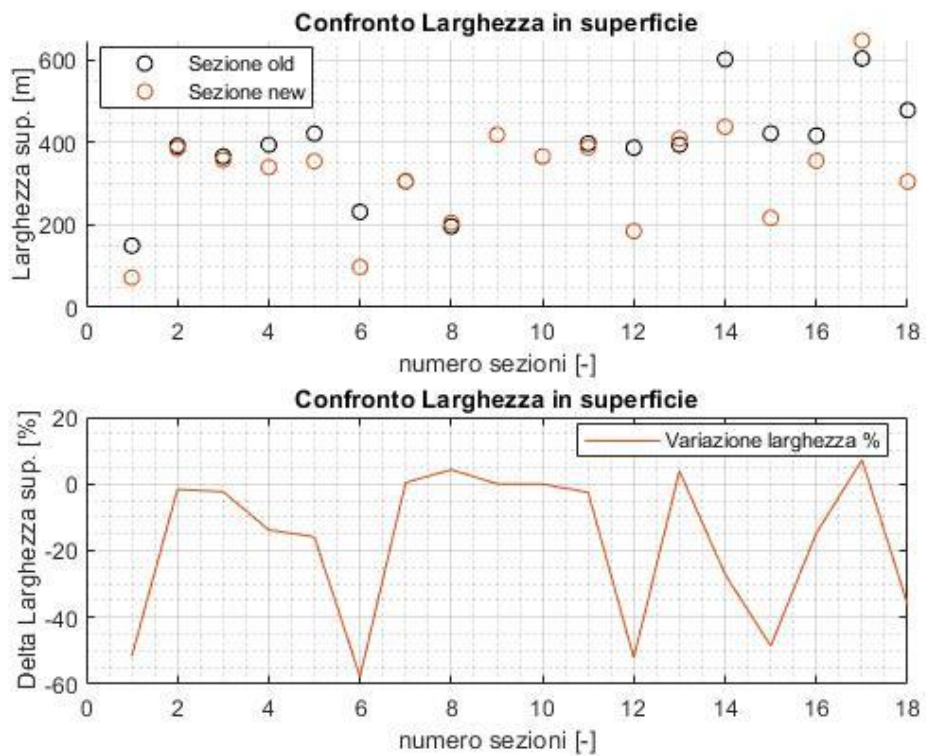


Figura 6.12 - - Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie

- *Scenario idraulico 2: onde di piena a valle dello sbarramento a seguito del funzionamento degli organi di scarico (portate valutate in funzione dell'apertura degli scarichi e del livello idrico nell'invaso: $Q=138 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q=186 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$)*

Prima rappresentazione grafica

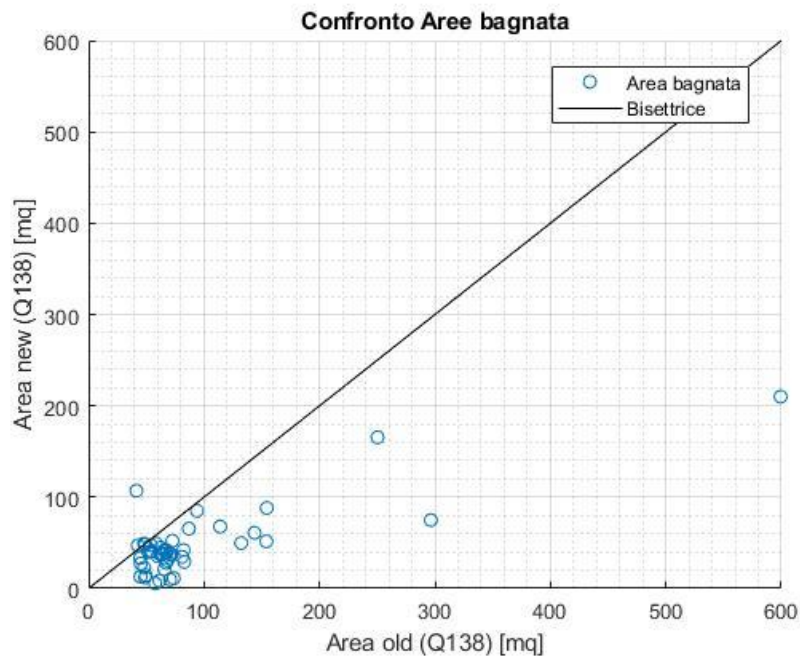


Figura 6.13 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata ($Q=138 \text{ m}^3/\text{s}$)

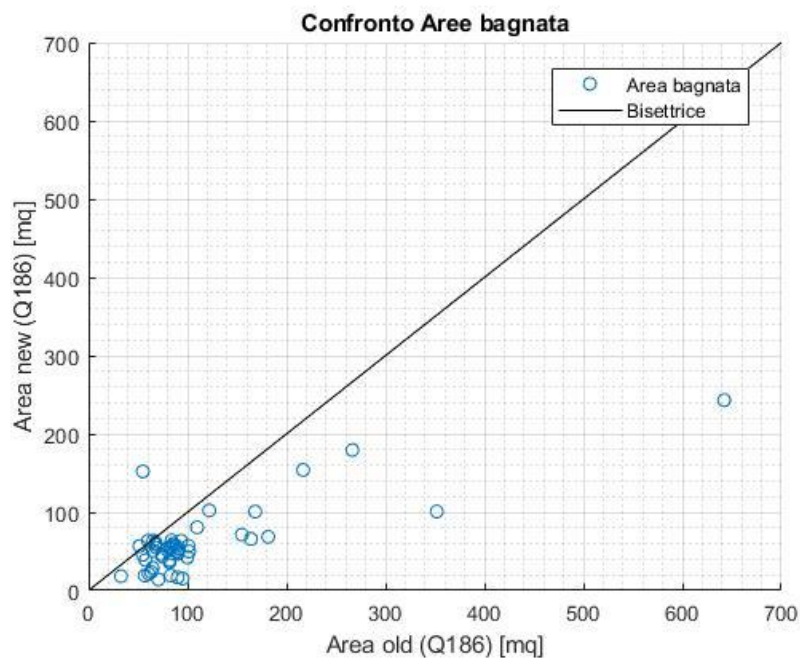


Figura 6.14 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata ($Q=186 \text{ m}^3/\text{s}$)

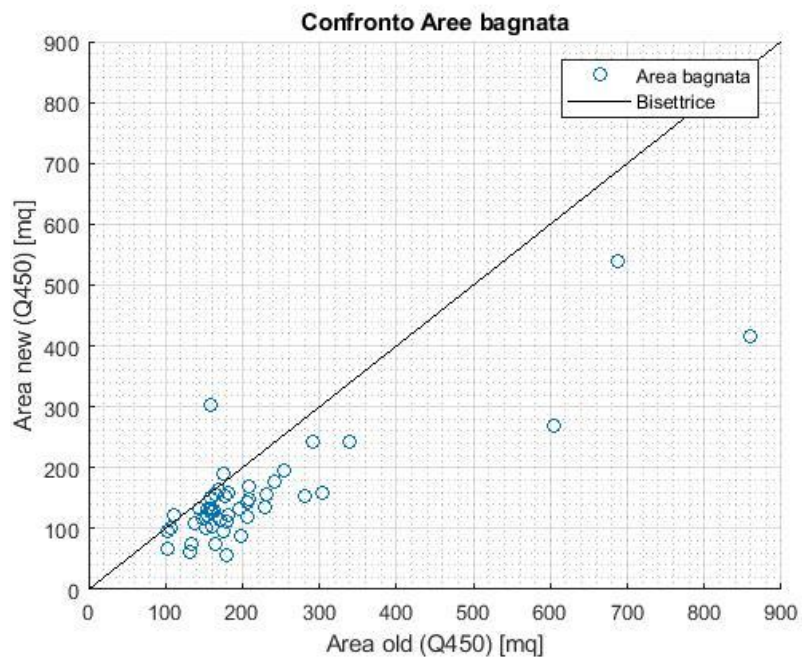


Figura 6.15 – Prima rappresentazione grafica: confronto area bagnata ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$)

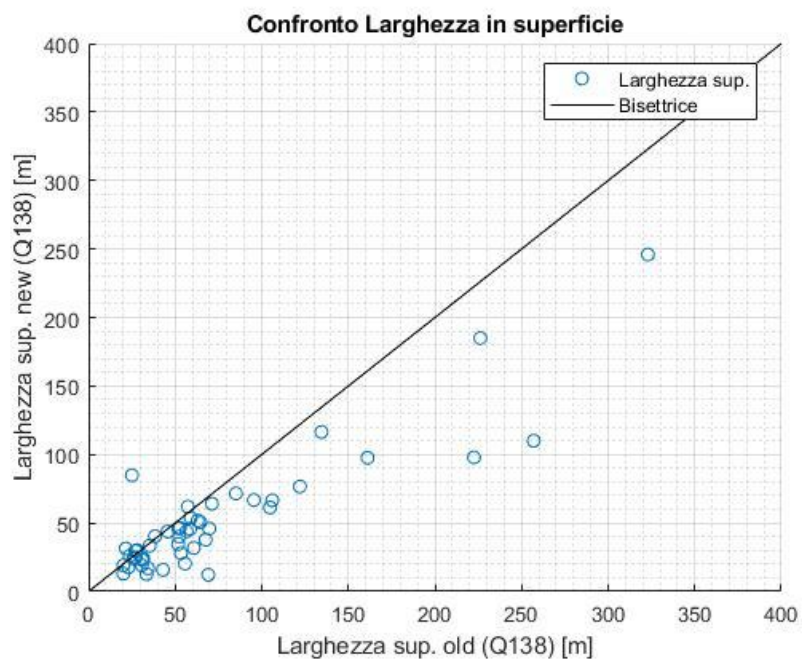


Figura 6.16 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie ($Q=138\text{m}^3/\text{s}$)

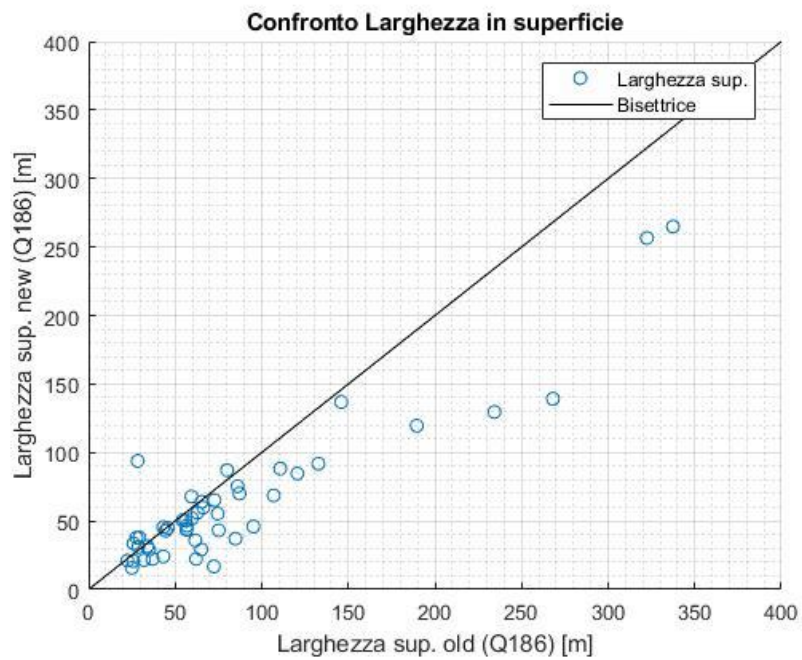


Figura 6.17 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie ($Q=186m^3/s$)

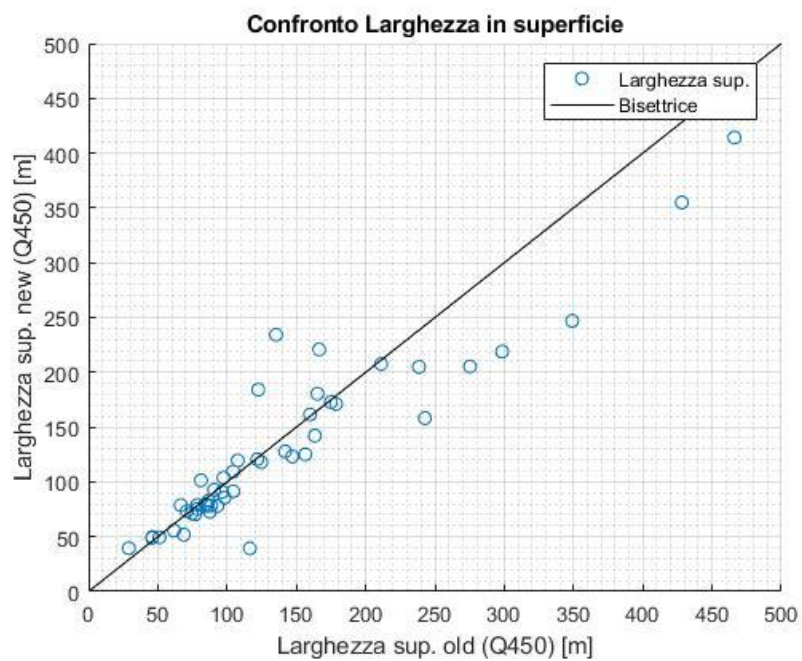


Figura 6.18 – Prima rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie ($Q=450m^3/s$)

Seconda rappresentazione grafica

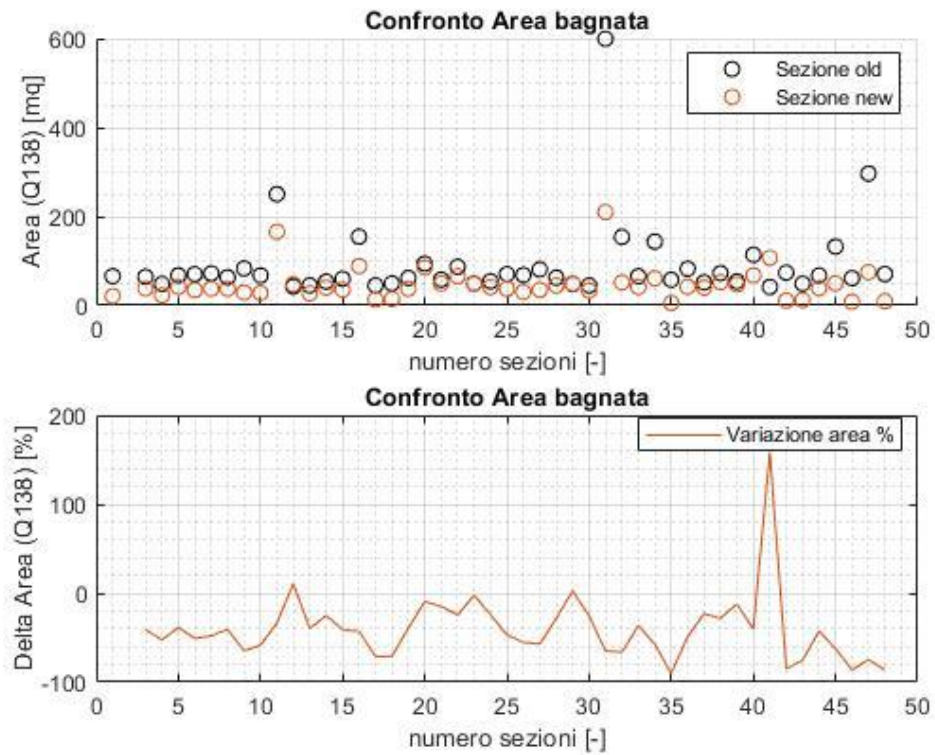


Figura 6.19 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata ($Q=138m^3/s$)

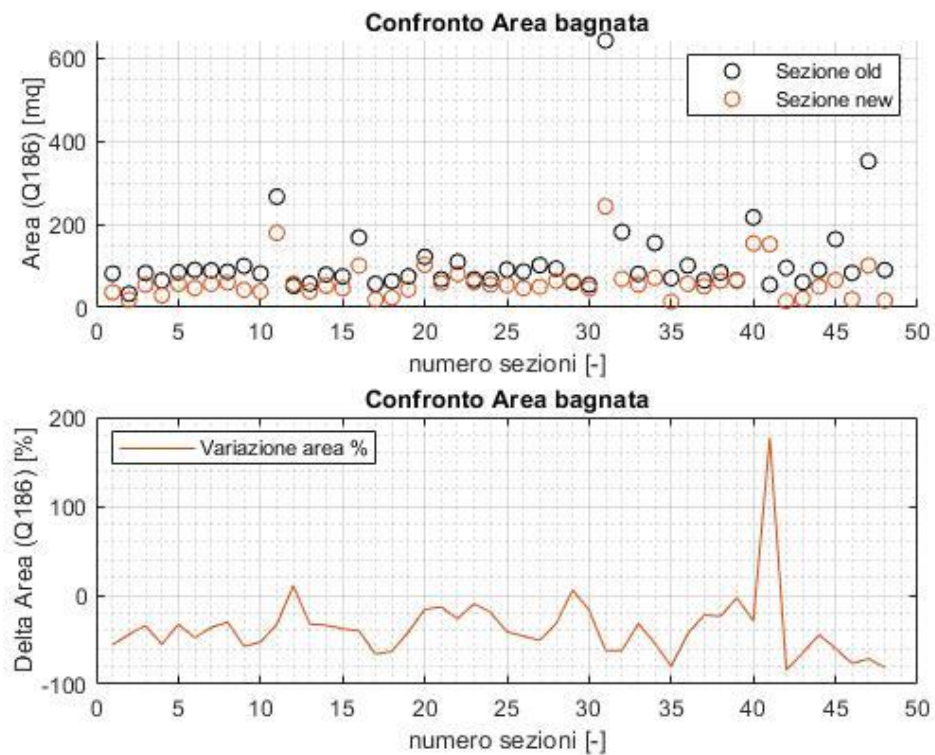


Figura 6.20 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata ($Q=186m^3/s$)

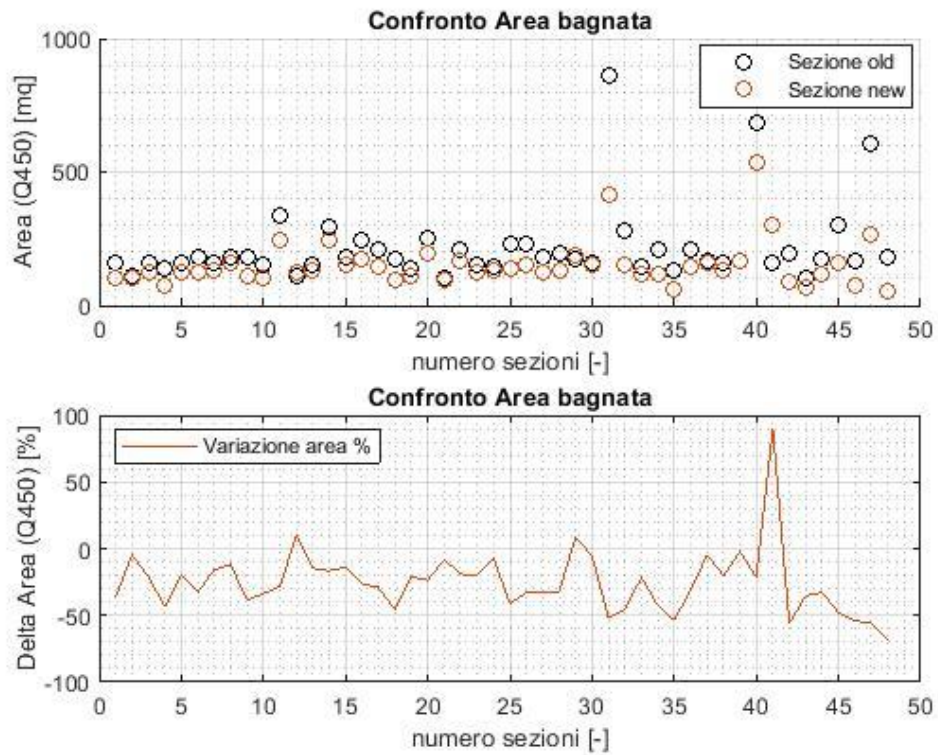


Figura 6.21 – Seconda rappresentazione grafica: confronto area bagnata ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$)

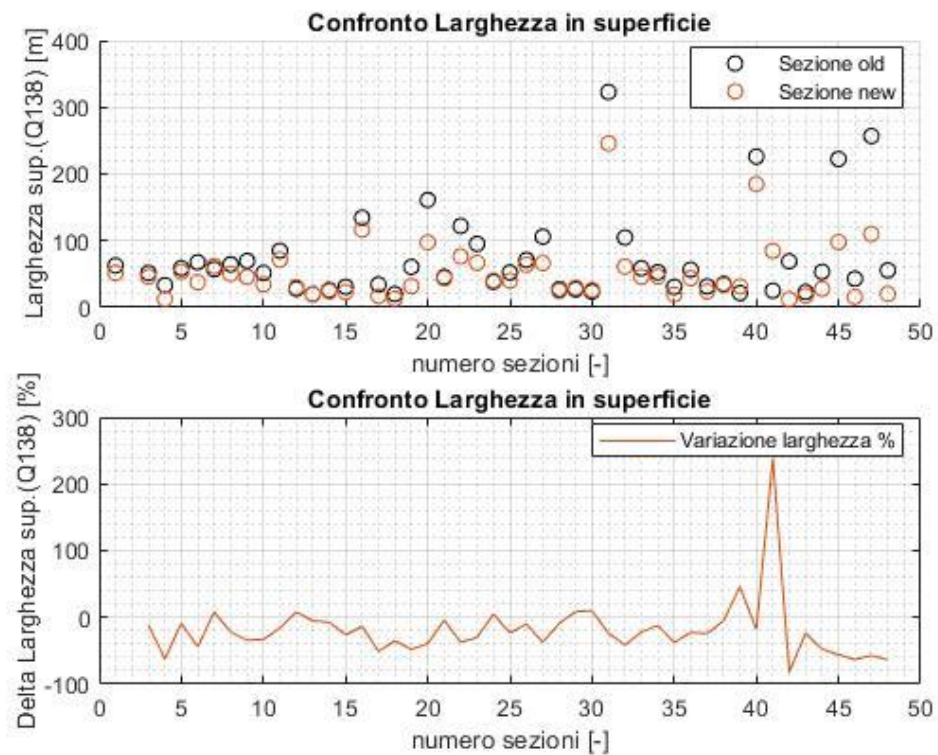


Figura 6.22 – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie ($Q=138\text{m}^3/\text{s}$)

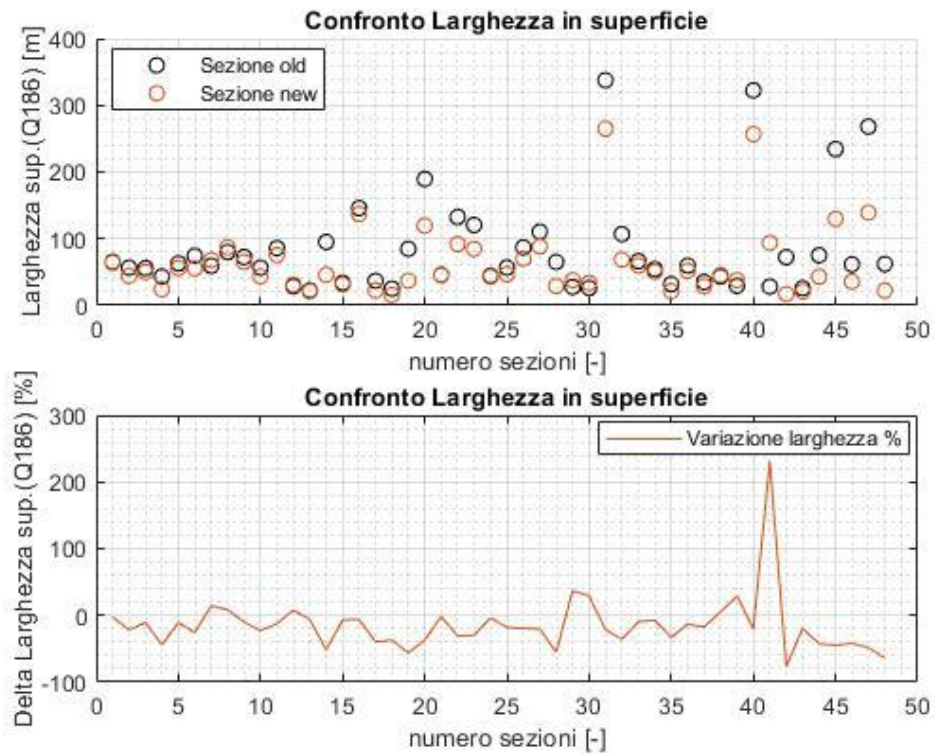


Figura 6.23 – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie ($Q=186 \text{ m}^3/\text{s}$)

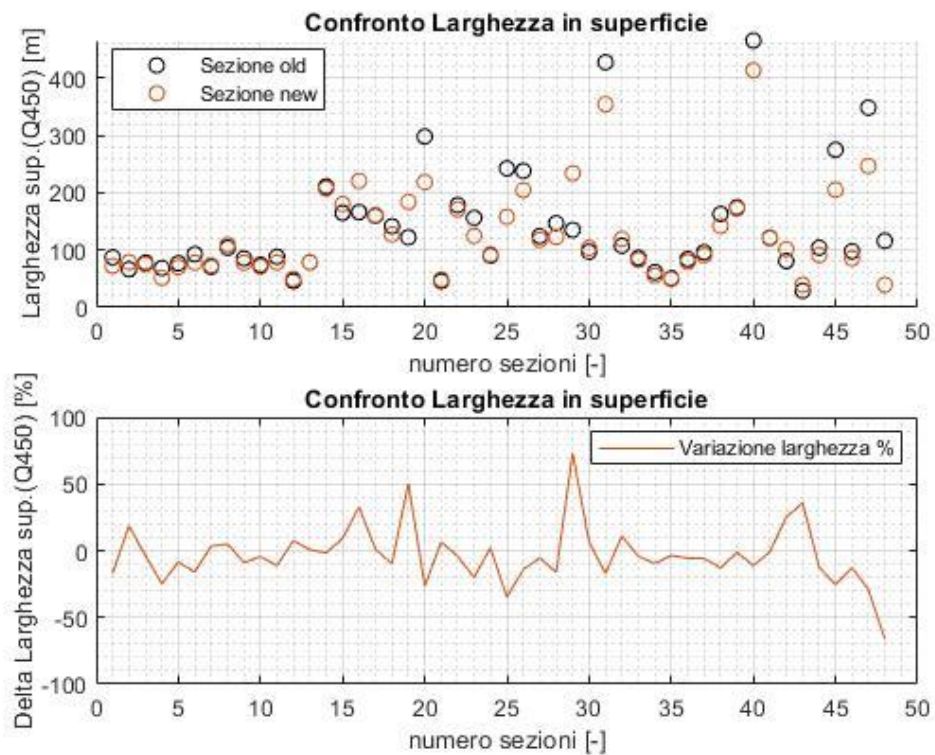


Figura 6.24 – Seconda rappresentazione grafica: confronto larghezza in superficie ($Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$)

Conclusioni

Esaminando tutti i risultati grafici conseguiti per entrambi gli scenari di piena, si deduce che in linea di massima i valori relativi alle aree bagnate ed alle larghezze in superficie delle sezioni trasversali attualizzate siano minori, al diminuire della portata considerata, rispetto ai valori desunti dalle sezioni trasversali storiche. Questo potrebbe essere spiegato dal fatto che nel tempo la presenza della diga determini effetti morfologici di riduzione delle sezioni naturali attive. Un'altra possibile motivazione alla discordanza idraulica emersa potrebbe derivare dal diverso supporto topografico di maggior dettaglio utilizzato. Infatti, le molte irregolarità presenti sulla superficie topografica descritta dal DTM, rispetto alle sezioni definite negli studi storici, possono causare un importante cambiamento dell'area bagnata e della larghezza in superficie soprattutto per bassi tiranti. In particolare, si evince come, a parità di altezza idrica storica in ogni sezione, la maggiore macro-scabrezza delle sezioni attualizzate determini una sottostima dell'area allagabile al ridursi dell'entità delle portate storiche.

7. Riscontro idraulico semplificato

Nel presente capitolo sono valutati gli effetti relativi alla variazione dell'altezza idrica, a parità di portata, conseguenti all'incongruenza geometrica e idraulica riscontrata nel precedente capitolo. Quindi, si conduce una modellazione monodimensionale nel software HEC-RAS, per le sole sezioni attualizzate che presentano, alla massima portata storica, la minore conformità idraulica. Prima di procedere con la simulazione idraulica in moto uniforme, è necessario introdurre nel presente capitolo lo scopo, i vantaggi computazionali e le equazioni del modello monodimensionale in moto stazionario.

7.1. Modello monodimensionale

7.1.1. Premessa

I modelli numerici idrodinamici hanno assunto nel corso degli anni notevole importanza come supporto alla progettazione di varie tipologie di intervento, avente come scopo quello di ridurre il rischio idraulico incombente sul territorio. Il modello monodimensionale consente di simulare la propagazione dell'onda di piena lungo lo sviluppo fluviale, in riferimento ad eventi idrologici estremi, per rilevare in modo speditivo l'entità dei fenomeni delineando gli aspetti fondamentali dei probabili scenari di piena e verificando preventivamente l'effetto delle soluzioni impiegate. Lo studio del deflusso sui fiumi naturali o altri canali, a partire dalla definizione di condizioni iniziali e al contorno, permette di ricavare importanti informazioni come ad esempio, l'altezza del pelo libero della corrente, le aree interessate e le velocità della corrente. Il modello monodimensionale si usa per analizzare sviluppi fluviali aventi andamento regolare, sezioni di ampiezza all'incirca costante e aree golenali di estensione contenuta. Questo risulta essere lo schema numerico più semplice, in cui si rappresenta l'asta fluviale tramite sezioni trasversali in riferimento alle quali sono determinate tutte le grandezze idrauliche, mediate in corrispondenza della direzione verticale e di quella trasversale alla corrente, la quale presenta una predeterminata direzione. Il modello dimensionale risulta essere particolarmente adatto ed attendibile, nel caso in cui le caratteristiche del deflusso siano in prevalenza unidirezionali (direzione longitudinale del moto). Inoltre, i ridotti tempi computazionali dovuti al numero limitato di punti di calcolo e il buon grado di affidabilità in presenza di sezioni desunte da rilievi dettagliati della geometria dell'alveo, rendono questo modello numerico frequentemente utilizzato.

7.1.2. Equazioni moto stazionario

Le principali caratteristiche della corrente sono calcolate nel software HEC-RAS, risolvendo l'equazione del bilancio dell'energia tra due sezioni consecutive, attraverso un processo iterativo ("standard step method"). Si indicano con i pedici 1 e 2 le grandezze corrispondenti rispettivamente alla sezione di valle e di monte. L'energia è definita dalla seguente equazione:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dove,

Y_1, Y_2 sono i tiranti idrici;

Z_1, Z_2 sono le quote del fondo alveo;

V_1, V_2 sono le velocità medie;

α_1, α_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche (coefficienti di Coriolis);

g è l'accelerazione di gravità;

h_e è la perdita di carico totale nel tratto considerato.

La perdita di carico considerata tra le due sezioni è desunta dalla somma di due contributi: uno dovuto all'attrito h_f , relativa alle perdite distribuite lungo il tratto considerato, l'altro dovuto a contrazioni ed espansioni della vena liquida h_0 .

$$h_e = h_f + h_0 = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Dove,

\bar{S}_f è la cadente della linea dei carichi totali;

C è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1;

L è la lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate, definita dalla seguente formula:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Il codice di calcolo HEC-RAS consente di considerare l'andamento curvilineo dell'asse fluviale, suddividendo ciascuna sezione interessata dal moto in tre zone distinte: una zona golenale sinistra (LOB, "left overbank"), una zona centrale relativa all'alveo ordinario (CH, "channel") e una zona golenale destra (ROB, "right overbank"). La distanza di calcolo tra due

sezioni consecutive è definita dalla media pesata sulle portate pertinenti alle tre zone principali, una centrale e due laterali inondabili.

Dove,

L_i sono le lunghezze del tratto relative alla zona golenale sinistra ($i = lob$), al canale principale ($i = ch$) e alla zona golenale destra ($i = rob$);

\bar{Q}_i sono le portate medie attraversanti la zona della sezione in golena sinistra, in alveo ordinario e in golena destra.

Per definire la conducibilità idraulica (K) e le altezze cinetiche è necessario suddividere il flusso in porzioni di sezione nella quali la velocità possa considerarsi uniformemente distribuita. L'approccio di default usato dal software HEC-RAS consente una discretizzazione delle sezioni, rispetto al valore della scabrezza "n". La valutazione della conducibilità idraulica (conveyance) è realizzata mediante la formula di Manning. Di seguito è riportata la formula di Chezy, con la quale è possibile calcolare la conducibilità idraulica:

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}}, \quad K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

Dove,

K è la conducibilità idraulica (m^3/s);

n è il coefficiente di scabrezza di Manning ($m^{-1/3}/s$);

A è l'area di flusso (m^2);

R è il raggio idraulico (m).

Le grandezze sono relative ad una sola ad una sola porzione di flusso. Le "conveyance" parziali delle zone golenali sono sommate, al fine di ottenere due valori relativi alle zone laterali. Per quanto concerne invece il canale centrale, questo è trattato come un unico elemento avente un solo valore di "conveyance". Il valore finale di K per l'intera sezione è dedotto dalla somma dei tre contributi parziali.

Dato che HEC-RAS permette di simulare solo profili di corrente monodimensionale, a ciascuna sezione è associata una sola superficie libera e quindi una sola altezza cinetica. Dunque, per un definito valore del tirante idrico nella sezione, l'altezza cinetica è desunta dal valore medio pesato sulla portata sulle singole sezioni (golenali e centrale).

$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)}{Q_{tot}}$$

da cui α risulta:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot V_i^2}{Q_{tot} \cdot \bar{V}^2}$$

L'incognita relativa al valore assunto dall'altezza della superficie libera è definita in modo iterativo, a partire dai dati di portata e dalle caratteristiche geometriche di ogni sezione, risolvendo l'equazione dell'energia e delle perdite di carico.

La metodologia di calcolo è la seguente:

1. Scelta dell'altezza della superficie libera WS_1 ("water surface") di primo tentativo, in base alla sezione di monte per correnti lente, o di valle per correnti veloci;
2. Calcolo dei valori di "conveyance" totale e di altezza cinetica, partendo dal valore introdotto al punto 1;
3. Stima della cadente della linea dei carichi totali S_f e risolve l'equazione delle perdite di carico ottenendo la perdita di carico totale h_e ;
4. Soluzione dell'equazione dell'energia per il calcolo della superficie libera WS_2 , partendo dai valori definiti al punto 2 e 3;
5. Il processo prosegue con il confronto tra le due altezze della superficie libera WS_1 e WS_2 , successivamente i passaggi elencati si ripetono fino la differenza tra i due valori risulta inferiore ad una certa tolleranza modificabile dall'utente.

L'equazione dell'energia non può essere applicata quando ci sono fenomeni che comportano una transizione da corrente veloce a lenta, o viceversa, con conseguente passaggio per l'altezza idrica. In questi casi, HEC-RAS usa l'equazione dei momenti:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

Dove,

$P_{1,2}$ è la spinta idrostatica relativa alle sezioni 1 e 2;

W_x è la componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f è la forza resistente dovuta all'attrito;

Q è la portata;

ρ è la densità dell'acqua;

ΔV_x è la variazione di velocità fra le sezioni 1 e 2 nella direzione del moto;

$Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$ è la variazione di quantità di moto.

Dall'esplicazione dei termini sunnominati si ottiene l'equazione dei momenti utilizzata dal software:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{gA_2} + A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot L \cdot \bar{S}_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{gA_1} + A_1 \cdot \bar{Y}_1$$

Dove,

$A_{1,2}$ è l'area bagnata in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;

L è la distanza tra le sezioni 1 e 2 misurata lungo la direzione x ;

$\beta_{1,2}$ è il coefficiente di ragguglio che prende in considerazione le variazioni nella distribuzione della velocità in canali irregolari;

S_0 è la pendenza del canale;

\bar{S}_f è la cadente della linea dei carichi totali.

La forma funzionale dell'equazione dei momenti può adattata per condurre analisi di particolari condizioni idrauliche come nel caso di confluenze e ponti.

7.2. Modellazione 1D semplificata degli scenari di piena analizzati

Dopo aver constatato che le sezioni naturali attive, a valle della diga di Penne, sono soggette in generale ad un restringimento morfologico, dovuto probabilmente alla presenza stessa della diga e alle macro-scabrezze rilevate dal supporto topografico aggiornato, si vuole valutare in modo speditivo il potenziale incremento del tirante idrico e quindi dell'area allagabile per entrambi gli scenari di piena. A tale scopo, è realizzato un modello di simulazione monodimensionale semplificato in moto uniforme con il software HEC-RAS, per le sole sezioni trasversali attualizzate che presentano i valori più bassi in termini di area bagnata e larghezza in superficie, rispetto ai valori riscontrati per le sezioni trasversali storiche. Infatti, dal confronto qualitativo di queste sezioni, si evince una significativa incongruenza geometrica. Inoltre, l'aumento dell'altezza idrica raggiungibile a parità di portata, è valutato in riferimento alla massima portata storica considerata costante, cioè quella che risulta essere la più gravosa ai fini dell'incremento del rischio allagamento.

Le sezioni trasversali per le quali sono condotte le simulazioni idrauliche sono:

- Nello scenario di piena per ipotetico collasso, si valutano le due sezioni trasversali attualizzate aventi numerazione (fid) 12 e 15 (corrispondenti rispettivamente al Layer S18 e S27), per le quali si riscontra la più bassa area bagnata e larghezza in superficie, com'è possibile vedere dai grafici relativi alla variazione percentuale in Figura 6.11 e Figura 6.12.
- Nello scenario di piena per funzionamento scarichi, si considera la sola sezione trasversale attualizzata avente numerazione (fid) 48 (corrispondente al Layer S38), la quale pre-

sentia la minore area bagnata e larghezza in superficie, com'è possibile vedere dai grafici relativi alla variazione percentuale in Figura 6.21 e Figura 6.24.

Per ciascuna sezione trasversale la corrispondenza tra numerazione utilizzata in MATLAB (fid) e Layer delle tavole storiche, è riportata per ambedue gli scenari idraulici in Tabella 5.1 e Tabella 5.2.

I passaggi realizzati per la costruzione dei modelli 1D in moto uniforme, relativi alle sezioni trasversali storiche e attualizzate, sono gli stessi per entrambi gli scenari di piena e si articolano nei seguenti punti:

1. Dopo aver ipostato come sistema di misura il Sistema Internazionale, si procede alla creazione del nuovo progetto (“New Project”) avente un determinato titolo.
2. Si definisce la geometria del modello idraulico storico (“Geometric Data”). Il tratto fluviale è introdotto mediante il pulsante “River Reach” che consente di disegnare l’asse fluviale da monte verso valle (in questo caso una retta) e di inserire il nome del “River” e del “Reach”. Le tre sezioni trasversali del fiume e le loro caratteristiche sono definite nella finestra “Cross Section Data” aperta con il pulsante “Cross Section”. Dunque, si inserisce inizialmente una sola sezione “Add a new Cross Section” e poi le altre due identiche “Copy Current Cross Section” numerate in ordine crescente da valle verso monte “River Station”. Una volta indicate le coordinate delle sezioni trasversali (X, Z), si immettono le informazioni sottostanti:
 - “Downstream reach lengths”: distanza della sezione rispetto alla successiva di valle. Essendo la sezione suddivisa in due zone golenali e in una zona centrale, allora si rappresenta in “LOB” la distanza della golena posta a sinistra, in “Channel” la distanza del canale centrale e in “ROB” la distanza della golena posta a destra. Nel caso in esame, si introduce per i tre valori una distanza di 1000 metri dato che vi vuole realizzare un tratto di fiume rettilineo.
 - “Manning’s values”: coefficienti di scabrezza di Manning per le tre zone della sezione trasversale. Nel modello di studio, si inserisce per le tre aree un unico valore di primo tentativo, il quale è soggetto a modifiche durante la fase di calibrazione del modello idraulico storico.
 - “Main Channel Bank Stations”: ascisse di inizio e di fine della zona centrale dell’alveo.
 - “Cont/Exp Coefficients”: si lasciano i coefficienti di contrazione/espansione di default.Le informazioni sono poi salvate con il pulsante “Apply Data”.

A questo punto, si salva la geometria appena realizzata dal menu file “Save Geometry Data as” con un apposito titolo.

3. Nella finestra “Steady Flow Data” sono immessi i dati riguardanti la portata di $450 \text{ m}^3/\text{s}$, le condizioni al contorno di valle e di monte (“Reach Boundary Conditions”) pari alla “Normal Depth” e infine i parametri di calibrazione ‘Observed Water Surface’ relativi all’altezza storica uguale per le 3 sezioni. Per quanto riguarda la “Normal Depth”, si impone una condizione di moto uniforme ($i=J$) assegnando la pendenza dell’alveo (i) calcolata dal DTM nell’interno della sezione lungo l’asse fluviale. Questa informazione è introdotta come condizione al contorno di valle e di monte, in quanto si considera che l’alveo sia caratterizzato da corrente mista.

In fine si salvano i dati idraulici dal menu file “Save Flow Data as” dalla schermata generale del software.

4. Si avvia l’analisi in moto permanente (in moto uniforme dato che le sezioni considerate sono identiche) nella finestra “Steady Flow Analysis”, scegliendo il regime della corrente mista.
5. Si calibra il modello idraulico storico variando i coefficienti di scabrezza fino a quando l’altezza idrica ottenuta dalla simulazione si sovrappone a quella storica (OWS).
6. Si ripetono i passaggi dal punto 1. al punto 4., costruendo un nuovo modello idraulico per le sezioni trasversali attualizzate, il quale presenta le medesime informazioni in termini di distanza tra le tre sezioni, di coefficiente di scabrezza trovato al punto 5., di coefficienti di contrazione/espansione, di portata in ingresso e di condizioni al contorno.

Al termine delle operazioni sopra descritte, il software restituisce differenti tipologie di risultati. Si riporta la **Errore. L'argomento parametro è sconosciuto.**, la **Errore. L'argomento parametro è sconosciuto.** e la **Errore. L'argomento parametro è sconosciuto.** di confronto dei risultati ottenuti per ambedue i modelli idraulici realizzati, in modo da valutare rispetto la sezione intermedia del tratto di fiume definito l’entità della variazione dell’altezza idrica (“W.S.Elev”), dell’area bagnata (‘Flow Area’) e della velocità media (“Vel Chnl”).

Riscontro idraulico semplificato

Tabella 7.1 – Dati di output del modello 1D avente geometria costituita dalla sezione trasversale numero 12 (scenario di piena per ipotetico collasso)

	Simulazione idraulica (sezioni storiche)	Simulazione idraulica (sezioni attualizzate)	Variazione percentuale [%]
Altezza idrica [m]	147.79	151.34	2.40
Area bagnata [m ²]	1467.47	1631.71	11.19
Velocità media [m/s]	0.33	0.39	18.18

Tabella 7.2 – Dati di output del modello 1D avente geometria costituita dalla sezione trasversale numero 15 (scenario di piena per ipotetico collasso)

	Simulazione idraulica (sezioni storiche)	Simulazione idraulica (sezioni attualizzate)	Variazione percentuale [%]
Altezza idrica [m]	80.19	83.79	4.49
Area bagnata [m ²]	1509.87	1797.60	19.06
Velocità media [m/s]	0.33	0.27	-18.18

Tabella 7.3 – Dati di output del modello 1D avente geometria costituita dalla sezione trasversale numero 48 (scenario di piena per funzionamento scarichi)

	Simulazione idraulica (sezioni storiche)	Simulazione idraulica (sezioni attualizzate)	Variazione percentuale [%]
Altezza idrica [m]	9.46	11.23	18.71
Area bagnata [m ²]	180.97	205.91	13.78
Velocità media [m/s]	2.53	2.32	-8.3

Dai risultati pervenuti con il modello matematico HEC-RAS, si evince un incremento dell'altezza idrica e dell'area bagnata delle sezioni trasversali attualizzate rispetto quelle storiche. Questa variazione in aumento, riscontrata per le tre sezioni analizzate, è una logica conseguenza derivante dal restringimento e dal contemporaneo aumento delle quote delle sezioni. Inoltre, è possibile notare come la maggiore variazione percentuale dell'area bagnata, si sia verificata per la sezione trasversale attualizzata numero (fid) 15 dello scenario di piena per ipotetico collasso, in quanto risulta essere la meno congruente da un punto di vista geometrico. Per analizzare la variazione della velocità media, occorre osservare la differente configurazione morfologica di ciascuna sezione:

- La sezione trasversale attualizzata avente numerazione (fid) 12 (Figura 7.1), nonostante sia soggetta ad un incremento significativo in termini di altezza idrica e area bagnata, è caratterizzata da una rilevante variazione percentuale positiva della velocità media. Infatti, la sezione presenta grandi macro-scabrezze che comportano un importante restringimento morfologico.
- La sezione trasversale attualizzata avente numerazione (fid) 15 (Figura 7.2), ha una topografia costituita da un'elevata concentrazione di asperità e macro-scabrezze tali da indurre una ragguardevole variazione percentuale negativa della velocità media.
- La sezione trasversale attualizzata avente numerazione (fid) 48 (Figura 7.3), è interessata da un certo numero di macro-scabrezze sulla sua superficie bagnata, le quali causano resistenza al moto della corrente e quindi una diminuzione della velocità media.

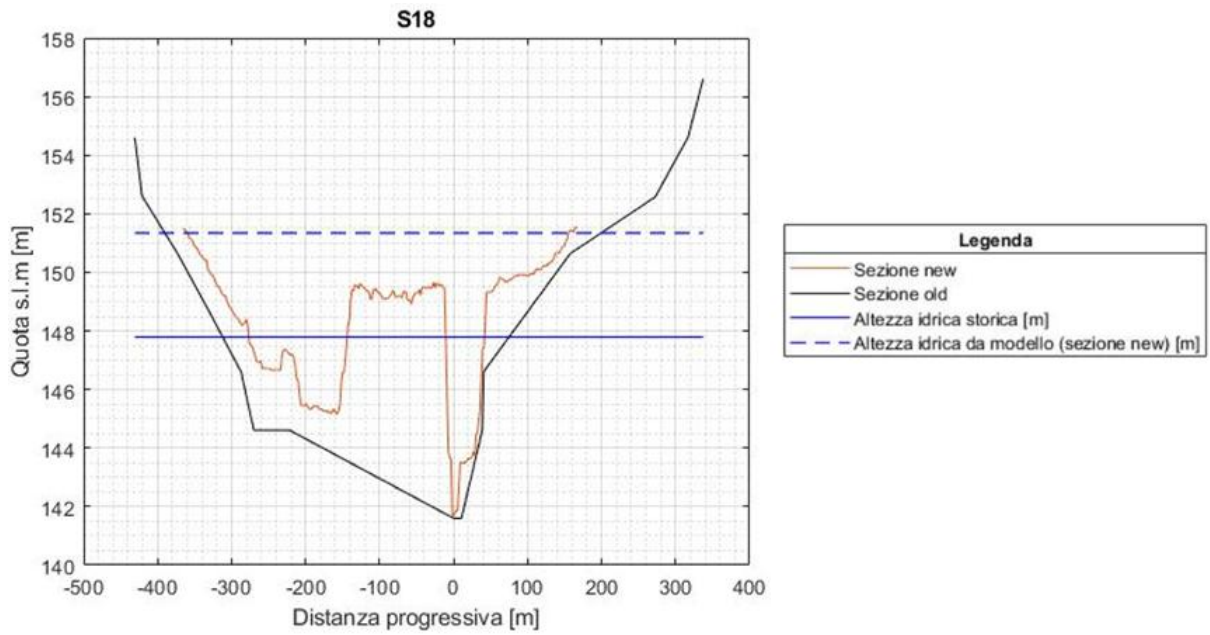


Figura 7.1 – Sezione trasversale numero 12 (Layer S18): proiezione dell'altezza idrica storica e di quella dedotta dal modello idraulico 1D per la sezione aggiornata

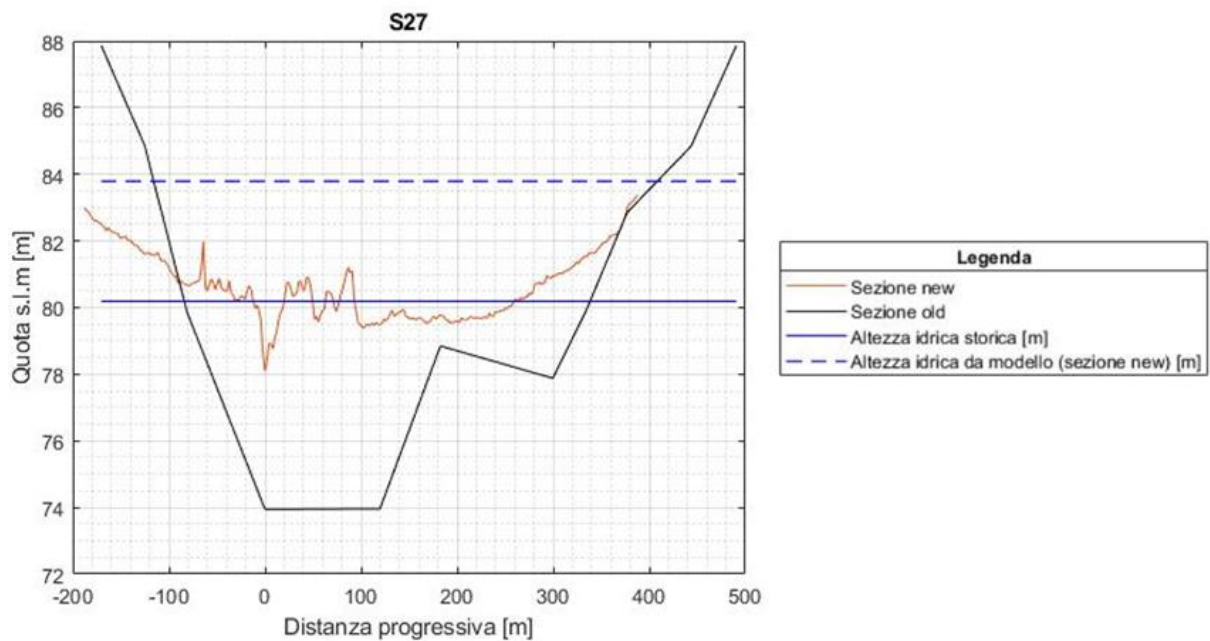


Figura 7.2- Sezione trasversale numero 15 (Layer S27): proiezione dell'altezza idrica storica e di quella dedotta dal modello idraulico 1D per la sezione aggiornata

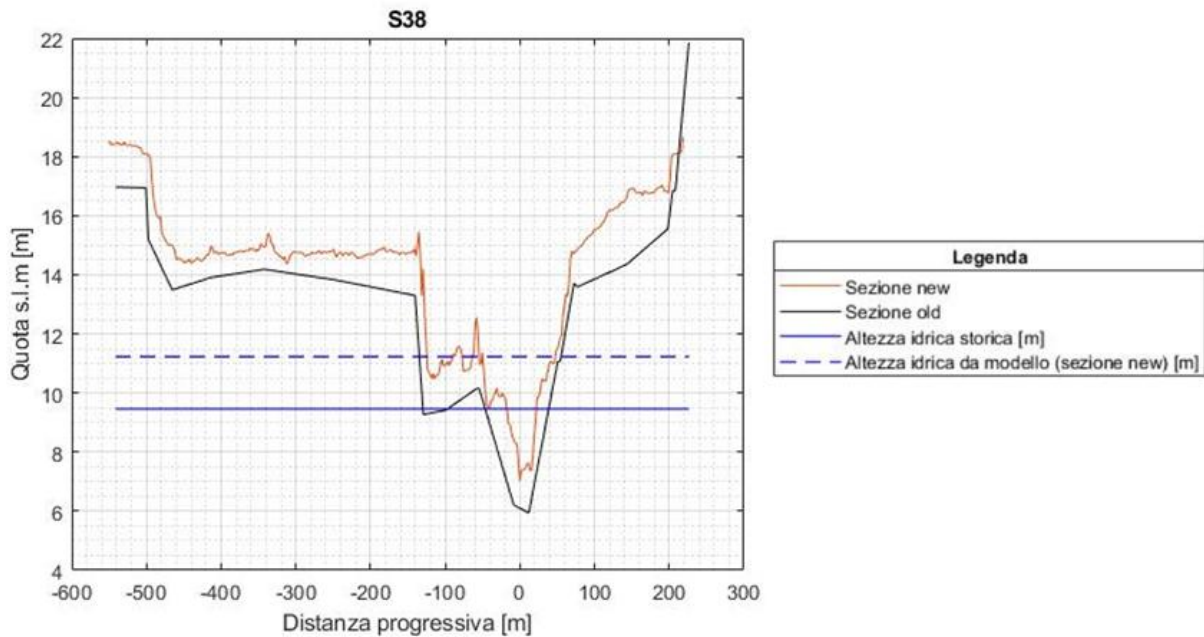


Figura 7.3 - Sezione trasversale numero 48 (Layer S38): proiezione dell'altezza idrica storica e di quella dedotta dal modello idraulico 1D per la sezione aggiornata

8. Possibile utilizzo dei dati vettoriali georiferiti desunti dal protocollo proposto

I dati vettoriali georiferiti ottenuti nella prima fase del protocollo proposto, istruita nel capitolo 5, possono essere impiegati per differenti scopi. Nel corrente capitolo sono trattati due casi distinti di applicazione dei suddetti dati, al fine di valorizzare le loro potenzialità nei più svariati ambiti.

8.1. Definizione della geometria fluviale nel software di modellazione HEC-RAS

Per importare i dati della geometria del corso d'acqua analizzato nel software di simulazione idraulica HEC-RAS, si può attingere a diverse metodologie. Nel caso in esame, si utilizzano i files CSV "formato testo delimitato", i quali possono essere importati in due possibili formati:

- Il primo formato richiede di riempire i seguenti campi: River, Reach, River Station (numerazione di ciascuna sezione in ordine decrescente da monte verso valle), NP (numerazione di ciascun punto costituente ogni sezione in ordine crescente), X e Y (coordinate planimetriche) ed infine è presente Z (elevazione).
- Il secondo formato richiede di riempire i seguenti campi: River, Reach, River Station (numerazione di ciascuna sezione in ordine decrescente da monte verso valle), NP (numerazione di ciascun punto costituente ogni sezione in ordine crescente), Station (distanze) ed infine è presente Elevation (elevazione/quota).

Tra questi, si decide di usare il primo formato in quanto consente di conseguire una geometria costituita da punti georeferenziati che definiscono la posizione planimetrica di ciascuna sezione.

Per realizzare questo formato in relazione alle sezioni trasversali attualizzate e a quelle storiche, si ricorre all'uso di specifici plugin in QGIS a partire dalle tracce delle sezioni storiche vettorializzate durante l'operazione di restituzione.

Occorre fare due precisazioni riguardanti le sezioni trasversali storiche:

- Come già detto nel paragrafo 6.2, in molti casi l'estensione di queste sezioni non coincide con quella delle corrispondenti tracce nelle planimetrie storiche.
- Per georeferenziarle si usufruisce del codice MATLAB (A.8.), il quale permette di processare il layer puntiforme, desunto in ambiente GIS dalle tracce delle sezioni, per la ricerca delle coordinate planimetriche X e Y dei punti costituenti le sezioni.

Dunque, risulta essere necessario aumentare l'estensione planimetrica delle tracce delle sezioni in modo che contengano lo sviluppo complessivo delle sezioni trasversali storiche.

Da un punto di vista operativo, si procede nel seguente modo:

- Per le sezioni trasversali attualizzate, si applica il plugin "Profiles from lines" di QGIS per ricavare il tematismo vettoriale puntiforme utilizzato per realizzare il primo formato importato nel software HEC-RAS.
- Per le sezioni trasversali storiche, si applica inizialmente il plugin "Punti lungo la geometria" di QGIS ottenendo il tematismo vettoriale puntiforme ("Punti_sezioni") con punti intervallati di 0,01 m e contenente le coordinate plano-altimetriche. Poi si leggono sia i due shapefiles relativi rispettivamente alle tracce delle sezioni e ai dati vettoriali puntiformi prima detti, sia il file Excel delle sezioni trasversali storiche digitalizzate. Inoltre, i dati vettoriali puntiformi sono introdotti in un ciclo "for" che permette di processare ciascuna sezione, definendo la variabile "n" funzione della numerazione identificativa di ciascuna di queste ("fid"). Dopo aver determinato il vettore delle distanze progressive e

quello delle quote per entrambe le sezioni immesse nel codice, nel medesimo modo spiegato dal paragrafo 6.2, si individuano il vettore delle coordinate planimetriche X e Y al variare di “n”, mediante una matrice logica in cui si ha “1” logico quando c’è corrispondenza tra “fid” e la variabile “n”, “0” logico in caso contrario. Alla fine, si realizza un ulteriore ciclo “for”, con la nuova variabile “nm” di lunghezza pari al vettore delle distanze progressive delle sezioni storiche, in cui prima si trovano gli indici per i quali le distanze progressive delle sezioni storiche (“dist_TAV”) coincidono con quelle (“DIST”) del vettore desunto in QGIS, poi si ricercano le coordinate planimetriche corrispondenti a queste posizioni. Il codice si conclude con il salvataggio della matrice formata da quattro campi (campo del numero di ciascuna sezione ID, campo coordinate planimetriche X, Y e campo quote tavole Z), tramite le funzioni “fopen”, “fprintf” e “fclose”.

Si riporta di seguito il codice scritto per l’operazione di ricerca delle coordinate e i risultati:

```
X = ([Punti_sez.fid] == n).* [Punti_sez.X]
X(X == 0) = []
Y = ([Punti_sez.fid] == n).* [Punti_sez.Y]
Y(Y == 0) = []
```

```
for nm = 1:length(dist_TAV)
idx_x = find(DIST == dist_TAV(nm) )
x(nm)=X(idx_x)
y(nm)=Y(idx_x)
end
```

```
ID=repelem(n, length(x))
xyz=[ID' x' y' x_TAV]
```

ID	X	Y	Z
1	410721.55649	4699086.36767	242.000
1	410708.53064	4699074.78612	239.974
1	410687.21697	4699055.83571	237.970
1	410671.94915	4699042.26079	235.965
1	410634.29900	4699008.78527	234.002
1	410629.44139	4699004.46628	229.993
1	410621.74396	4698997.62234	224.528
1	410606.58824	4698984.14708	224.528
1	410597.71004	4698976.25329	224.802
1	410587.52402	4698967.19670	224.907
1	410581.01483	4698961.40925	224.865
1	410574.02736	4698955.19654	224.823
1	410568.69894	4698950.45894	224.823
1	410562.30932	4698944.77780	224.612
1	410559.82074	4698942.56515	224.549
1	410556.86134	4698939.93389	224.549
1	410544.19420	4698928.67128	226.026
1	410536.73591	4698922.03997	228.052
1	410530.69754	4698916.67113	230.056
1	410507.13443	4698895.72069	240.080
1	410501.09606	4698890.35185	242.000
2	411003.46811	4699240.20456	244.000
2	411000.67886	4699235.61577	242.024
2	410996.41447	4699228.60014	239.994
2	410993.29798	4699223.47301	237.990
2	410989.68805	4699217.53408	236.014
2	410983.62129	4699207.55325	234.011
.	.	.	.
.	.	.	.

Figura 8.1 – File di testo ottenuto delle coordinate plano-altimetriche delle sezioni trasversali storiche

Una volta derivati i files CSV (formato testo delimitato), si crea un nuovo progetto nel software HEC-RAS e si importano i dati della geometria delle sezioni trasversali attualizzate e di quelle storiche, previa impostazione del sistema di misura (Sistema Internazionale). La geometria descrittiva del corso fluviale deve essere rappresentata da sezioni il più possibile ortogonali all’asta fluviale e non intersecate tra loro specialmente in corrispondenza dei meandri del fiume. Nel caso in esame, le tracce delle sezioni trasversali non sono state modificate dato che non è condotta alcuna simulazione idraulica.

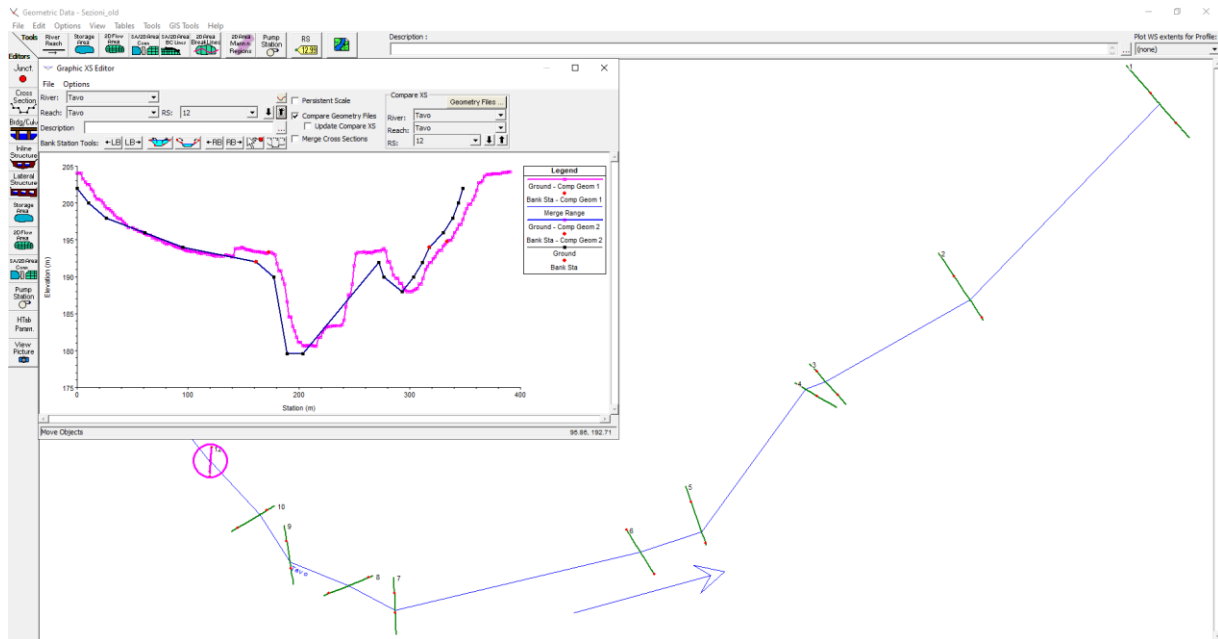


Figura 8.2 – Schermata Geometric Data: geometria sovrapposizione sezioni trasversali storiche e aggiornate (scenario di piena per ipotetico collasso)

La trattazione si conclude con l’importazione dei parametri di calibrazione relativi alle altezze idriche storiche necessarie per tarare il modello attraverso la modifica della geometria iniziale, ad esempio variando i coefficienti di scabrezza (“Manning’s Values”). Questi parametri si introducono per tutte le sezioni di studio accedendo all’opzione “Observed WS” dal menu “Steady Flow Data”. Quindi all’interno della tabella si pone “DN Dist” pari a 0 per ogni sezione (altezze idriche in corrispondenza di ciascuna sezione) e “PF 1” uguale ai valori delle altezze idriche storiche.

8.2. Realizzazione del file KMZ

Innanzitutto, è necessario specificare la tipologia e le funzioni relative al file KMZ. Questo è un archivio ZIP compresso contenente un solo file KML (“Keyhole Markup Language”) e prende il nome di “KML, Zipped”. Il file KML è un linguaggio basato su XML ed è spesso distribuito come file KMZ soprattutto in riferimento a grandi file. Si utilizza il formato KMZ per la gestione e l’archiviazione di dati geospaziali tridimensionali, di dati vettoriali georiferiti, di dati geografici, di immagini e di video visualizzabili mediante programmi di mappatura globale. Le funzionalità di questa tipologia di file sono molteplici e facilmente accessibili attraverso programmi di grafica tridimensionale e servizi internet geografici.

A questo punto, è possibile iniziare ad argomentare le operazioni occorrenti per la composizione del file KMZ, relativo allo scenario di piena per ipotetico collasso e a quello per funzionamento scarichi. La prima operazione consiste nell’esportare in formato KML, il layer vetto-

riale riguardante il fiume Tavo, le sezioni di studio e le aree allagate delle planimetrie storiche, tramite il plugin “MMQGIS” del software QGIS. Dunque, nella finestra “Google Maps KML Export” si seleziona il layer vettoriale di interesse e dopo aver scelto la voce “Custom HTML” si introduce nel riquadro un codice restituente una tabella di attributi dei dati vettoriali. Il codice usato per le sezioni di studio e per il fiume Tavo, nel caso dello scenario di piena per funzionamento scarichi, è il seguente:

Sezioni di studio

```
<table align="left" width="" height="" border="2">
<thead>
<tr><th>ID </th><th>Altezza p.l. [m] (Q=450 mc/s)</th><th>Altezza p.l. [m] (Q=186
mc/s)</th><th>Altezza p.l. [m] (Q=138 mc/s)</th></tr>
<tbody>
<tr><td align="center" valign="middle">{{fid}}</td><td align="center"
valign="middle">{{Q450}}</td><td align="center" valign="middle">{{Q186}}</td><td
align="center" valign="middle">{{Q138}}</td></tr>
</tbody>
</table>
```

Fiume Tavo

```
<table align="left" width="" height="" border="2">
<thead>
<tr><th>Fiume </th><th>Lunghezza [m]</th></tr>
</thead>
<tbody>
<tr><td align="center" valign="middle"> {{Fiume}} </td><td align="center" valign="middle">
{{Lunghezza}} </td></tr>
</tbody>
</table>
```

Prima di procedere con la trattazione, è necessario specificare che il corso fluviale è generato mediante il tool “Terrain Analysis – Hydrology” di Saga GIS realizzabile nel software QGIS, utilizzando come informazione in ingresso il modello digitale del terreno (DTM).

I files KML ottenuti al punto precedente e quelli attinenti alle cave e miniere attive³⁵ sono importati nel software Google Earth Pro³⁶. Poi per ciascuna sezione di studio si aggiunge un’immagine locale raffigurante la sovrapposizione tra la sezioni trasversale attualizzate e quella storica. A ciò segue l’introduzione di un segnaposto della diga di Penne, di un tour del lago di Penne e i risultati del calcolo idraulico definiti al paragrafo 6.4. Questi files sono inizialmente salvati in formato KMZ e cancellati dalla schermata di Google Earth, successiva-

³⁵ Regione Abruzzo, «Allegati DGR 683/2018 | Regione Abruzzo», s.d.,

<http://www.regione.abruzzo.it/content/prae-piano-regionale-attivita%3%A0-estrattive>

³⁶ Google LLC «Versioni di Earth – Google Earth», s.d., <https://www.google.com/intl/it/earth/versions/>.

mente sono riaperti nel medesimo software. Il passo conclusivo consiste nel creare una cartella per ciascun file e trascinarla sotto un unico riferimento avente ad esempio come titolo “Propagazione dell'onda di piena per funzionamento scarichi”, il quale è salvato nuovamente in formato KMZ.

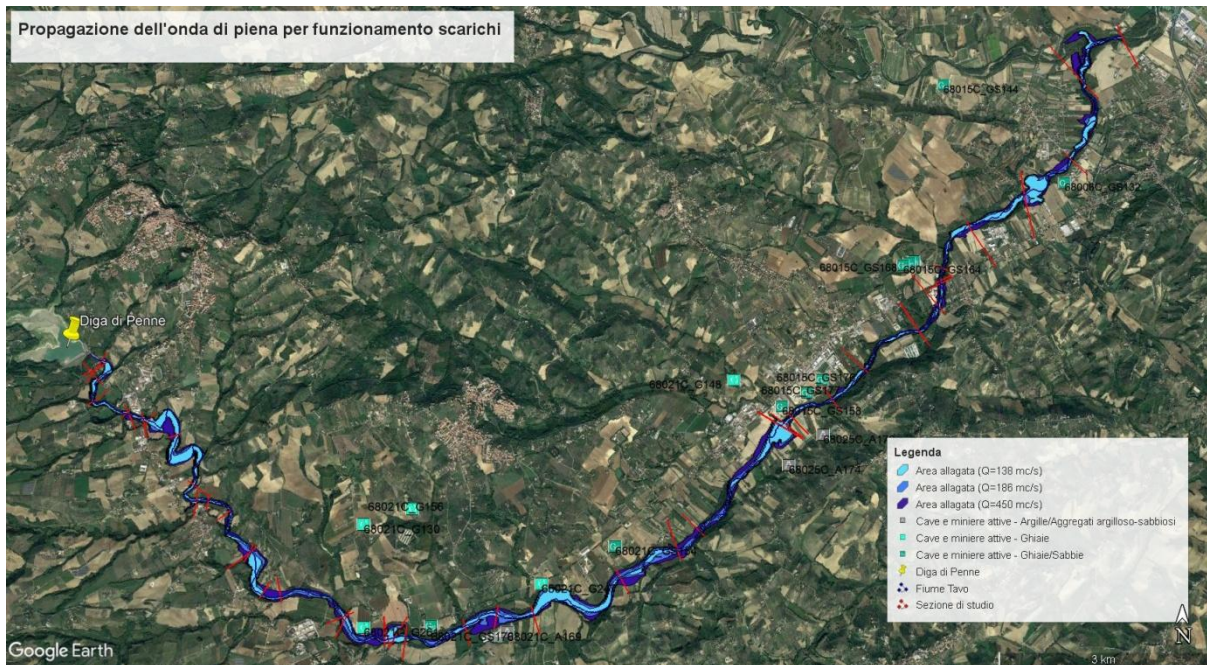


Figura 8.3 – Schermata Google Earth Pro: rappresentazione dei dati vettoriali georiferiti (scenario di piena per funzionamento scarichi)

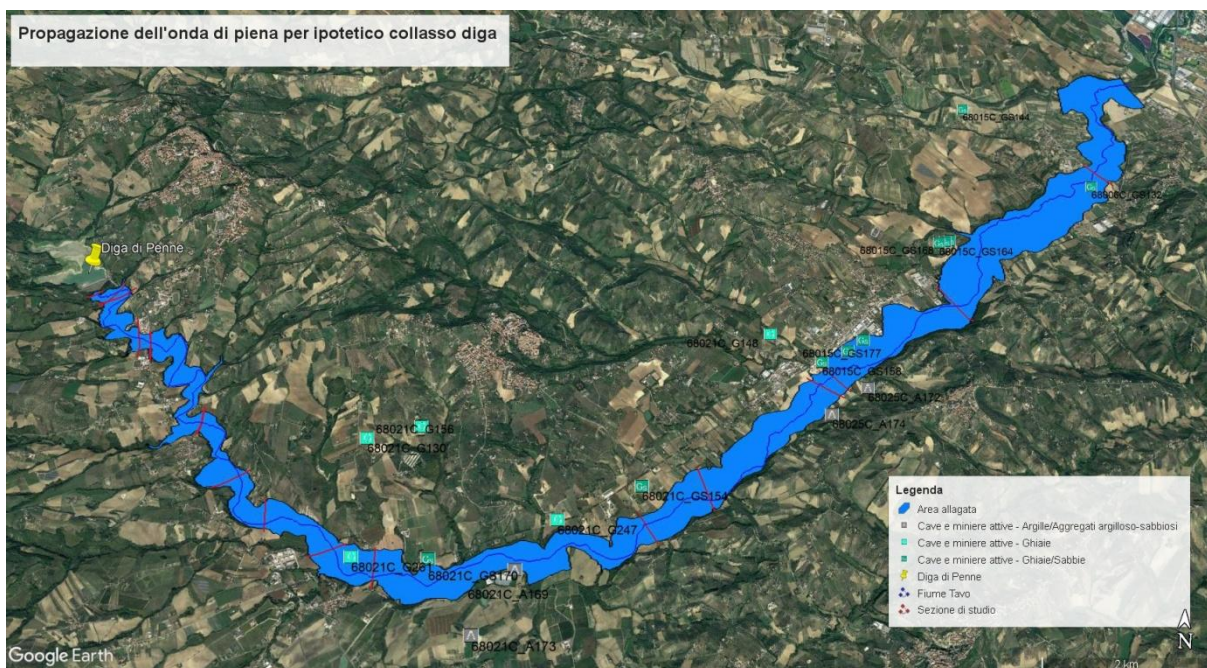


Figura 8.4 – Schermata Google Earth Pro: rappresentazione dei dati vettoriali georiferiti (scenario di piena per ipotetico collasso diga)

9. Conclusioni

L'obiettivo della presente tesi è quello di istruire una metodologia alla base di un protocollo di analisi che possa permettere di verificare la validità di studi idraulici realizzati in passato, in quanto questi sono divenuti con il passare degli anni un fondamentale strumento d'indagine e di valutazione del rischio gravante sui territori a valle della diga. Infatti, gli studi adoperati dalle Autorità di protezione civile definiscono i potenziali scenari di piena derivanti dall'eventuale collasso della diga e dal funzionamento delle opere di scarico.

La necessità di salvaguardare le vite umane, le loro attività, le infrastrutture e tutto ciò che è maggiormente esposto al rischio allagamento, ha richiesto l'uso di indagini storiche come supporto conoscitivo per la realizzazione di una strategia operativa e un modello d'intervento, atto a ridurre le possibili situazioni di emergenza.

La procedura proposta consente di valutare l'applicabilità dei risultati storici, desunti da entrambi gli scenari di piena, mediante differenti procedure informatiche e supporti topografici aggiornati di maggior dettaglio.

Le operazioni condotte riguardano l'iniziale trattamento dei dati cartacei storici, in cui il contenuto delle planimetrie e delle tavole storiche è soggetto a vettorializzazione. Per garantire l'affidabilità dei dati digitalizzati relativi alle sezioni trasversali storiche, si è optato per il confronto e la verifica del metodo di digitalizzazione scelto ("digitize3"), il quale influisce in modo non trascurabile sul riscontro geometrico e idraulico. Dunque, una volta ottenuti questi dati si conduce un'analisi di congruenza geometrica e idraulica tra le sezioni trasversali storiche e quelle attualizzate.

Dai risultati si evince una rilevante difformità morfologica, dovuta probabilmente ad interventi antropici intercorsi negli anni. A tale proposito, la presenza di numerose cave/miniere attive e dismesse lungo lo sviluppo del corso fluviale potrebbe avere in parte inciso sull'evoluzione naturale delle sezioni trasversali.

Da un punto di vista idraulico invece è emerso complessivamente, a parità di altezza idrica storica, una riduzione delle aree bagnate e delle larghezze in superficie delle sezioni trasversali attualizzate rispetto ai valori derivati da quelle storiche, al diminuire dell'entità delle portate considerate. Questa discordanza idraulica potrebbe essere dovuta sia alla presenza della diga, la quale genera effetti morfologici di riduzione con il passare del tempo, sia alle maggiori macro-scabrezze riscontrate sulla superficie topografica di maggior dettaglio descritta dal DTM. Quest'ultima circostanza sembrerebbe comportare una sottostima dell'area potenzialmente allagabile specialmente per basse altezze idriche.

Una volta constatato il restringimento morfologico e il contemporaneo aumento delle quote delle sezioni trasversali attualizzate, si vuole stimare in modo speditivo il potenziale incre-

mento dell'altezza idrica e quindi dell'area allagabile per ambedue gli scenari di piena analizzati. Pertanto, si realizza una simulazione idraulica monodimensionale nel software HEC-RAS per le sole sezioni interessate dalla minore conformità idraulica in corrispondenza della massima portata storica, che potrebbe causare il maggiore rischio allagamento.

I risultati pervenuti fanno emergere, come logica conseguenza della differente configurazione morfologica riscontrata, una variazione in aumento in termini di altezza idrica e di area bagnata per le sezioni aggiornate analizzate.

In fine, per esemplificare le possibilità di utilizzo dei dati vettoriali georiferiti ricavati nella trattazione dei dati cartacei, si introduce la costruzione della geometria idraulica nel software HEC-RAS e la creazione del file KMZ visualizzabile in molti applicativi di grafica e servizi internet geografici.

Fonti bibliografiche e sitografia

- Anil, «*digitize2.m - File Exchange - MATLAB central - MathWorks*», 15 Ottobre 2001, <https://it.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/928-digitize2-m>.
- Canny, John. «A Computational Approach to Edge Detection.» *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Novembre 1986: 679-698.
- Faggiani Giorgia, Massimo Meghella, Leonardo Mancusi, Sergio Pedroni, Guido Camata, Matteo De Massis, e Enrico Spacone, «Valutazione e gestione del rischio delle infrastrutture idroelettriche: estensione ad eventi di piena», RSE - Ricerca Sistema Energetico, 2012.
- Google LLC, «*Versioni di Earth- Google Earth*», s.d., <https://www.google.com/intl/it/earth/versions/>.
- Ing. Ghinami Luigi A., «*Normativa su dighe e traverse*», s.d., <https://www.dighe.eu/normativa.htm>.
- MathWorks, «*MATLAB - Il linguaggio del calcolo tecnico - MATLAB & Simulink*», <https://it.mathworks.com/products/matlab.html>.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, «*Procedura per la Richiesta dei Dati Lidar e/o Interferometrici*», Geoportale Nazionale (blog), 17 Gennaio 2017, <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/procedura-richiesta-dati-lidar-e-interferometrici-ps/>.
- OriginLab Corporation, «*OriginLab*», <https://www.originlab.com/>.
- «*QGIS - Geographic Information System*», <https://www.qgis.org/it/site/>.
- Rachmawan, «*Canny Edge Detection - File Exchange - MathWorks*», 5 Giugno 2014, <https://it.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46859-canny-edge-detection>.
- Regione Abruzzo, «*Allegati DGR 683/2018 | Regione Abruzzo*», s.d., <http://www.regione.abruzzo.it/content/prae-piano-regionale-attivit%C3%A0-estrattive>.
- Regione Abruzzo, «*Allegati DGR 683/2018 | Regione Abruzzo*», s.d., <http://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/attivita-estrattive/dgr683-2018/Tavola10.pdf>.
- Regione Abruzzo, «*Geoportale della Regione Abruzzo*», s.d., <http://geoportale.regione.abruzzo.it/>.
- Regione Abruzzo, «*Schede Monografiche Bacino del Fiume Fino-Tavo-Saline - Allegato 7: Carta dei punti di monitoraggio quali-quantitativo dei corsi d'acqua superficiali della Scheda del Fiume Fino-Tavo-Saline*», 3 Aprile 2006, <http://www.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/docs/schedeMonograf/Allegati%20Fino-Tavo-Saline/Allegato%207.pdf>.

Remedia Gianrenzo e Maurizio Leopardi, «Caratteristiche delle onde di piena a seguito di funzionamento degli organi di scarico della diga di Penne.», febbraio 1996.

Remedia Gianrenzo e Maurizio Leopardi, «Indagine sulla propagazione dell'onda di piena a seguito di ipotetico collasso dello sbarramento di Penne sul fiume Tavo», Novembre 1993.

Remedia Gianrenzo e Maurizio Leopardi, «Propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento - Caratteristica dei materiali della diga.», Novembre 1993.

Remedia Gianrenzo e Maurizio Leopardi, «Relazione - Caratteristiche delle onde di piena a seguito di funzionamento degli organi di scarico della diga di Penne», Febbraio 1996.

U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), «*HEC-RAS - Hydrologic Engineering Center - Army*», <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>.

Codici MATLAB

Appendice A

A.1.

Codice attinente all'operazione di raddrizzamento delle tavole contenenti le sezioni trasversali storiche.

```
clear all; clc;

% Elenca il contenuto della cartella corrente
files=dir('S_*.jpg')

for kk=1:length (files)

% Lettura immagine relativa alla tavola storica
Img = imread (files(kk).name);

% Operatore per il riconoscimento dei contorni
Canny

% Risultato finale del rilevamento dei bordi dell'immagine (matrice binaria)
m=size(T_res,1);
n=size(T_res,2);
T_res=T_res(m/1.4:m,:);

% Visualizza la tavola storica in una finestra di figura
figure
imshow(T_res);
title('Immagine originale')

%% Raddrizzamento tavole storiche

% Definizione delle righe e colonne dei punti di estremità dell'asse orizzontale
[r c]=find(T_res==1);
index_min=find(c==(min(c)));
index_max=find(c==(max(c)));
r_min=r(index_min);
r_min=r_min(end);
r_max=r(index_max);
r_max=r_max(end);
```

```

c_min=min(c);
c_max=max(c);

P1 = [c_min r_min]; % [x y] Pixel iniziale asse orizzontale
P2 = [c_max r_max]; % [x y] Pixel finale asse orizzontale

% Ricerca del coefficiente di rotazione w
if P2(2)<P1(2)
    w=-1; % In senso orario
else
    w=+1; % In senso antiorario
end

% Calcolo dell'angolo di distorsione
angolo= w*atan(abs(P2(2)-P1(2))/(P2(1)-P1(1)))*180/pi; % deg

ImgRot= imrotate(T_res,angolo,'crop'); % Immagine binaria ruotata
Imgrot=imrotate(Img,angolo,'crop'); % Tavola storica ruotata

% Visualizza la tavola storica ruotata in una finestra di figura
figure
imshow(Imgrot)
title('Immagine ruotata')

%% Verifica del raddrizzamento (l'angolo di distorsione deve essere pari a
0)
[r1 c1]=find(ImgRot==1);
index_min=find(c1==(min(c1)));
index_max=find(c1==(max(c1)));
r_min=r1(index_min);
r_min=r_min(end);
r_max=r1(index_max);
r_max=r_max(end);
c_min=min(c1);
c_max=max(c1);

P1 = [c_min r_min]; % [x y] Pixel iniziale asse orizzontale
P2 = [c_max r_max]; % [x y] Pixel finale asse orizzontale

% Ricerca del coefficiente di rotazione w
if P2(2)<P1(2)
    w=-1; % In senso orario
else
    w=+1; % In senso antiorario
end

% Calcolo dell'angolo di distorsione
angolo2 (kk)= w*atan(abs(P2(2)-P1(2))/(P2(1)-P1(1)))*180/pi; % deg

% Salvataggio delle tavole raddrizzate
filesout=['rad_',num2str(kk),'.jpg'];
imwrite (Imgrot ,['Sezioni_rad\rad_',num2str(kk),'.jpg']);
end

```

A.2.

Codice “DigitizeAuto” inerente all’operazione di vettorializzazione semi-automatizzata delle sezioni trasversali storiche.

```

clear all; clc;

% Lettura immagine relativa alla tavola storica raddrizzata
img = imread ('rad_1.jpg');

% Operatore per il riconoscimento dei contorni
Canny

% Visualizza la tavola storica ruotata in una finestra di figura
figure
imshow(T_res);
title('Tavola storica ruotata')

% Convoluzione bidimensionale della matrice binaria e la maschera introdotta (scelta opzionale)
msk=[0 0 0 0;
      0 1 1 0;
      0 1 1 0;
      0 0 0 0;];
CONV=conv2(double(T_res),double(msk));

% Visualizza il risultato della convoluzione in una finestra di figura
figure
imshow(CONV)
title('Tavola storica ruotata')

%% Digitalizzazione sezione raddrizzata

% Definizione della matrice binaria contenente il solo andamento della
% sezione trasversale
cc = bwconncomp (T_res);
numPixels = cellfun (@ numel, cc.PixelIdxList);
[maggiore, idx] = max (numPixels);
Sez = ismember (labelmatrix (cc), idx);

% Visualizza la sezione trasversale in una finestra di figura
figure
imshow (Sez)
title('Matrice binaria della sezione trasversale')

% Matrice binaria delimitata dallo sviluppo della sezione trasversale
[row, column] = find(Sez == 1);
min_c=min(column);
max_c=max(column);
min_r=min(row);
max_r=max(row);
Matrix=Sez(min_r:max_r, min_c:max_c);

% Visualizza la sezione trasversale in una finestra di figura
figure
imshow (Matrix)

```

```

title('Matrice binaria della sezione trasversale')

% Definizione asse delle ascisse (Distanze progressive) e asse delle
% ordinate (Quote s.l.m.)

pan1=size(Matrix,1);
leb1=size(Matrix,2);

dist_min=0; % Introduzione manuale distanza minima
dist_max=295; % Introduzione manuale distanza massima
n=(dist_max/((size(Matrix,2)-1)));
ascisse=0:n:dist_max;

quote_min=224.5; % Introduzione manuale quota minima
quote_max=242; % Introduzione manuale quota massima
m=((quote_max-quote_min)/((size(Matrix,1)-1)));
ordinate=quote_min:m:quote_max;
ordinate = sort(ordinate, 'descend');

% Determinazione della matrice Distanze e Quote
kj=1:leb1;
Distanze=Matrix(:,kj).*ascisse; % Matrice binaria moltiplicata per le di-
stanze progressive
vv=1:pan1;
Quote=Matrix(vv,:).*ordinate'; % Matrice binaria moltiplicata per le quote

% Indicizzazione degli elementi della matrice binaria diversi da 0
[righe, colonne] = find(Matrix ~= 0);

% Determinazione dei vettori Distanze e Quote mediante indici lineari
Distanze=Distanze(sub2ind(size(Distanze), righe, colonne));
Quote=Quote(sub2ind(size(Quote), righe, colonne));

% Definizione del vettore Distanze costituito da valori univoci e ordinati
[D,ia,ic] = unique(Distanze, 'stable');

% Definizione del vettore Quote a partire dagli indici dei valori del
% vettore Distanze
Q=Quote(ia);

Sezione=[D,Q];

% Rappresentazione grafica della sezione trasversale digitalizzata
figure
plot(D,Q)
title('S1')
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione da Tavole', 'Livello Q mc/s')
grid on
grid minor

% Salvataggio file in formato excel
filename = 'S1_.xlsx';
writematrix(Sezione,filename, 'Sheet',1)

```

A.3.

Funzione implementata “digitize3” riguardante l’operazione di vettorializzazione manuale delle sezioni trasversali e delle altezze idriche storiche (Scenario idraulico: propagazione dell’onda di piena a valle dello sbarramento per ipotetico collasso diga).

```
function varargout = digitize3(varargin)

% digitize3 allows you to import the images automatically into the cycle
% to digitize them. the code only supports image files compatible with
% "imread".
% The function then prompts the user to graphically identify the location
% of the origin and the X- and Y- axes of the plot.
% The user can decide whether or not to digitize both the cross section
% and the water heights. The user may then graphically select an
% arbitrary number of data points from anywhere on the image using the
% left mouse button. Data acquisition is terminated by clicking the right
% mouse button.
% the data is automatically saved inside a text file in the current folder.

% Author(s): A. Prasad and Elisabetta Bruno
% Original version created by J.D.Cogdell

files=dir('rad_*.jpg');

fid_q = fopen('Altezza_idrica.txt','a+');
fprintf(fid_q, 'ID\tQUOTA\n');

fid = fopen('Sezioni_digitalizzate.txt','a+');
fprintf(fid, 'ID\tDIST\tQUOTA\n');

for kk=1:length (files)

    if kk>=2
        clear xptq yptq
        clear xpt ypt
    end

% Check for proper number of input arguments
narginchk(0,1);

% Identify image filename
if nargin == 0
    Img = imread (files(kk).name);
    pathname= files(kk).folder;
    filename= files(kk).name;
    imagename = fullfile(pathname, filename);
elseif nargin == 1
    imagename = varargin{1};
    [~, file,ext] = fileparts(imagename);
    filename = strcat(file,ext);
end
```

```

% Read image from target filename
image(Img)
FigName = ['IMAGE: ' filename];
set(gcf,'Units','normalized',...
    'Position',[0 0.125 1 0.85],...
    'Name', FigName,...
    'NumberTitle','Off',...
    'MenuBar','None')
set(gca,'Units','normalized','Position',[0 0 1 1]);

% Determine location of origin with mouse click
OriginButton = questdlg('Select the ORIGIN with left mouse button click',
...
    'DIGITIZE: user input required',...
    'OK','Cancel','OK');
switch OriginButton
    case 'OK'
        drawnow
        [Xopixels,Yopixels] = ginput(1);
        line(Xopixels,Yopixels,...
            'Marker','o','Color','g','MarkerSize',14)
        line(Xopixels,Yopixels,...
            'Marker','x','Color','g','MarkerSize',14)
    case 'Cancel'
        close(FigName)
        return
end % switch OriginButton

% Prompt user for X- & Y- values at origin
prompt={'Enter the abscissa (X value) at the origin',...
    'Enter the ordinate (Y value) at the origin:'};
def={'0','0'};
dlgTitle='DIGITIZE: user input required';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def);
if (isempty(char(answer{:})) == 1)
    close(FigName)
    return
else
    OriginXYdata = str2num(char(answer{:}));
end

% Define X-axis
XLimButton = questdlg(...
    'Select a point on the X-axis with left mouse button click ',...
    'DIGITIZE: user input required',...
    'OK','Cancel','OK');
switch XLimButton
    case 'OK'
        drawnow
        [XAxisXpixels,XAxisYpixels] = ginput(1);
        line(XAxisXpixels,XAxisYpixels,...
            'Marker','*','Color','b','MarkerSize',14)
        line(XAxisXpixels,XAxisYpixels,...
            'Marker','s','Color','b','MarkerSize',14)
    case 'Cancel'
        close(FigName)
        return

```

```

end % switch XLimButton

% Prompt user for XLim value
prompt={'Enter the abscissa (X value) at the selected point'};
def={'1'};
dlgTitle='DIGITIZE: user input required';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def);
if (isempty(char(answer{:})) == 1)
    close(FigName)
    return
else
    XAxisXdata = str2num(char(answer{:}));
end

% Determine X-axis scaling
Xtype = questdlg(...
    'Select axis type for abscissa (X)', ...
    'DIGITIZE: user input required', ...
    'LINEAR', 'LOGARITHMIC', 'Cancel');
drawnow
switch upper(Xtype)
    case 'LINEAR'
        logx = 0;
        scalefactorXdata = XAxisXdata - OriginXYdata(1);
    case 'LOGARITHMIC'
        logx = 1;
        scalefactorXdata = log10(XAxisXdata/OriginXYdata(1));
    case 'CANCEL'
        close(FigName)
        return
end % switch Xtype

% Rotate image if necessary
% note image file line 1 is at top
th = atan((XAxisYpixels-Yopixels)/(XAxisXpixels-Xopixels));
% axis rotation matrix
rotmat = [cos(th) sin(th); -sin(th) cos(th)];

% Define Y-axis
YLimButton = questdlg(...
    'Select a point on the Y-axis with left mouse button click', ...
    'DIGITIZE: user input required', ...
    'OK', 'Cancel', 'OK');
switch YLimButton
    case 'OK'
        drawnow
        [YAxisXpixels,YAxisYpixels] = ginput(1);
        line(YAxisXpixels,YAxisYpixels,...
            'Marker','*','Color','b','MarkerSize',14)
        line(YAxisXpixels,YAxisYpixels,...
            'Marker','s','Color','b','MarkerSize',14)
    case 'Cancel'
        close(FigName)
        return
end % switch YLimButton

```

```

% Prompt user for YLim value
prompt={'Enter the ordinate (Y value) at the selected point'};
def={'1'};
dlgTitle='DIGITIZE: user input required';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def);
if (isempty(char(answer{:})) == 1)
    close(FigName)
    return
else
    YAxisYdata = str2num(char(answer{:}));
end

% Determine Y-axis scaling
Ytype = questdlg('Select axis type for ordinate (Y)', ...
    'DIGITIZE: user input required', ...
    'LINEAR', 'LOGARITHMIC', 'Cancel');
drawnow
switch upper(Ytype)
    case 'LINEAR'
        logy = 0;
        scalefactorYdata = YAxisYdata - OriginXYdata(2);
    case 'LOGARITHMIC'
        logy = 1;
        scalefactorYdata = log10(YAxisYdata/OriginXYdata(2));
    case 'CANCEL'
        close(FigName)
        return
end % switch Ytype

% Complete rotation matrix definition as necessary
delxyx = rotmat*[(XAxisXpixels-Xopixels);(XAxisYpixels-Yopixels)];
delxyy = rotmat*[(YAxisXpixels-Xopixels);(YAxisYpixels-Yopixels)];
delXcal = delxyx(1);
delYcal = delxyy(2);

% Commence Data Acquisition from image
msgStr{1} = 'Click with LEFT mouse button to ACQUIRE';
msgStr{2} = '';
msgStr{3} = 'Click with RIGHT mouse button to QUIT';
titleStr = 'Ready for data acquisition';
uiwait(msgbox(msgStr,titleStr,'warn','modal'));
drawnow

numberformat = '%6.2f';
nXY = [];
ng = 0;
while 1
    fprintf(['\n INFO >> Click with RIGHT mouse button to QUIT \n\n']);
    n = 0;
    fprintf('\n %s \n\n',' Index          X          Y')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% SECTION DIGITIZATION %%%%%%%%%%

while 1
    [x,y, buttonNumber] = ginput(1);
    xy = rotmat*[(x-Xopixels);(y-Yopixels)];
    delXpoint = xy(1);
    delYpoint = xy(2);

```

```

if buttonNumber == 1
    line(x,y,'Marker','.', 'Color','r','MarkerSize',12)
if logx
    x = OriginXYdata(1)*10^(delXpoint/delXcal*scalefactorXdata);
else
    x = OriginXYdata(1) + delXpoint/delXcal*scalefactorXdata;
end
if logy
    y = OriginXYdata(2)*10^(delYpoint/delYcal*scalefactorYdata);
else
    y = OriginXYdata(2) + delYpoint/delYcal*scalefactorYdata;
end
n = n+1;
xpt(n) = x;
ypt(n) = y;
fprintf(' %4d          %f          %f\n',n, x, y)
ng = ng+1;
nXY(ng,:) = [n x y];

else
query = questdlg('STOP digitizing and QUIT ?', ...
    'DIGITIZE: confirmation', ...
    'YES', 'NO', 'NO');
drawnow
switch upper(query)
    case 'YES'
        disp(newline)
        break
    case 'NO'

end % switch query
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% WATER HEIGHT DIGITIZATION %%%%%%%%%

```

```

WATER_HEIGHTButton = questdlg(...
    'Select a point on the WATER LEVEL with left mouse button click or
click with right mouse button to quit', ...
    'DIGITIZE: Define Flow Height ', ...
    'OK','Cancel','OK');
switch WATER_HEIGHTButton
case 'OK'
    drawnow
    while 1
    [xq,yq,buttonNumber] = ginput(1);
    xyq = rotmat*[(xq-Xopixels);(yq-Yopixels)];
    delXpoint2 = xyq(1);
    delYpoint2 = xyq(2);
    if buttonNumber == 1
    line(xq,yq,...
        'Marker','x','Color','b','MarkerSize',15)
    if logx
    xq = OriginXYdata(1)*10^(delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata);
    else
    xq = OriginXYdata(1) + delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata;
    end
    if logy

```

```

        yq = OriginXYdata(2)*10^(delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata);
    else
        yq = OriginXYdata(2) + delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata;
    end
    n = n+1;
    xptq(n) = xq;
    yptq(n) = yq;
    fprintf(' %4d          %f          %f\n',n, xq, yq)
    ng = ng+1;
    nXYq(ng,:) = [n xq yq];

    else
        query = questdlg('STOP digitizing and QUIT ?', ...
            'DIGITIZE: confirmation', ...
            'YES', 'NO', 'NO');
        drawnow
        switch upper(query)
        case 'YES'
            %%%%%%%%%%% DATA ACQUISITION LOOP: WATER HEIGHT %%%%%%%%%%%
            if nargout == 0
                yptq(yptq==0)=[];
                xptq(xptq==0)=[];
                z_q=repelem(kk,length(xptq));
                writedata2 = [z_q' yptq'];
                fprintf(fid_q, '%5.0f\t%5.2f\n',writedata2');
                close(FigName)
                disp(newline)
            elseif nargout == 1
                outputdata2 = [xptq' yptq'];
                varargout{1} = outputdata2;
                close(FigName);
            end
            break
        case 'NO'

        end % switch query

    end
end

case 'Cancel'
close(FigName)

end % switch QButton

%%%%%%%%%% DATA ACQUISITION LOOP: SECTION %%%%%%%%%%%

if nargout == 0
% Save data to file
z=repelem(kk,length(xpt));
writedata = [z' xpt' ypt'];
fprintf(fid, '%5.0f\t%5.2f\t%5.2f\n',writedata');
disp(newline)
elseif nargout == 1
outputdata = [xpt' ypt'];
varargout{1} = outputdata;
close(FigName);
end

```

```
        break

end
end
fclose(fid_q);
fclose(fid);
end
```


A.4.

Funzione implementata “digitize3” riguardante l’operazione di vettorializzazione manuale delle sezioni trasversali e delle altezze idriche storiche (Scenario idraulico: onde di piena a valle dello sbarramento dovute alle manovre degli organi di scarico).

```
function varargout = digitize3(varargin)

% digitize3 allows you to import the images automatically into the cycle
% to digitize them. the code only supports image files compatible with
% "imread".
% The function then prompts the user to graphically identify the location
% of the origin and the X- and Y- axes of the plot.
% The user can decide whether or not to digitize both the cross section
% and the water heights. The user may then graphically select an
% arbitrary number of data points from anywhere on the image using the
% left mouse button. Data acquisition is terminated by clicking the right
% mouse button.
% the data is automatically saved inside a text file in the current folder.

% Author(s): A. Prasad and Elisabetta Bruno
% Original version created by J.D.Cogdell

files=dir('rad_*.jpg');

fid_q450 = fopen('Altezza_idricaQ450.txt','a+');
fprintf(fid_q450,'ID\tH_Idrica(Q450)\n');

fid_q186 = fopen('Altezza_idricaQ186.txt','a+');
fprintf(fid_q186,'ID\tH_Idrica(Q186)\n');

fid_q138 = fopen('Altezza_idricaQ138.txt','a+');
fprintf(fid_q138,'ID\tH_Idrica(Q138)\n');

fid = fopen('Sezioni_digitalizzate.txt','a+');
fprintf(fid,'ID\tDIST\tQUOTA\n');

for kk=1:length (files)

    if kk>=2
        clear xptq yptq
        clear xptq1 yptq1
        clear xptq2 yptq2
        clear xpt ypt
    end

% Check for proper number of input arguments
narginchk(0,1);

% Identify image filename
if nargin == 0
```

```

    Img = imread (files(kk).name);
    pathname= files(kk).folder;
    filename= files(kk).name;
    imagename = fullfile(pathname, filename);
elseif nargin == 1
    imagename = varargin{1};
    [~, file,ext] = fileparts(imagename);
    filename = strcat(file,ext);
end

% Read image from target filename
image(Img)
FigName = ['IMAGE: ' filename];
set(gcf,'Units','normalized',...
      'Position',[0 0.125 1 0.85],...
      'Name', FigName,...
      'NumberTitle','Off',...
      'MenuBar','None')
set(gca,'Units','normalized','Position',[0 0 1 1]);

% Determine location of origin with mouse click
OriginButton = questdlg('Select the ORIGIN with left mouse button click',
...
                        'DIGITIZE: user input required', ...
                        'OK','Cancel','OK');
switch OriginButton
case 'OK'
    drawnow
    [Xopixels,Yopixels] = ginput(1);
    line(Xopixels,Yopixels,...
         'Marker','o','Color','g','MarkerSize',14)
    line(Xopixels,Yopixels,...
         'Marker','x','Color','g','MarkerSize',14)
case 'Cancel'
    close(FigName)
    return
end % switch OriginButton

% Prompt user for X- & Y- values at origin
prompt={'Enter the abcissa (X value) at the origin',...
        'Enter the ordinate (Y value) at the origin:'};
def={'0','0'};
dlgTitle='DIGITIZE: user input required';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def);
if (isempty(char(answer{:})) == 1)
    close(FigName)
    return
else
    OriginXYdata = str2num(char(answer{:}));
end

% Define X-axis
XLimButton = questdlg(...
            'Select a point on the X-axis with left mouse button click ', ...
            'DIGITIZE: user input required', ...
            'OK','Cancel','OK');
switch XLimButton
case 'OK'

```

```

        drawnow
        [XAxisXpixels,XAxisYpixels] = ginput(1);
        line(XAxisXpixels,XAxisYpixels,...
            'Marker','*','Color','b','MarkerSize',14)
        line(XAxisXpixels,XAxisYpixels,...
            'Marker','s','Color','b','MarkerSize',14)
    case 'Cancel'
        close(FigName)
        return
end % switch XLimButton

% Prompt user for XLim value
prompt={'Enter the abscissa (X value) at the selected point'};
def={'1'};
dlgTitle='DIGITIZE: user input required';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def);
if (isempty(char(answer{:})) == 1)
    close(FigName)
    return
else
    XAxisXdata = str2num(char(answer{:}));
end

% Determine X-axis scaling
Xtype = questdlg(...
    'Select axis type for abscissa (X)', ...
    'DIGITIZE: user input required', ...
    'LINEAR','LOGARITHMIC','Cancel');
drawnow
switch upper(Xtype)
case 'LINEAR'
    logx = 0;
    scalefactorXdata = XAxisXdata - OriginXYdata(1);
case 'LOGARITHMIC'
    logx = 1;
    scalefactorXdata = log10(XAxisXdata/OriginXYdata(1));
case 'CANCEL'
    close(FigName)
    return
end % switch Xtype

% Rotate image if necessary
% note image file line 1 is at top
th = atan((XAxisYpixels-Yopixels)/(XAxisXpixels-Xopixels));
% axis rotation matrix
rotmat = [cos(th) sin(th); -sin(th) cos(th)];

% Define Y-axis
YLimButton = questdlg(...
    'Select a point on the Y-axis with left mouse button click', ...
    'DIGITIZE: user input required', ...
    'OK','Cancel','OK');
switch YLimButton
case 'OK'
    drawnow
    [YAxisXpixels,YAxisYpixels] = ginput(1);
    line(YAxisXpixels,YAxisYpixels,...

```

```

        'Marker','*','Color','b','MarkerSize',14)
    line(YAxisXpixels,YAxisYpixels,...
        'Marker','s','Color','b','MarkerSize',14)
    case 'Cancel'
        close(FigName)
        return
end % switch YLimButton

% Prompt user for YLim value
prompt={'Enter the ordinate (Y value) at the selected point'};
def={'1'};
dlgTitle='DIGITIZE: user input required';
lineNo=1;
answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def);
if (isempty(char(answer{:})) == 1)
    close(FigName)
    return
else
    YAxisYdata = str2num(char(answer{:}));
end

% Determine Y-axis scaling
Ytype = questdlg('Select axis type for ordinate (Y)', ...
    'DIGITIZE: user input required', ...
    'LINEAR','LOGARITHMIC','Cancel');
drawnow
switch upper(Ytype)
    case 'LINEAR'
        logy = 0;
        scalefactorYdata = YAxisYdata - OriginXYdata(2);
    case 'LOGARITHMIC'
        logy = 1;
        scalefactorYdata = log10(YAxisYdata/OriginXYdata(2));
    case 'CANCEL'
        close(FigName)
        return
end % switch Ytype

% Complete rotation matrix definition as necessary
delxyx = rotmat*[(XAxisXpixels-Xopixels);(XAxisYpixels-Yopixels)];
delxyy = rotmat*[(YAxisXpixels-Xopixels);(YAxisYpixels-Yopixels)];
delXcal = delxyx(1);
delYcal = delxyy(2);

% Commence Data Acquisition from image
msgStr{1} = 'Click with LEFT mouse button to ACQUIRE';
msgStr{2} = '';
msgStr{3} = 'Click with RIGHT mouse button to QUIT';
titleStr = 'Ready for data acquisition';
uiwait(msgbox(msgStr,titleStr,'warn','modal'));
drawnow

numberformat = '%6.2f';
nXY = [];
ng = 0;
while 1
    fprintf(['\n INFO >> Click with RIGHT mouse button to QUIT \n\n']);
    n = 0;
    fprintf('\n %s \n\n',' Index          X          Y')
end

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% SECTION DIGITIZATION %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
while 1
    [x,y, buttonNumber] = ginput(1);
    xy = rotmat*[x-Xopixels];(y-Yopixels)];
    delXpoint = xy(1);
    delYpoint = xy(2);

    if buttonNumber == 1
        line(x,y, 'Marker', '.', 'Color', 'r', 'MarkerSize',12)
        if logx
            x = OriginXYdata(1)*10^(delXpoint/delXcal*scalefactorXdata);
        else
            x = OriginXYdata(1) + delXpoint/delXcal*scalefactorXdata;
        end
        if logy
            y = OriginXYdata(2)*10^(delYpoint/delYcal*scalefactorYdata);
        else
            y = OriginXYdata(2) + delYpoint/delYcal*scalefactorYdata;
        end
        n = n+1;
        xpt(n) = x;
        ypt(n) = y;
        fprintf(' %4d          %f          %f\n',n, x, y)
        ng = ng+1;
        nXY(ng,:) = [n x y];

    else
        query = questdlg('STOP digitizing and QUIT ?', ...
            'DIGITIZE: confirmation', ...
            'YES', 'NO', 'NO');
        drawnow
        switch upper(query)
            case 'YES'
                disp(newline)
                break
            case 'NO'

        end % switch query
    end
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% WATER HEIGHT DIGITIZATION %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
WATER_HEIGHTButton = questdlg(...
    'Select a point on the WATER LEVEL with left mouse button click or
click with right mouse button to quit', ...
    'DIGITIZE: Define Flow Height (Q=450 mc/s)', ...
    'OK', 'Cancel', 'OK');
switch WATER_HEIGHTButton
    case 'OK'
        drawnow
        while 1
            [xq,yq,buttonNumber] = ginput(1);
            xyq = rotmat*[(xq-Xopixels);(yq-Yopixels)];
            delXpoint2 = xyq(1);
            delYpoint2 = xyq(2);
            if buttonNumber == 1
```

```

line(xq,yq,...
    'Marker','x','Color','b','MarkerSize',15)
if logx
xq = OriginXYdata(1)*10^(delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata);
else
xq = OriginXYdata(1) + delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata;
end
if logy
yq = OriginXYdata(2)*10^(delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata);
else
yq = OriginXYdata(2) + delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata;
end
n = n+1;
xptq(n) = xq;
yptq(n) = yq;
fprintf(' %4d          %f          %f\n',n, xq, yq)
ng = ng+1;
nXYq(ng,:) = [n xq yq];

else
query = questdlg('STOP digitizing and QUIT ?', ...
    'DIGITIZE: confirmation', ...
    'YES', 'NO', 'NO');
drawnow
switch upper(query)
case 'YES'
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DATA ACQUISITION LOOP: WATER HEIGHT %%%%%%%%%%
    if nargout == 0
        yptq(yptq==0)=[];
        xptq(xptq==0)=[];
        z_q=repelem(kk,length(xptq));
        writedata2 = [z_q' yptq'];
        fprintf(fid_q450,'%5.0f\t%5.2f\n',writedata2');
        disp(newline)
    elseif nargout == 1
        outputdata2 = [xptq' yptq'];
        varargout{1} = outputdata2;
        close(FigName);
    end
    break
case 'NO'

end % switch query

end
end

case 'Cancel'

end % switch QButton

WATER_HEIGHTButton = questdlg(...
    'Select a point on the WATER LEVEL with left mouse button click or
click with right mouse button to quit', ...
    'DIGITIZE: Define Flow Height (Q=186 mc/s)', ...
    'OK','Cancel','OK');
switch WATER_HEIGHTButton
case 'OK'

```



```

drawnow
while 1
[xq,yq,buttonNumber] = ginput(1);
xyq = rotmat*[(xq-Xopixels);(yq-Yopixels)];
delXpoint2 = xyq(1);
delYpoint2 = xyq(2);
if buttonNumber == 1
line(xq,yq,...
     'Marker','x','Color','b','MarkerSize',15)
if logx
xq = OriginXYdata(1)*10^(delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata);
else
xq = OriginXYdata(1) + delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata;
end
if logy
yq = OriginXYdata(2)*10^(delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata);
else
yq = OriginXYdata(2) + delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata;
end
n = n+1;
xptq1(n) = xq;
yptq1(n) = yq;
fprintf(' %4d          %f          %f\n',n, xq, yq)
ng = ng+1;
nXYq(ng,:) = [n xq yq];

else
query = questdlg('STOP digitizing and QUIT ?', ...
                'DIGITIZE: confirmation', ...
                'YES', 'NO', 'NO');
drawnow
switch upper(query)
case 'YES'
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DATA ACQUISITION LOOP: WATER HEIGHT %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if nargout == 0
yptq1(yptq1==0)=[];
xptq1(xptq1==0)=[];
z_q=repelem(kk,length(xptq1));
writedata2 = [z_q' yptq1'];
fprintf(fid_q186, '%5.0f\t%5.2f\n',writedata2');
disp(newline)
elseif nargout == 1
outputdata2 = [xptq1' yptq1'];
varargout{1} = outputdata2;
close(FigName);
end
break
case 'NO'

end % switch query

end
end

case 'Cancel'

end % switch QButton

```

```

WATER_HEIGHTButton = questdlg(...
    'Select a point on the WATER LEVEL with left mouse button click or
click with right mouse button to quit', ...
    'DIGITIZE: Define Flow Height (Q=138 mc/s)', ...
    'OK', 'Cancel', 'OK');
switch WATER_HEIGHTButton
case 'OK'
drawnow
while 1
[xq,yq,buttonNumber] = ginput(1);
xyq = rotmat*[(xq-Xopixels);(yq-Yopixels)];
delXpoint2 = xyq(1);
delYpoint2 = xyq(2);
if buttonNumber == 1
line(xq,yq,...
    'Marker','x','Color','b','MarkerSize',15)
if logx
xq = OriginXYdata(1)*10^(delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata);
else
xq = OriginXYdata(1) + delXpoint2/delXcal*scalefactorXdata;
end
if logy
yq = OriginXYdata(2)*10^(delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata);
else
yq = OriginXYdata(2) + delYpoint2/delYcal*scalefactorYdata;
end
n = n+1;
xptq2(n) = xq;
yptq2(n) = yq;
fprintf(' %4d          %f          %f\n',n, xq, yq)
ng = ng+1;
nXYq(ng,:) = [n xq yq];

else
query = questdlg('STOP digitizing and QUIT ?', ...
    'DIGITIZE: confirmation', ...
    'YES', 'NO', 'NO');
drawnow
switch upper(query)
case 'YES'
%%%%%%%%%%%%%% DATA ACQUISITION LOOP: WATER HEIGHT %%%%%%%%%%%%%%%
if nargout == 0
yptq2(yptq2==0)=[];
xptq2(xptq2==0)=[];
z_q=repelem(kk,length(xptq2));
writedata2 = [z_q' yptq2'];
fprintf(fid_q138,'%5.0f\t%5.2f\n',writedata2');
close(FigName)
disp(newline)
elseif nargout == 1
outputdata2 = [xptq2' yptq2'];
varargout{1} = outputdata2;
close(FigName);
end
break
case 'NO'

end % switch query

end

```

```
end

case 'Cancel'
close(FigName)

end % switch QButton

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DATA ACQUISITION LOOP: SECTION %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if nargout == 0
% Save data to file
z=repelem(kk,length(xpt));
writedata = [z' xpt' ypt'];
fprintf(fid,'%5.0f\t%5.2f\t%5.2f\n',writedata);
disp(newline)
elseif nargout == 1
outputdata = [xpt' ypt'];
varargout{1} = outputdata;
close(FigName);
end
break

end
end
fclose(fid_q450);
fclose(fid_q186);
fclose(fid_q138);
fclose(fid);
end
```

A.5.

Codice realizzato per il confronto e la verifica del metodo di digitalizzazione scelto "digitize3" (Scenario idraulico: propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento per ipotetico collasso diga).

```

clc; clear all; close all;

% Scenario idraulico 1

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
% (fid, layer, altezze storiche)
sez=shaperead('SEZIONE_TAV.shp');

for n=1:8

% Definizione del vettore delle altezze idriche storiche
Q=[sez(find([sez.fid]==n)).Q];

%% SEZIONI TRASVERSALI STORICHE (TAVOLE DELLE INDAGINI PASSATE)

% Sezioni trasversali storiche digitalizzate con digitize3: lettura delle
% distanze progressive, delle quote e dei numeri identificativi di ciascuna
% sezione (fid)
dati=xlsread('Sezioni_Digitalizzate.xlsx')
fid_TAV=dati(:,1);
DIST_TAV=dati(:,2);
Z_TAV=dati(:,3);

% Definizione della lunghezza del vettore relativo a ciascuna sezione
LunghVett=(find((fid_TAV)==n));
Viniz=LunghVett(1,1);
Vfin=LunghVett(end,1);

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
dist_TAV=DIST_TAV(Viniz:Vfin,1);
dist_N=(0:0.01:max(dist_TAV));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
z_TAV=Z_TAV(Viniz:Vfin,1);
z_N=interp1(dist_TAV,z_TAV,dist_N);

% Calcolo Area bagnata
Q_n=(ones(1,length(dist_N))).*Q;
testz = z_N > Q_n;
testz1 = ~testz;
q_integr= testz.*z_N + testz1.*Q_n;
area(n)=trapz(dist_N,q_integr)-trapz(dist_N,z_N);

% Calcolo della larghezza in superficie
q=isnan(Q);
if q==1
Larghezza_sup_TAV(n)=NaN;

```

```

else
testz1(testz1==0)=[];
Idx=find(testz1~=0);
dist_idx=dist_N(Idx);
Larghezza_sup_TAV(n)=dist_idx(end);
end

% Sezioni trasversali storiche digitalizzate con Origin: lettura delle
% distanze progressive, delle quote e dei numeri identificativi di ciascuna
% sezione (fid)
datil=xlsread('Sezioni-Origin.xlsx')
fid_TAV=datil(:,1);
DIST_TAV=datil(:,2);
Z_TAV=datil(:,3);

% Definizione della lunghezza del vettore relativo a ciascuna sezione
LunghVett=(find([fid_TAV]==n));
Viniz=LunghVett(1,1);
Vfin=LunghVett(end,1);

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
dist_TAV1=DIST_TAV(Viniz:Vfin,1);
dist_N1=(0:0.01:max(dist_TAV1));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
z_TAV1=Z_TAV(Viniz:Vfin,1);
z_N1=interp1(dist_TAV1,z_TAV1,dist_N1);

% Calcolo Area bagnata
Q_n=(ones(1,length(dist_N1))).*Q;
testz = z_N1 > Q_n;
testz1 = ~testz;
q_integr= testz.*z_N1 + testz1.*Q_n;
areal(n)= trapz(dist_N1,q_integr)-trapz(dist_N1,z_N1);

% Calcolo della larghezza in superficie
if q==1
Larghezza_sup_TAV1(n)=NaN;
else
testz1(testz1==0)=[];
Idx=testz1~=0;
dist_idx=dist_N1(Idx);
Larghezza_sup_TAV1(n)=dist_idx(end);
end

% Sezioni trasversali storiche digitalizzate con DigitizeAuto:
% lettura delle distanze progressive, delle quote e dei numeri
% identificativi di ciascuna sezione (fid)
dati2=xlsread('Sezioni-DigitizeAuto.xlsx')
fid_TAV=dati2(:,1);
DIST_TAV=dati2(:,2);
Z_TAV=dati2(:,3);

% Definizione della lunghezza del vettore relativo a ciascuna sezione
LunghVett=(find((fid_TAV)==n));
Viniz=LunghVett(1,1);
Vfin=LunghVett(end,1);

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)

```

```

dist_TAV2=DIST_TAV(Viniz:Vfin,1);
dist_N2=(0:0.01:max(dist_TAV2));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
z_TAV2=Z_TAV(Viniz:Vfin,1);
z_N2=interp1(dist_TAV2,z_TAV2,dist_N2);

% Calcolo Area bagnata
Q_n=(ones(1,length(dist_N2))).*Q;
testz = z_N2 > Q_n;
testz1 = ~testz;
q_integr= testz.*z_N2 + testz1.*Q_n;
area2(n)=trapz(dist_N2,q_integr)-trapz(dist_N2,z_N2);

% Calcolo della larghezza in superficie
if q==1
Larghezza_sup_TAV2(n)=NaN;
else
testz1(testz1==0)=[];
Idx=testz1~=0;
dist_idx=dist_N2(Idx);
Larghezza_sup_TAV2(n)=dist_idx(end);
end

%% CONFRONTO SEZIONI TRASVERSALI STORICHE DIGITALIZZATE

% Definizione del vettore dell'altezza idrica proiettato sulle sezioni
Q_tav=(ones(1,length(dist_TAV))).*Q;

% Sovrapposizione delle sezioni digitalizzate e proiezione dell'altezza
% idrica storica
figure
plot(dist_TAV,z_TAV)
hold on
plot(dist_TAV1,z_TAV1)
hold on
plot(dist_TAV2,z_TAV2)
hold on
plot(dist_TAV,Q_tav,'color','blue')
title([sez(find([sez.fid]==n)).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione old (digitize3)', 'Sezione old (Origin)', 'Sezione old (DigitizeAuto)', 'Altezza idrica [m] (Q [mc/s])')
grid on
grid minor

%% CALCOLI PER RISULTATI GRAFICI

% Calcolo della variazione percentuale dell'area bagnata e della larghezza
% in superficie, per il confronto e la verifica del metodo di
% digitalizzazione digitize3 rispetto al metodo DigitizeAuto e al software
% Origin.

deltaArea1(n)=(area(1,n)-area1(1,n))./area1(1,n))*100;
deltaArea2(n)=(area(1,n)-area2(1,n))./area2(1,n))*100;

```



```

deltasup1(n)=(Larghezza_sup_TAV(1,n)-Larghezza_sup_TAV1(1,n))
./Larghezza_sup_TAV1(1,n))*100;
deltasup2(n)=(Larghezza_sup_TAV(1,n)-Larghezza_sup_TAV2(1,n))
./Larghezza_sup_TAV2(1,n))*100;

end

% Confronto dei metodi di digitalizzazione digitize3-DigitizeAuto

AsseX=1:8;% Definizione dell'asse delle ascisse (numero sezioni)

% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
plot(AsseX,deltasup2)
title('Confronto Larghezza in superficie (digitize3-DigitizeAuto)')
ylabel('Delta Larghezza sup. [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione larghezza %')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaArea2)
title('Confronto Area Bagnata (digitize3-DigitizeAuto)')
ylabel('Delta Area [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione area %')
grid on
grid minor

% Verifica del metodo di digitalizzazione digitize3 mediante il software
% Origin

% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
plot(AsseX,deltasup1)
title('Confronto Larghezza in superficie (digitize3-Origin)')
ylabel('Delta Larghezza sup. [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione larghezza %')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaArea1)
title('Confronto Area Bagnata (digitize3-Origin)')
ylabel('Delta Area [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione area %')
grid on
grid minor

```

A.6.

Codice definito per il confronto geometrico e idraulico tra le sezioni trasversali storiche e le sezioni trasversali attualizzate (Scenario idraulico: propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento per ipotetico collasso diga).

```

clc; clear all; close all;

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
% (fid, layer e altezze storiche)
sez=shaperead('SEZIONE_TAV.shp');

for n=1:length([sez.fid])
%% SEZIONI TRASVERSALI ATTUALIZZATE (DTM)

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
Punti_sez=shaperead('Profiles_collasso.shp'); % Informazioni plano-
altimetriche e distanze di ogni sezione

% Definizione del vettore delle altezze idriche storiche
Q=[sez([sez.fid]==n).Q];

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
nn=0:length([sez.fid])-1;
DIST=([Punti_sez.LINE_ID]==nn(n)).*[Punti_sez.DIST];
DIST(DIST==0)=[];
DIST=[0 , DIST];
DIST_N=(0:0.01:max(DIST));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
Z=([Punti_sez.LINE_ID]==nn(n)).*[Punti_sez.Z];
Z(Z==0)=[];
Z_N=interp1(DIST,Z,DIST_N);

% Calcolo Area bagnata
Q_N=(ones(1,length(DIST_N))).*Q;
testZ = Z_N > Q_N;
testZ1 = ~testZ;
q_integr = testZ.*Z_N + testZ1.*Q_N;
AREA(n)= trapz(DIST_N,q_integr)-trapz(DIST_N,Z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testZ1.*DIST_N;
Z_area=Z_N-q_integr+Q_N;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica sulla
% sezione trasversale attualizzata e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(DIST_N,Z_N,'color','black')
hold on
plot(DIST_N,Q_N,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')

```

```

legend('Sezione new','Altezza idrica [m] (Q [mc/s])','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie
q=isnan(Q);
if q==1
Larghezza_sup_DTM(n)=NaN;
else
testZ1(testZ1==0)=[];
Idx=find(testZ1~=0);
DIST_idx=DIST_N(Idx);
Larghezza_sup_DTM(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testZ1 = ~testZ;
q1=testZ1.*Q_N;
q1(q1==0)=NaN;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica raffigurante
% la larghezza in superficie
figure
plot(DIST,Z,'color','k')
hold on
plot(DIST_N,q1,'color','b')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new','Larghezza in superficie [m]')
grid on
grid minor

%% SEZIONI TRASVERSALI STORICHE (TAVOLE DELLE INDAGINI PASSATE)

% Lettura delle distanze progressive, delle quote e dei numeri
% identificativi di ciascuna sezione (fid)
dati=xlsread('Sezioni_Digitalizzate.xlsx');
fid_TAV=dati(:,1);
DIST_TAV=dati(:,2);
Z_TAV=dati(:,3);

% Definizione della lunghezza del vettore relativo a ciascuna sezione
LunghVett=(find((fid_TAV)==n));
Viniz=LunghVett(1,1);
Vfin=LunghVett(end,1);

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
dist_TAV=DIST_TAV(Viniz:Vfin,1);
dist_N=(0:0.01:max(dist_TAV));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
z_TAV=Z_TAV(Viniz:Vfin,1);
z_N=interp1(dist_TAV,z_TAV,dist_N);

% Calcolo Area bagnata

```

```

Q_n=(ones(1,length(dist_N))).*Q;
testZ = z_N > Q_n;
testZ1 = ~testZ;
q_integr= testZ.*z_N + testZ1.*Q_n;
area(n)= trapz(dist_N,q_integr)-trapz(dist_N,z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testZ1.*dist_N;
Z_area=z_N-q_integr+Q_n;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica sulla sezione
% trasversale storica e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(dist_N,z_N,'color','black')
hold on
plot(dist_N,Q_n,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione old','Altezza idrica [m] (Q [mc/s])','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie
if q==1
Larghezza_sup_TAV(n)=NaN;
else
testZ1(testZ1==0)=[];
Idx=find(testZ1~=0);
DIST_idx=dist_N(Idx);
Larghezza_sup_TAV(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testZ1 = ~testZ;
q1=testZ1.*Q_n;
q1(q1==0)=NaN;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica raffigurante
% la larghezza in superficie
figure
plot(dist_TAV,z_TAV,'color','k')
hold on
plot(dist_N,q1,'color','b')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione old','Larghezza in superficie [m]')
grid on
grid minor

%% CONFRONTO SEZIONI TRASVERSALI RISPETTO AL PUNTO PIU' DEPRESSO

%Sezioni trasversali attualizzate
Quota_Fondo_alveo=min(Z);
idx=find(Quota_Fondo_alveo==Z);
Dist_Fondo_alveo=DIST(idx(1));

```

```

DIST_dtm=DIST-Dist_Fondo_alveo;
Q_dtm=(ones(1,length(DIST_dtm))).*Q;

%Sezioni trasversali storiche
Quota_Fondo_alveo2=min(z_TAV);
idx2=find(Quota_Fondo_alveo2==z_TAV);
Dist_Fondo_alveo2=dist_TAV(idx2(1));
DIST_tav=dist_TAV-Dist_Fondo_alveo2;
Q_tav=(ones(1,length(DIST_tav))).*Q;

% Individuazione della lunghezza massima del vettore delle distanze
% progressive da associare all'altezza idrica proiettata
if max(DIST)>max(dist_TAV)
    Q_=Q_dtm;
    D=DIST_dtm;
else Q_=Q_tav;
    D=DIST_tav;
end

% Sovrapposizione della sezione trasversale attualizzata e della sezione
% trasversale storica con altezza idrica proiettata
figure
plot(DIST_dtm,Z,'color',[0.8500 0.3250 0.0980])
hold on
plot(DIST_tav,z_TAV,'color','black')
hold on
plot(D,Q_,'color','blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new','Sezione old','Altezza idrica [m] (Q [mc/s])')
grid on
grid minor

%% CALCOLI PER RISULTATI GRAFICI (Rappresentazione grafica 2)

% Definizione della variazione percentuale dell'area bagnata e della
% larghezza in superficie per le sezioni trasversali attualizzate
% rispetto ai valori ottenuti dalle sezioni trasversali storiche

deltaArea(n)=( (AREA(1,n)-area(1,n))./area(1,n))*100;

deltaLargh_sup(n)=( (Larghezza_sup_DTM(1,n)- Larghezza_sup_TAV(1,n))
./Larghezza_sup_TAV(1,n))*100;

end

% RISULTATI RELATIVI ALL'AREA BAGNATA

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 1

% Costruzione bisettrice
if max(area)>max(AREA)
    valore=max(area);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(AREA);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;

```

```

        x=1:valore;y=x;
end

% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(area,AREA)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Area new [mq]')
xlabel('Area old [mq]')
legend('Area bagnata','Bisettrice')
grid on
grid minor

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 2
AsseX=1:length([sez.fid]); % Definizione dell'asse delle ascisse (numero
sezioni)

% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,area,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,AREA,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Area [mq]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaArea,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Delta Area [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione area %')
grid on
grid minor

% RISULTATI RELATIVI ALLA LARGHEZZA IN SUPERFICIE

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 1

% Costruzione bisettrice
if max(Larghezza_sup_TAV)>max(Larghezza_sup_DTM)
    valore=max(Larghezza_sup_TAV);
    valore=ceil(valore/100)*100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(Larghezza_sup_DTM);
    valore=ceil(valore/100)*100;
    x=1:valore;y=x;
end

% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure

```



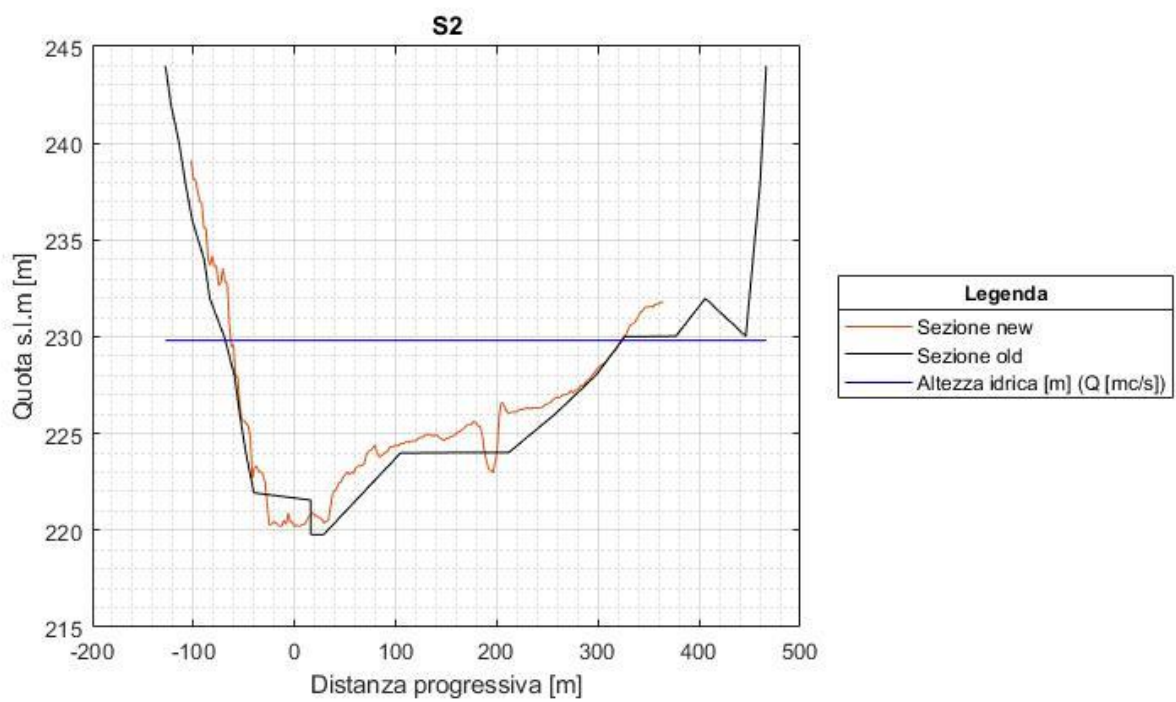
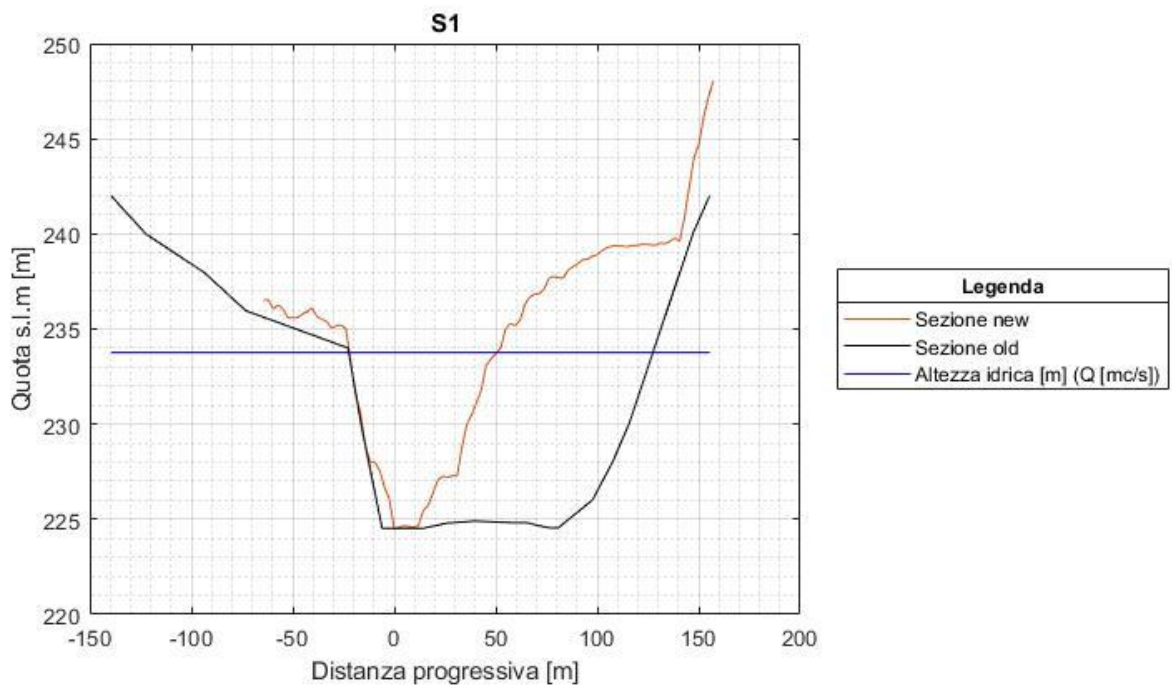
```
scatter(Larghezza_sup_TAV,Larghezza_sup_DTM)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup. new [m]')
xlabel('Larghezza sup. old [m]')
legend('Larghezza sup.','Bisettrice')
grid on
grid minor

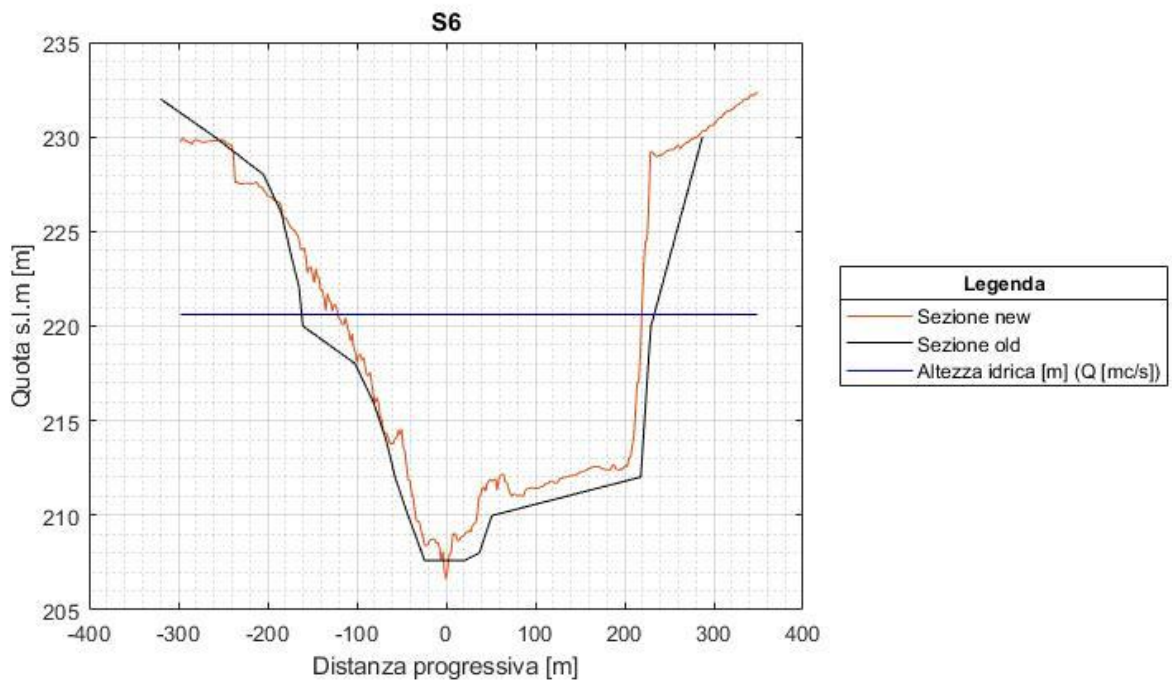
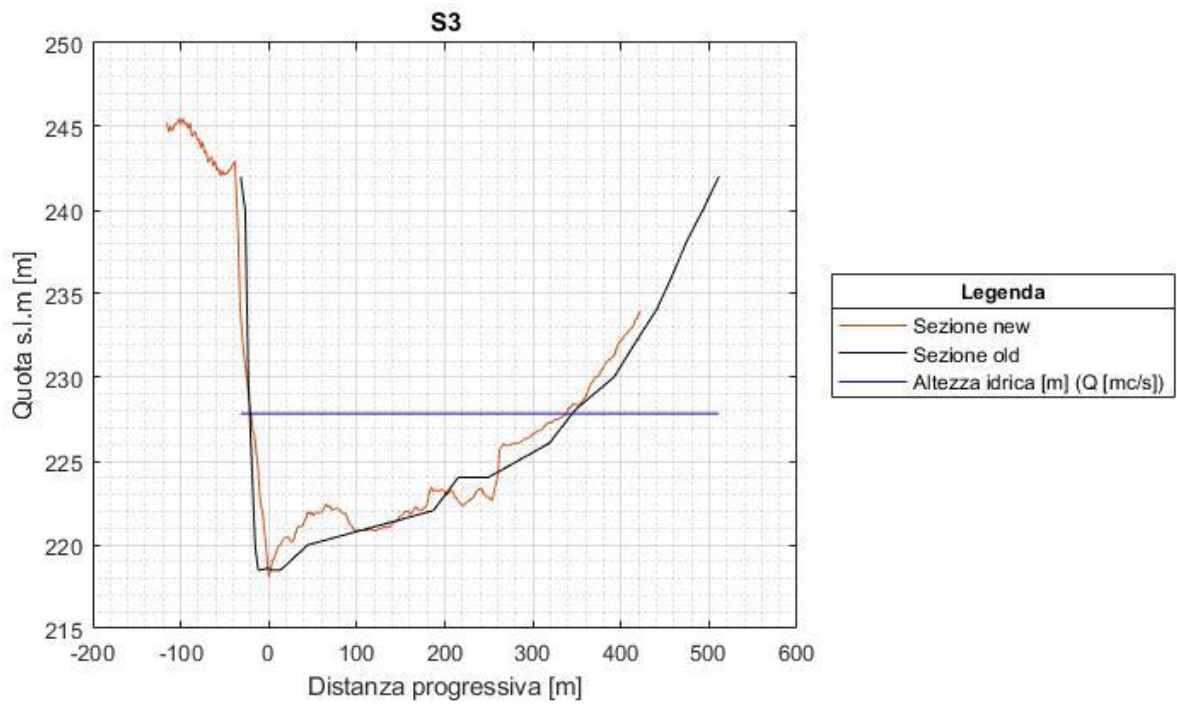
% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 2

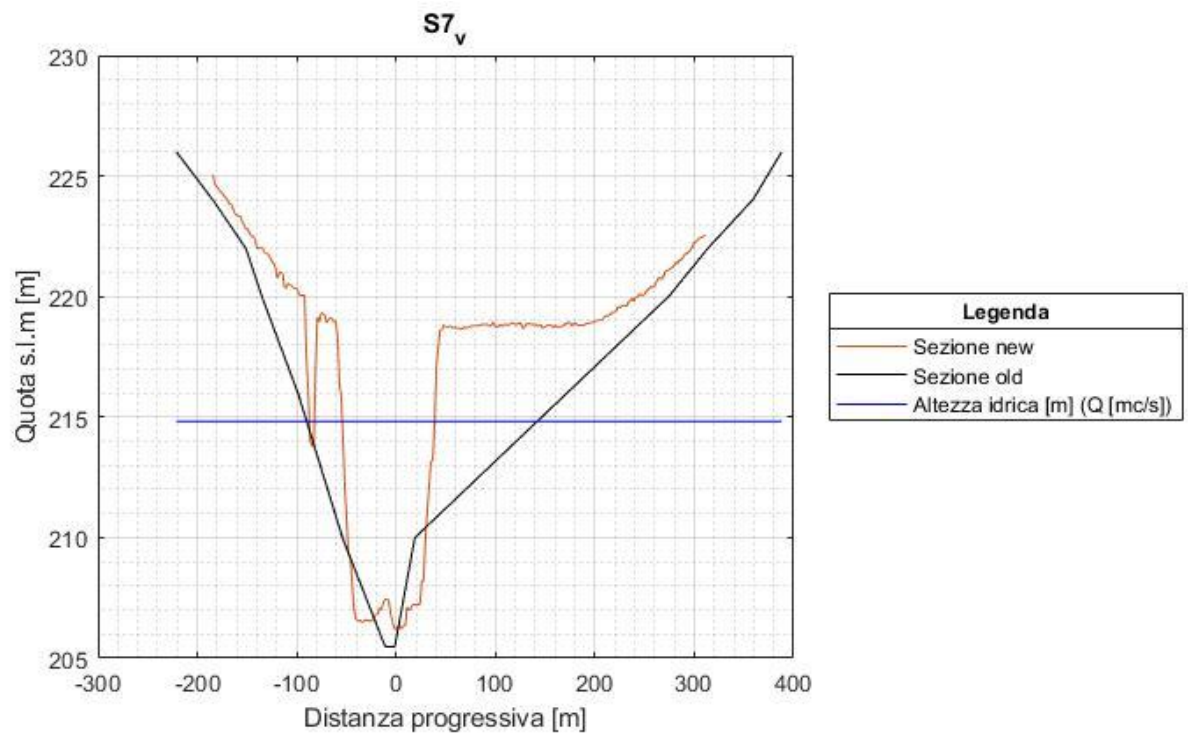
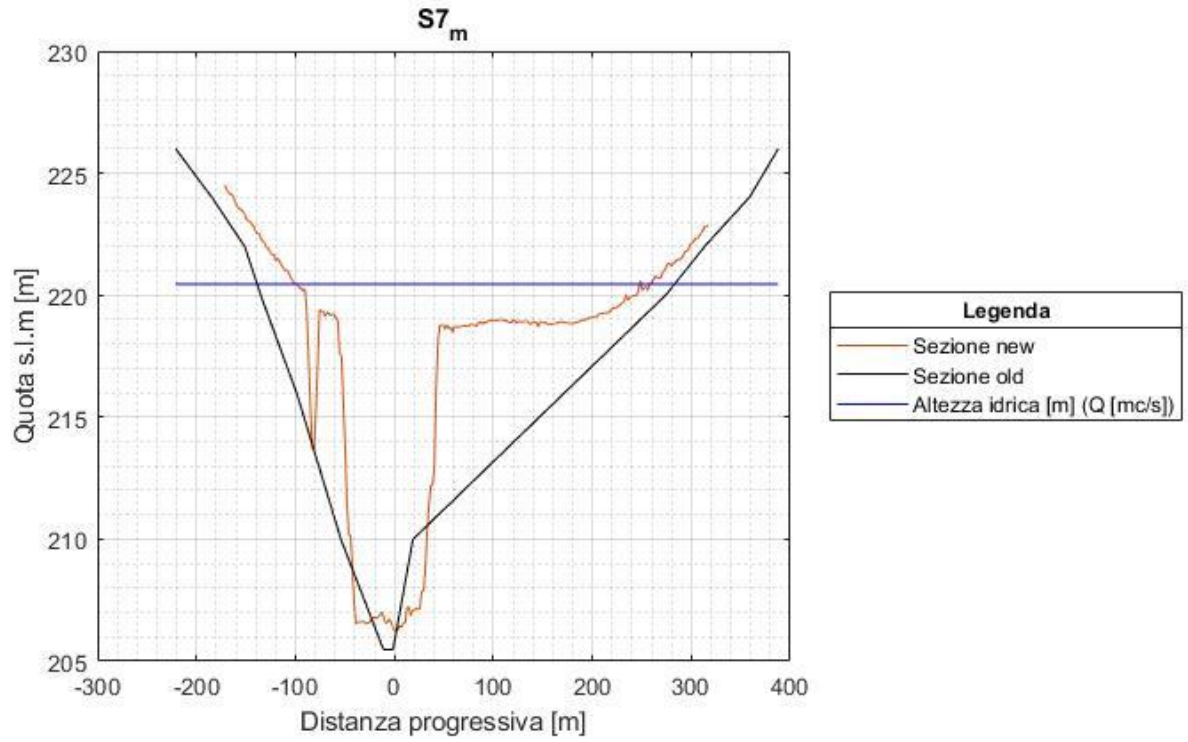
AsseX=1:length([sez.fid]);% Definizione dell'asse delle ascisse (numero sezioni)

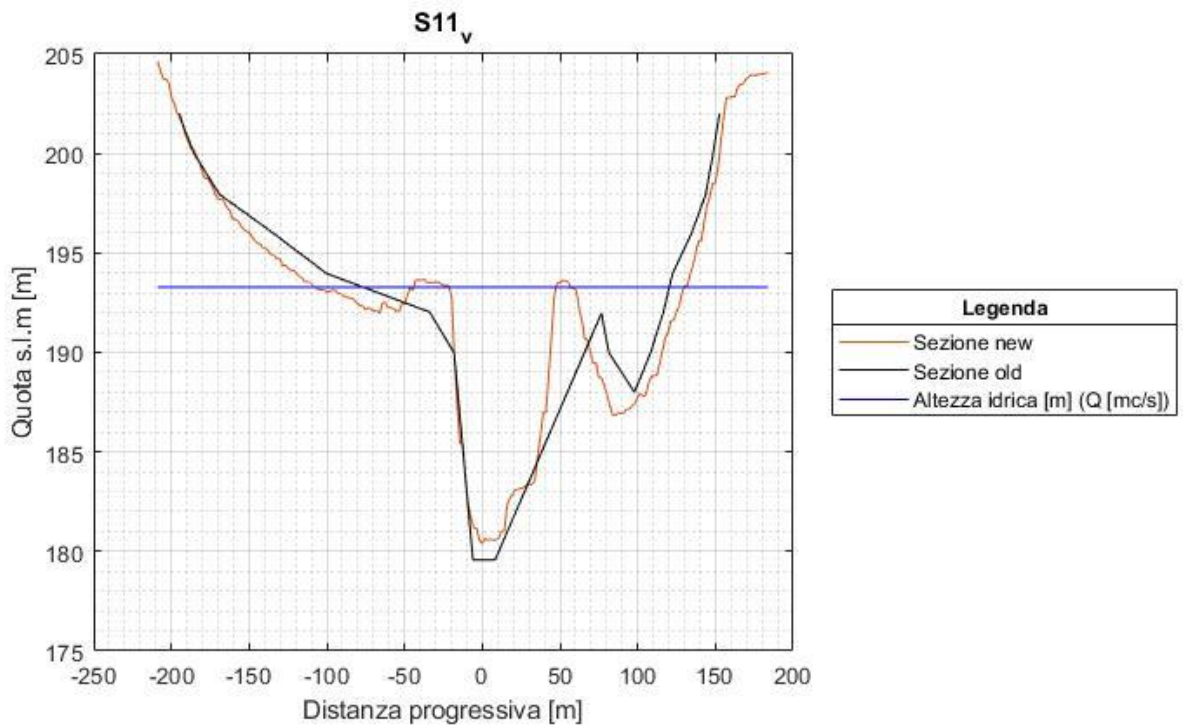
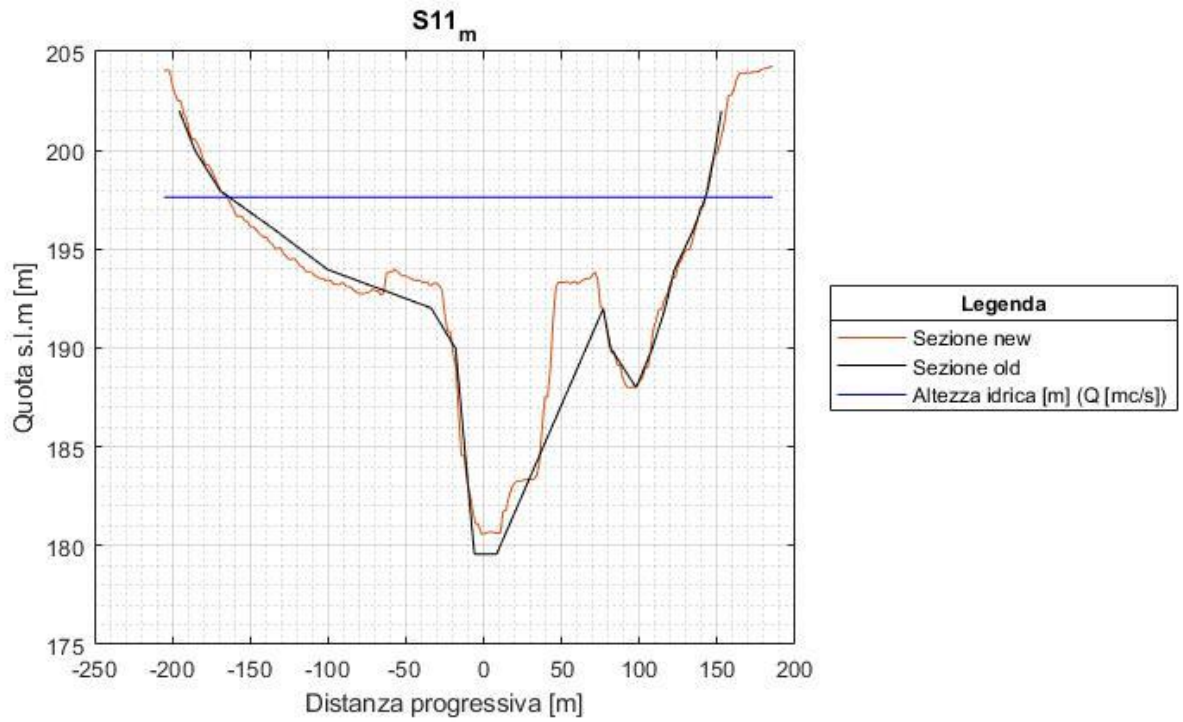
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,Larghezza_sup_TAV,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,Larghezza_sup_DTM,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup. [m]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaLargh_sup,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Delta Larghezza sup. [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione larghezza %')
grid on
grid minor
```

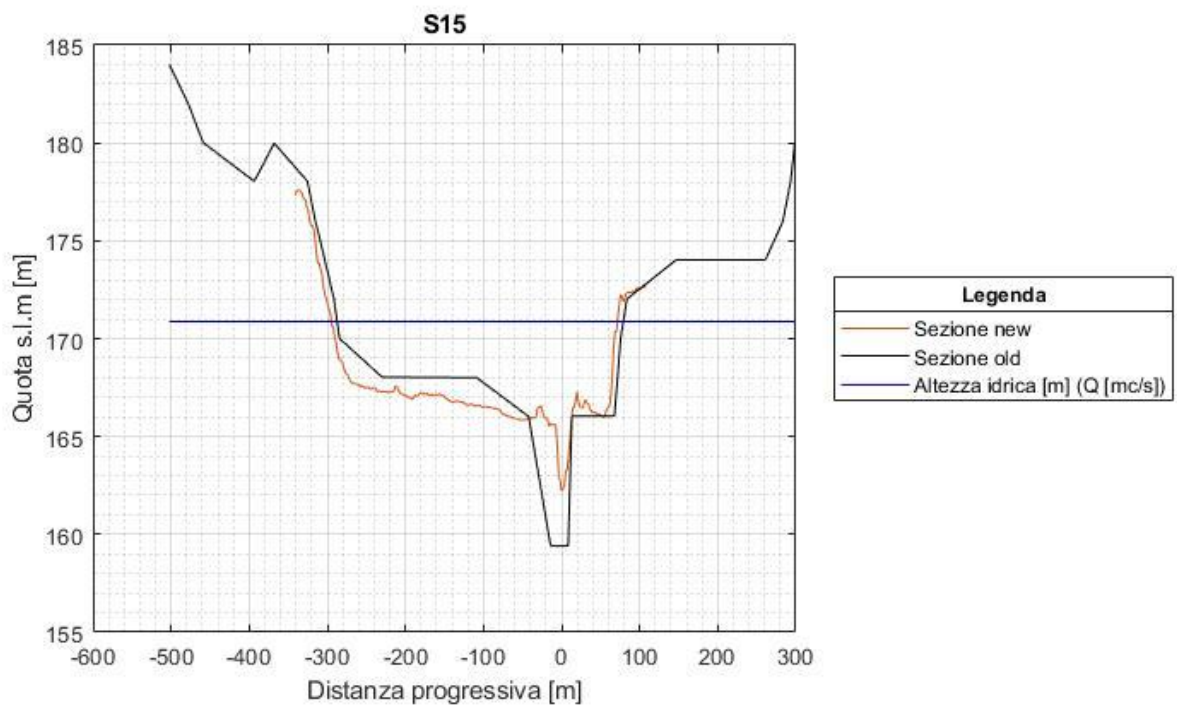
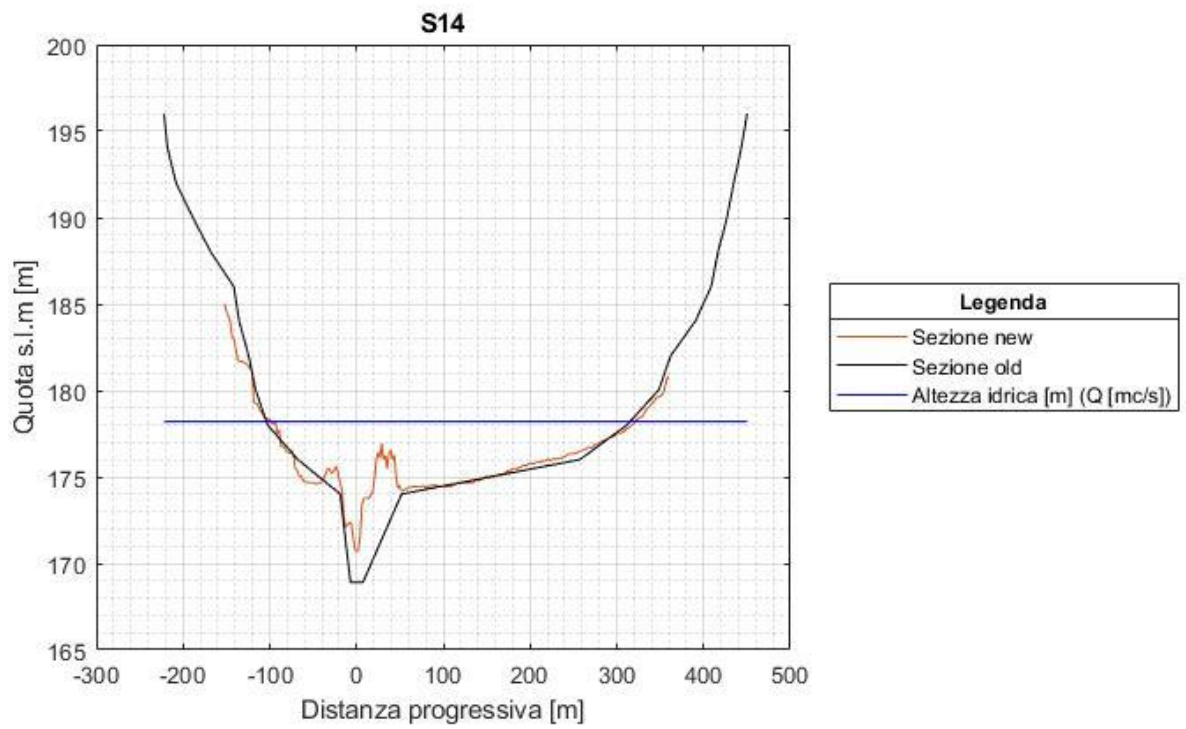
Risultati codice: sovrapposizione delle sezioni trasversali storiche e di quelle attualizzate.

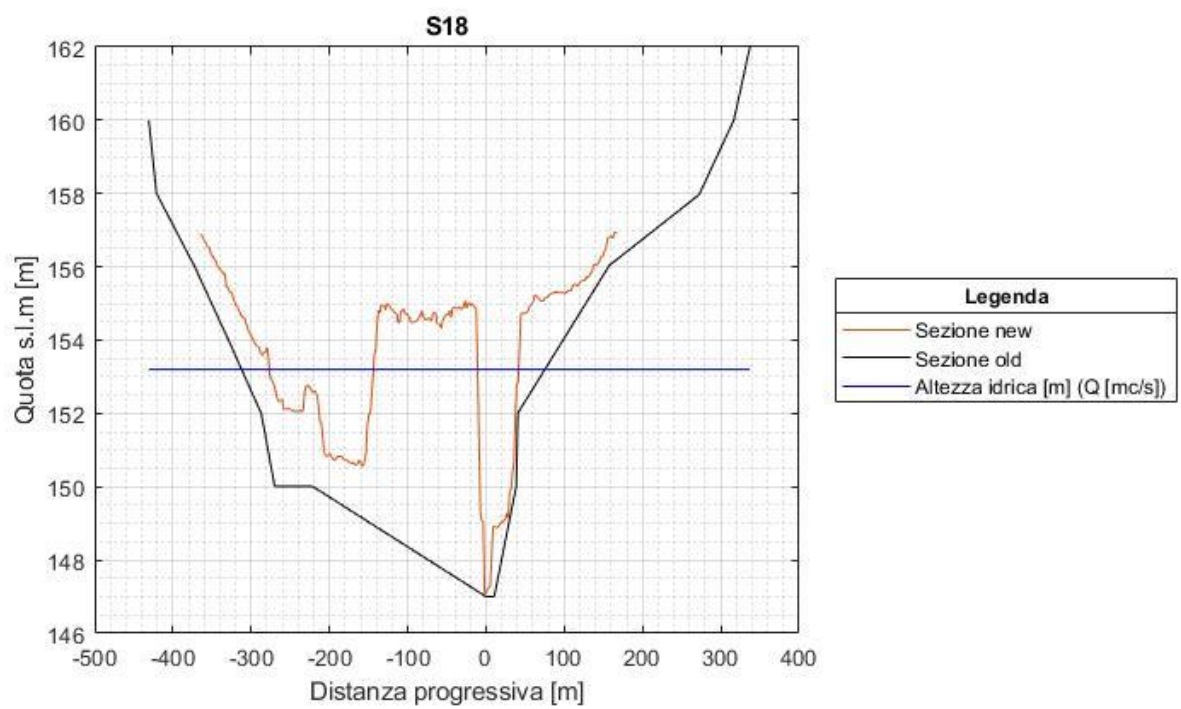
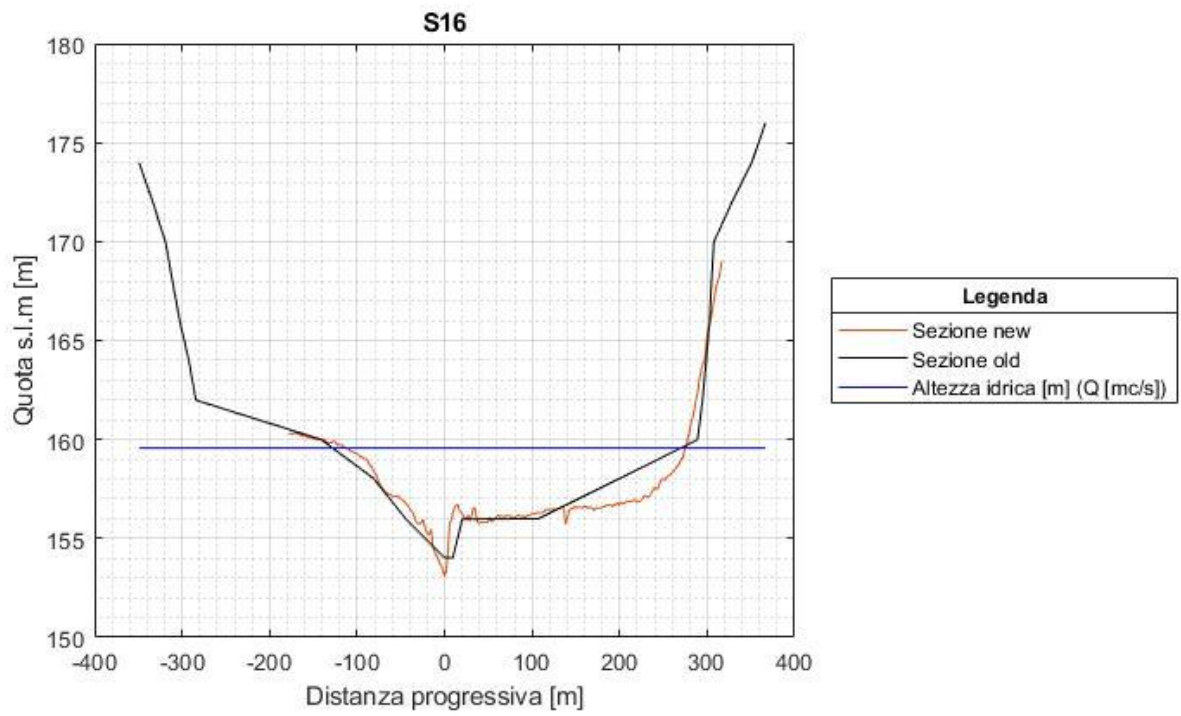


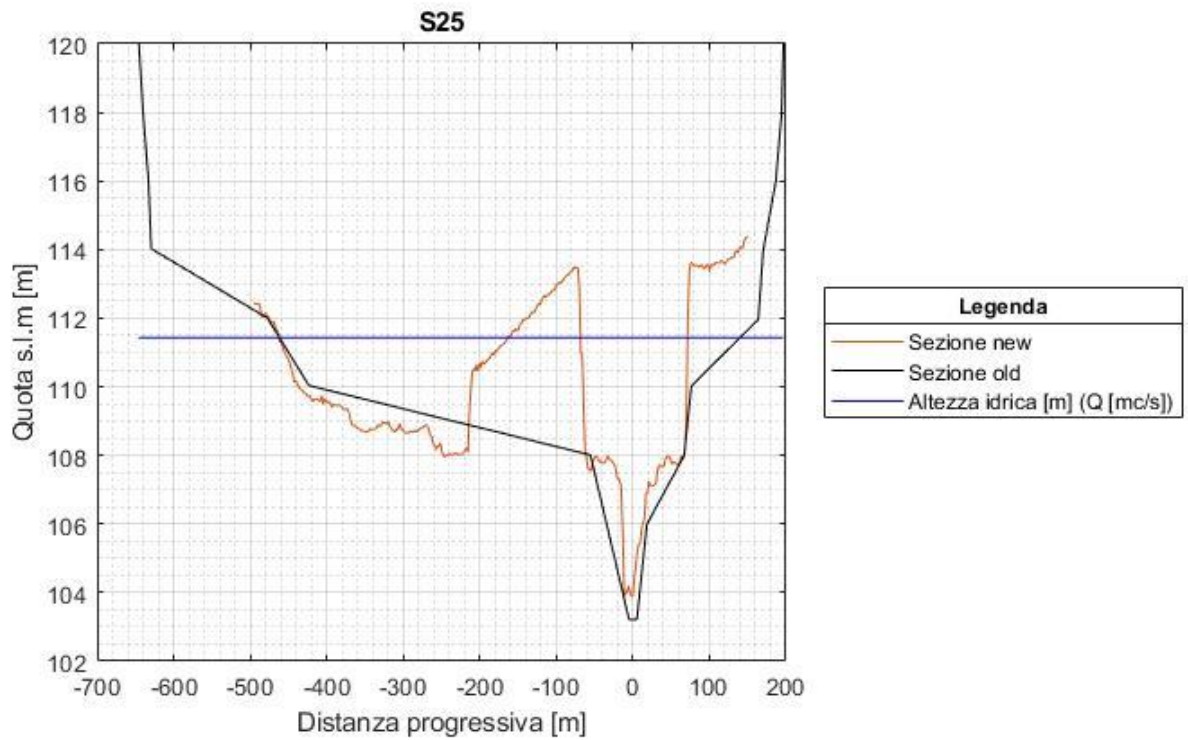
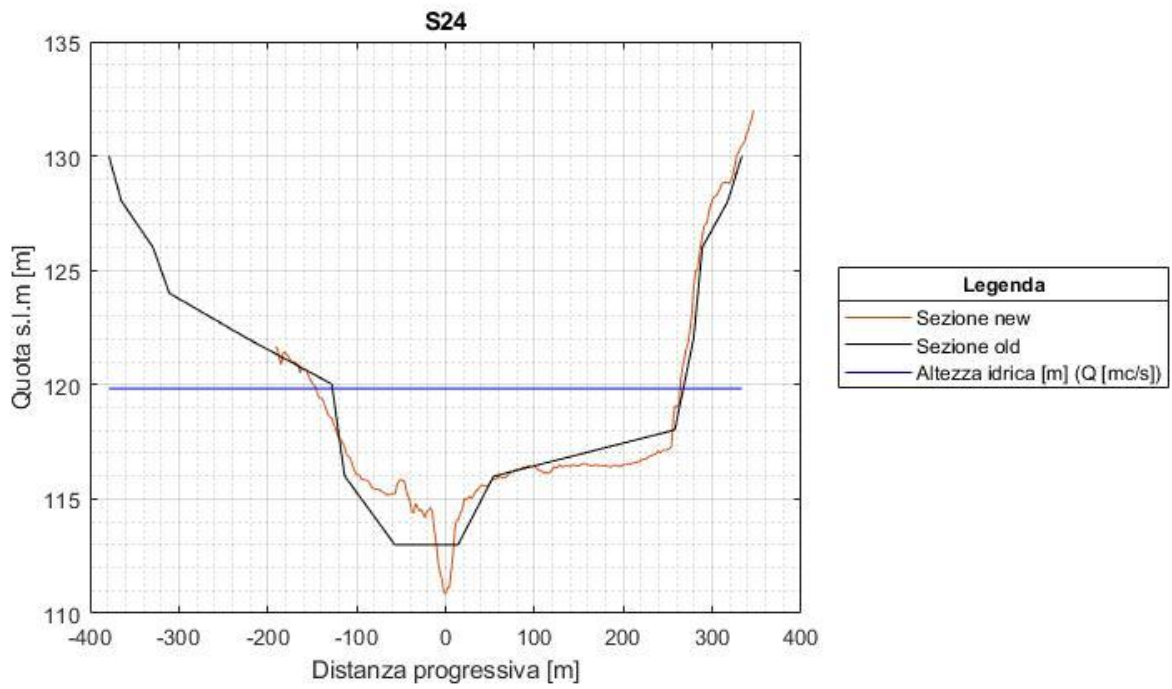


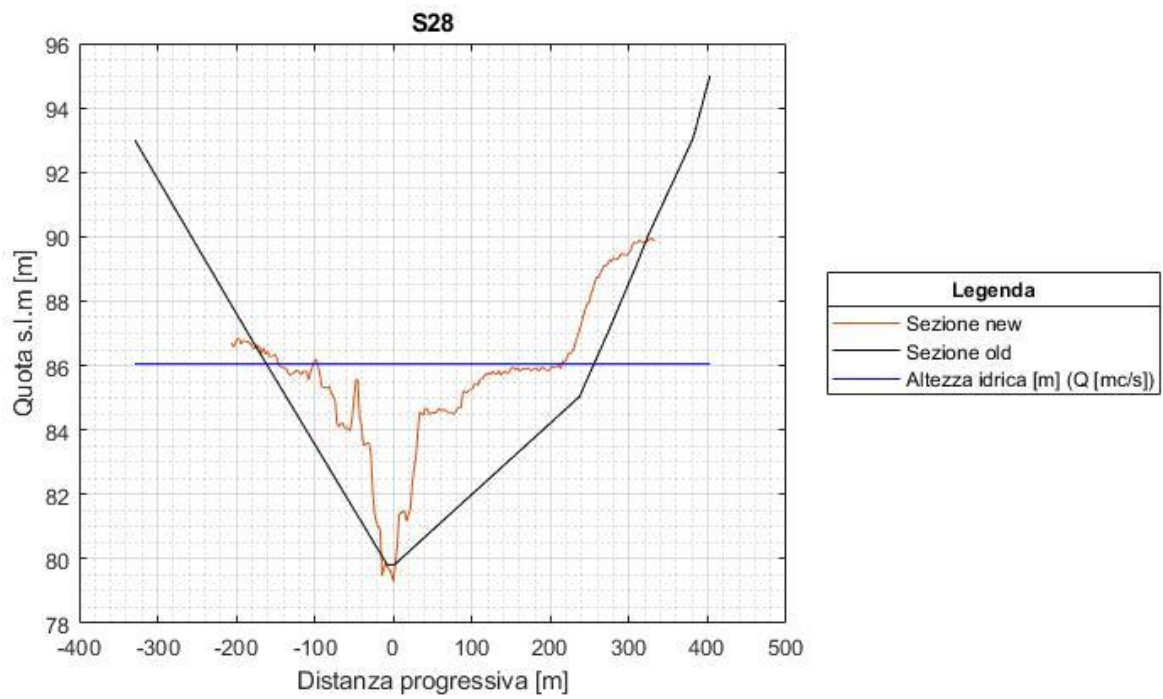
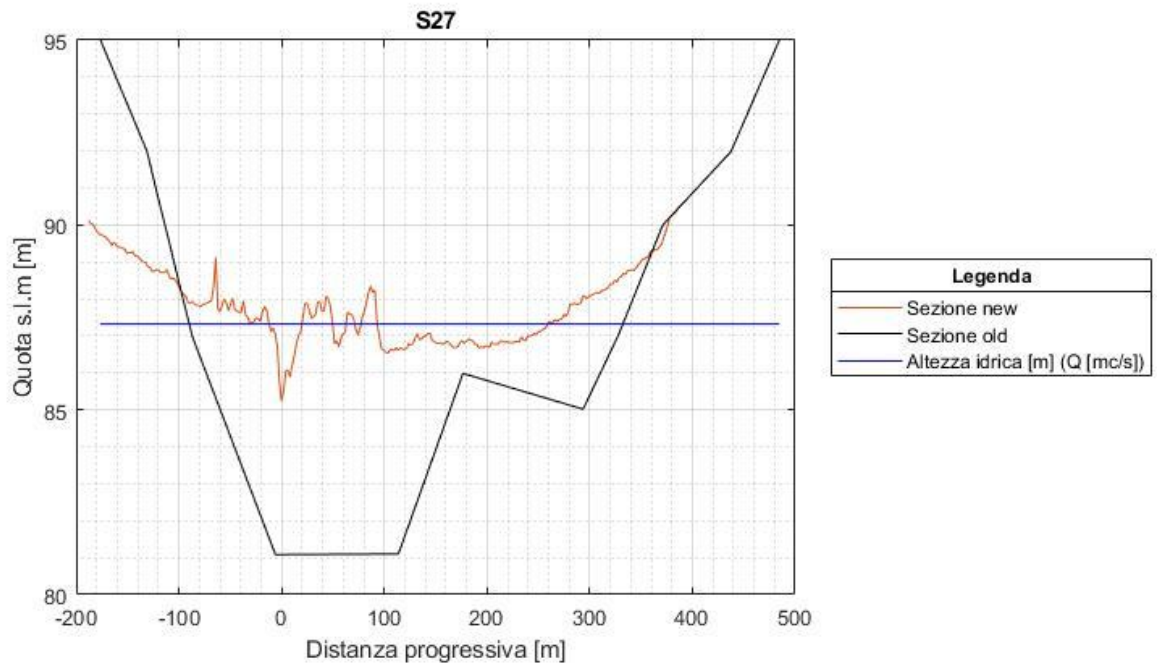


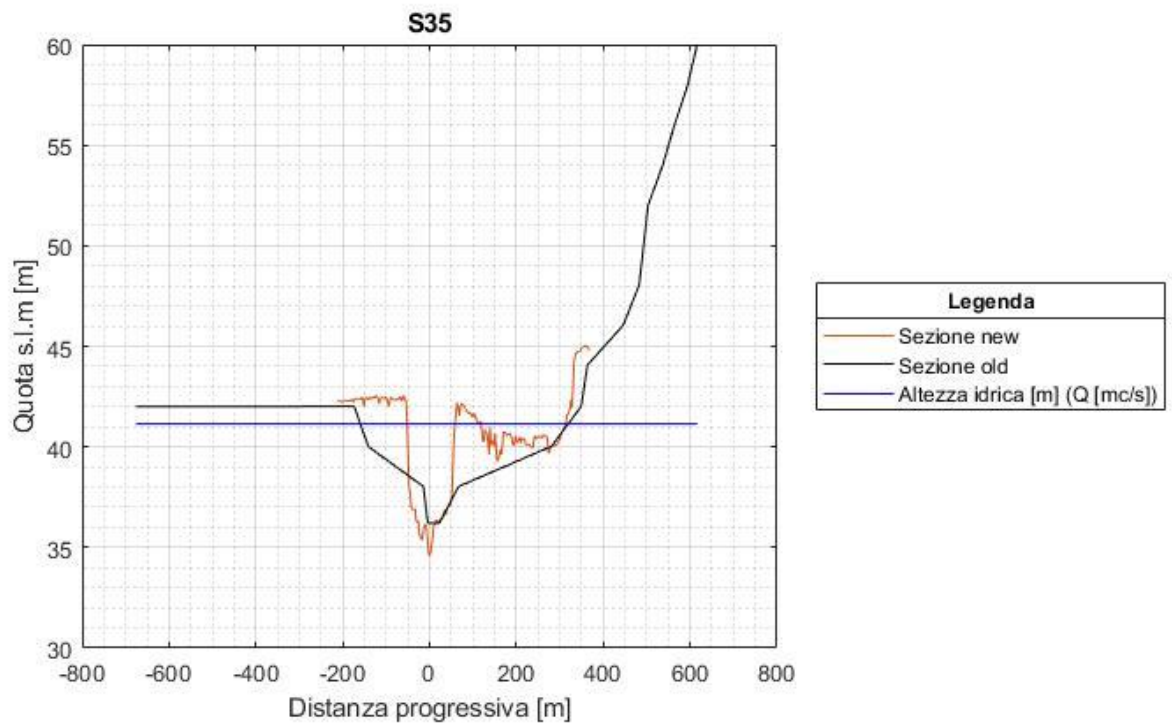
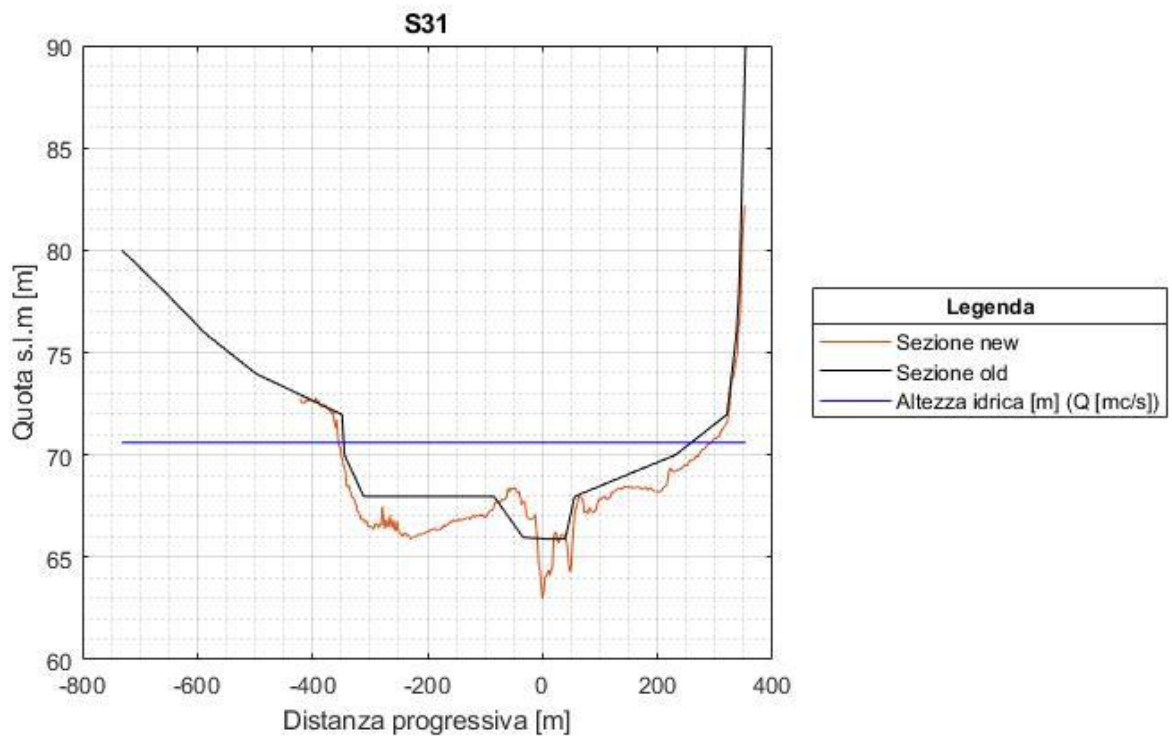












Risultati codice: area bagnata e larghezza in superficie.

fid	layer	Area bagnata [m ²]		Larghezza in superficie [m]	
		da Tavole	da DTM	da Tavole	da DTM
1	S1	1134.14	410.23	149.88	72.56
2	S2	2265.80	2001.27	392.25	385.86
3	S3	2011.47	1755.93	366.24	357.83
4	S6	3296.74	2768.23	394.83	340.34
5	S7_m	2765.19	1576.36	421.77	354.81
6	S7_v	921.50	649.22	231.90	97.92
7	S11_m	2134.64	1969.78	305.77	307.10
8	S11_v	1021.72	959.88	197.01	205.42
9	S14	1432.97	1176.64	418.96	419.14
10	S15	1517.32	1511.01	366.40	366.30
11	S16	1037.69	1099.08	397.97	387.78
12	S18	1469.74	407.20	387.42	185.41
13	S24	1610.78	1559.50	394.69	409.83
14	S25	1662.02	1212.13	601.58	438.35
15	S27	1508.21	114.81	422.25	217.12
16	S28	1399.97	532.16	416.96	355.74
17	S31	1527.58	2066.39	603.92	647.47
18	S35	1101.99	658.71	478.53	305.18

A.7.

Codice definito per il confronto geometrico e idraulico tra le sezioni trasversali storiche e le sezioni trasversali attualizzate (Scenario idraulico: onde di piena a valle dello sbarramento dovute alle manovre degli organi di scarico).

```

clc; clear all; close all;

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
%(fid, layer e altezze storiche)
sez=shaperead('SEZIONE_TAV_scarico.shp');

for n=1:length([sez.fid])
%% SEZIONI TRASVERSALI ATTUALIZZATE (DTM)

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
Punti_sez=shaperead('Profiles_scarico.shp');% Informazioni plano-
altimetriche e distanze di ogni sezione

% Definizione dei vettori delle altezze idriche storiche
Q450=[sez([sez.fid]==n).Q450];
Q186=[sez([sez.fid]==n).Q186];
Q138=[sez([sez.fid]==n).Q138];

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
nn=0:length([sez.fid])-1;
DIST=( [Punti_sez.LINE_ID]==nn(n) ).*[Punti_sez.DIST];
DIST(DIST==0)=[];
DIST=[0 , DIST];
DIST_N=(0:0.01:max(DIST));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
Z=( [Punti_sez.LINE_ID]==nn(n) ).*[Punti_sez.Z];
Z(Z==0)=[];
Z_N=interp1(DIST,Z,DIST_N);

% Calcolo Area bagnata

%Q450
Q450_N=(ones(1,length(DIST_N))).*Q450;
testZ_Q450 = Z_N > Q450_N;
testZ1 = ~testZ_Q450;
q450_integr = testZ_Q450.*Z_N + testZ1.*Q450_N;
AREA_Q450(n)= trapz(DIST_N,q450_integr)-trapz(DIST_N,Z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testZ1.*DIST_N;
Z_area=Z_N-q450_integr+Q450_N;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica sulla
% sezione trasversale attualizzata e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(DIST_N,Z_N,'color','black')

```

```

hold on
plot(DIST_N,Q450_N,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new','Altezza idrica [m] (Q=450 mc/s)','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie

%Q450
q450=isnan(Q450);
if q450==1
Larghezza_sup_Q450(n)=NaN;
else
testZ1(testZ1==0)=[];
Idx=find(testZ1~=0);
DIST_idx=DIST_N(Idx);
Larghezza_sup_Q450(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testZ1 = ~testZ_Q450;
q_450=testZ1.*Q450_N;
q_450(q_450==0)=NaN;

% Calcolo Area bagnata

%Q186
Q186_N=(ones(1,length(DIST_N))).*Q186;
testZ_Q186 = Z_N > Q186_N;
testZ1 = ~testZ_Q186;
q186_integr = testZ_Q186.*Z_N + testZ1.*Q186_N;
AREA_Q186(n)= trapz(DIST_N,q186_integr)-trapz(DIST_N,Z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testZ1.*DIST_N;
Z_area=Z_N-q186_integr+Q186_N;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica sulla
% sezione trasversale attualizzata e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(DIST_N,Z_N,'color','black')
hold on
plot(DIST_N,Q186_N,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new','Altezza idrica [m] (Q=186 mc/s)','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie

```

```

%Q186
q186=isnan(Q186);
if q186==1
Larghezza_sup_Q186(n)=NaN;
else
testZ1(testZ1==0)=[];
Idx=find(testZ1~=0);
DIST_idx=DIST_N(Idx);
Larghezza_sup_Q186(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testZ1 = ~testZ_Q186;
q_186=testZ1.*Q186_N;
q_186(q_186==0)=NaN;

% Calcolo Area bagnata

%Q138
Q138_N=(ones(1,length(DIST_N))).*Q138;
testZ_Q138 = Z_N > Q138_N;
testZ1 = ~testZ_Q138;
q138_integr = testZ_Q138.*Z_N + testZ1.*Q138_N;
AREA_Q138(n)= trapz(DIST_N,q138_integr)-trapz(DIST_N,Z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testZ1.*DIST_N;
Z_area=Z_N-q138_integr+Q138_N;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica sulla
% sezione trasversale aggiornata e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(DIST_N,Z_N,'color','black')
hold on
plot(DIST_N,Q138_N,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new','Altezza idrica [m] (Q=138 mc/s)','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie

%Q138
q138=isnan(Q138);
if q138==1
Larghezza_sup_Q138(n)=NaN;
else
testZ1(testZ1==0)=[];
Idx=find(testZ1~=0);
DIST_idx=DIST_N(Idx);
Larghezza_sup_Q138(n)=DIST_idx(end);
end

```

```

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testZ1 = ~testZ_Q138;
q_138=testZ1.*Q138_N;
q_138(q_138==0)=NaN;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica raffigurante
% la larghezza in superficie
figure
plot(DIST,Z, 'color', 'k')
hold on
line(DIST_N,q_138, 'color', 'b', 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 0.9)
hold on
line(DIST_N,q_186, 'color', 'b', 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 0.9)
hold on
line(DIST_N,q_450, 'color', 'b', 'LineStyle', '-', 'LineWidth', 0.9)
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new', 'Larghezza in superficie [m] (Q=138 mc/s)', 'Larghezza
in superficie [m] (Q=186 mc/s)', 'Larghezza in superficie [m] (Q=450 mc/s)')
grid on
grid minor

%% SEZIONI TRASVERSALI STORICHE (TAVOLE DELLE INDAGINI PASSATE)

% Lettura delle distanze progressive, delle quote e dei numeri
% identificativi di ciascuna sezione (fid)
dati=xlsread('Sezioni_Digitalizzate.xlsx');
fid_TAV=dati(:,1);
DIST_TAV=dati(:,2);
Z_TAV=dati(:,3);

% Definizione della lunghezza del vettore relativo a ciascuna sezione
LunghVett=(find((fid_TAV)==n));
Viniz=LunghVett(1,1);
Vfin=LunghVett(end,1);

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
dist_TAV=DIST_TAV(Viniz:Vfin,1);
dist_N=(0:0.01:max(dist_TAV));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
z_TAV=Z_TAV(Viniz:Vfin,1);
z_N=interp1(dist_TAV,z_TAV,dist_N);

% Calcolo Area bagnata

%Q450
Q450_n=(ones(1,length(dist_N))).*Q450;
testz_Q450 = z_N > Q450_n;
testz1 = ~testz_Q450;
q450_integr= testz_Q450.*z_N + testz1.*Q450_n;
area_Q450(n)= trapz(dist_N,q450_integr)-trapz(dist_N,z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testz1.*dist_N;

```

```

Z_area=z_N-q450_integr+Q450_n;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica sulla sezione
% trasversale storica e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(dist_N,z_N,'color','black')
hold on
plot(dist_N,Q450_n,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez([sez.fid]==n).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione old','Altezza idrica [m] (Q=450 mc/s)','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie

%Q450
if q450==1
Larghezza_sup_q450(n)=NaN;
else
testz1(testz1==0)=[];
Idx=find(testz1~=0);
DIST_idx=dist_N(Idx);
Larghezza_sup_q450(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testz1 = ~testz_Q450;
q_450=testz1.*Q450_n;
q_450(q_450==0)=NaN;

% Calcolo Area bagnata

%Q186
Q186_n=(ones(1,length(dist_N))).*Q186;
testz_Q186 = z_N > Q186_n;
testz1 = ~testz_Q186;
q186_integr = testz_Q186.*z_N + testz1.*Q186_n;
area_Q186(n) = trapz(dist_N,q186_integr)-trapz(dist_N,z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testz1.*dist_N;
Z_area=z_N-q186_integr+Q186_n;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica sulla sezione
% trasversale storica e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(dist_N,z_N,'color','black')
hold on
plot(dist_N,Q186_n,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez(find([sez.fid]==n)).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')

```

```

legend('Sezione old','Altezza idrica [m] (Q=186 mc/s)','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie

%Q186
if q186==1
Larghezza_sup_q186(n)=NaN;
else
testz1(testz1==0)=[];
Idx=find(testz1~=0);
DIST_idx=dist_N(Idx);
Larghezza_sup_q186(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testz1 = ~testz_Q186;
q_186=testz1.*Q186_n;
q_186(q_186==0)=NaN;

% Calcolo Area bagnata

%Q138
Q138_n=(ones(1,length(dist_N))).*Q138;
testz_Q138 = z_N > Q138_n;
testz1 = ~testz_Q138;
q138_integr = testz_Q138.*z_N + testz1.*Q138_n;
area_Q138(n) = trapz(dist_N,q138_integr)-trapz(dist_N,z_N);

% Distanze progressive e quote per la rappresentazione dell'area bagnata
D_area=testz1.*dist_N;
Z_area=z_N-q138_integr+Q138_n;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica sulla sezione
% trasversale storica e raffigurazione dell'area bagnata
figure
plot(dist_N,z_N,'color','black')
hold on
plot(dist_N,Q138_n,'color','black')
patch(D_area,Z_area,'blue')
title([sez(find([sez.fid]==n)).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione old','Altezza idrica [m] (Q=138 mc/s)','Area bagnata [mq]')
grid on
grid minor

% Calcolo della larghezza in superficie

%Q138
if q138==1
Larghezza_sup_q138(n)=NaN;
else
testz1(testz1==0)=[];
Idx=find(testz1~=0);
DIST_idx=dist_N(Idx);

```

```

Larghezza_sup_q138(n)=DIST_idx(end);
end

% Definizione vettore dell'altezza idrica storica per la rappresentazione
% della larghezza in superficie
testz1 = ~testz_Q138;
q_138=testz1.*Q138_n;
q_138(q_138==0)=NaN;

% Grafico relativo alla proiezione dell'altezza idrica storica raffigurante
% la larghezza in superficie
figure
plot(dist_TAV,z_TAV,'color','k')
hold on
line(dist_N,q_138,'color','b','LineStyle','-','LineWidth',0.9)
hold on
line(dist_N,q_186,'color','b','LineStyle','--','LineWidth',0.9)
hold on
line(dist_N,q_450,'color','b','LineWidth',0.9)
title([sez(find([sez.fid]==n)).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione old','Larghezza in superficie [m] (Q=138 mc/s)','Larghezza
in superficie [m] (Q=186 mc/s)','Larghezza in superficie [m] (Q=450 mc/s)')
grid on
grid minor

%% CONFRONTO SEZIONI TRASVERSALI RISPETTO AL PUNTO PIU' DEPRESSO

%Sezioni trasversali attualizzate
Quota_Fondo_alveo=min(Z);
idx=find(Quota_Fondo_alveo==Z);
Dist_Fondo_alveo=DIST(idx(1));
DIST_dtm=DIST-Dist_Fondo_alveo;
Q_450=(ones(1,length(DIST_dtm))).*Q450;
Q_186=(ones(1,length(DIST_dtm))).*Q186;
Q_138=(ones(1,length(DIST_dtm))).*Q138;

%Sezioni trasversali storiche
Quota_Fondo_alveo2=min(z_TAV);
idx2=find(Quota_Fondo_alveo2==z_TAV);
Dist_Fondo_alveo2=dist_TAV(idx2(1));
DIST_tav=dist_TAV-Dist_Fondo_alveo2;
q_450=(ones(1,length(DIST_tav))).*Q450;
q_186=(ones(1,length(DIST_tav))).*Q186;
q_138=(ones(1,length(DIST_tav))).*Q138;

% Individuazione della lunghezza massima del vettore delle distanze
% progressive da associare all'altezza idrica proiettata
if max(DIST)>max(dist_TAV)
    Q=Q_450;
    D=DIST_dtm;
    Q1=Q_186;
    D1=DIST_dtm;
    Q2=Q_138;
    D2=DIST_dtm;
else Q=q_450;
    D=DIST_tav;

```

```

    Q1=q_186;
    D1=DIST_tav;
    Q2=q_138;
    D2=DIST_tav;
end

% Sovrapposizione della sezione trasversale atualizzata e della sezione
% trasversale storica con altezza idrica proiettata
figure
plot(DIST_dtm,Z, 'color', [0.8500 0.3250 0.0980])
hold on
plot(DIST_tav,z_TAV, 'color', 'black')
hold on
line(D2,Q2, 'color', 'b', 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 0.9)
hold on
line(D1,Q1, 'color', 'b', 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 0.9)
hold on
line(D,Q, 'color', 'b', 'LineWidth', 0.9)
title([sez(find([sez.fid]==n)).layer])
ylabel('Quota s.l.m [m]')
xlabel('Distanza progressiva [m]')
legend('Sezione new', 'Sezione old', 'Altezza idrica (Q=138 mc/s)', 'Altezza
idrica (Q=186 mc/s)', 'Altezza idrica (Q=450 mc/s)')
grid on
grid minor

%% CALCOLI PER RISULTATI GRAFICI (Rappresentazione grafica 2)

% Definizione della variazione percentuale dell'area bagnata e della
% larghezza in superficie per le sezioni trasversali atualizzate
% rispetto ai valori ottenuti dalle sezioni trasversali storiche

deltaArea_Q450(n)=( (AREA_Q450(1,n)-area_Q450(1,n)) ./area_Q450(1,n)) *100;
deltaArea_Q186(n)=( (AREA_Q186(1,n)-area_Q186(1,n)) ./area_Q186(1,n)) *100;
deltaArea_Q138(n)=( (AREA_Q138(1,n)-area_Q138(1,n)) ./area_Q138(1,n)) *100;

deltaLargh_sup_Q450(n)=( (Larghezza_sup_Q450(1,n)-Larghezza_sup_q450(1,n))
./Larghezza_sup_q450(1,n)) *100;
deltaLargh_sup_Q186(n)=( (Larghezza_sup_Q186(1,n)-Larghezza_sup_q186(1,n))
./Larghezza_sup_q186(1,n)) *100;
deltaLargh_sup_Q138(n)=( (Larghezza_sup_Q138(1,n)-Larghezza_sup_q138(1,n))
./Larghezza_sup_q138(1,n)) *100;

end

% RISULTATI RELATIVI ALL'AREA BAGNATA

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 1

% Costruzione bisettrice
if max(area_Q450)>max(AREA_Q450)
    valore=max(area_Q450);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(AREA_Q450);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
end

```

```
%Q450
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(area_Q450,AREA_Q450)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Aree bagnata')
ylabel('Area new (Q450) [mq]')
xlabel('Area old (Q450) [mq]')
legend('Area bagnata','Bisettrice')
grid on
grid minor

% Costruzione bisettrice
if max(area_Q186)>max(AREA_Q186)
    valore=max(area_Q186);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(AREA_Q186);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
end

%Q186
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(area_Q186,AREA_Q186)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Aree bagnata')
ylabel('Area new (Q186) [mq]')
xlabel('Area old (Q186) [mq]')
legend('Area bagnata','Bisettrice')
grid on
grid minor

% Costruzione bisettrice
if max(area_Q138)>max(AREA_Q138)
    valore=max(area_Q138);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(AREA_Q138);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
end

%Q138
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(area_Q138,AREA_Q138)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Aree bagnata')
ylabel('Area new (Q138) [mq]')
xlabel('Area old (Q138) [mq]')
legend('Area bagnata','Bisettrice')
grid on
```

```

grid minor

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 2

AsseX=1:length([sez.fid]);% Definizione dell'asse delle ascisse (numero sezioni)

%Q450
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,area_Q450,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,AREA_Q450,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Area (Q450) [mq]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaArea_Q450,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Delta Area (Q450) [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione area %')
grid on
grid minor

%Q186
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,area_Q186,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,AREA_Q186,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Area (Q186) [mq]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaArea_Q186,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Delta Area (Q186) [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione area %')
grid on
grid minor

%Q138
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,area_Q138,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,AREA_Q138,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Area (Q138) [mq]')

```



```

xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaArea_Q138,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Area bagnata')
ylabel('Delta Area (Q138) [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione area %')
grid on
grid minor;

% RISULTATI RELATIVI ALLA LARGHEZZA IN SUPERFICIE

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 1

% Costruzione bisettrice
if max(Larghezza_sup_q450)>max(Larghezza_sup_Q450)
    valore=max(Larghezza_sup_q450);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(Larghezza_sup_Q450);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
end

%Q450
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(Larghezza_sup_q450,Larghezza_sup_Q450)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup. new (Q450) [m]')
xlabel('Larghezza sup. old (Q450) [m]')
legend('Larghezza sup.','Bisettrice')
grid on
grid minor

%Costruzione bisettrice
if max(Larghezza_sup_q186)>max(Larghezza_sup_Q186)
    valore=max(Larghezza_sup_q186);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(Larghezza_sup_Q186);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
end

%Q186
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(Larghezza_sup_q186,Larghezza_sup_Q186)
hold on
plot(x,y,'color','black')
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup. new (Q186) [m]')

```

```

xlabel('Larghezza sup. old (Q186) [m]')
legend('Larghezza sup.', 'Bisettrice')
grid on
grid minor

%Costruzione bisettrice
if max(Larghezza_sup_q138)>max(Larghezza_sup_Q138)
    valore=max(Larghezza_sup_q138);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
else
    valore=max(Larghezza_sup_Q138);
    valore=ceil (valore / 100) * 100;
    x=1:valore;y=x;
end

%Q138
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
scatter(Larghezza_sup_q138,Larghezza_sup_Q138)
hold on
plot(x,y, 'color', 'black')
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup. new (Q138) [m]')
xlabel('Larghezza sup. old (Q138) [m]')
legend('Larghezza sup.', 'Bisettrice')
grid on
grid minor

% Raffronto calcoli idraulici: Rappresentazione grafica 2

AsseX=1:length([sez.fid]);% Definizione dell'asse delle ascisse (numero sezioni)

%Q450
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,Larghezza_sup_q450, 'MarkerEdgeColor' , 'black')
hold on
scatter(AsseX,Larghezza_sup_Q450, 'MarkerEdgeColor', [0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup. (Q450) [m]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old', 'Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaLargh_sup_Q450, 'Color', [0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Delta Larghezza sup. (Q450) [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione larghezza %')
grid on
grid minor

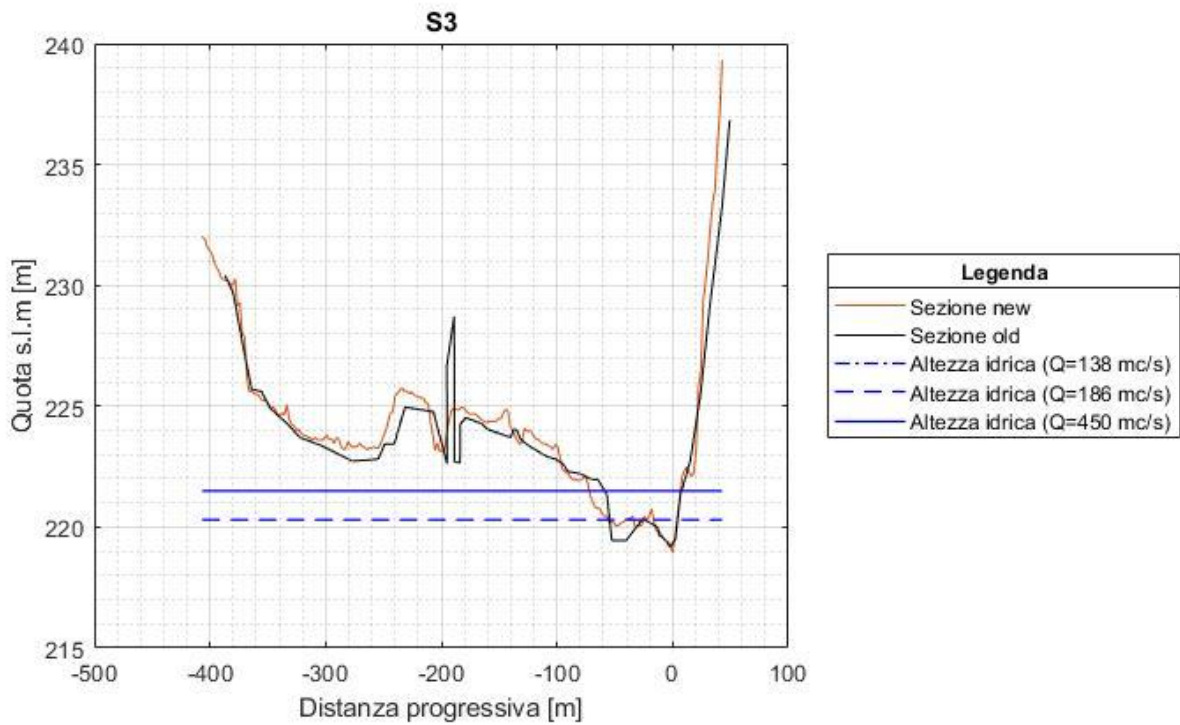
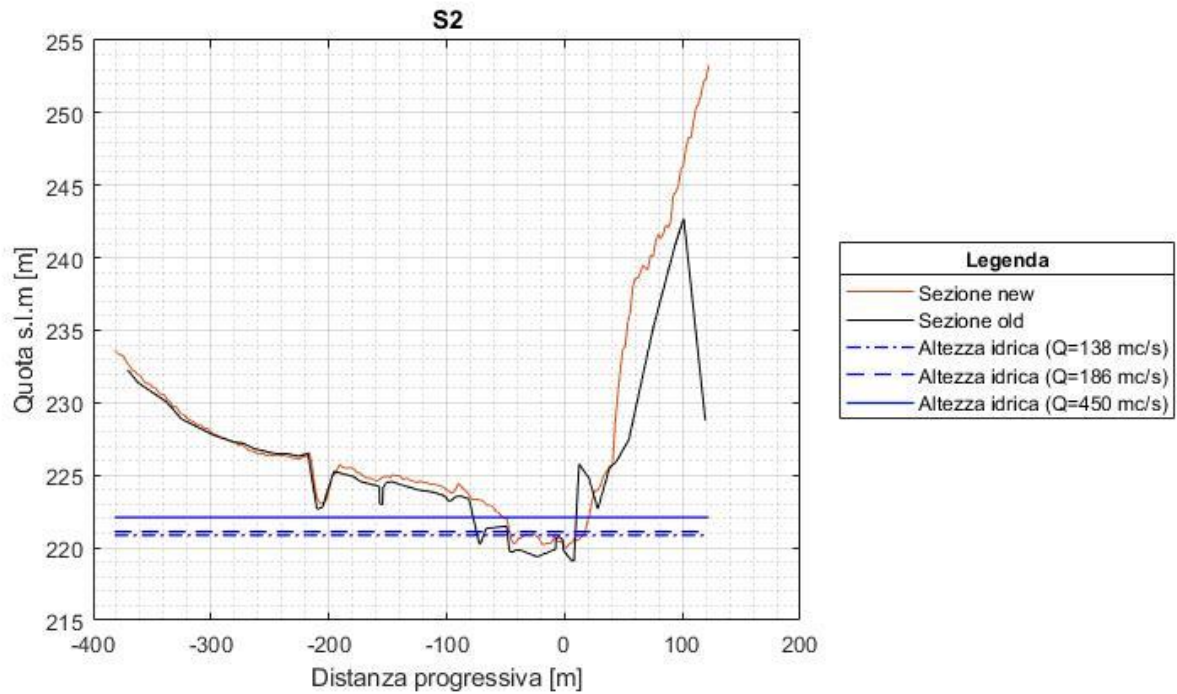
%Q186
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti

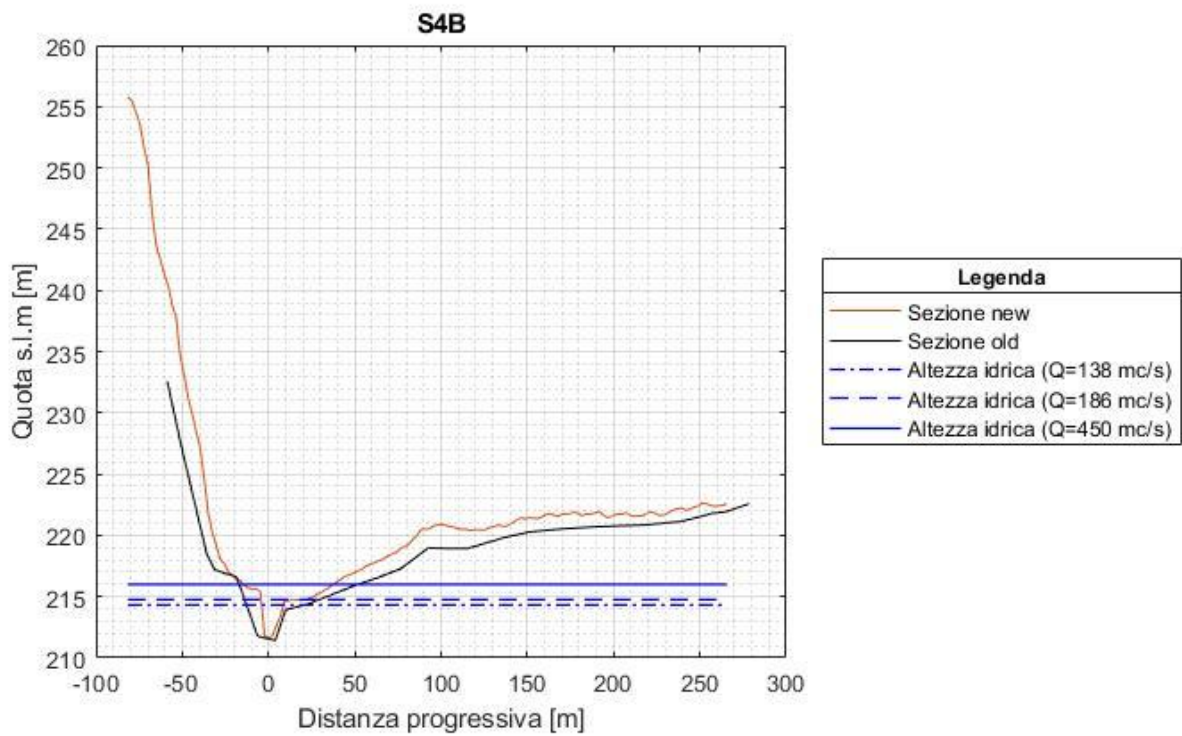
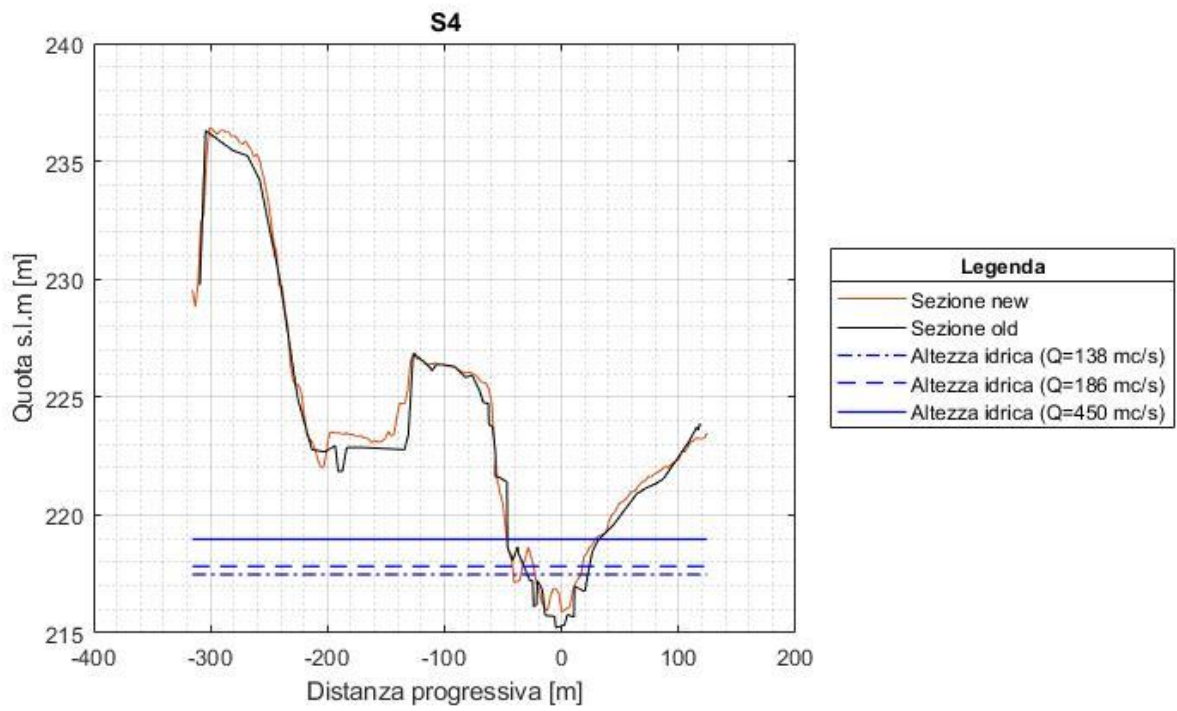
```

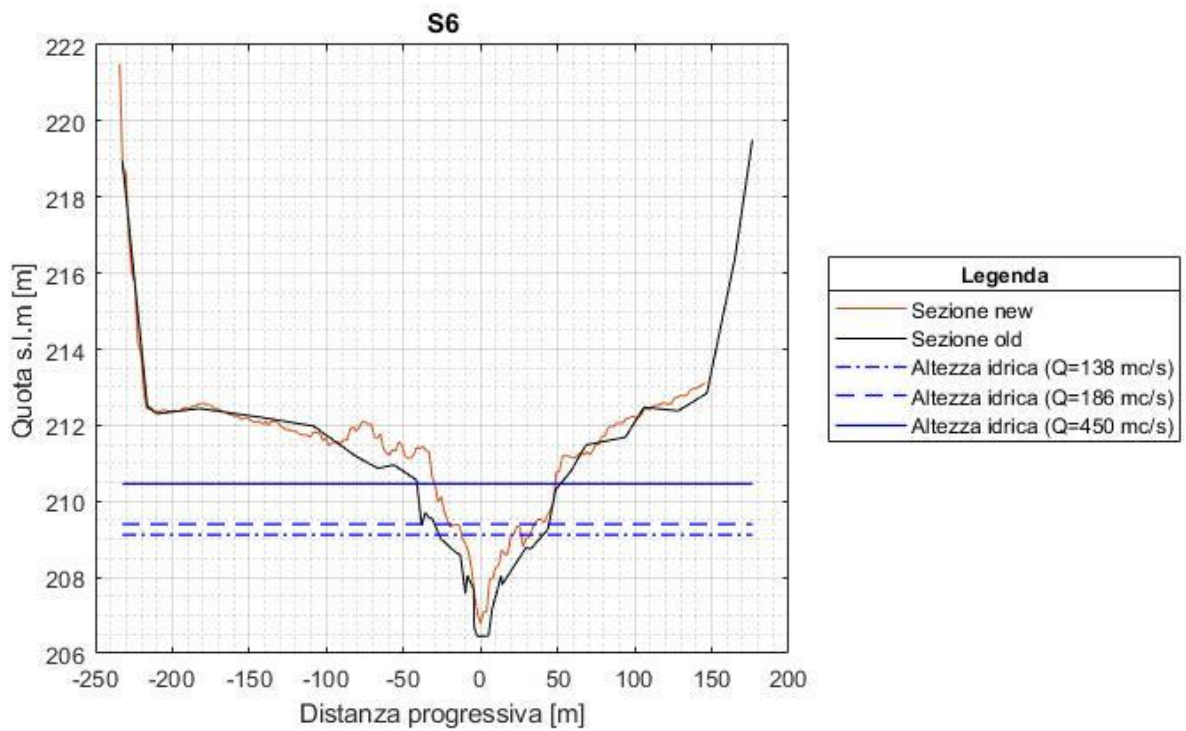
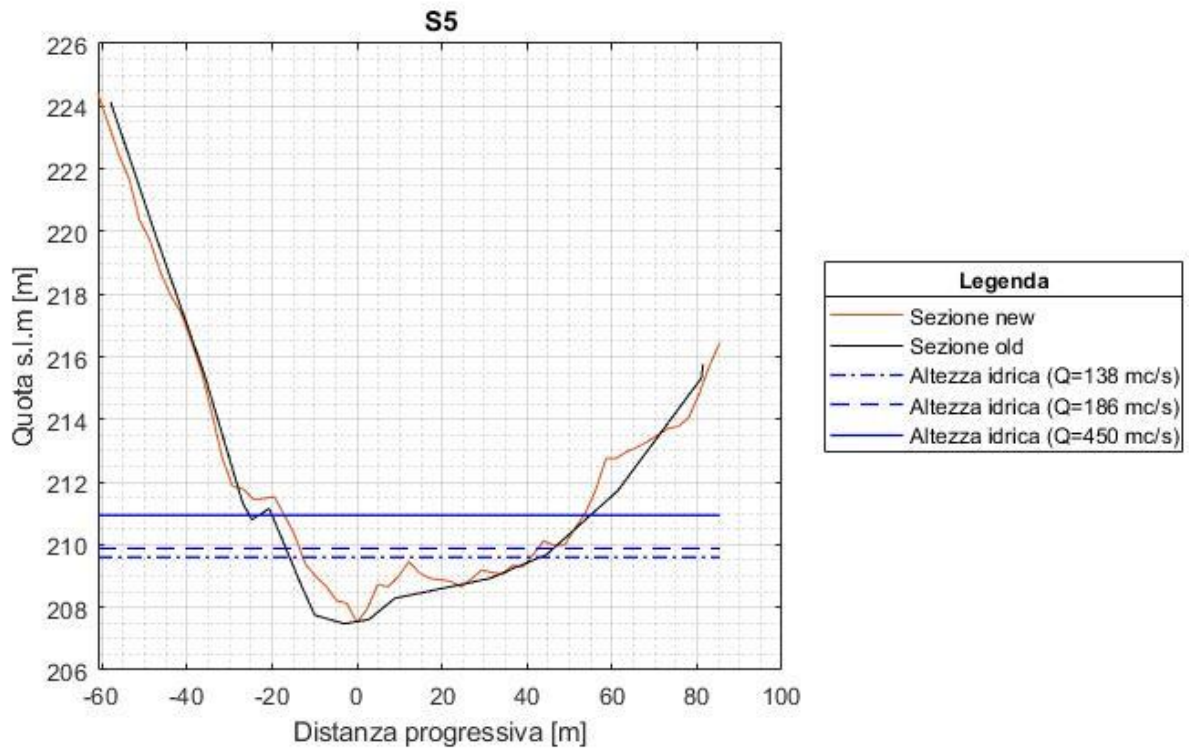
```
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,Larghezza_sup_q186,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,Larghezza_sup_Q186,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup.(Q186) [m]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaLargh_sup_Q186,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Delta Larghezza sup.(Q186) [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione larghezza %')
grid on
grid minor

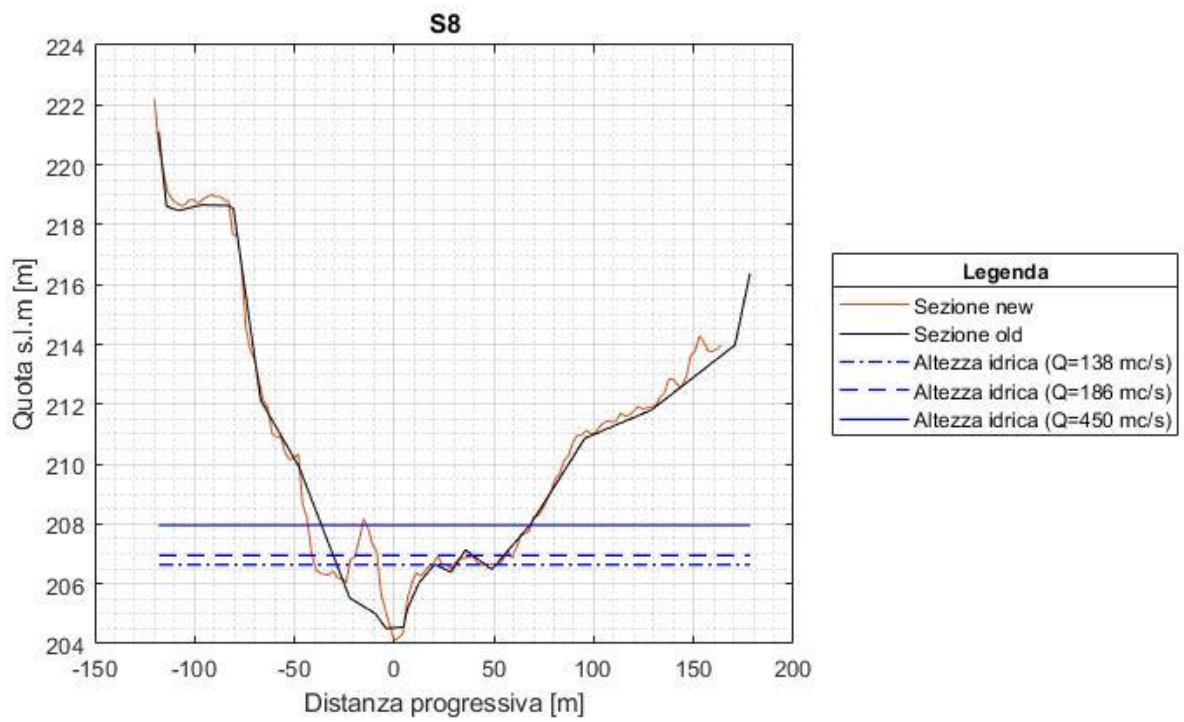
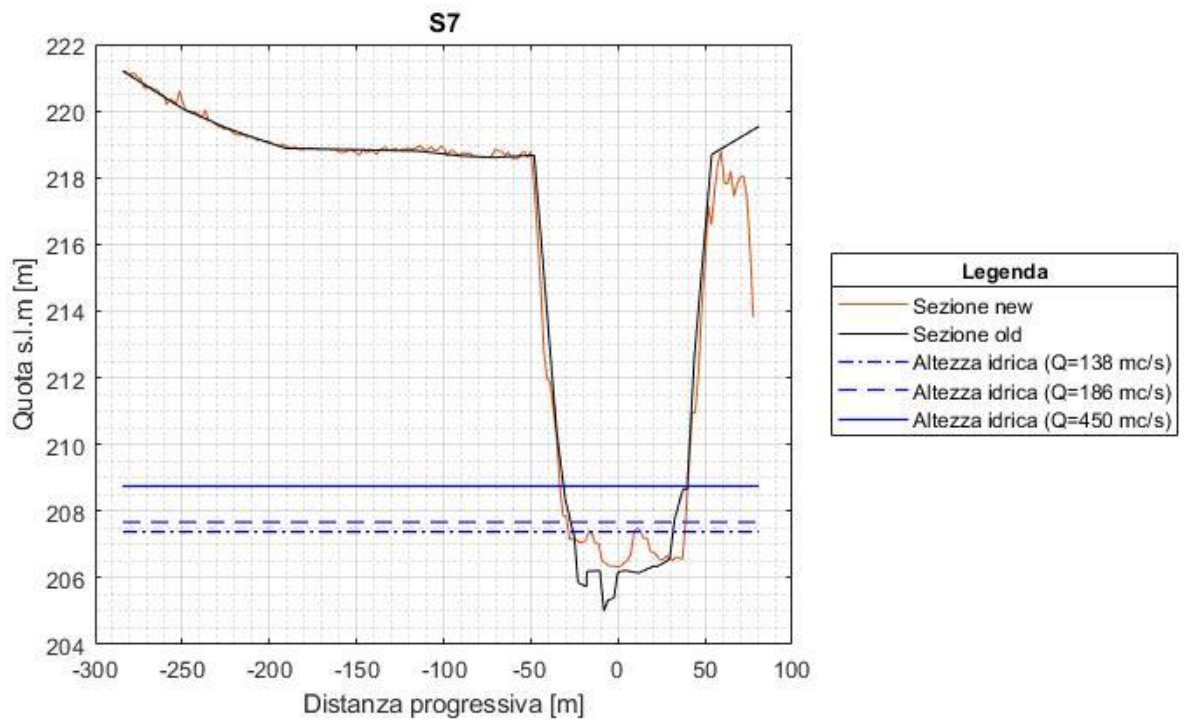
%Q138
% Grafico rappresentativo dei risultati ottenuti
figure
subplot(2,1,1)
scatter(AsseX,Larghezza_sup_q138,'MarkerEdgeColor','black')
hold on
scatter(AsseX,Larghezza_sup_Q138,'MarkerEdgeColor',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Larghezza sup.(Q138) [m]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Sezione old','Sezione new')
grid on
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(AsseX,deltaLargh_sup_Q138,'Color',[0.8500 0.3250 0.0980])
title('Confronto Larghezza in superficie')
ylabel('Delta Larghezza sup.(Q138) [%]')
xlabel('numero sezioni [-]')
legend('Variazione larghezza %')
grid on
grid minor;
```

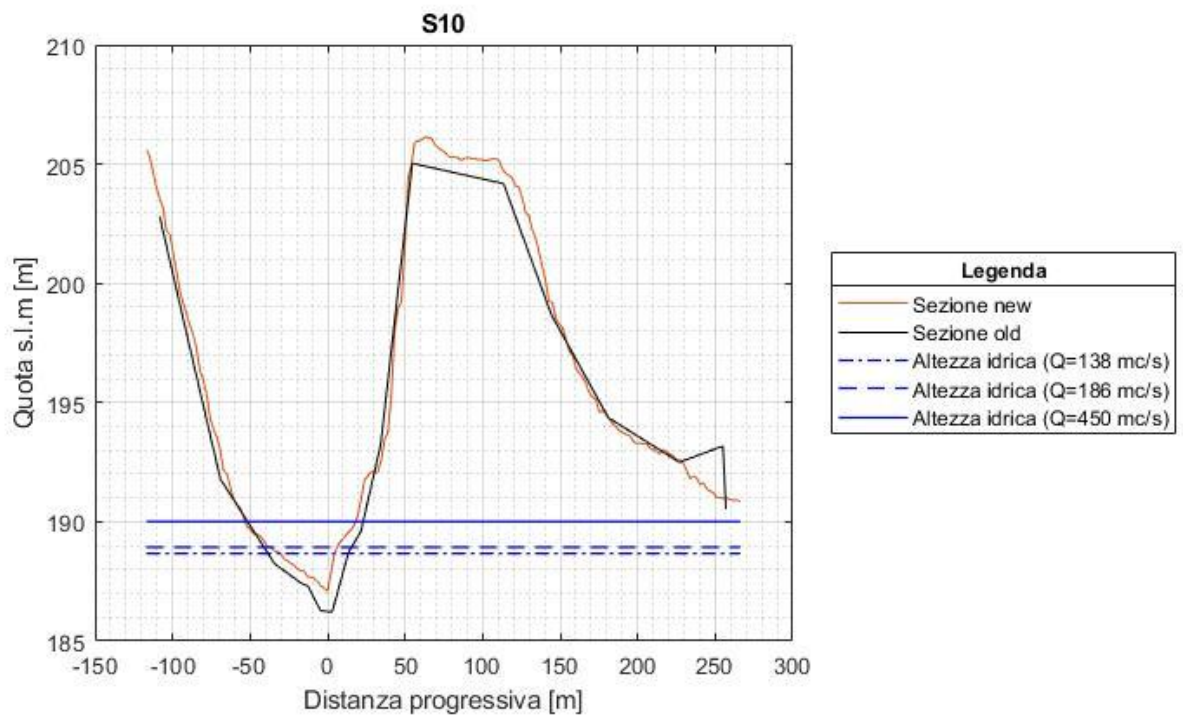
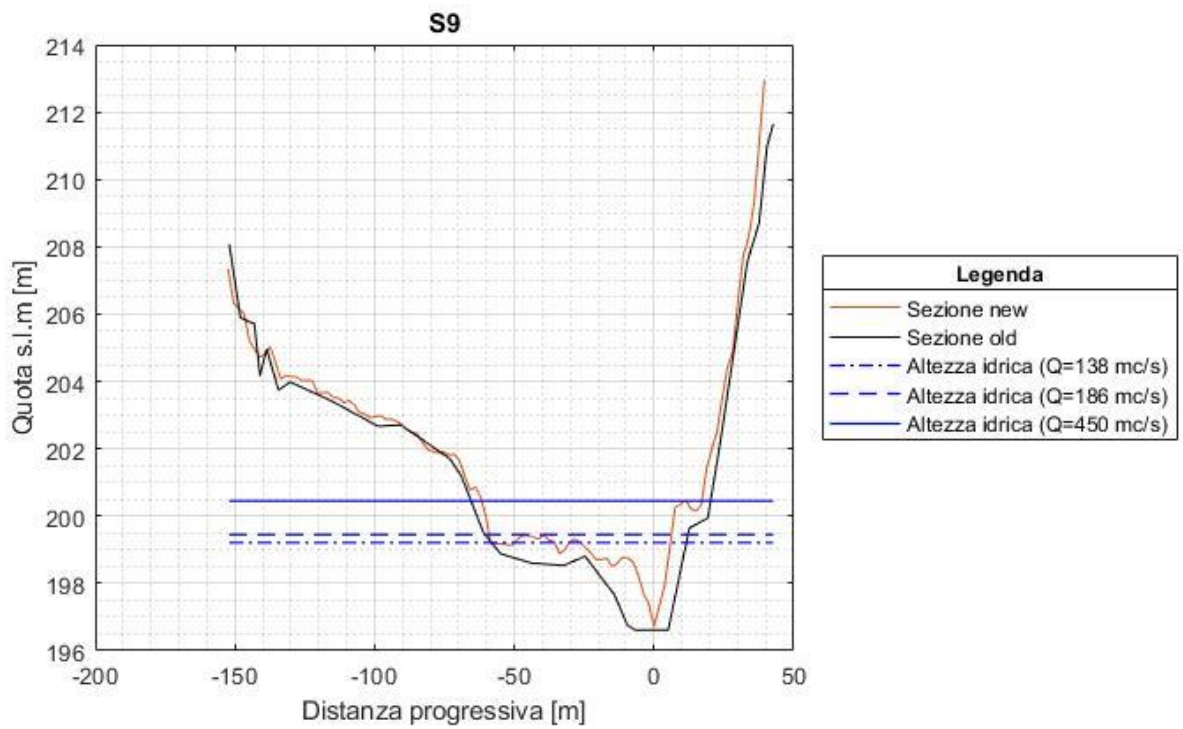
Risultati codice: sovrapposizione delle sezioni trasversali storiche e di quelle attualizzate.

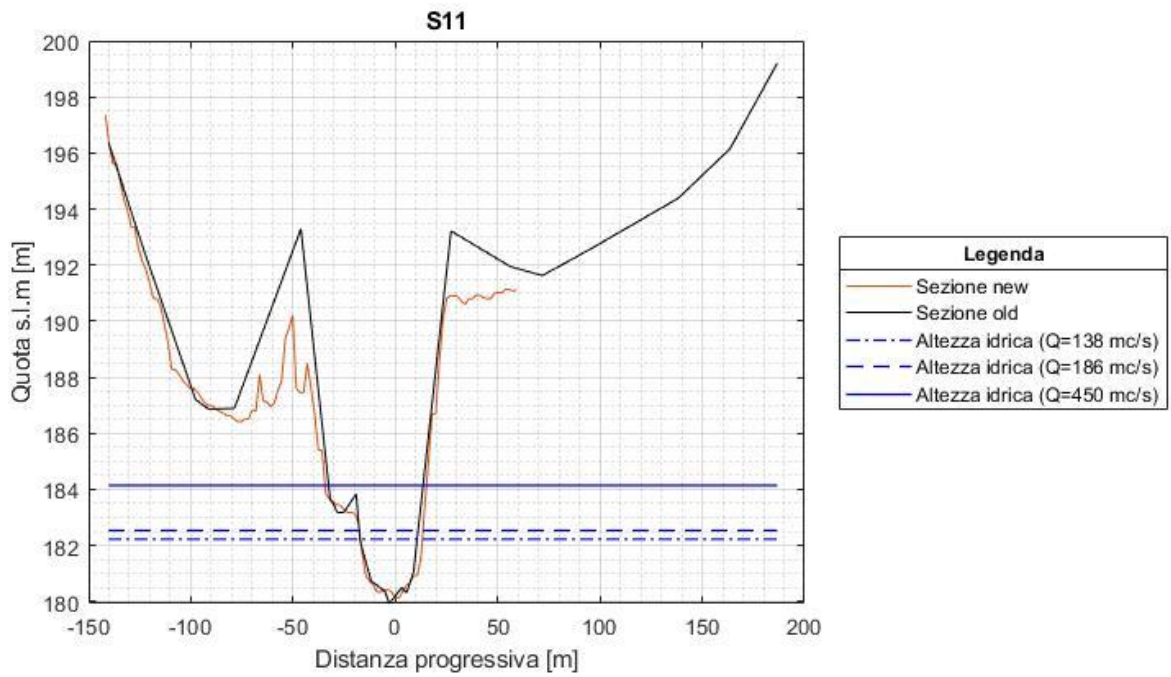
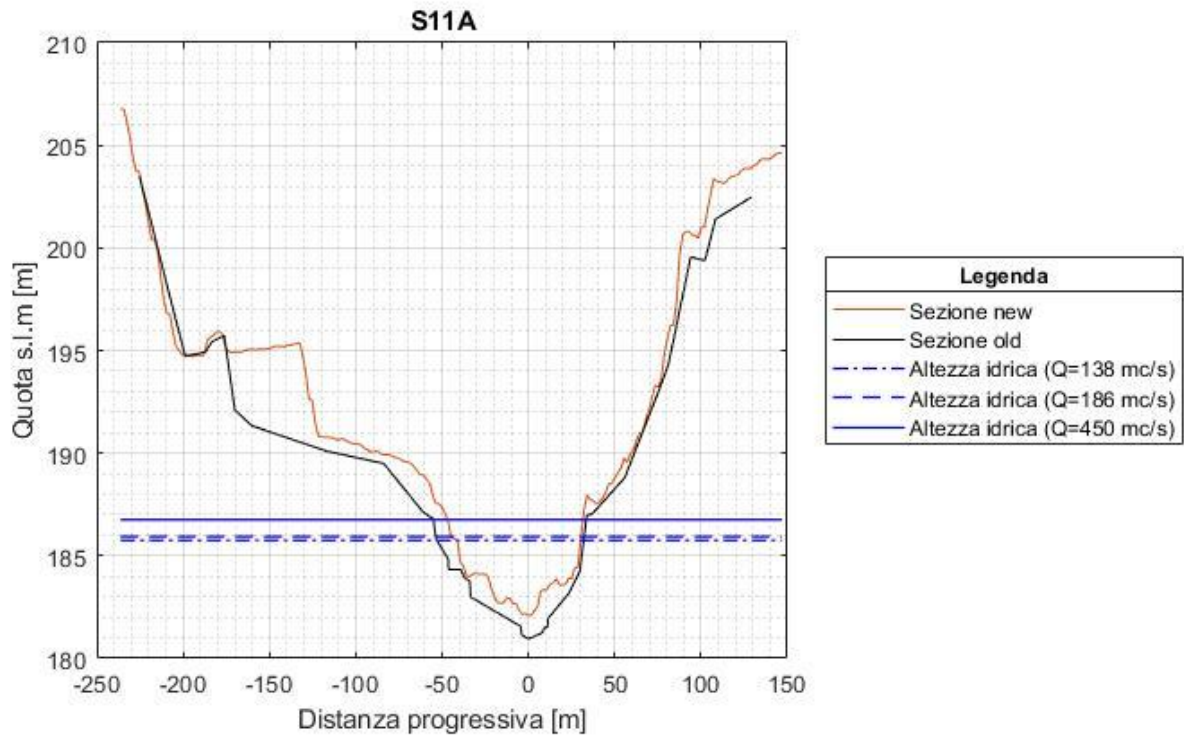


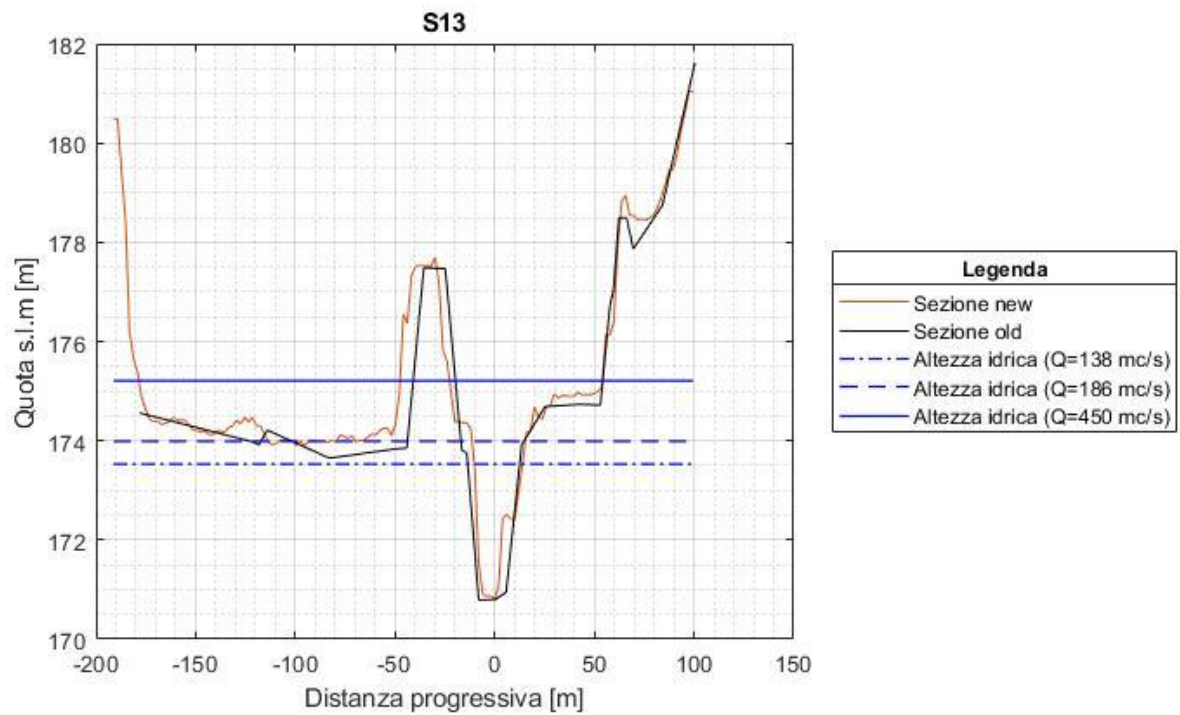
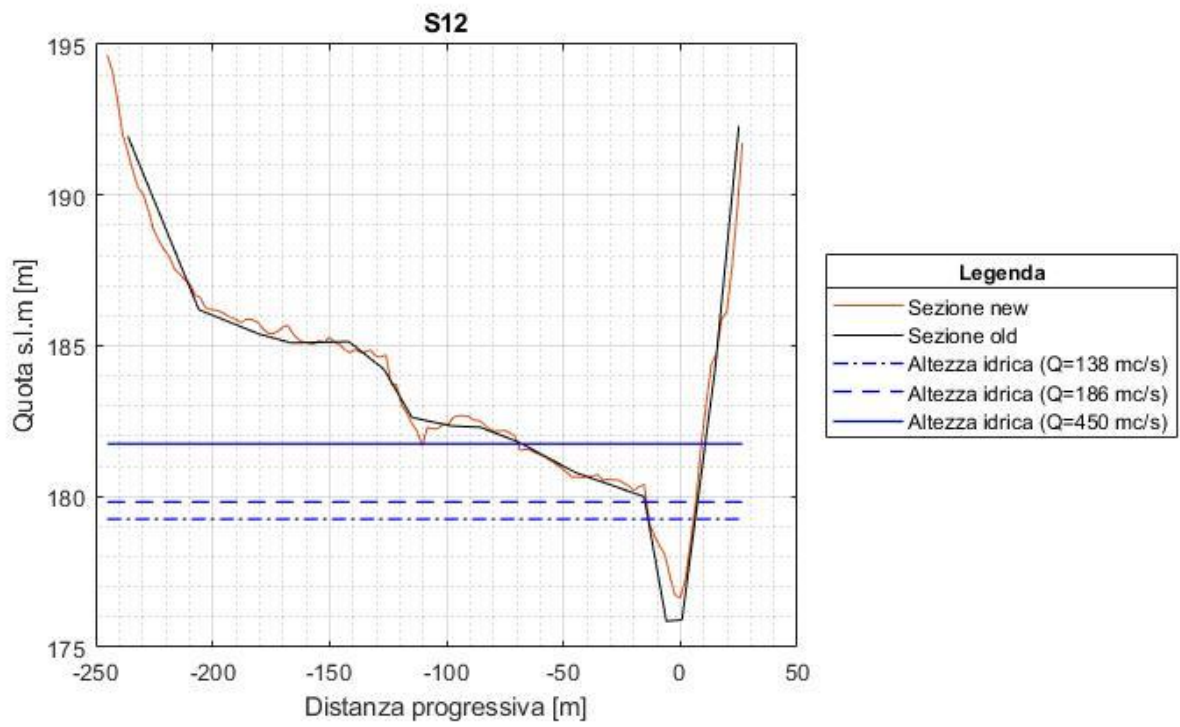


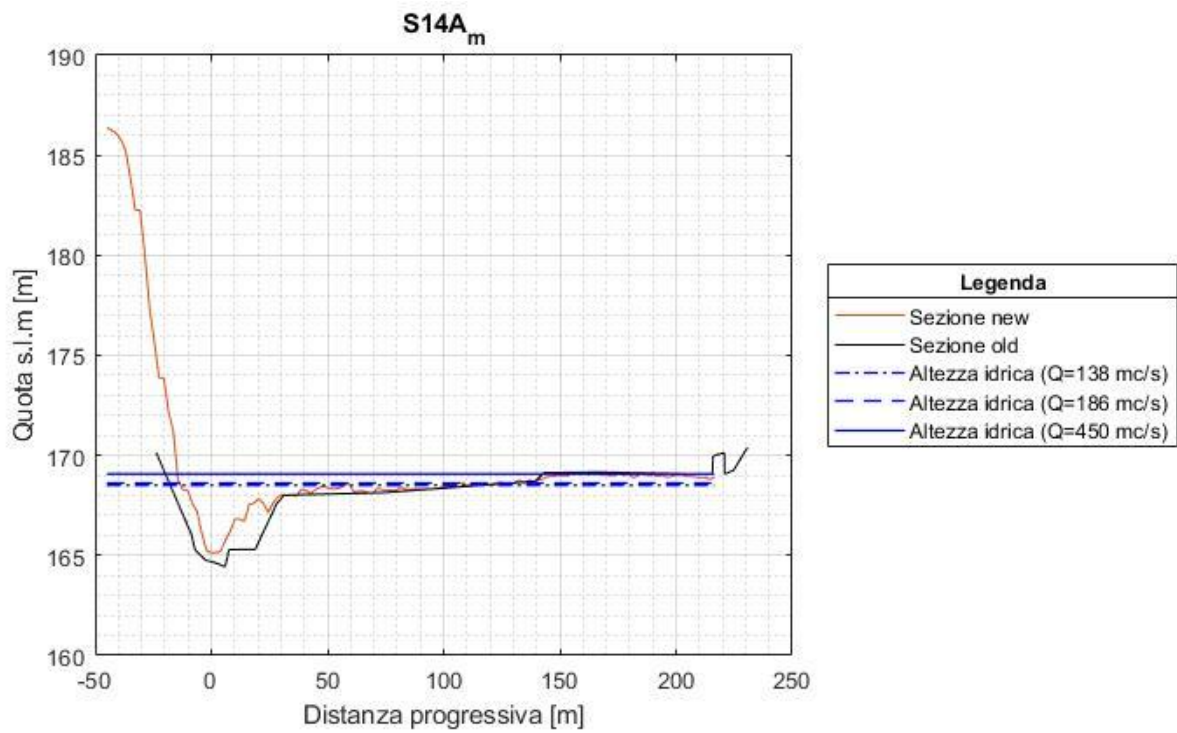
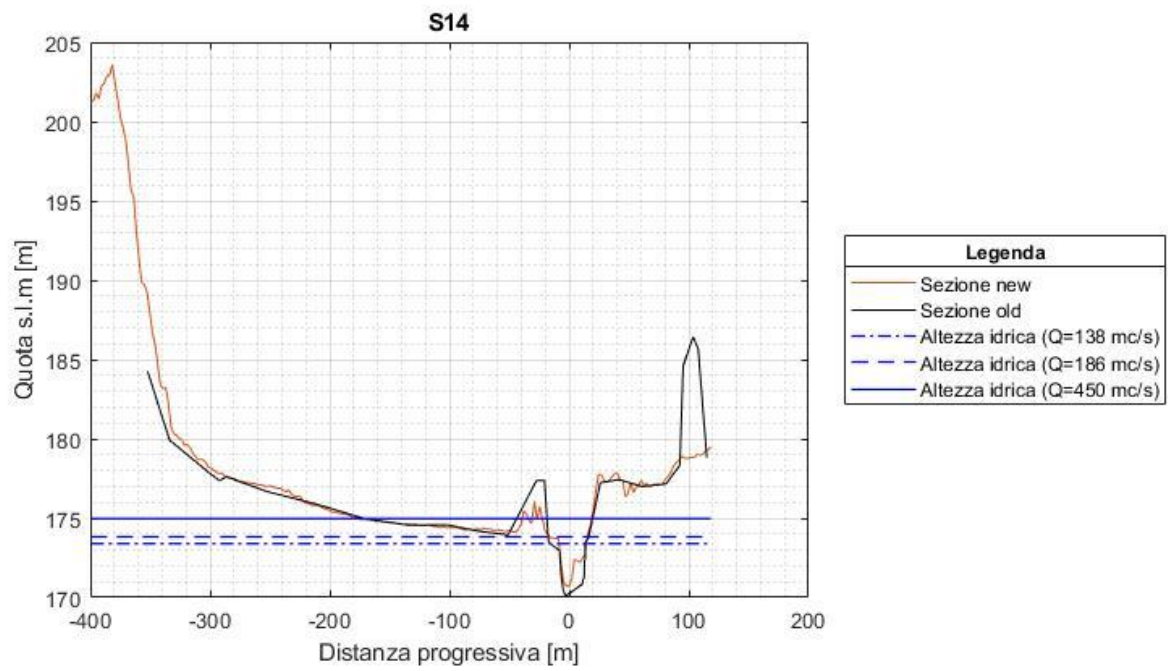


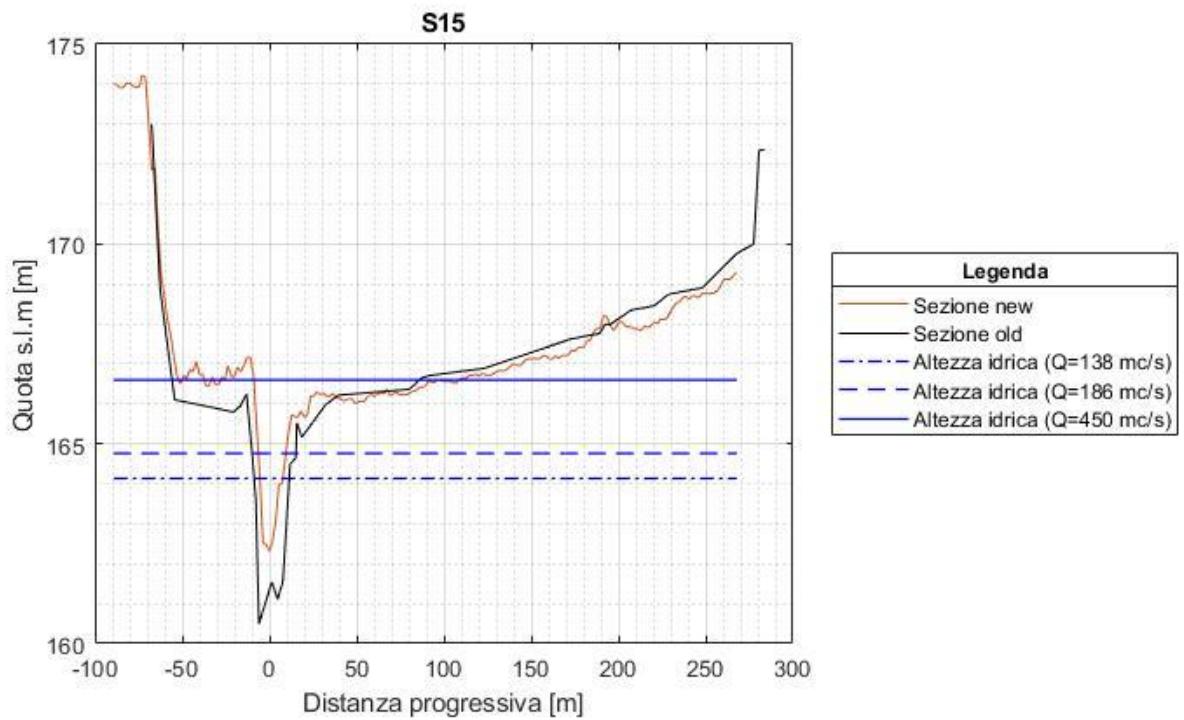
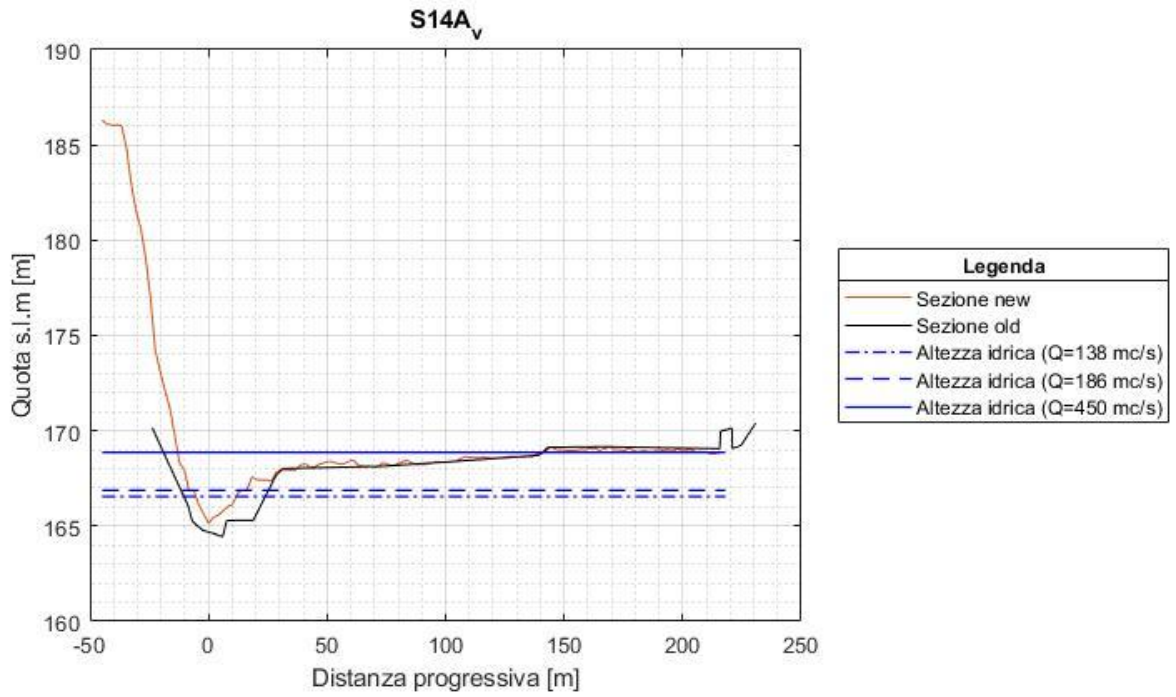


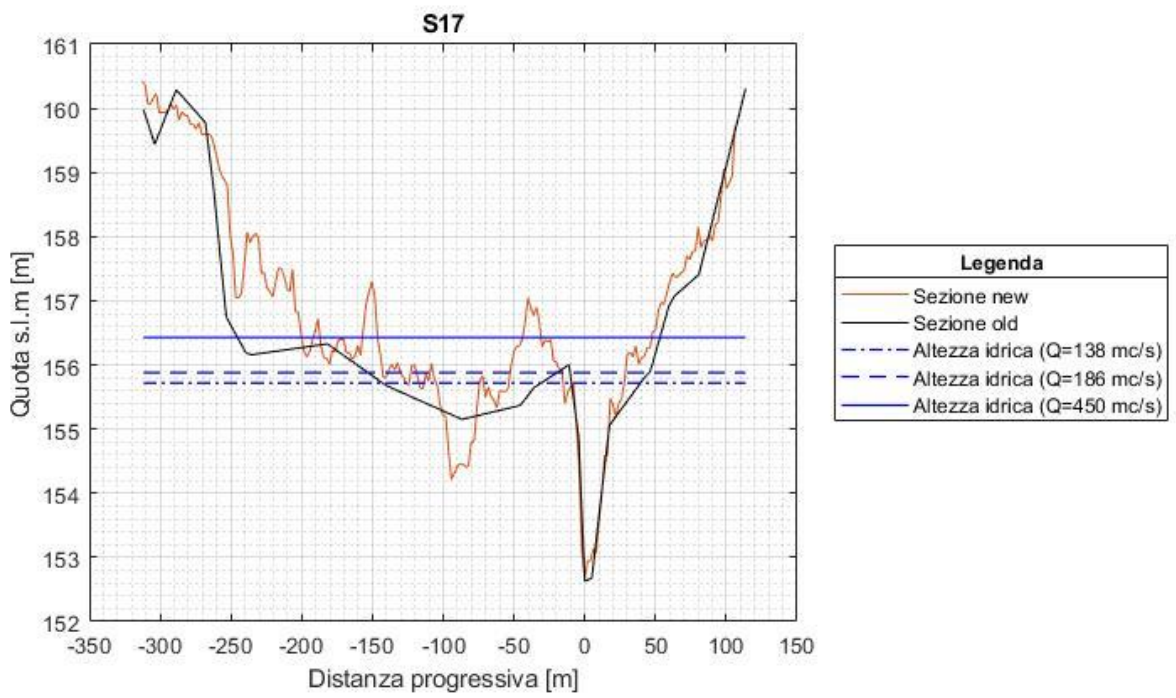
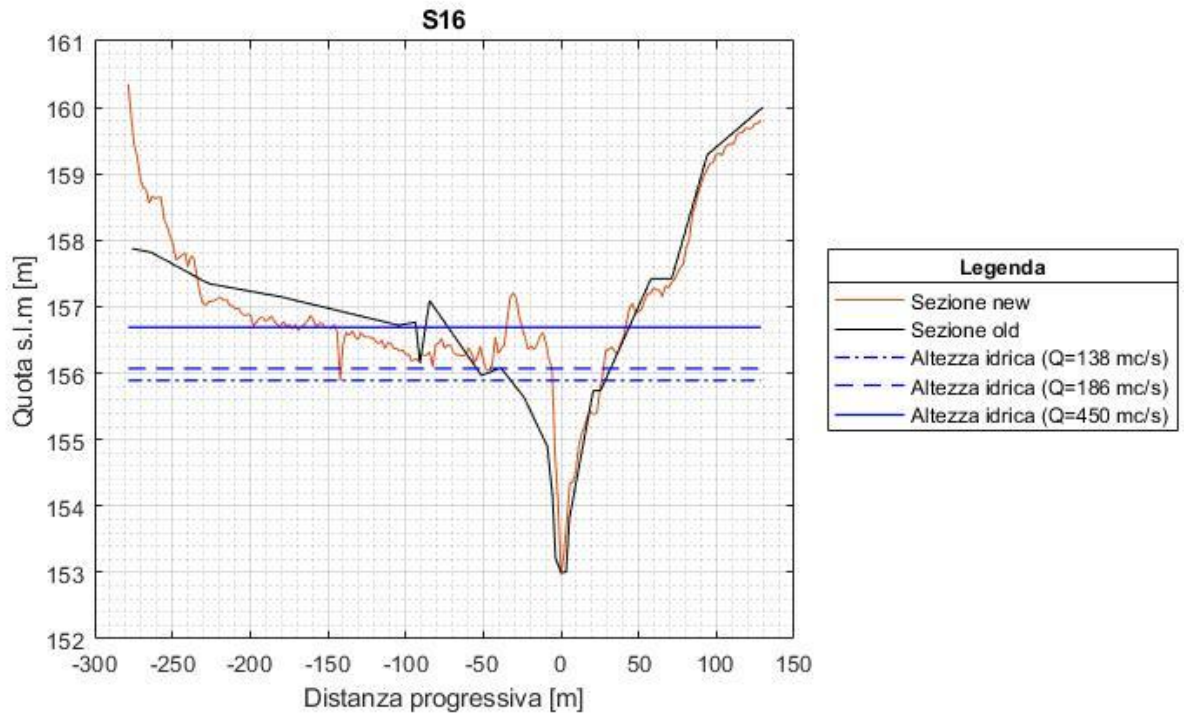


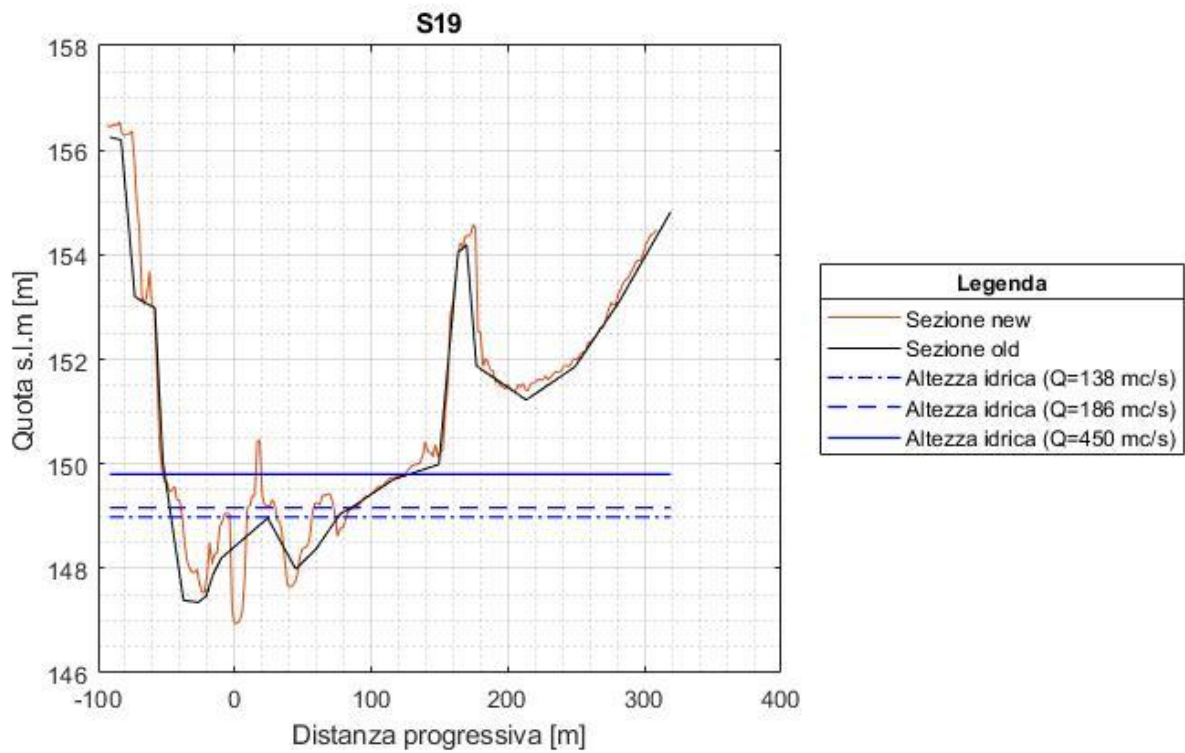
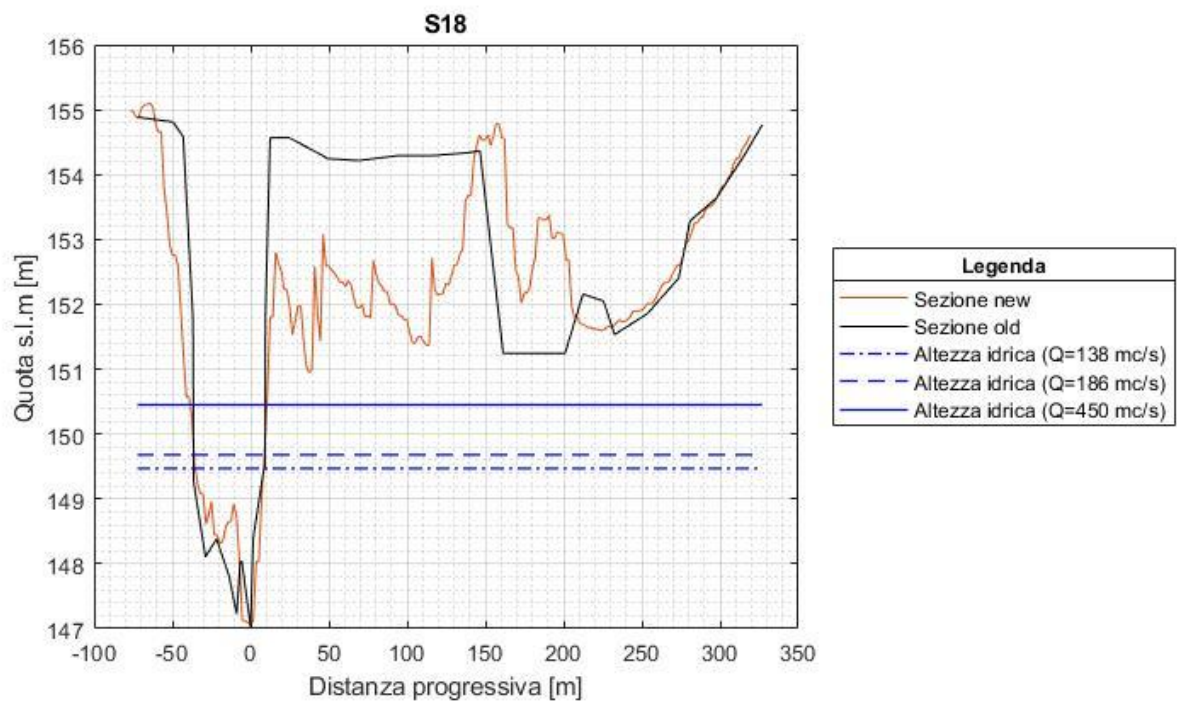


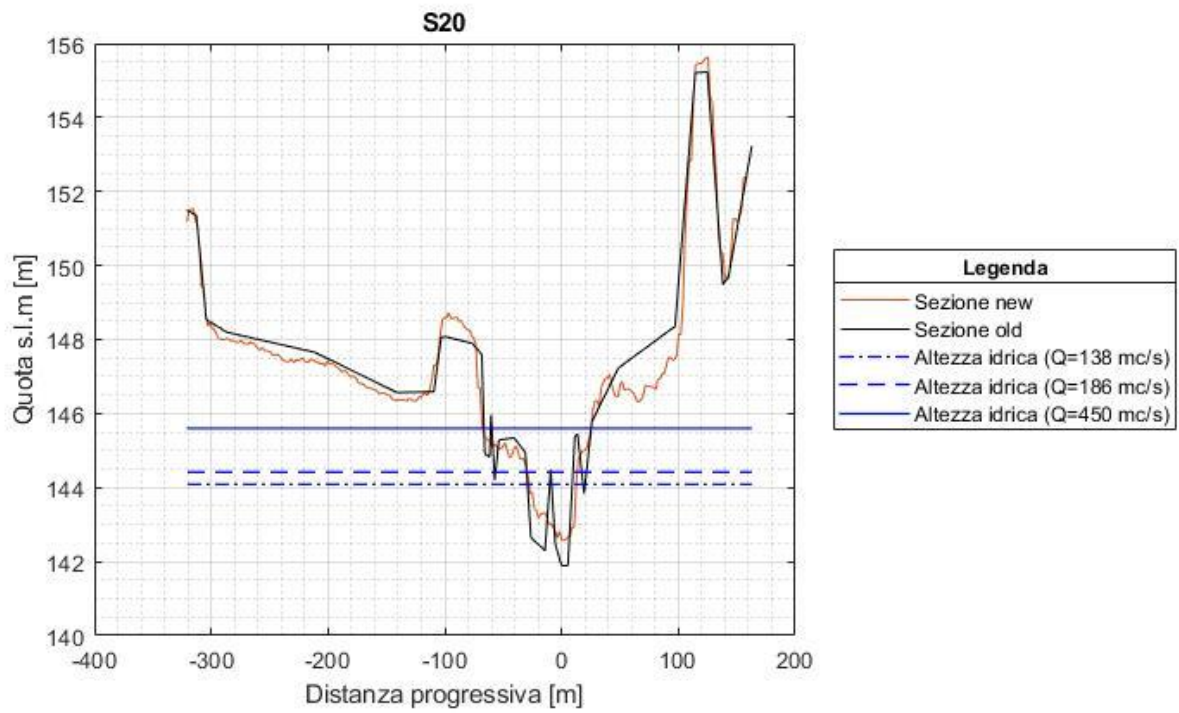
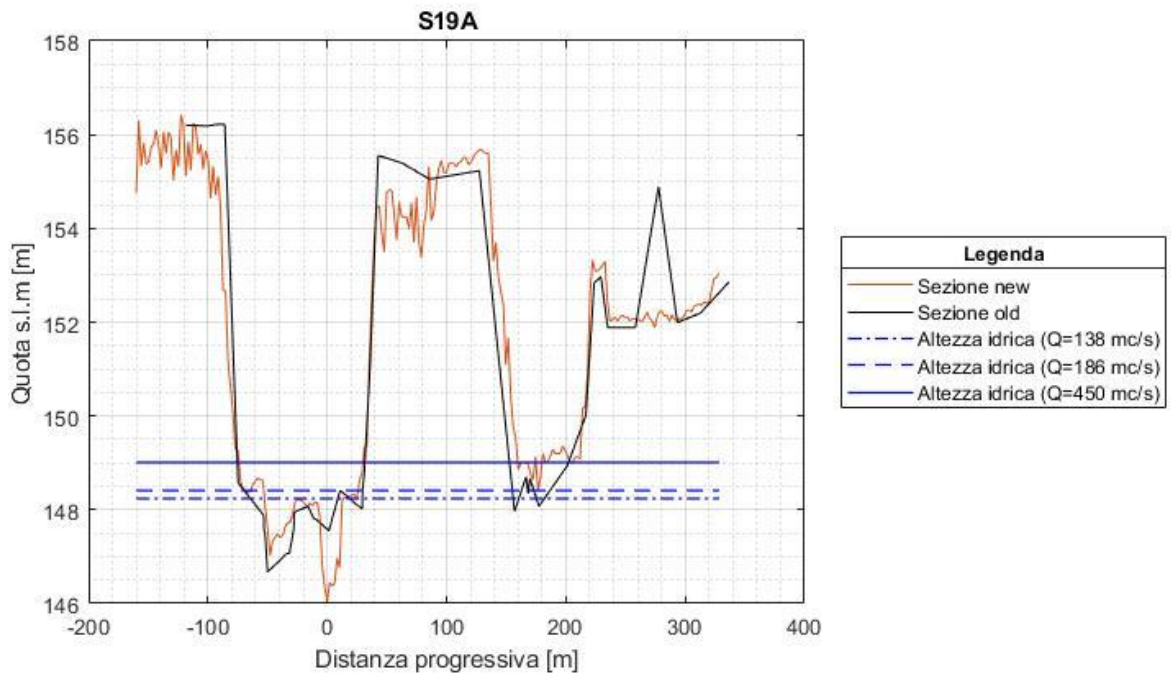


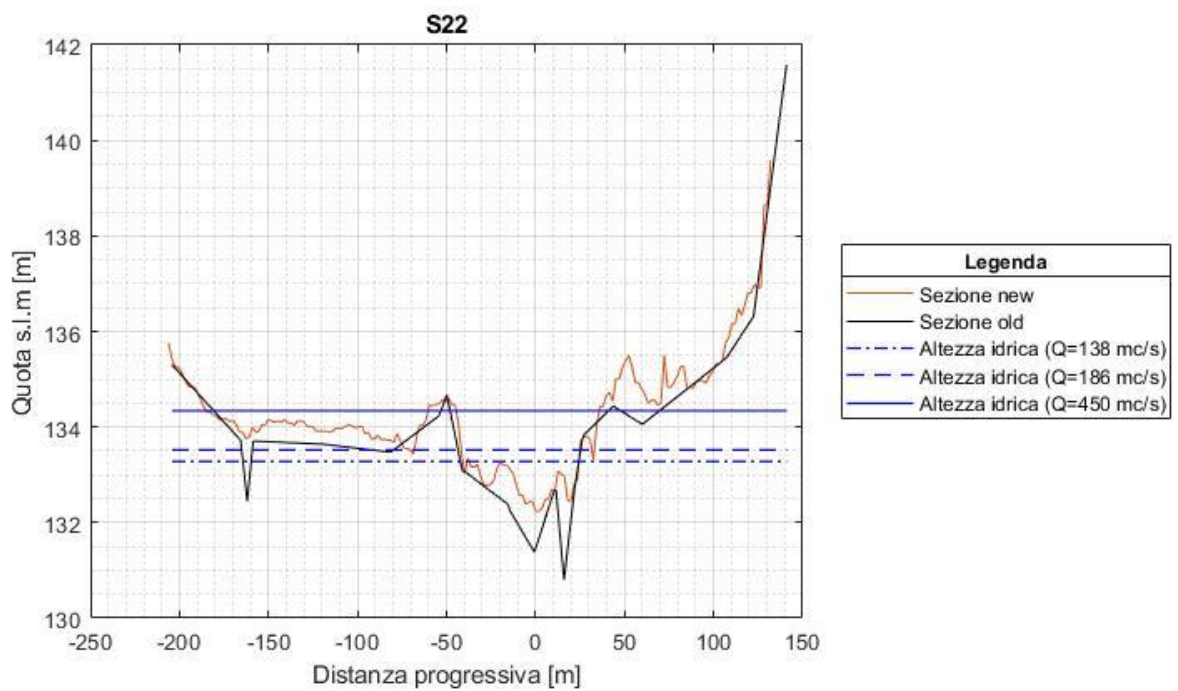
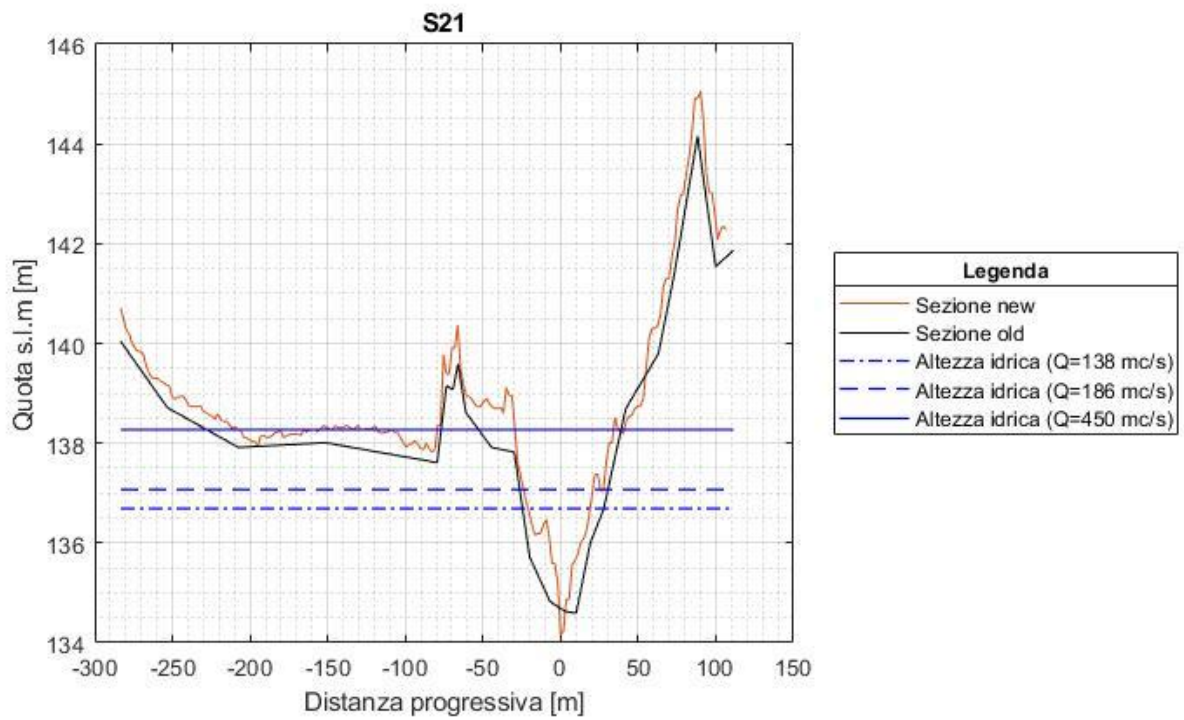


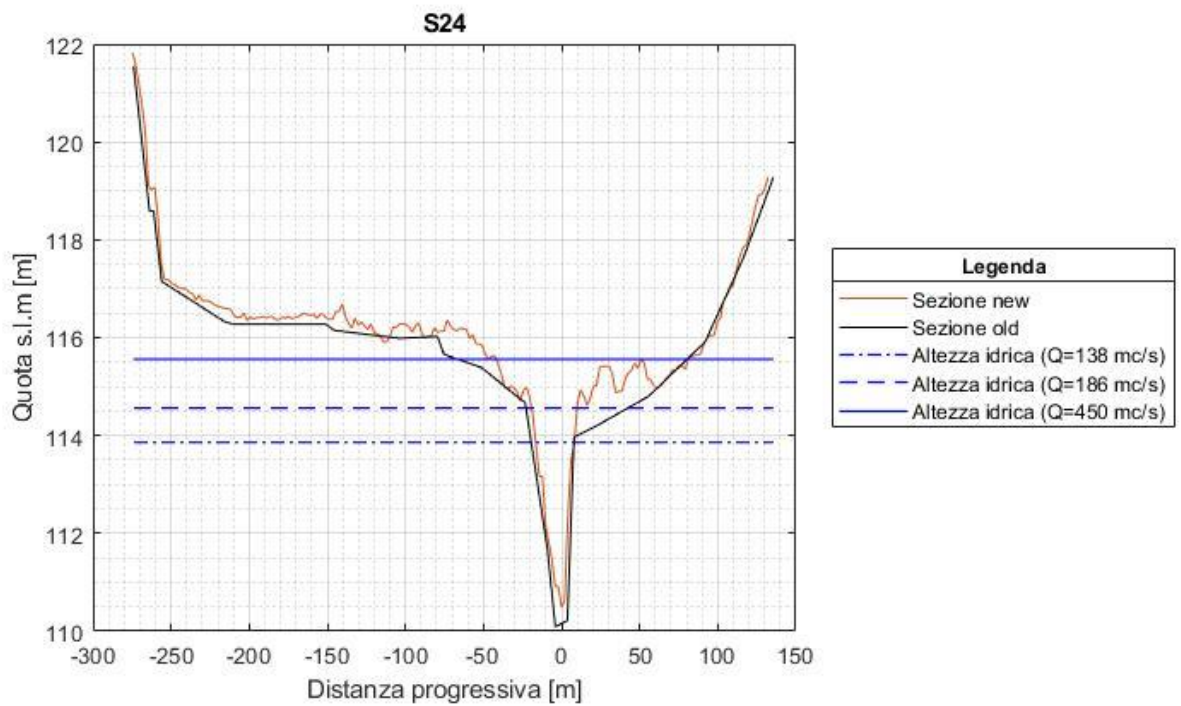
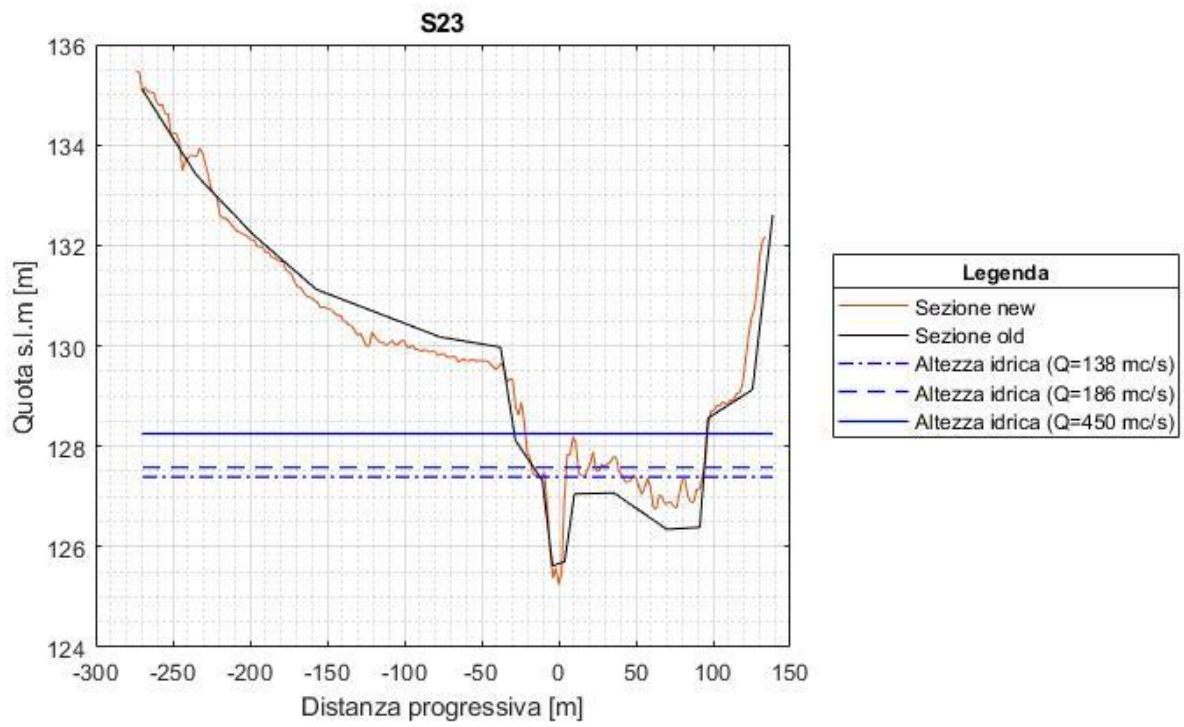


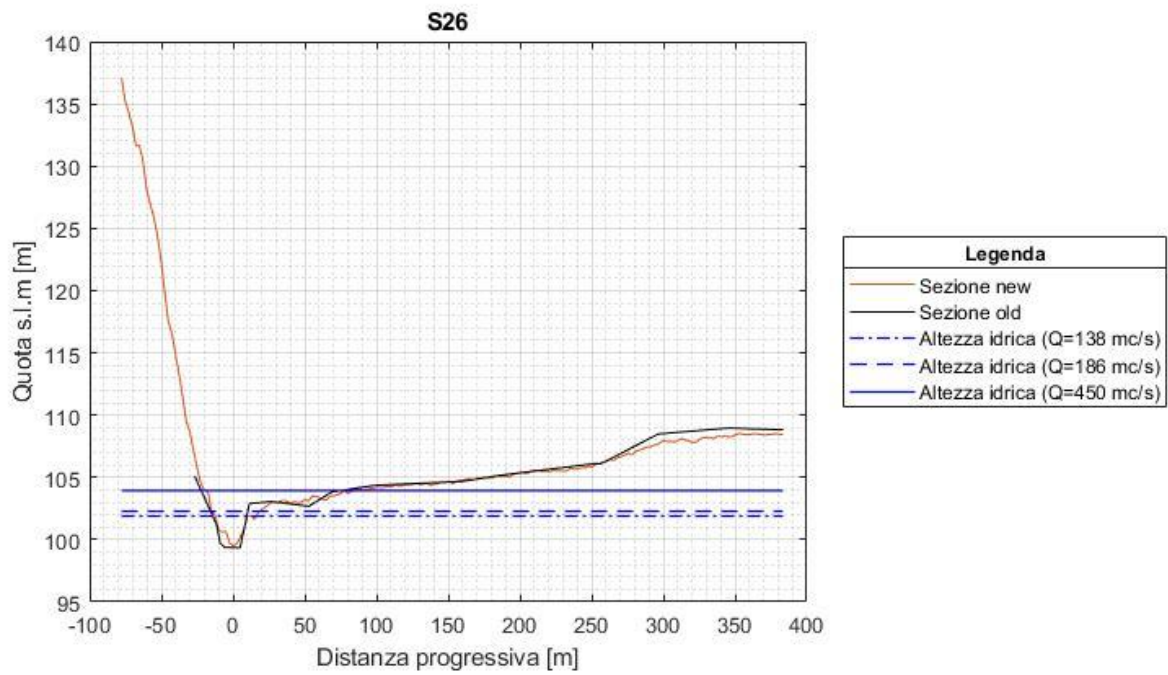
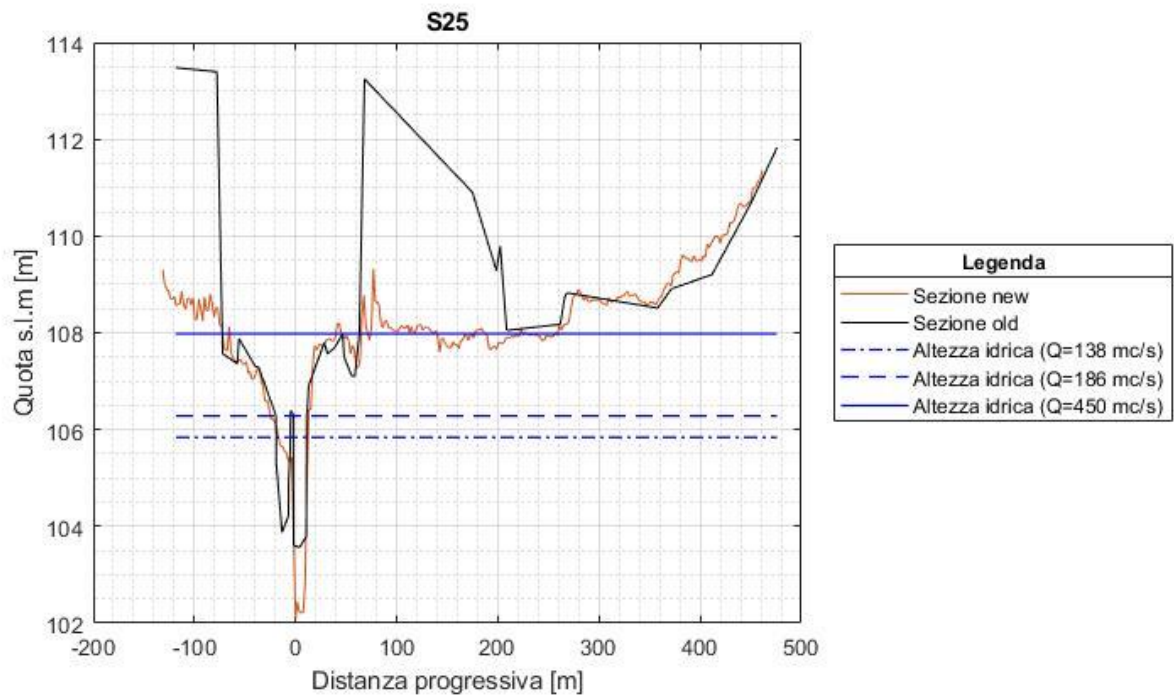


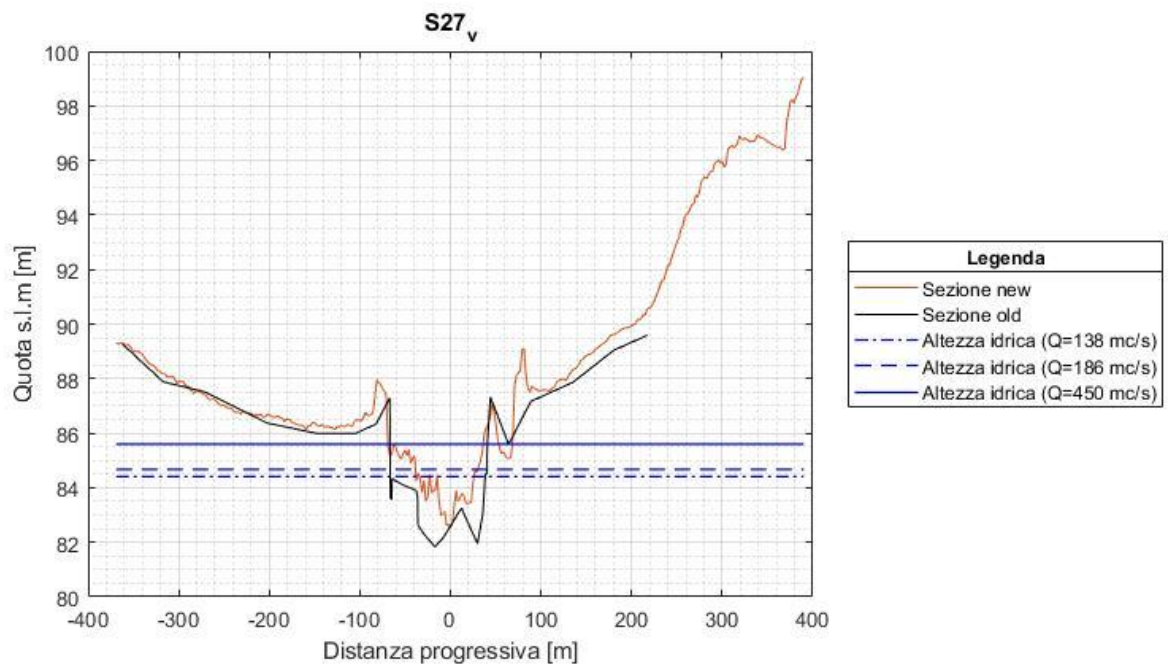
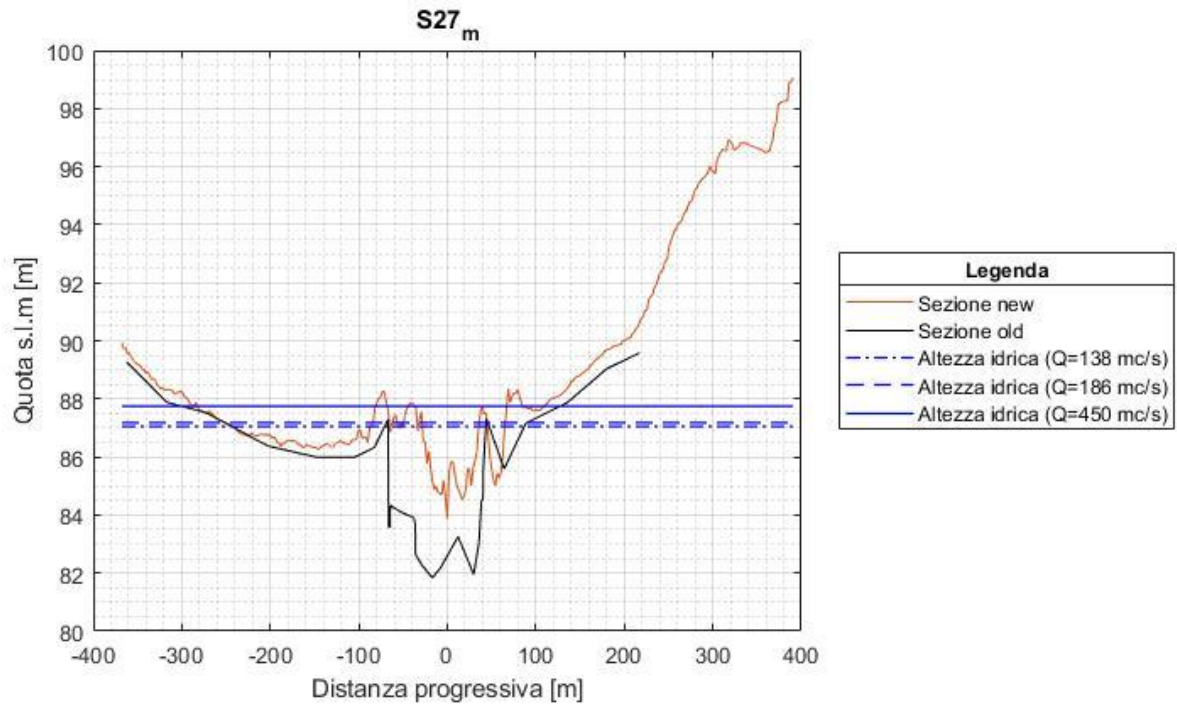


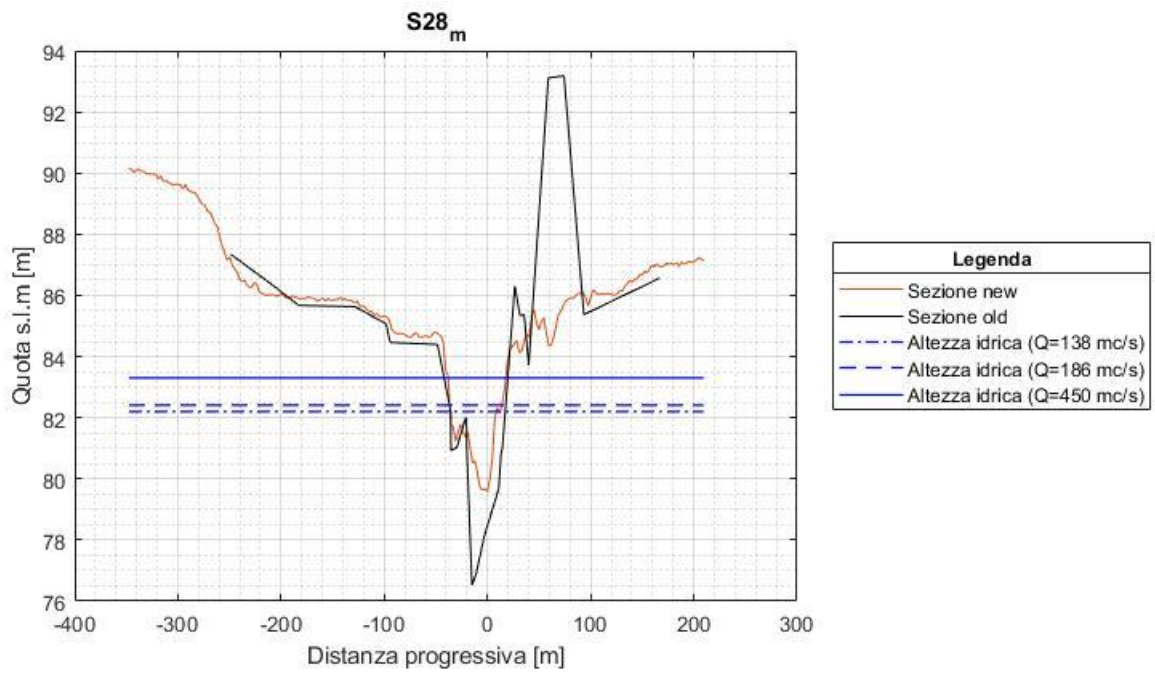
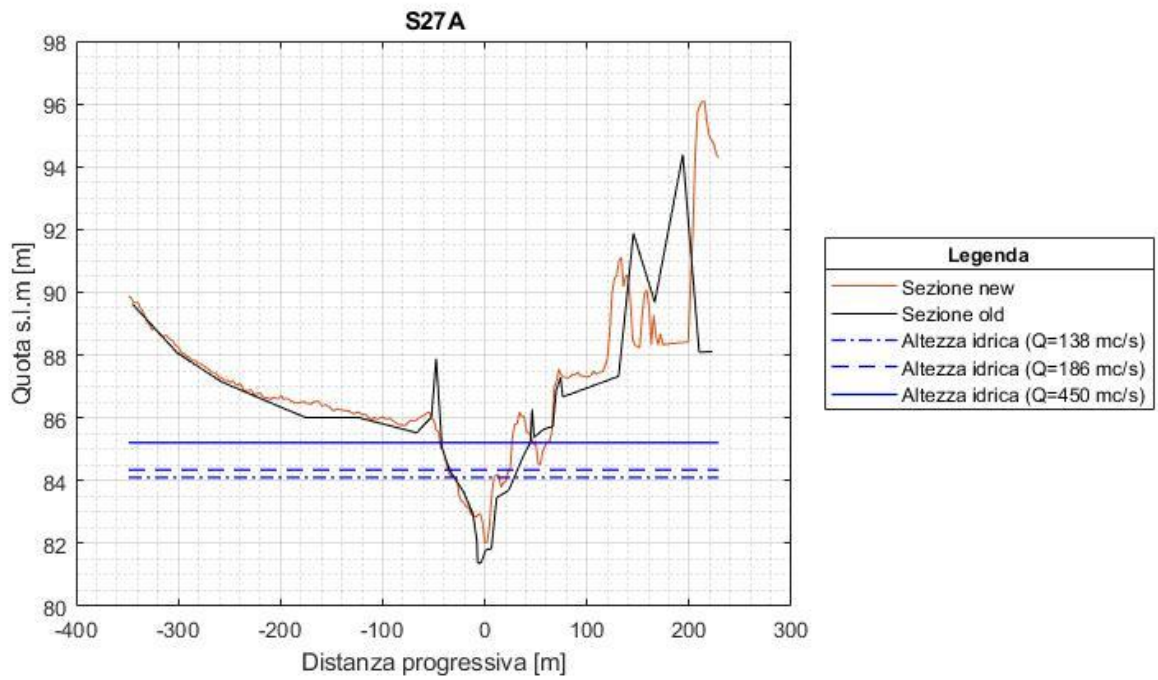


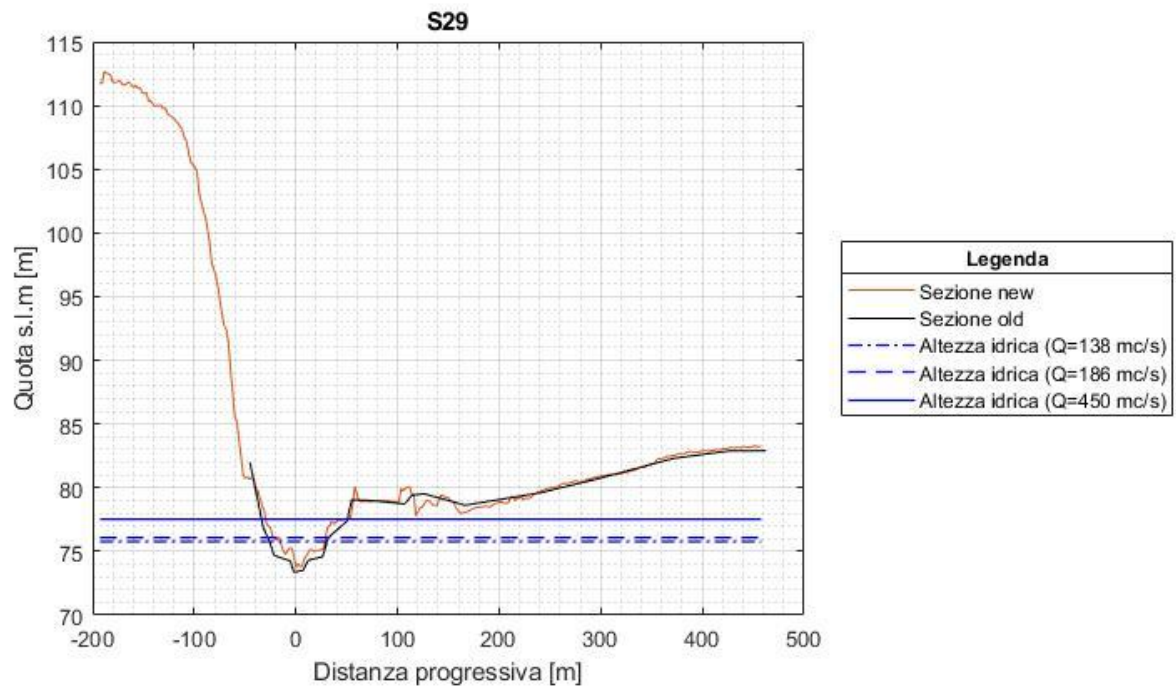
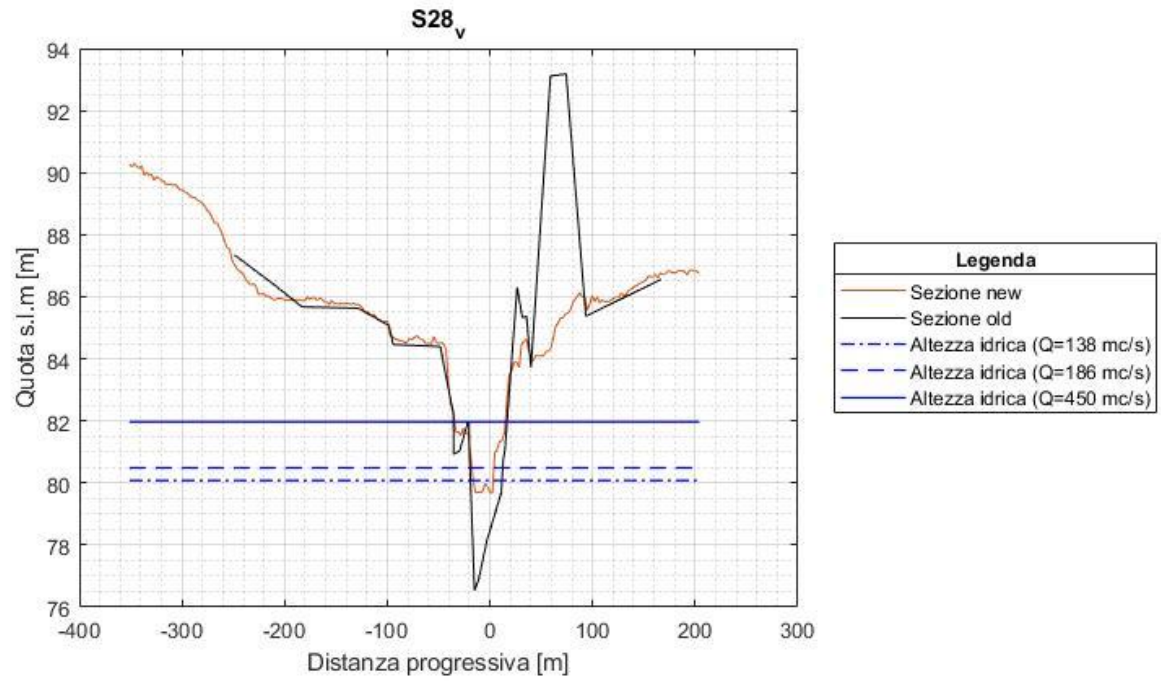


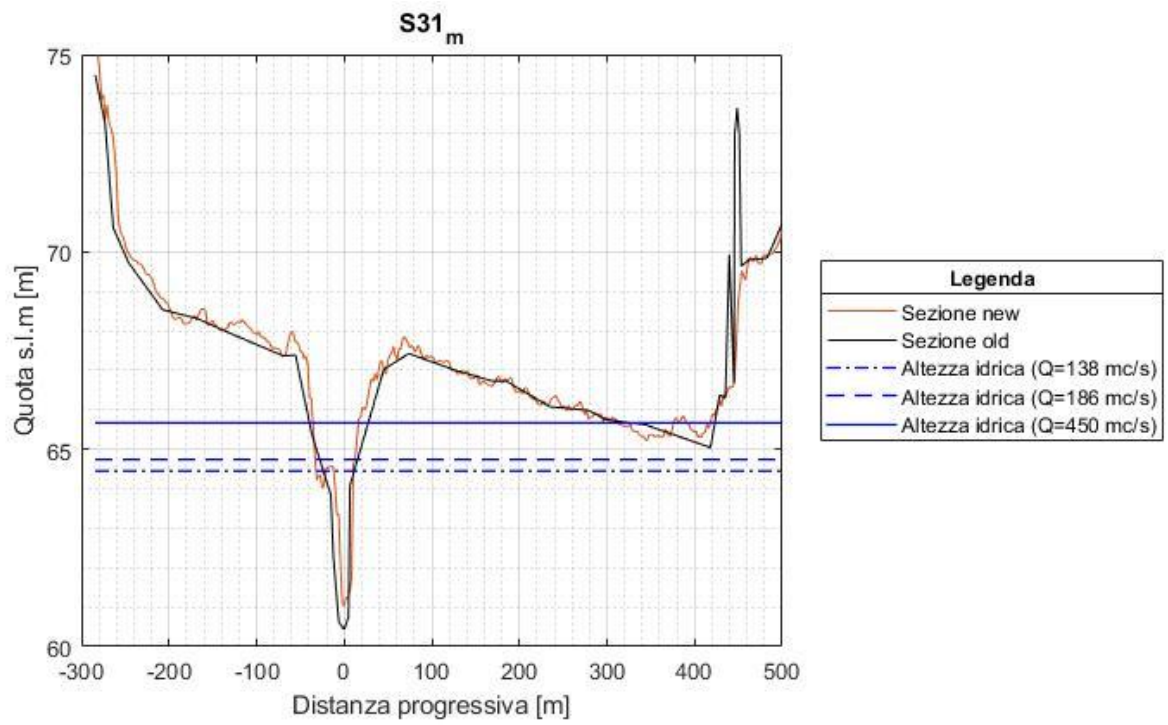
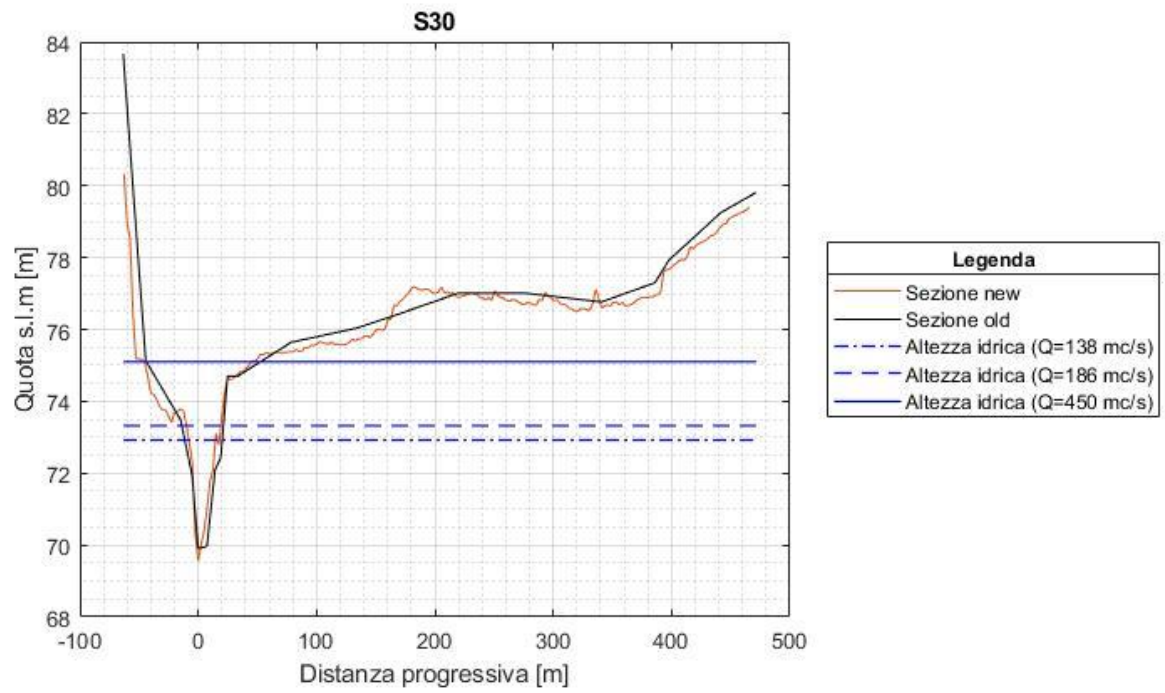


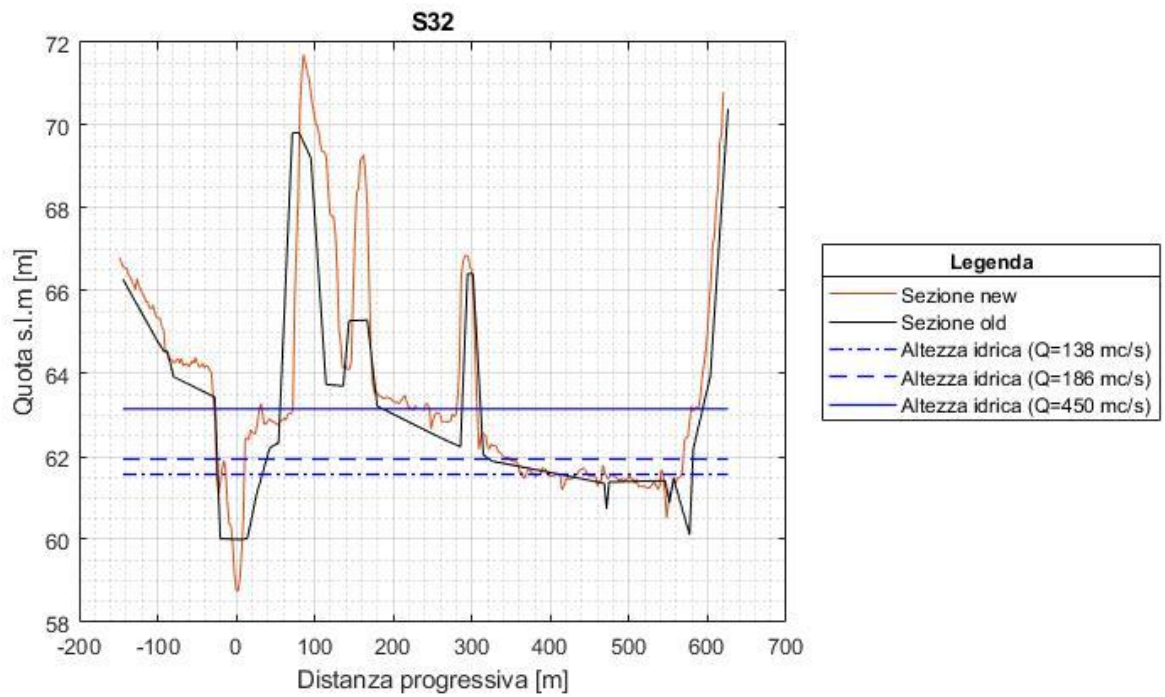
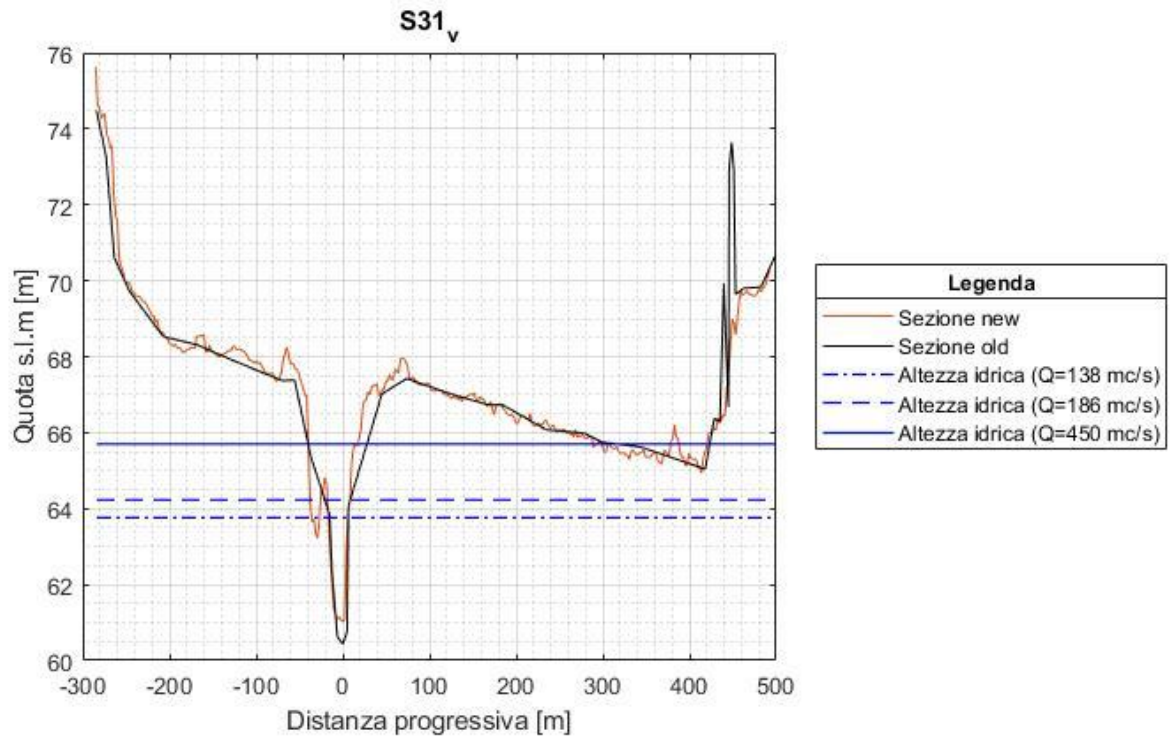


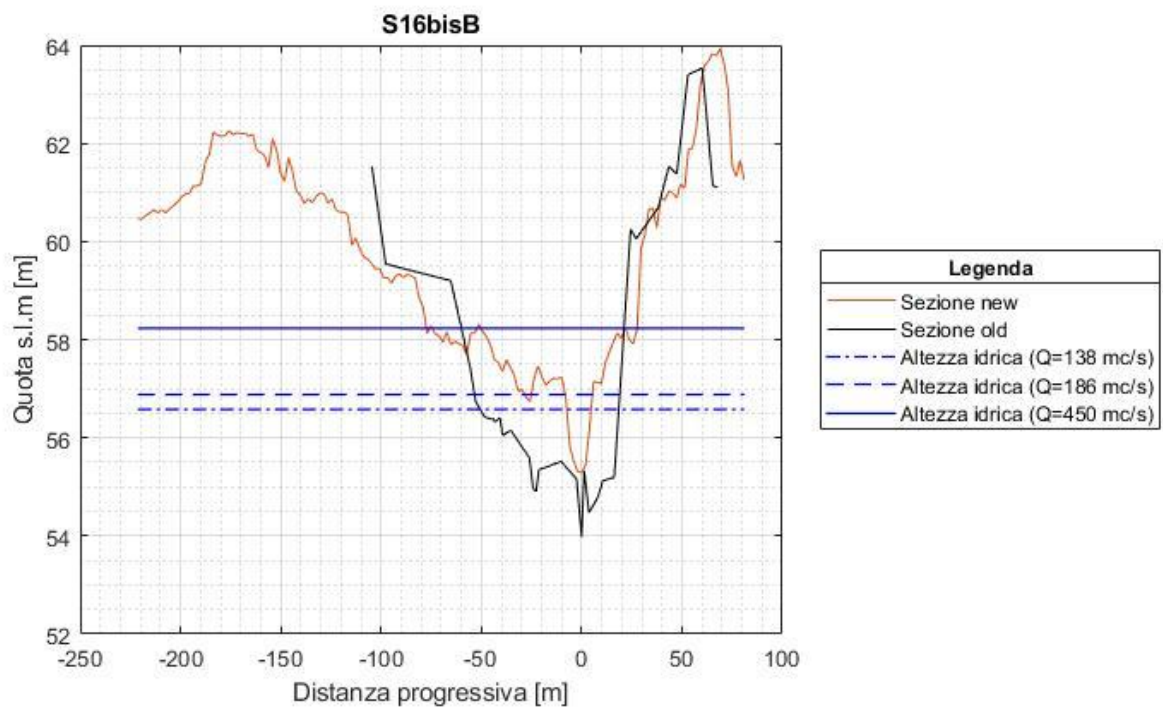
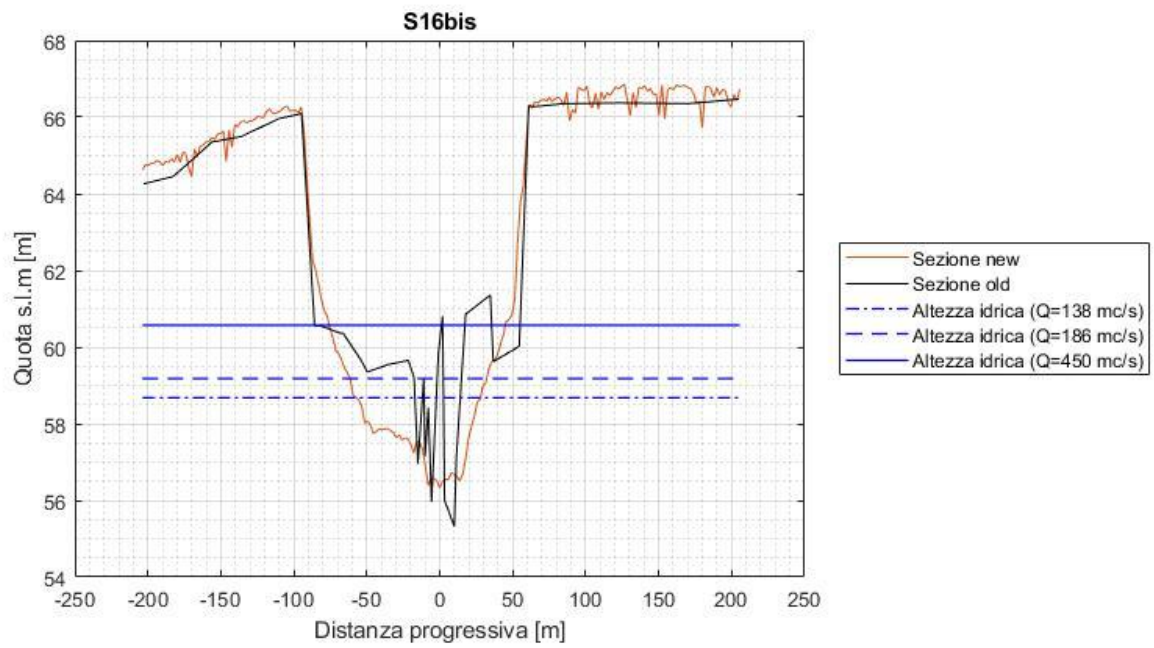


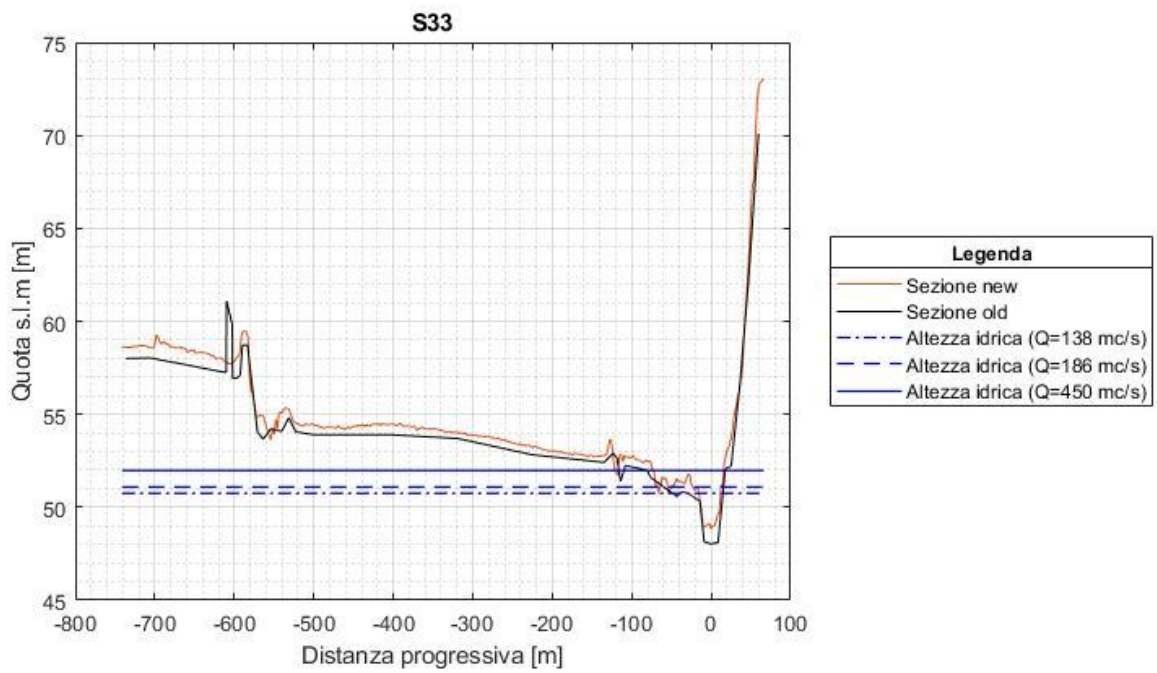
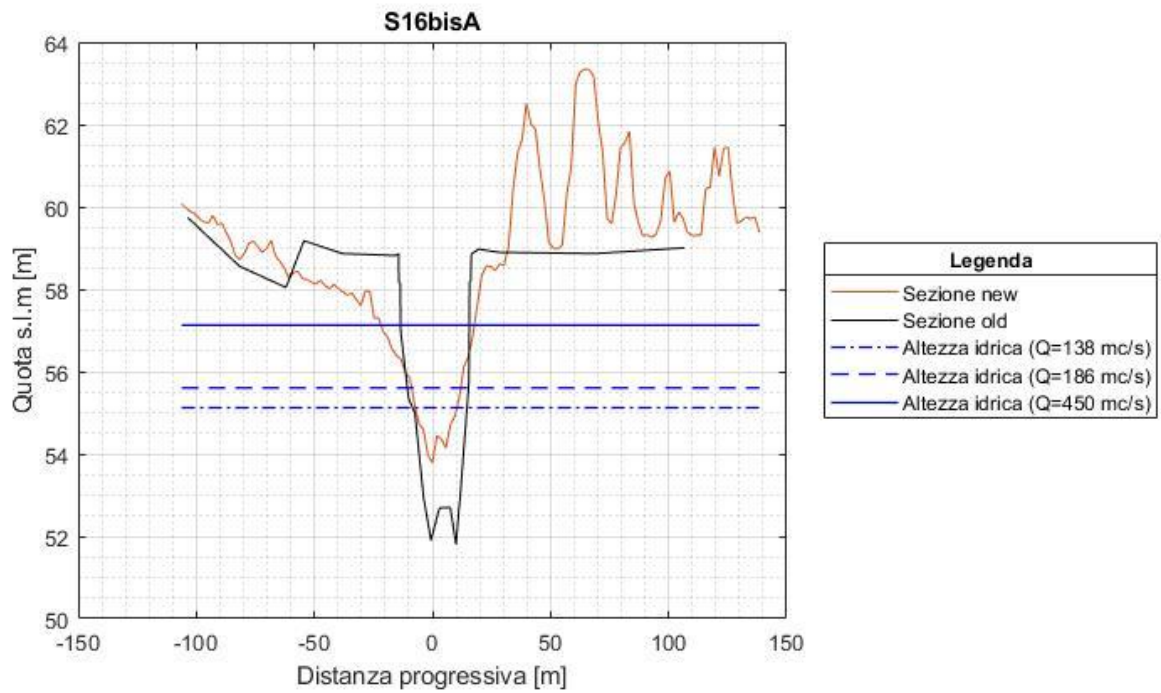


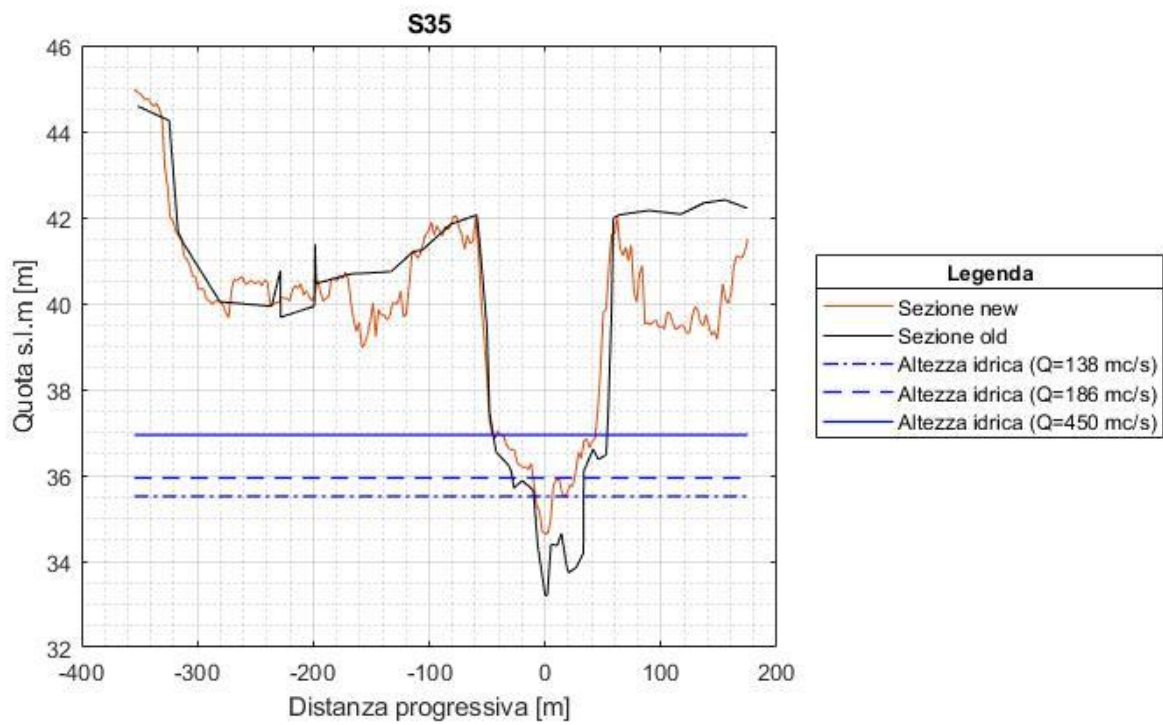
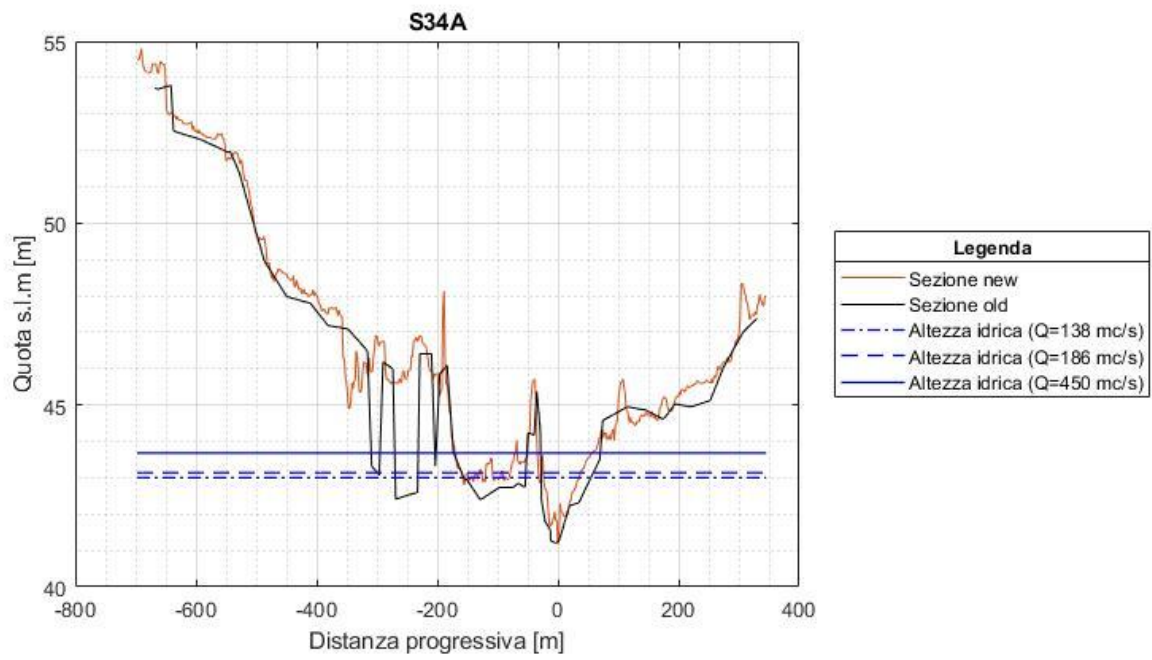


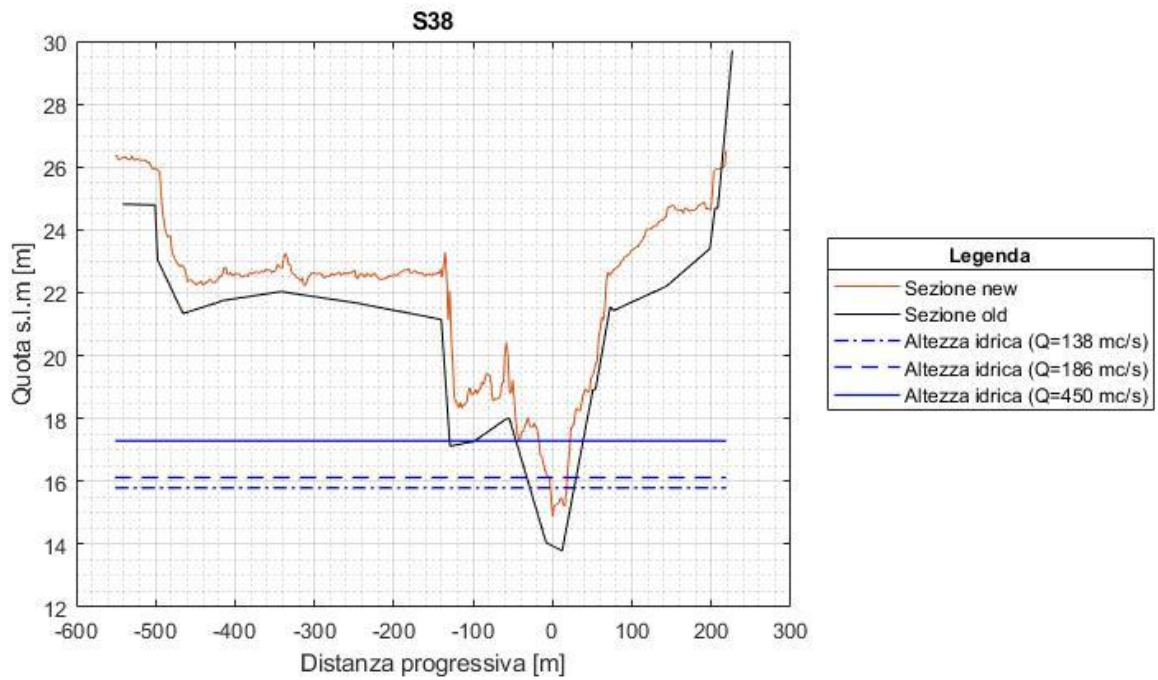
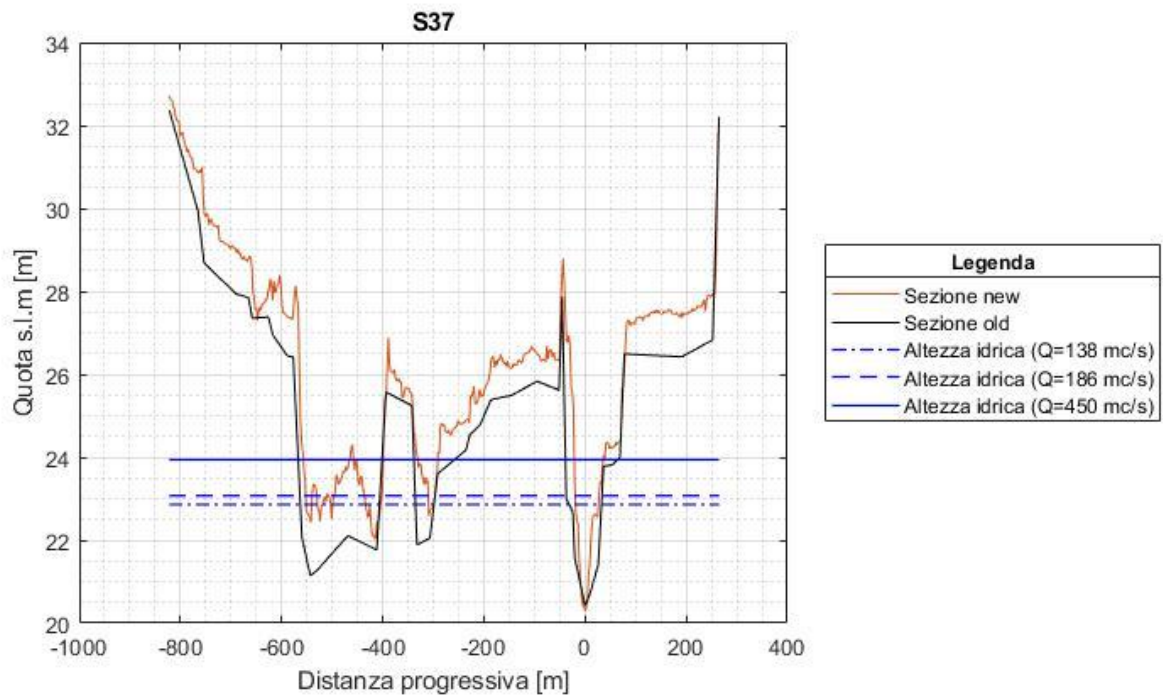












Risultati codice: area bagnata e larghezza in superficie.

fid	layer	Area bagnata [m ²] (Q=450 m ³ /s)		Larghezza in superficie [m] (Q=450 m ³ /s)	
		da Tavole	da DTM	da Tavole	da DTM
1	S2	161.29	102.63	87.51	72.76
2	S3	106.77	101.75	66.54	78.84
3	S4	160.44	126.93	78.36	75.38
4	S4B	134.75	76.05	68.81	51.75
5	S5	158.01	126.20	77.10	70.49
6	S6	180.97	121.80	93.09	78.15
7	S7	158.59	133.70	70.96	73.40
8	S8	181.22	159.73	104.32	109.46
9	S9	180.33	111.04	85.74	78.09
10	S10	152.74	101.18	74.55	71.26
11	S11A	338.14	242.54	88.56	78.53
12	S11	110.68	121.47	46.14	49.60
13	S12	155.49	132.78	78.48	79.03
14	S13	290.84	242.48	211.15	207.67
15	S14	177.78	153.39	165.16	180.40
16	S14A_m	241.20	130.33	166.41	220.87
17	S14A_v	208.95	148.29	159.86	161.50
18	S15	175.29	95.65	141.80	127.78
19	S16	138.91	109.26	122.47	184.13
20	S17	253.96	194.31	298.53	218.90
21	S18	103.10	94.73	45.91	48.90
22	S19	207.88	168.52	178.65	171.16
23	S19A	153.86	122.87	156.46	125.05
24	S20	143.29	133.58	90.71	92.65
25	S21	229.48	135.34	242.78	158.20
26	S22	231.39	155.64	238.46	204.86
27	S23	181.06	122.75	124.64	117.98
28	S24	196.45	133.10	147.00	123.16
29	S25	175.79	190.98	135.32	234.30
30	S26	158.91	150.40	97.37	103.85
31	S27_m	858.71	415.34	428.18	354.93
32	S27_v	281.20	152.45	107.72	119.63
33	S27A	147.43	115.66	86.73	82.97
34	S28_m	206.67	118.83	61.66	55.73
35	S28_v	131.68	61.16	51.17	49.36
36	S29	206.71	142.43	84.48	79.66
37	S30	164.06	156.63	96.44	90.92
38	S31_m	162.93	130.00	163.38	142.18
39	S31_v	168.00	164.90	174.88	172.74
40	S32	687.11	538.56	466.10	414.24
41	S16bis	159.23	302.97	121.74	120.65
42	S16bisB	198.33	87.13	81.08	101.48
43	S16bisA	103.16	66.82	29.10	39.53
44	S33	170.36	114.51	104.50	91.46
45	S34A	303.89	158.01	275.37	205.37
46	S35	164.21	75.07	98.26	85.69
47	S37	603.56	269.26	349.05	246.96
48	S38	178.88	55.56	116.43	39.34

A.7.

fid	layer	Area bagnata [m ²] (Q=186 m ³ /s)		Larghezza in superficie [m] (Q=186 m ³ /s)	
		da Tavole	da DTM	da Tavole	da DTM
1	S2	81.70	36.25	65.33	64.05
2	S3	32.81	18.35	56.70	44.17
3	S4	82.79	54.44	56.00	50.13
4	S4B	64.82	29.05	43.16	24.11
5	S5	84.79	57.03	62.94	56.08
6	S6	90.19	46.95	74.54	55.40
7	S7	88.90	56.66	59.37	67.89
8	S8	85.87	59.79	80.00	87.06
9	S9	99.99	42.37	72.62	65.22
10	S10	81.80	38.68	56.55	43.58
11	S11A	266.56	179.50	86.02	75.38
12	S11	51.43	56.81	28.75	31.04
13	S12	57.43	38.76	22.45	21.08
14	S13	79.15	52.46	95.17	45.97
15	S14	74.41	46.30	33.91	31.57
16	S14A_m	168.38	100.77	145.87	136.87
17	S14A_v	56.83	19.10	36.91	22.33
18	S15	63.34	23.52	25.11	15.79
19	S16	74.47	43.50	84.88	37.11
20	S17	121.90	102.41	189.54	119.56
21	S18	67.82	58.78	45.71	44.94
22	S19	109.69	80.60	132.67	91.80
23	S19A	67.67	61.18	120.59	84.67
24	S20	68.06	54.96	44.51	42.92
25	S21	91.15	53.52	56.78	46.56
26	S22	86.14	46.61	87.11	70.13
27	S23	101.64	49.91	110.67	88.21
28	S24	93.49	63.57	65.13	29.13
29	S25	60.10	63.51	27.67	37.84
30	S26	54.81	45.67	25.99	33.63
31	S27_m	642.21	243.15	337.45	264.92
32	S27_v	181.55	68.61	106.92	68.64
33	S27A	80.60	54.82	66.28	59.83
34	S28_m	154.99	71.31	54.44	50.54
35	S28_v	70.53	14.06	31.95	21.40
36	S29	100.91	57.00	59.73	51.86
37	S30	65.25	50.69	35.09	29.04
38	S31_m	83.99	64.00	43.21	45.48
39	S31_v	65.49	63.62	29.33	37.95
40	S32	216.87	154.00	322.36	256.56
41	S16bis	54.83	151.98	28.35	93.84
42	S16bisB	95.08	15.31	72.37	16.88
43	S16bisA	60.78	21.30	25.86	20.76
44	S33	90.42	50.29	75.14	43.13
45	S34A	164.05	65.84	234.35	129.57
46	S35	83.06	19.24	61.59	35.77
47	S37	351.79	100.85	268.11	139.23
48	S38	90.06	16.82	62.07	22.27

A.7.

fid	layer	Area bagnata [m ²] (Q=138 m ³ /s)		Larghezza in superficie [m] (Q=138 m ³ /s)	
		da Tavole	da DTM	da Tavole	da DTM
1	S2	65.66	20.95	62.97	51.79
2	S3	NaN	NaN	NaN	NaN
3	S4	64.45	38.10	51.85	46.01
4	S4B	48.21	22.86	33.43	12.66
5	S5	67.64	41.65	58.96	53.71
6	S6	70.16	34.44	67.63	37.80
7	S7	71.97	37.40	57.33	61.95
8	S8	63.40	37.58	64.60	50.48
9	S9	82.90	29.14	69.70	45.89
10	S10	67.21	28.03	51.75	34.66
11	S11A	250.28	165.51	85.08	71.61
12	S11	42.64	47.32	27.93	30.21
13	S12	45.28	27.29	20.17	19.13
14	S13	53.58	40.11	26.05	24.15
15	S14	59.87	35.32	31.00	22.92
16	S14A_m	154.36	88.14	134.48	116.44
17	S14A_v	45.08	13.01	34.33	16.90
18	S15	49.44	14.43	20.12	13.07
19	S16	61.91	37.48	60.80	31.76
20	S17	93.88	85.06	161.10	97.56
21	S18	58.23	49.45	45.65	43.77
22	S19	86.89	65.57	122.11	76.58
23	S19A	49.34	48.20	95.44	66.78
24	S20	54.43	41.25	38.46	40.38
25	S21	70.43	37.37	52.28	40.04
26	S22	68.33	30.59	71.18	64.10
27	S23	81.05	34.68	106.09	66.54
28	S24	62.60	44.77	27.29	24.82
29	S25	48.04	49.23	27.09	29.49
30	S26	44.86	33.41	23.70	26.08
31	S27_m	599.33	210.01	322.91	245.94
32	S27_v	153.98	51.67	104.81	61.28
33	S27A	65.57	41.60	58.68	45.74
34	S28_m	143.74	61.03	52.76	46.36
35	S28_v	57.67	5.71	30.74	19.20
36	S29	82.32	42.06	56.60	43.84
37	S30	51.91	39.88	31.59	23.94
38	S31_m	72.60	52.22	35.31	33.46
39	S31_v	54.04	47.43	21.48	31.34
40	S32	113.94	67.81	226.17	184.94
41	S16bis	41.46	107.07	25.08	84.87
42	S16bisB	73.74	11.20	69.13	12.15
43	S16bisA	48.88	12.03	23.04	17.59
44	S33	67.26	38.70	53.36	28.00
45	S34A	132.19	49.75	222.53	97.94
46	S35	61.49	8.46	42.93	15.82
47	S37	296.46	74.92	256.98	110.05
48	S38	70.63	9.78	55.69	20.37

A.8.

Codice per l'individuazione delle coordinate planimetriche di ciascun punto costituente ciascuna sezione trasversale storica (Scenario idraulico: propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento per ipotetico collasso diga).

```

clc; clear all; close all;

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
% (fid, layer, altezze storiche)
sez=shaperead('Sezioni_Tav.shp');

% Creazione/apertura file di testo per il salvataggio dei dati planimetrici
% e altimetrici delle sezioni trasversali storiche
fid = fopen('Sezioni_old.txt','a+');
fprintf(fid,'ID\tX\tY\tZ\n');

for n=1:length([sez.fid])
%% SEZIONI TRASVERSALI ATTUALIZZATE (DTM)

% Eliminazione delle informazioni plano-altimetriche per evitare la
% sovrascrittura dei dati
if n>=2
clear x y z_TAV
end

% Lettura delle caratteristiche vettoriali e degli attributi delle sezioni
Punti_sez=shaperead('Punti_sezioni.shp');% Informazioni plano-altimetriche
e distanze di ogni sezione

% Definizione del vettore delle altezze idriche storiche
Q=[sez(find([sez.fid]==n)).Q];

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
DIST=( [Punti_sez.fid]==n).*[Punti_sez.distance];
DIST(DIST==0)=[];
DIST=[0 , DIST];

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
Z=( [Punti_sez.fid]==n).*[Punti_sez.Z];
Z(Z==0)=[];

%% SEZIONI TRSVERSALI STORICHE (TAVOLE DELLE INDAGINI PASSATE)

% Lettura delle distanze progressive, delle quote e dei numeri
% identificativi di ciascuna sezione (fid)
dati=xlsread('Sezioni_Digitalizzate.xlsx');
fid_TAV=dati(:,1);
DIST_TAV=dati(:,2);
Z_TAV=dati(:,3);

% Definizione della lunghezza del vettore relativo a ciascuna sezione
LunghVett=(find((fid_TAV)==n));
Viniz=LunghVett(1,1);

```

```
Vfin=LunghVett(end,1);

% Determinazione del vettore delle distanze progressive (ascissa)
dist_TAV=DIST_TAV(Viniz:Vfin,1);
dist_N=(0:0.01:max(dist_TAV));

% Determinazione del vettore delle quote del terreno (ordinata)
z_TAV=Z_TAV(Viniz:Vfin,1);
z_N=interp1(dist_TAV,z_TAV,dist_N);

%% DEFINIZIONE COORDINATE X E Y DI OGNI VERTICE/NODO COSTITUENTE LE SEZIONI
TRASVERSALI STORICHE

% Definizione dei vettori delle coordinate planimetriche X e Y
X=( [Punti_sez.fid]==n).*[Punti_sez.X];
X(X==0)=[];
Y=( [Punti_sez.fid]==n).*[Punti_sez.Y];
Y(Y==0)=[];

% Individuazione delle coordinate planimetriche di ogni punto costituente
% la sezione trasversale storica processata
for nm=1:length(dist_TAV)
idx_x=find(DIST==dist_TAV(nm));
x(nm)=X(idx_x);
y(nm)=Y(idx_x);
end

% Matrice formata dalle informazioni plano-altimetriche e dal numero
% identificativo di ciascuna sezione (ID)
ID=repelem(n,length(x));
xyz=[ID' x' y' z_TAV];

% Trascrizione dei dati della matrice
fprintf(fid,'%5.0f\t%5.5f\t%5.5f\t%5.3f\n',xyz);

end

fclose(fid); % Chiusura del file di testo aperto
```