



CONSORZIO DEL TICINO

---

# PROGETTO DI SPERIMENTAZIONE DEL DMV SUL FIUME TICINO SUBLACUALE

*Rapporto finale*  
**ALLEGATO 4**

*Habitat idraulico-morfologico e fauna ittica*



**Febbraio 2016**

---

G · R · A · I · A



GRUPPO DI RICERCA AMBIENTALE  
TICINO



CONSORZIO DEL TICINO

---

# PROGETTO DI SPERIMENTAZIONE DEL DMV SUL FIUME TICINO SUBLACUALE

## *ALLEGATO 4*

### *Habitat idraulico-morfologico e fauna ittica*

**Febbraio 2016**

---

#### COORDINAMENTO

DORIANA BELLANI (*CONSORZIO DEL TICINO*)

PROF. GIUSEPPE CROSA (*UNIVERSITÀ DELL'INSUBRIA*)

DR. GAETANO GENTILI (*GRAIA SRL*)

#### AUTORI

DR. ANDREA ROMANÒ

DR.SSA FRANCESCA SALMASO

DR. ANDREA BUCCHINI

DR.SSA STEFANIA COMPARE

---



# INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>HABITAT IDRAULICO MORFOLOGICO.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>HABITAT FLUVIALE .....</b>	<b>6</b>
3.1	FIUME TICINO A MADDALENA: TIC1 .....	6
3.3	FIUME TICINO A LONATE POZZOLO: TIC3 .....	31
3.4	FIUME TICINO A TURBIGO - LOC. TRE SALTI: TIC4.....	51
3.5	FIUME TICINO A TURBIGO – VALLE PONTE: TIC5.....	72
<b>4</b>	<b>FAUNA ITTICA .....</b>	<b>88</b>
4.1	TRATTO DI MONITORAGGIO TIC1 – MADDALENA.....	89
4.2	TRATTO DI MONITORAGGIO TIC3 – PONTE DI FERRO .....	92
4.3	TRATTI DI MONITORAGGIO TIC4 – TRE SALTI E TIC5 – PONTE DI TURBIGO .....	94
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>101</b>

## **1 PREMESSA**

Questo allegato contiene tutti i risultati relativi alle indagini volte a definire lo stato dell'habitat fluviale. In particolare sono presentati:

- i risultati dell'applicazione della metodica IFF (Indice di Funzionalità Fluviale) per tutti i tratti di monitoraggio;
- i risultati dei rilievi e delle modellazioni idromorfologiche condotte sui tratti di monitoraggio TIC1, TIC3, TIC4 e TIC5 e la relativa applicazione di curve di preferenza per la fauna ittica.

Sono riportate inoltre le strutture relative alle popolazioni ittiche rinvenute nel corso della sperimentazione.

Il presente documento è parte integrante del rapporto finale riassuntivo dei due trienni della sperimentazione sul DMV rilasciato nel fiume Ticino sublacuale.

## 2 HABITAT IDRAULICO MORFOLOGICO

Per ogni stazione d'indagine, in questo capitolo, sono riportati i dati relativi al protocollo di indagine dell'habitat "Indice di Funzionalità Fluviale" (IFF - AA. VV., 2003; 2007). I dati sono stati aggiornati, rispetto a quelli forniti nell'arco della sperimentazione, riguardo all'individuazione di nuovi tratti d'indagine e a piccole modifiche avvenute nella struttura dell'habitat e/o dell'ambiente circostante il corso d'acqua.

La descrizione di dettaglio dell'habitat, per ogni tratto d'indagine, è riportata nel documento principale *Progetto di sperimentazione del DMV sul fiume Ticino sublacuale – Rapporto finale*.

Tabella 2-1 Risultati della scheda IFF per il tratto di Somma Lombardo (TIC1).

Domanda	Sponda	
	dx (zona l'aria)	sx (zona l'aria)
1- Stato del territorio circostante	20	20
2- Vegetazione presente nella fascia perifluviale	25	25
3- Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	15
4- Continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	10
5- Condizioni idriche dell'alveo		10
6- Efficienza di esondazione		5
7- Strutture di ritenzione degli apporti trofici		5
8- Erosione delle rive	20	20
9- Sezione trasversale		15
10- Idoneità ittica		20
11- Idromorfologia		15
12- Componente vegetale in alveo bagnato		5
13- Detrito		10
14- Comunità macrobentonica		20
<b>Punteggio</b>	<b>200</b>	<b>195</b>
<b>Classe di funzionalità</b>	<b>II-III</b>	<b>II-III</b>
<b>Giudizio</b>	<b>Buono - mediocre</b>	<b>Buono - mediocre</b>

Tabella 2-2 Risultati della scheda IFF per il tratto di Vizzola Ticino (TIC2).

Domanda	Sponda	
	dx (zona l'aria)	sx (zona l'aria)
1- Stato del territorio circostante	20	20
2- Vegetazione presente nella fascia perifluviale	10	25
3- Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	15
4- Continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	15
5- Condizioni idriche dell'alveo		10
6- Efficienza di esondazione		5
7- Strutture di ritenzione degli apporti trofici		5
8- Erosione delle rive	15	20
9- Sezione trasversale		15
10- Idoneità ittica		20
11- Idromorfologia		5
12- Componente vegetale in alveo bagnato		5
13- Detrito		10
14- Comunità macrobentonica		20
<b>Punteggio</b>	<b>170</b>	<b>190</b>
<b>Classe di funzionalità</b>	<b>III</b>	<b>II-III</b>
<b>Giudizio</b>	<b>mediocre</b>	<b>Buono - mediocre</b>

Tabella 2-3 Risultati della scheda IFF per il tratto di Lonate Pozzolo (TIC3).

Domanda	Sponda	
	dx (zona l <sup>aria</sup> )	sx (zona l <sup>aria</sup> )
1- Stato del territorio circostante	20	20
2- Vegetazione presente nella fascia perifluviale	20	20
3- Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	15
4- Continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	10	10
5- Condizioni idriche dell'alveo	10	
6- Efficienza di esondazione	5	
7- Strutture di ritenzione degli apporti trofici	15	
8- Erosione delle rive	20	20
9- Sezione trasversale	15	
10- Idoneità ittica	20	
11- Idromorfologia	20	
12- Componente vegetale in alveo bagnato	10	
13- Detrito	10	
14- Comunità macrobentonica	20	
<b>Punteggio</b>	210	210
<b>Classe di funzionalità</b>	II	II
<b>Giudizio</b>	<b>buono</b>	<b>buono</b>

Tabella 2-4 Risultati della scheda IFF per il tratto di Turbigo- località Tre Salti (TIC4).

Domanda	Sponda	
	dx (zona l <sup>aria</sup> )	sx (zona l <sup>aria</sup> )
1- Stato del territorio circostante	20	20
2- Vegetazione presente nella fascia perifluviale	25	25
3- Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	15
4- Continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	15	15
5- Condizioni idriche dell'alveo	5	
6- Efficienza di esondazione	15	
7- Strutture di ritenzione degli apporti trofici	5	
8- Erosione delle rive	5	20
9- Sezione trasversale	15	
10- Idoneità ittica	5	
11- Idromorfologia	5	
12- Componente vegetale in alveo bagnato	5	
13- Detrito	10	
14- Comunità macrobentonica	10	
<b>Punteggio</b>	155	170
<b>Classe di funzionalità</b>	III	III
<b>Giudizio</b>	<b>mediocre</b>	<b>mediocre</b>

Tabella 2-5 Risultati della scheda IFF per il tratto di Turbigio –a valle del ponte (TIC5).

Domanda	Sponda	
	dx (zona <sup>laria</sup> )	sx (zona <sup>laria</sup> )
1- Stato del territorio circostante	5	5
2- Vegetazione presente nella fascia perfluviale	25	25
3- Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale	5	10
4- Continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale	5	5
5- Condizioni idriche dell'alveo	10	
6- Efficienza di esondazione	5	
7- Strutture di ritenzione degli apporti trofici	5	
8- Erosione delle rive	20	20
9- Sezione trasversale	15	
10- Idoneità ittica	20	
11- Idromorfologia	15	
12- Componente vegetale in alveo bagnato	15	
13- Detrito	10	
14- Comunità macrobentonica	10	
<b>Punteggio</b>	<b>165</b>	<b>170</b>
<b>Classe di funzionalità</b>	<b>III</b>	<b>III</b>
<b>Giudizio</b>	<b>mediocre</b>	<b>mediocre</b>

### 3 HABITAT FLUVIALE

In questo capitolo sono riportati i risultati dei rilievi topografici ed idraulici effettuati per poter caratterizzare quantitativamente l'habitat fluviale disponibile per l'ittiofauna nei tratti oggetto di studio. Sono poi illustrati i risultati dei software applicati (HEC-RAS per la modellazione idraulica, CASIMIR e River2D per la modellazione ecologica).

#### 3.1 FIUME TICINO A MADDALENA: TIC1

Il tratto di fiume Ticino oggetto di studio è circa 2.3 km a valle della traversa di Panperduto e a meno di 500 m a valle della filarola per la derivazione in sponda destra delle Rogge Clerici Simonetta e Molinara di Oleggio. La portata media annua alla traversa è pari a 280 m<sup>3</sup>/s. I dati principali del tratto rilevato sono:

- Lunghezza: 1466 m
- N° sezioni rilevate: 18

Il rilievo è stato effettuato con una portata pari a 12 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>1</sub>) e successivamente con una portata pari a 28 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>2</sub>) corrispondente al 10% del DMV Idrologico.

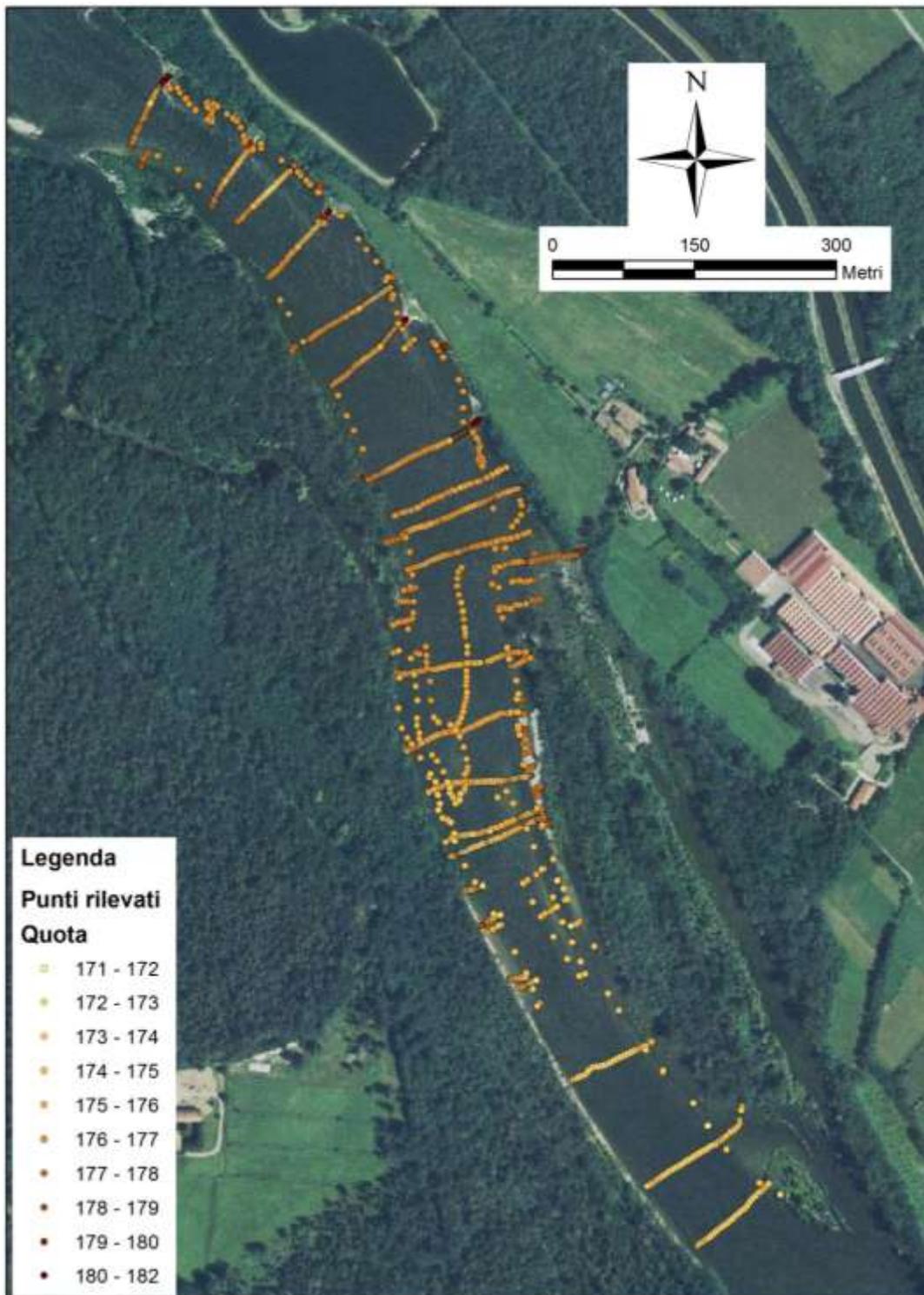
Figura 3-1 Localizzazione del tratto TIC1 oggetto di studio.



Figura 3-2 Strumentazione utilizzata per il rilievo topografico.



Figura 3-3 Planimetria quotata del tratto TIC1 rilevato.



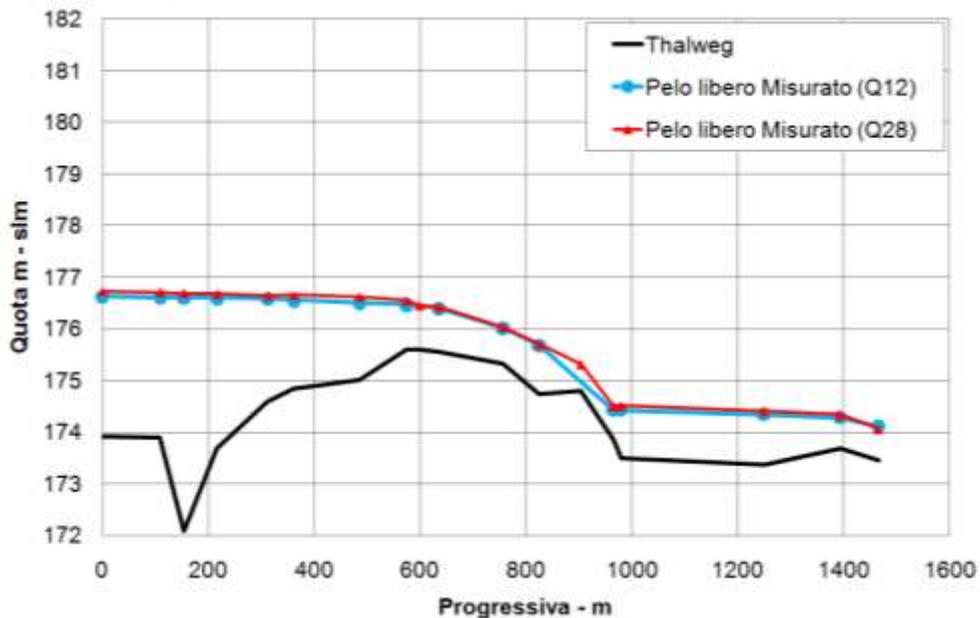
### 3.1.1 RISULTATI DEI RILIEVI TOPOGRAFICI E IDRAULICO-MORFOLOGICI

In questo paragrafo sono riportati i risultati dei rilievi topografici e idraulico-morfologici effettuati sul fiume Ticino nel tratto TIC1.

#### Rilievo del pelo libero

Il profilo di fondo alveo (thalweg) e il profilo di pelo libero sono presentati nella figura seguente.

Figura 3-4 Profilo di fondo e profili di pelo libero rilevati nel tratto TIC1.



#### Rilievo delle sezioni trasversali

Nelle figure seguenti sono riportate le 18 sezioni trasversali rilevate con la quota media di pelo libero. Per alcune è riportato l'inquadramento fotografico della sezione.

Figura 3-5 Sezione trasversale 1: geometria.

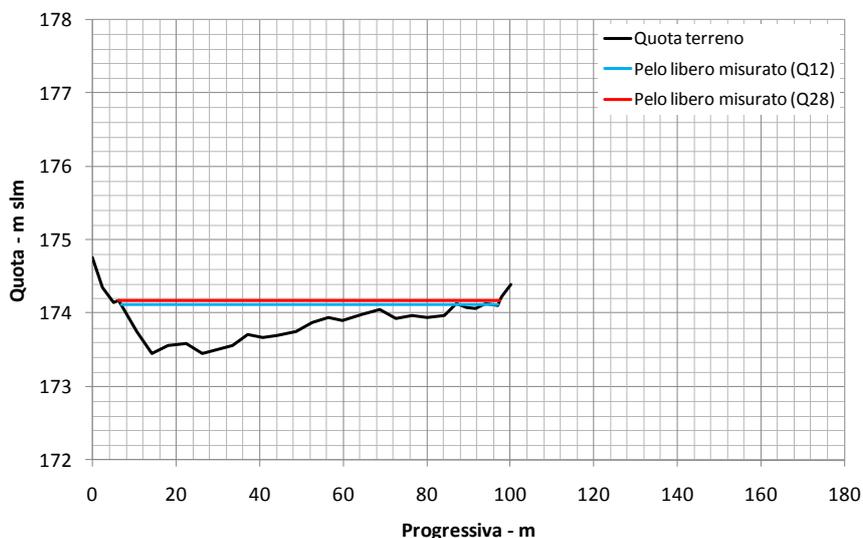


Figura 3-6 Sezione trasversale 2: geometria e inquadramento fotografico.

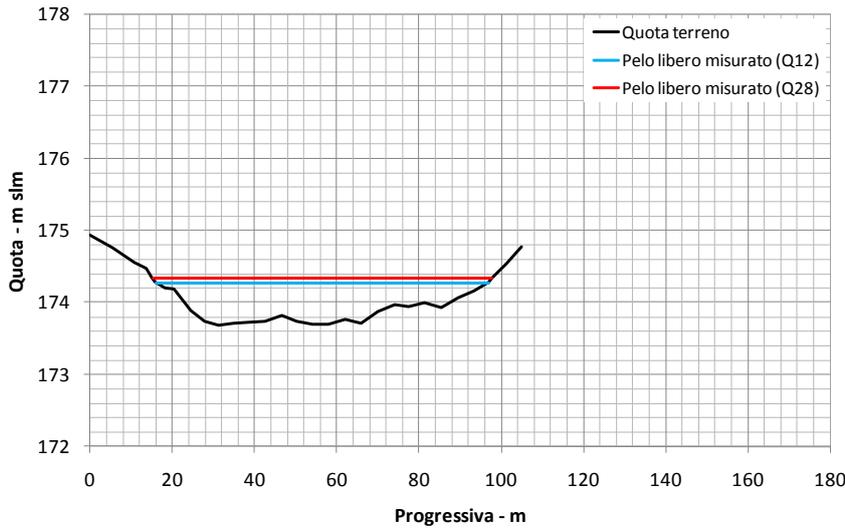


Figura 3-7 Sezione trasversale 3: geometria.

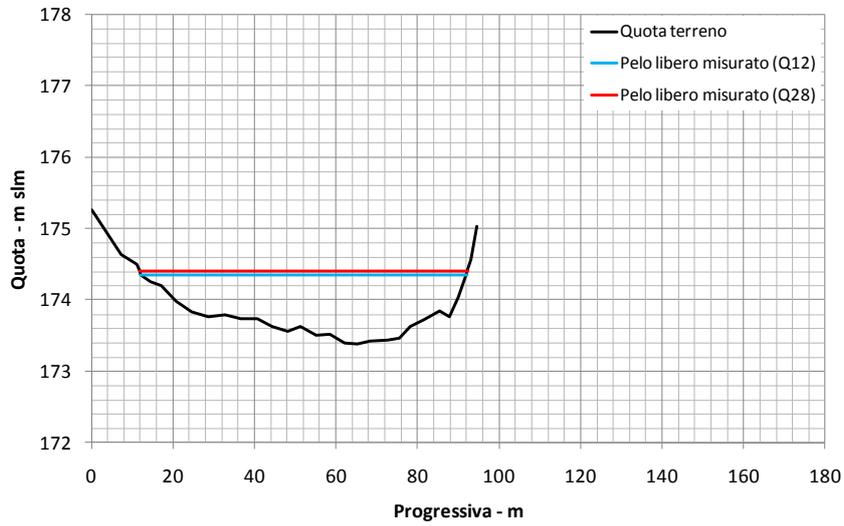


Figura 3-8 Sezione trasversale 4: geometria e inquadramento fotografico.

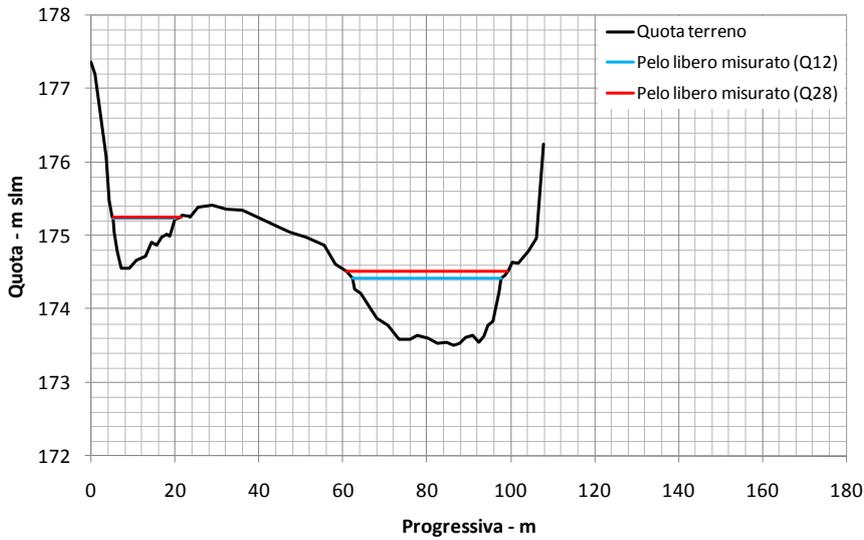


Figura 3-9 Sezione trasversale 5: geometria.

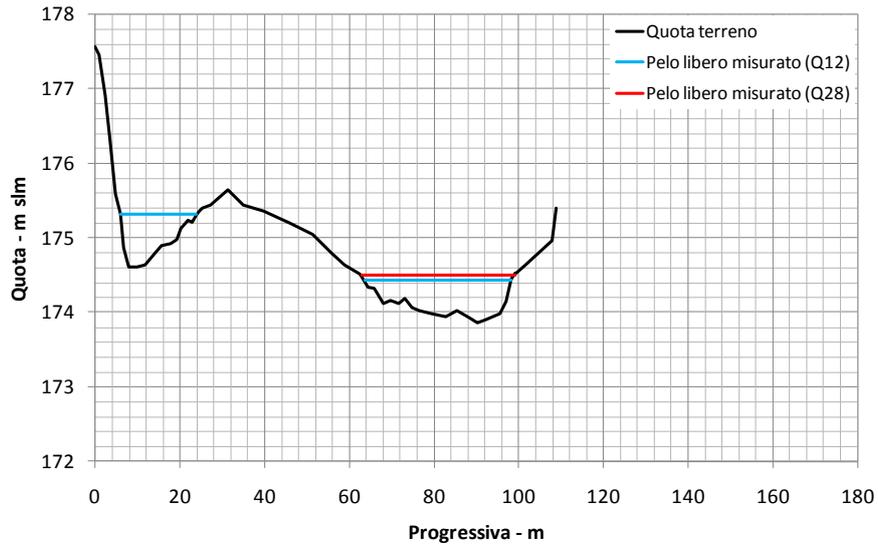


Figura 3-10 Sezione trasversale 6: geometria.

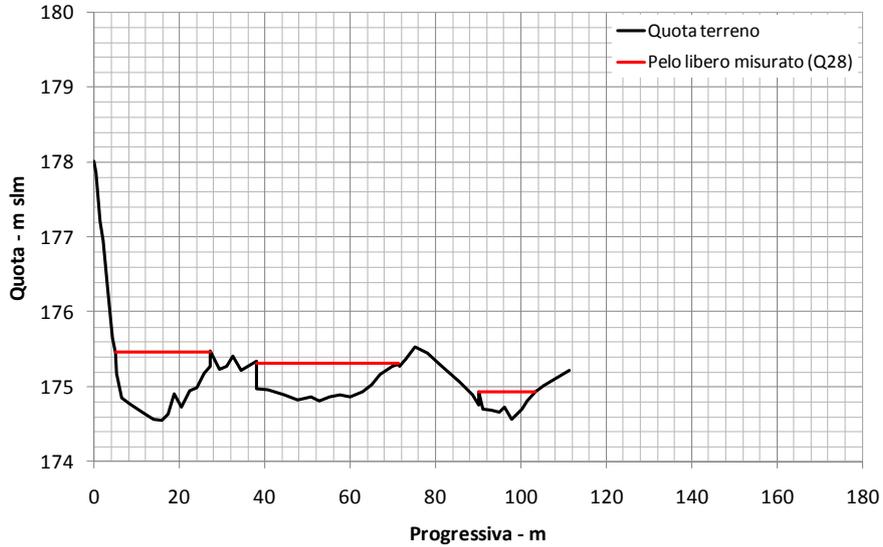


Figura 3-11 Sezione trasversale 7: geometria.

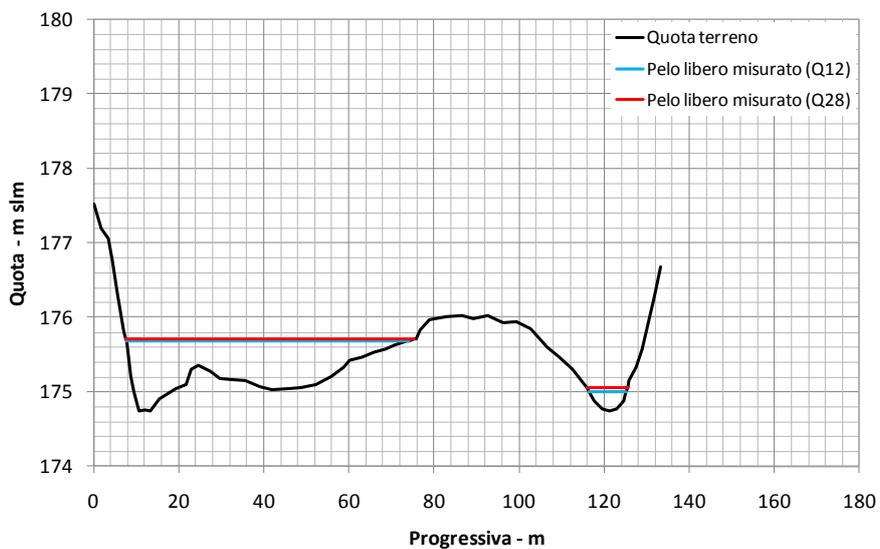


Figura 3-12 Sezione trasversale 8: geometria.

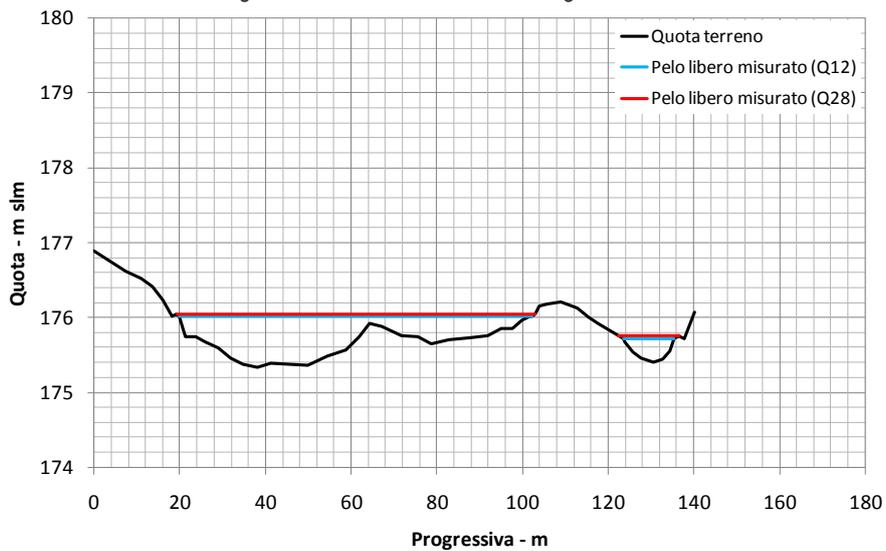


Figura 3-13 Sezione trasversale 9: geometria e inquadramento fotografico.

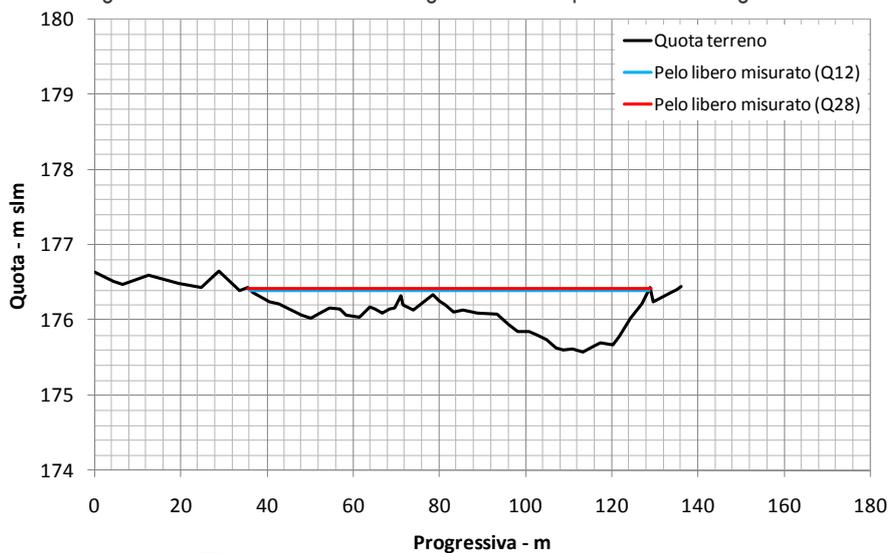


Figura 3-14 Sezione trasversale 10: geometria.

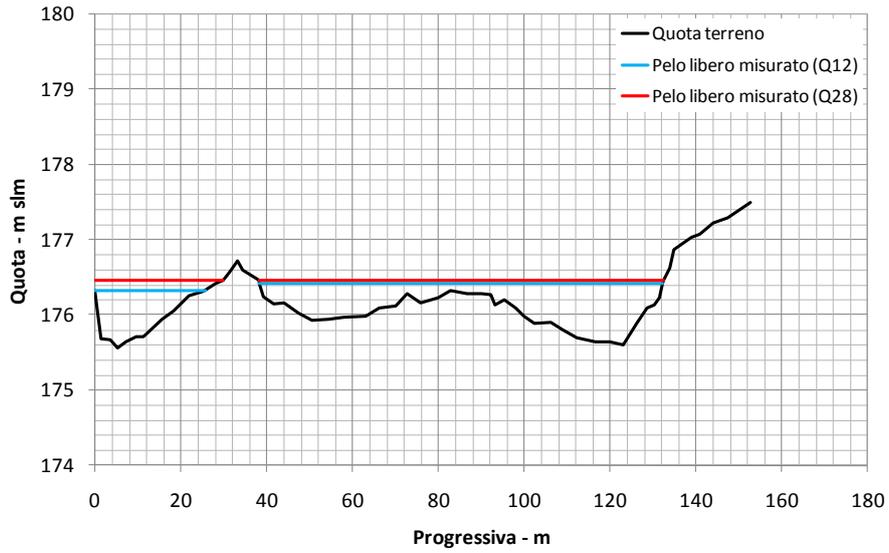


Figura 3-15 Sezione trasversale 11: geometria.

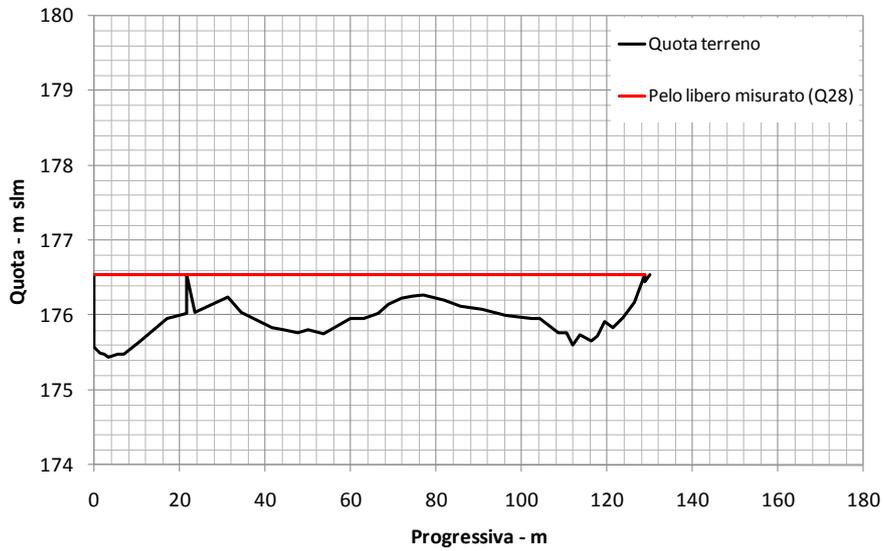


Figura 3-16 Sezione trasversale 12: geometria.

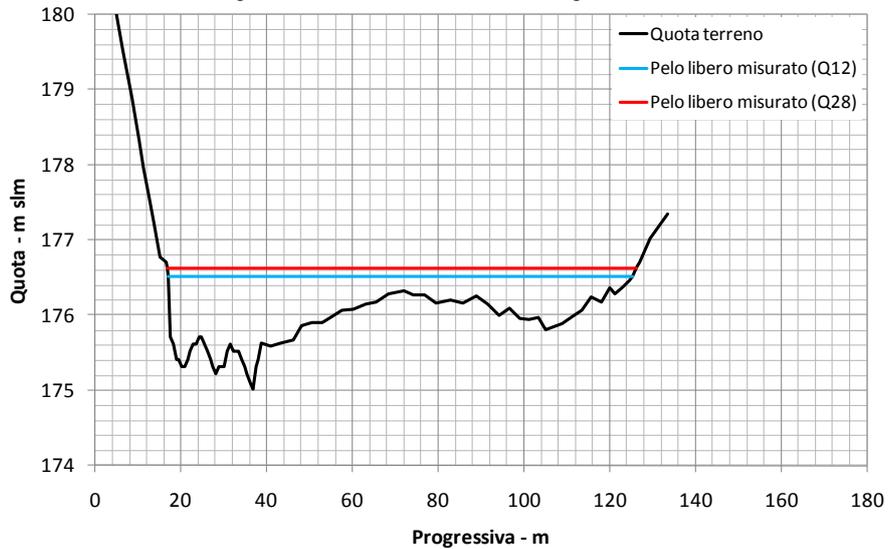


Figura 3-17 Sezione trasversale 13: geometria e inquadramento fotografico.

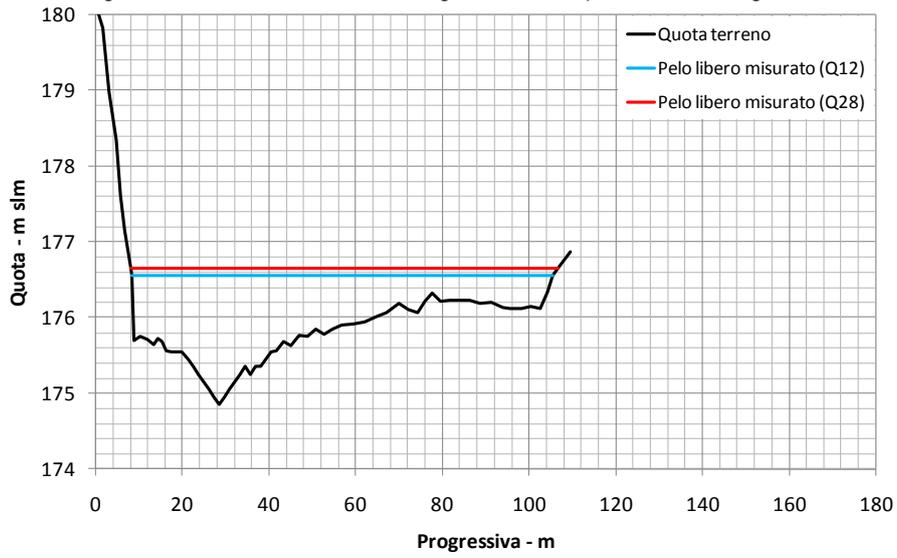


Figura 3-18 Sezione trasversale 14: geometria.

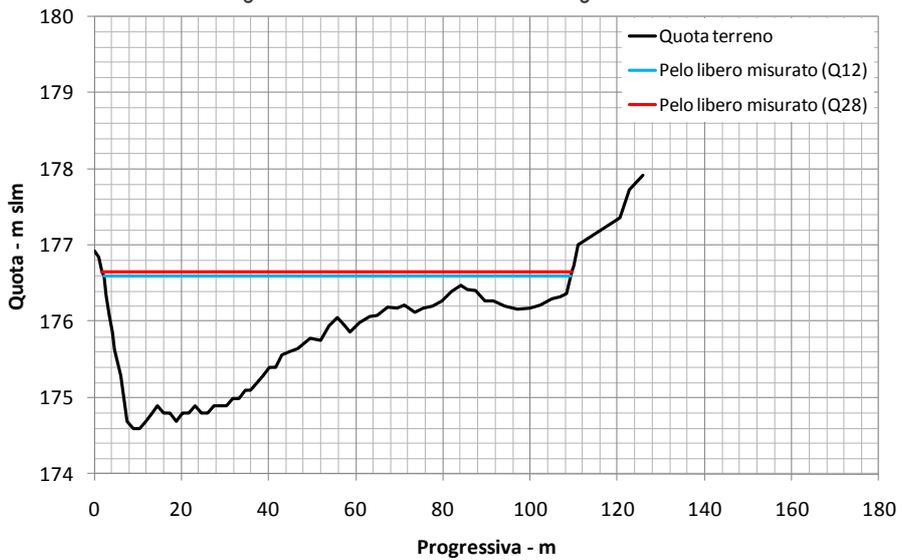


Figura 3-19 Sezione trasversale 15: geometria.

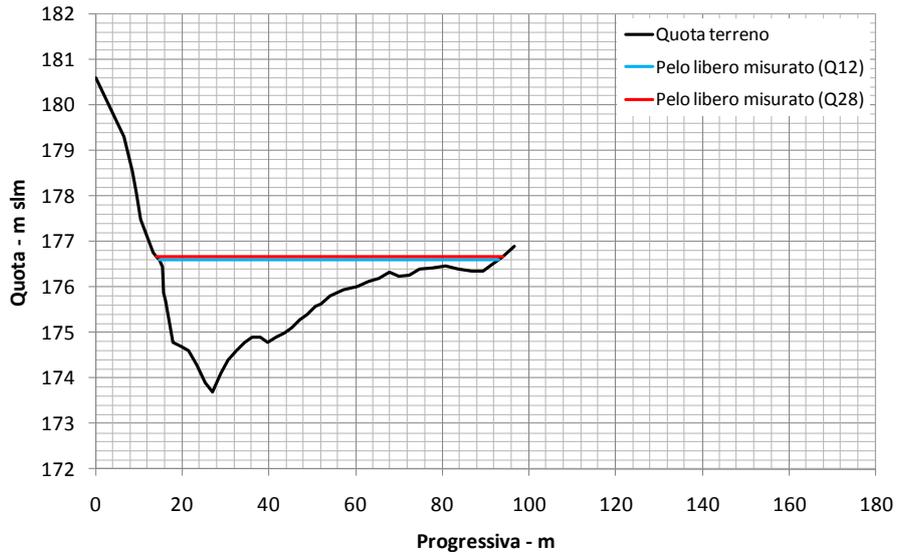


Figura 3-20 Sezione trasversale 16: geometria.

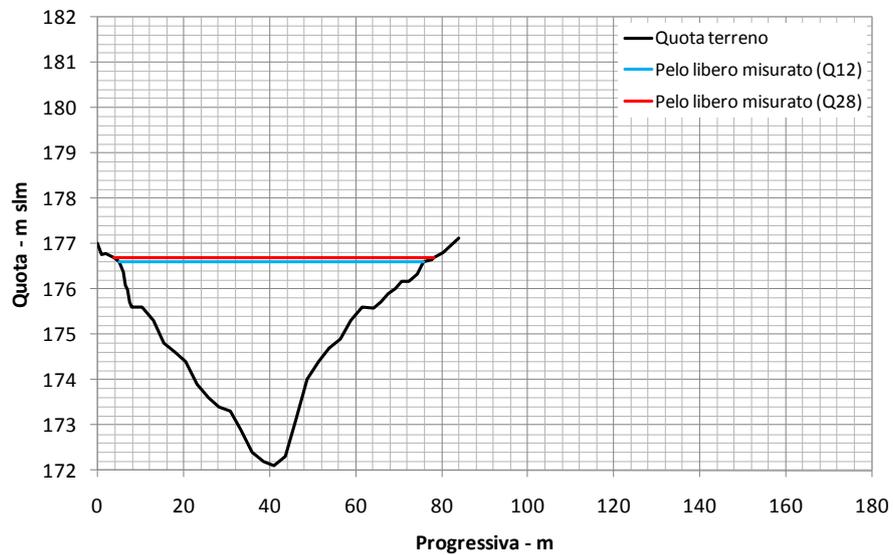


Figura 3-21 Sezione trasversale 17: geometria.

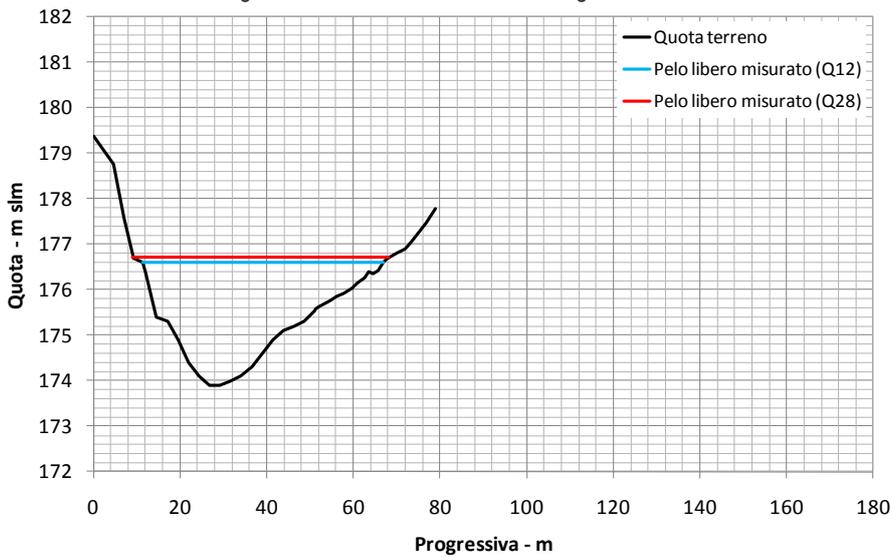
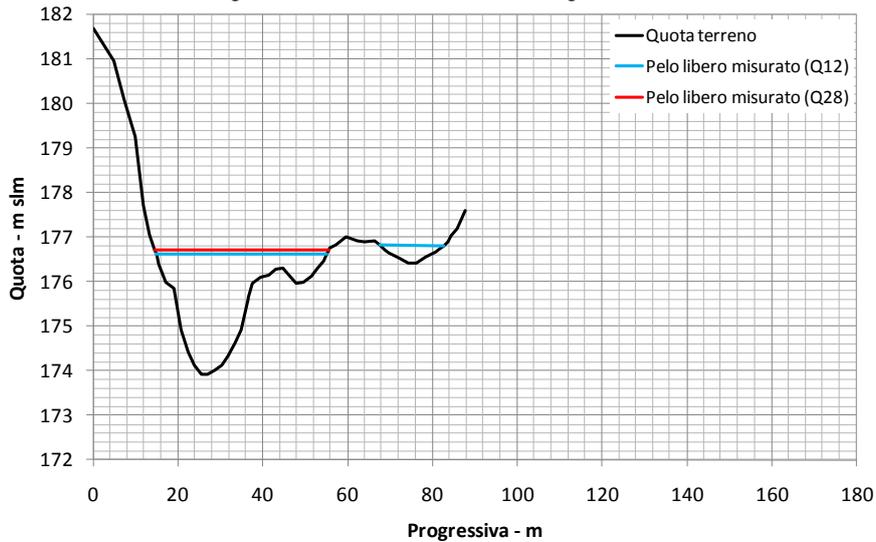


Figura 3-22 Sezione trasversale 18: geometria.



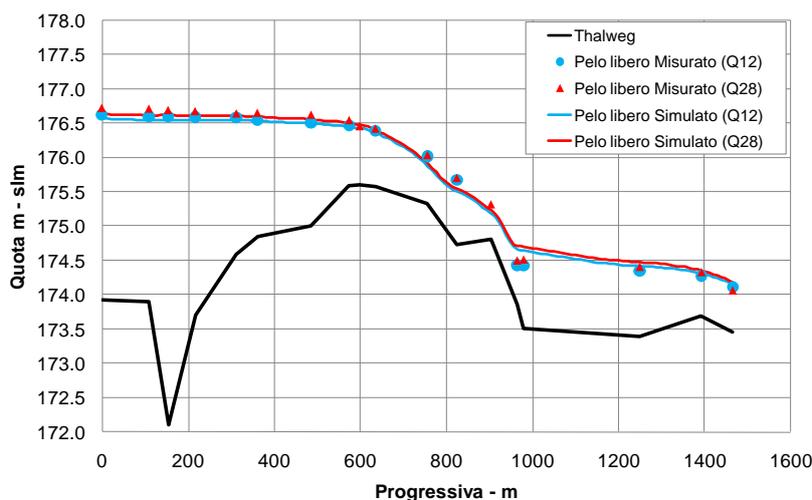
### 3.1.2 SIMULAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE

La modellazione idraulica monodimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software Hec Ras. Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=12 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_2=28 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione al contorno di monte e valle: altezza di moto uniforme che si ha con la pendenza media dell'ultimo tratto.
- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_2$  ( $28 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Il valore di scabrezza è stato calcolato per interpolazione lineare nel caso di valore di portata intermedia tra  $Q_1$  e  $Q_2$ , mentre per valori di portata superiori a  $Q_2$  è stato mantenuto pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . La figura seguente mostra la buona corrispondenza tra i valori di pelo libero rilevati e simulati.

Figura 3-23 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC1.



La simulazione ha riguardato quattro differenti portate:

- $Q_1 = 12 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_2 = 28 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_3 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_4 = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nella tabella seguente sono riportate le variazioni percentuali delle grandezze idrauliche per  $Q_3 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_4 = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ , rispetto alla portata  $Q_1 = 12 \text{ m}^3/\text{s}$ . Si nota che:

- l'incremento di portata del 67% da  $Q_1$  a  $Q_3$  ha come effetto un incremento medio del 2% della larghezza dell'alveo (B), del 4% di della profondità ( $h_m$ ), del 6% dell'area bagnata (A) e del 58% della velocità ( $V_m$ );
- l'incremento di portata del 233% da  $Q_1$  a  $Q_4$  porta ad un incremento medio del 10% di B, del 19% di  $h_m$ , del 31% di A e del 157% di  $V_m$ .

Tabella 3-1 Incremento percentuale grandezze idrauliche confrontando la situazione con portata di  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_1$ ) con le portate di 20 e  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_3$  e  $Q_4$ ).

	INCREMENTO % (Q3-Q1)				INCREMENTO % (Q4-Q1)			
	A-m <sup>2</sup>	B-m	h <sub>m</sub> -m	v <sub>m</sub> -m/s	A-m <sup>2</sup>	B-m	h <sub>m</sub> -m	V <sub>m</sub> -m/s
<b>Sez.1</b>	7%	2%	6%	55%	40%	7%	31%	138%
<b>Sez.2</b>	7%	1%	6%	59%	35%	5%	29%	150%
<b>Sez.3</b>	5%	1%	5%	62%	27%	5%	21%	167%
<b>Sez.4</b>	7%	8%	-1%	54%	41%	27%	11%	135%
<b>Sez.5</b>	9%	5%	4%	53%	58%	27%	24%	109%
<b>Sez.7</b>	7%	3%	4%	55%	38%	14%	21%	140%
<b>Sez.8</b>	9%	3%	5%	52%	46%	13%	30%	127%
<b>Sez.9</b>	7%	2%	5%	57%	37%	17%	18%	143%
<b>Sez.10</b>	7%	1%	6%	57%	34%	6%	27%	148%
<b>Sez.12</b>	6%	0%	6%	55%	28%	1%	26%	155%
<b>Sez.13</b>	5%	0%	5%	59%	24%	0%	23%	171%
<b>Sez.14</b>	4%	0%	4%	62%	21%	2%	19%	177%
<b>Sez.15</b>	4%	1%	3%	67%	18%	3%	15%	187%

	INCREMENTO % (Q3-Q1)				INCREMENTO % (Q4-Q1)			
	A-m <sup>2</sup>	B-m	h <sub>m</sub> -m	v <sub>m</sub> -m/s	A-m <sup>2</sup>	B-m	h <sub>m</sub> -m	V <sub>m</sub> -m/s
<b>Sez.16</b>	2%	1%	1%	63%	9%	9%	0%	200%
<b>Sez.17</b>	3%	1%	2%	60%	13%	9%	4%	193%
<b>Sez.18</b>	4%	4%	0%	64%	21%	18%	2%	180%
<b>Media</b>	<b>6%</b>	<b>2%</b>	<b>4%</b>	<b>58%</b>	<b>31%</b>	<b>10%</b>	<b>19%</b>	<b>157%</b>

Nei grafici seguenti viene rappresentato l'andamento di queste grandezze in funzione della portata.

Figura 3-24 Variazione della larghezza media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

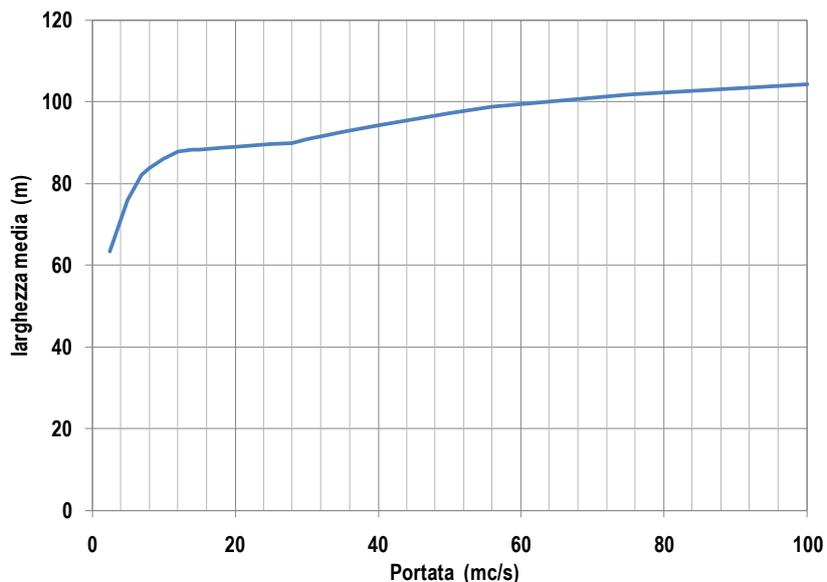


Figura 3-25 Variazione della profondità media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

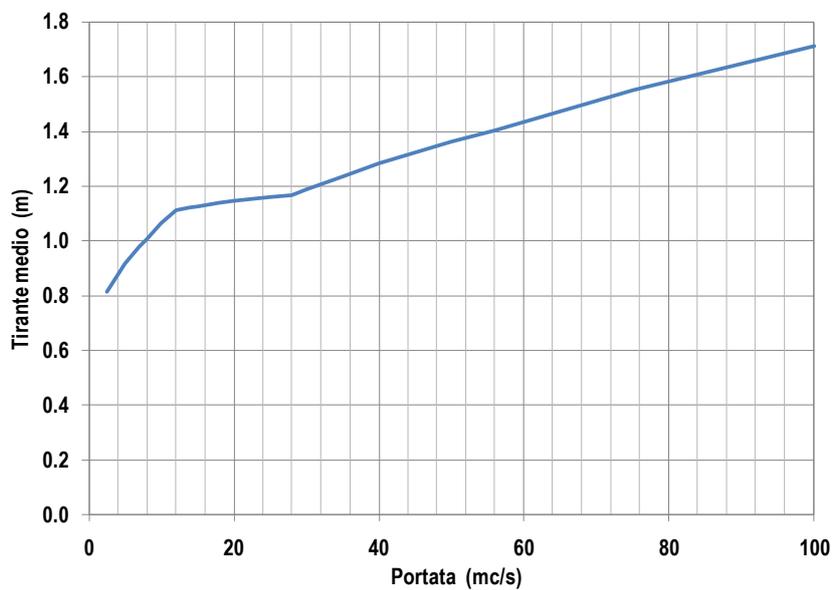
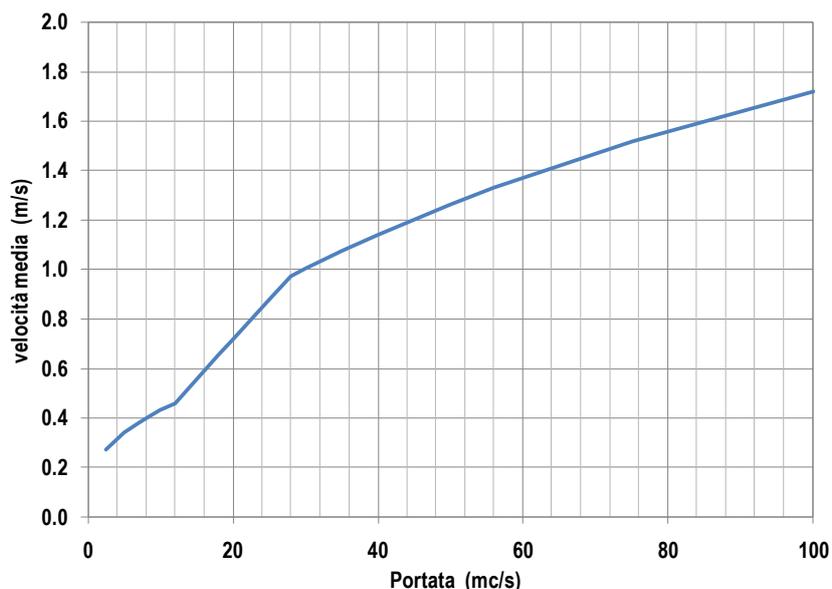


Figura 3-26 Variazione della velocità media di corrente in funzione della portata.



Si noti che la modellazione idraulica 1D ha il limite di non permettere la modellazione dei rami secondari aventi quote di pelo libero diverse da quelle dell'alveo principale, presenti nel caso in esame.

### **3.1.3 SIMULAZIONE ECOLOGICA MONODIMENSIONALE**

A fini ecologici è stato poi applicato il modello CASiMiR-Fish (Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements), utilizzando come specie target il barbo comune.

Di seguito sono presentati i risultati grafici relativi all'idoneità del tratto per il barbo comune, allo stadio adulto e giovanile, sia tenendo conto del parametro "substrato", sia tenendo conto solo dei parametri "velocità" e "profondità".

Figura 3-27 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando i parametri profondità, velocità e substrato.

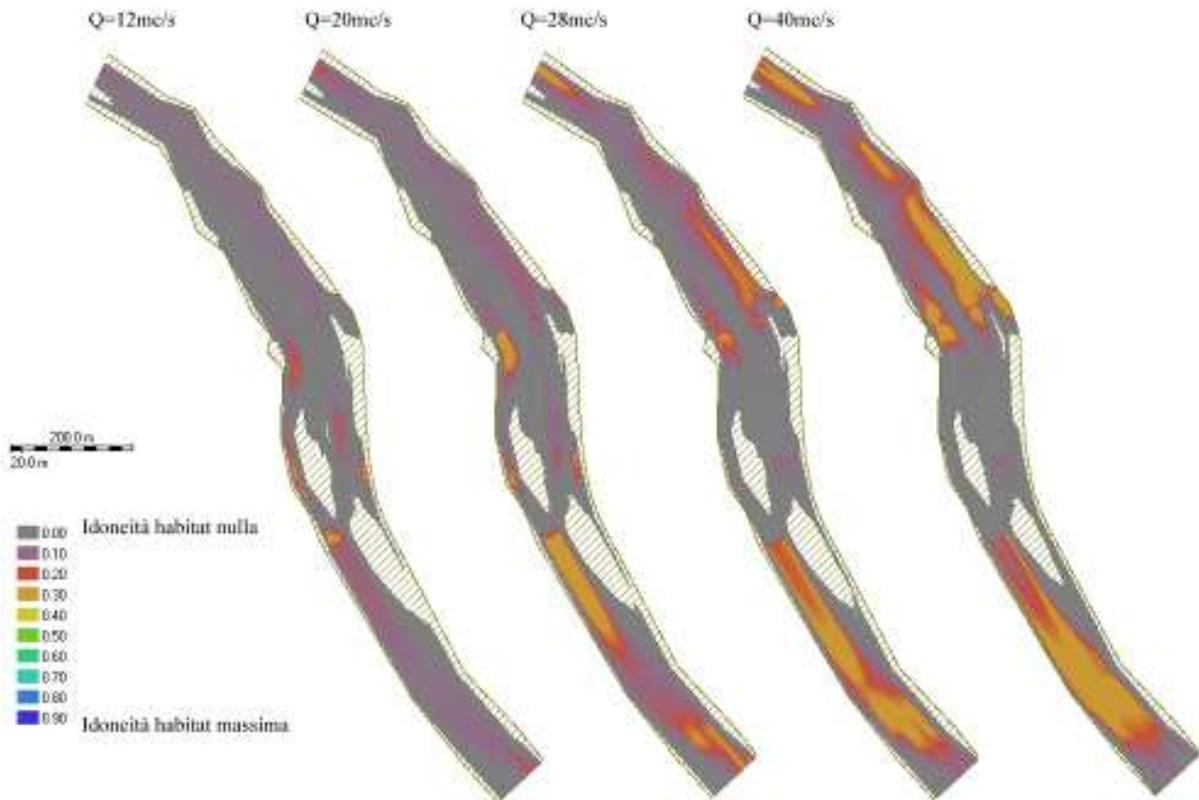


Figura 3-28 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

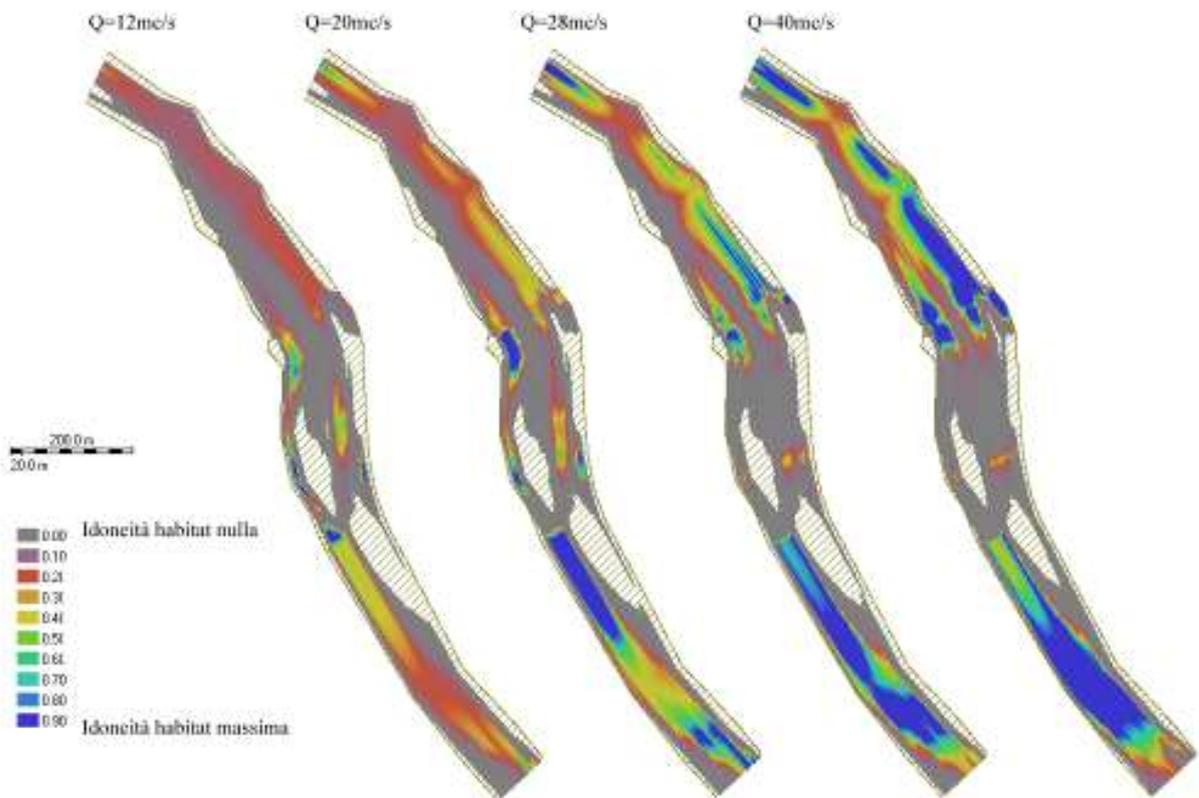


Figura 3-29 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando i parametri profondità, velocità e substrato.

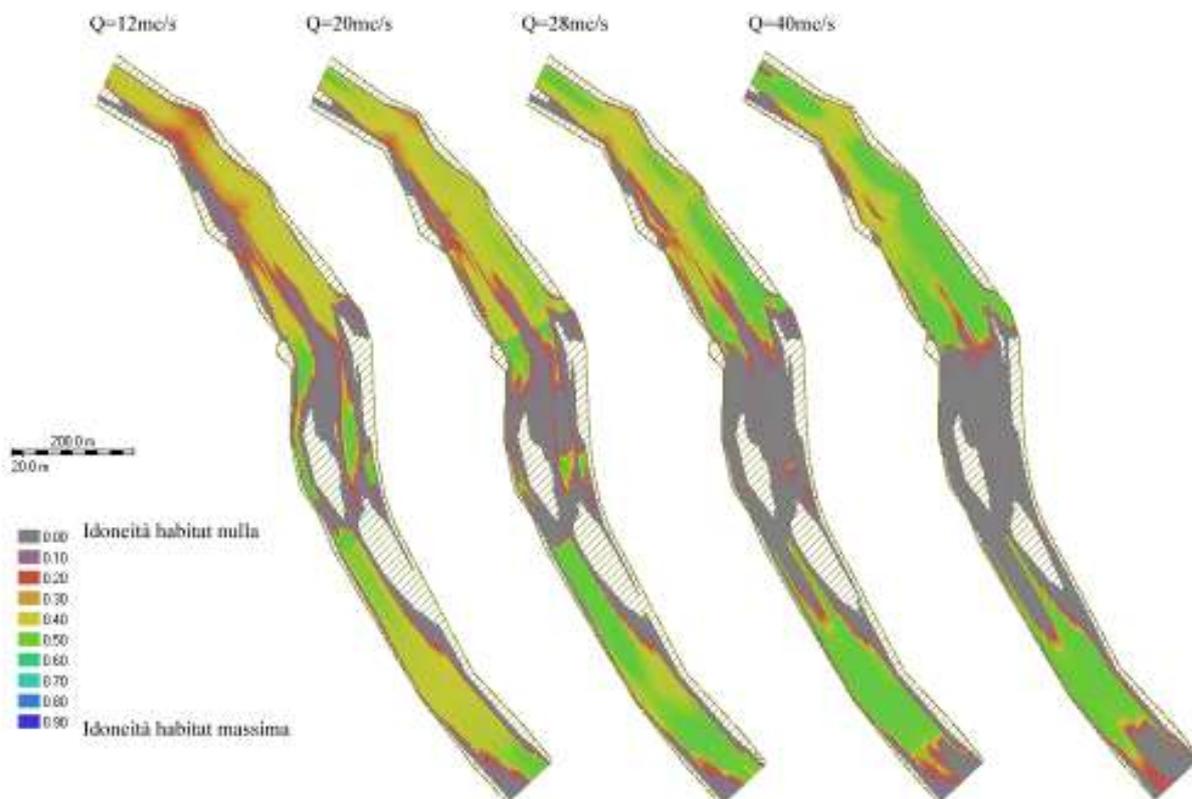
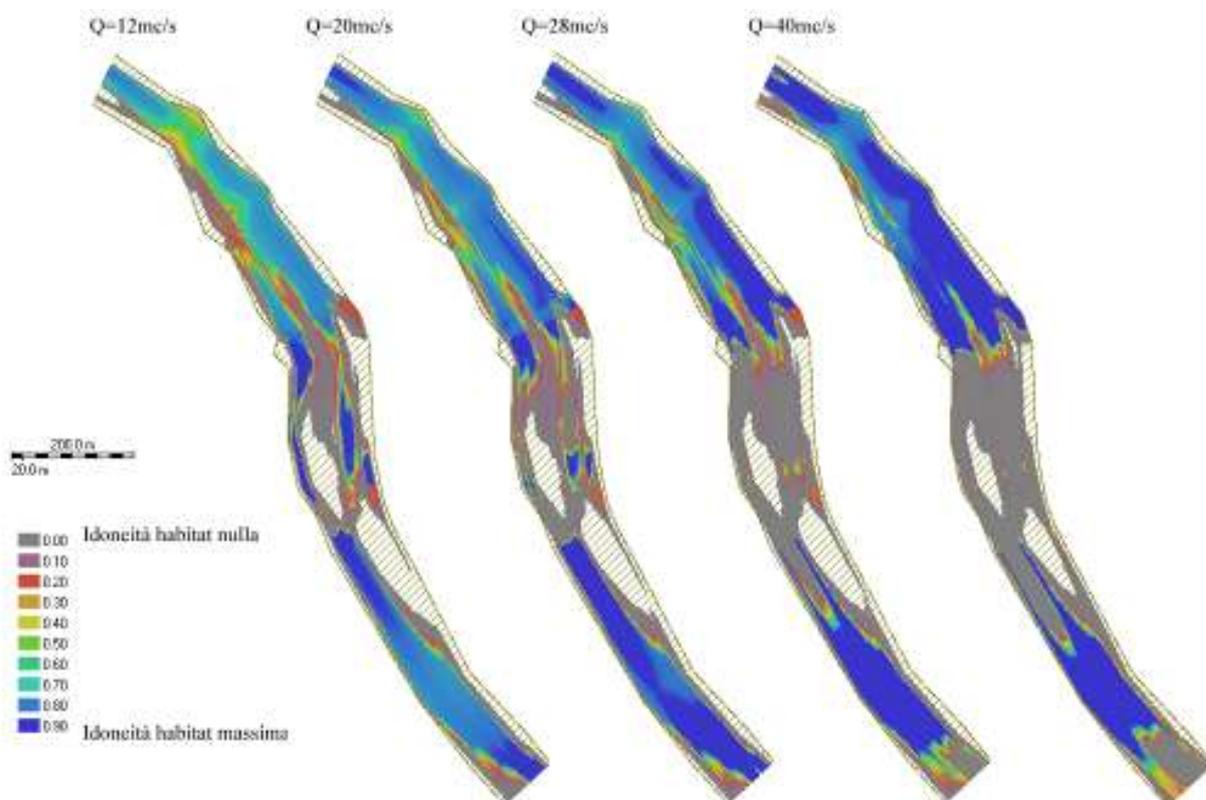


Figura 3-30 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.



Nei grafici e nelle tabelle seguenti è mostrato l'andamento dell'area disponibile ponderata in funzione della portata per il barbo comune adulto e giovane, sia escludendo l'effetto della granulometria del substrato, sia tenendo conto di questo parametro.

Tabella 3-2 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente e substrato.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		12	20	28	40
Indice di idoneità dell'habitat HHS [-]	barbo comune adulto	4 %	7 %	8 %	11 %
	barbo comune giovane	26 %	27 %	25 %	26 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	4147	7708	9835	13345
	barbo comune giovane	28575	31241	29144	31718

Tabella 3-3 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		12	20	28	40
Indice di idoneità dell'habitat HHS [-]	barbo comune adulto	12 %	23 %	28 %	36 %
	barbo comune giovane	49 %	53 %	48 %	50 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	13824	25692	32782	44482
	barbo comune giovane	54953	60079	56047	60996

Figura 3-31 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando tutti i parametri: profondità, velocità e substrato.

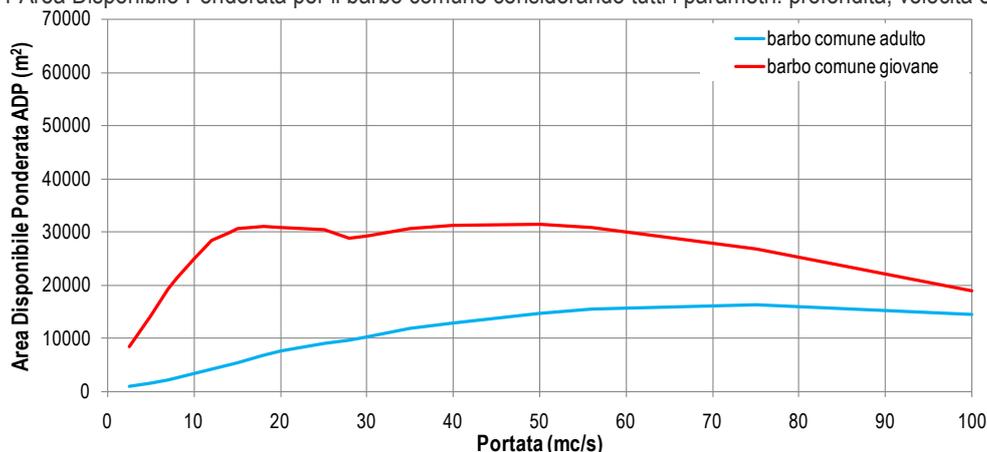
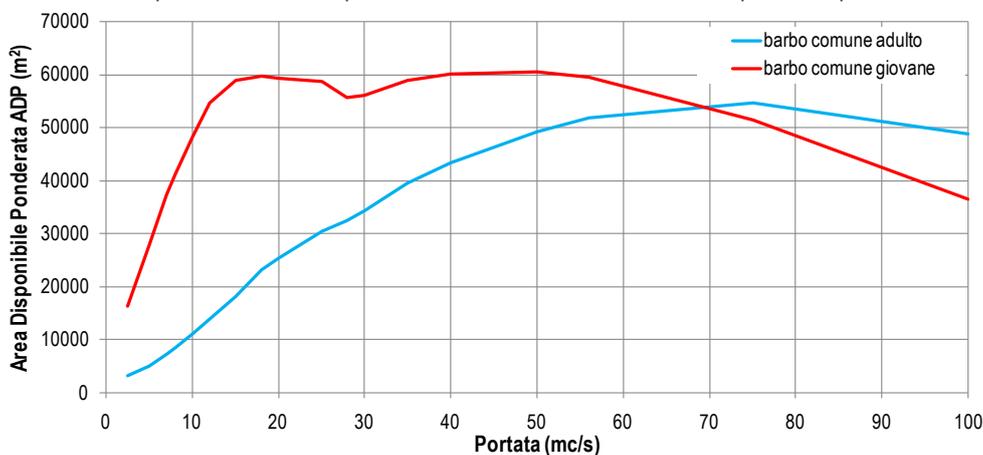


Figura 3-32 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.



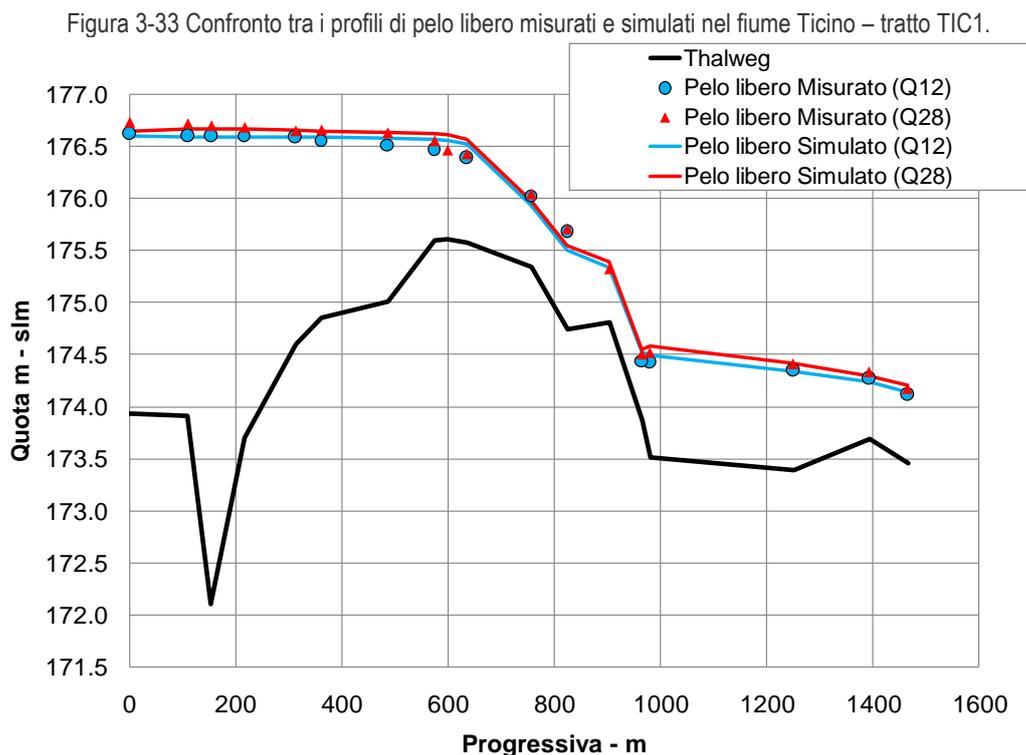
### 3.1.4 SIMULAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione idraulica bidimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software River2D: un modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti, utilizzato per studi di idroecologia su fiumi e torrenti, sviluppato dall'Università di Alberta (Canada).

Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=12 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_2=28 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione al contorno di monte: portata di calibrazione.
- Condizione al contorno di valle: scala di deflusso ottenuta dalle misure in campo.
- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

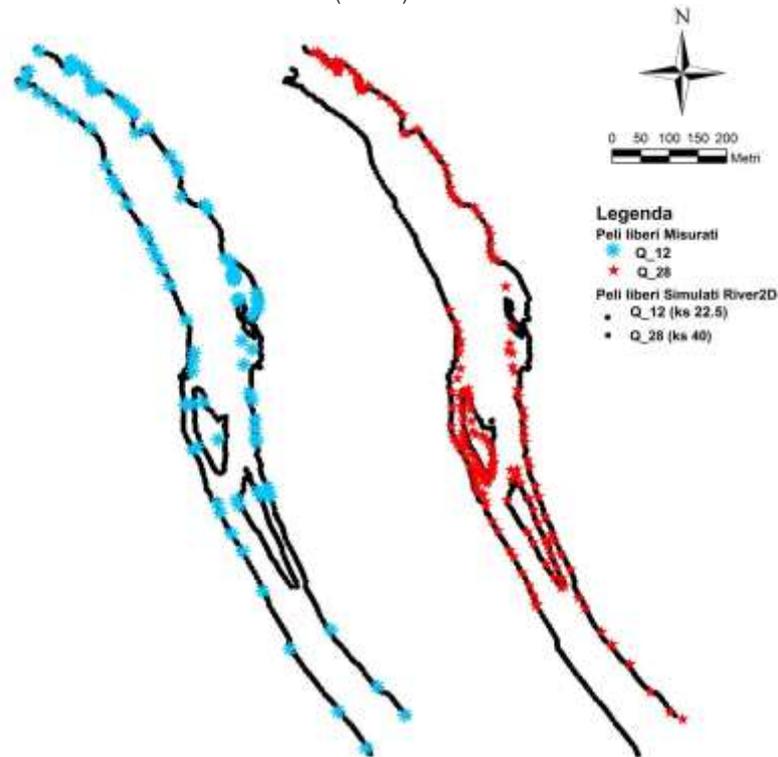
Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_2$  ( $28 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Nella figura seguente è riportato il confronto tra le quote di pelo libero misurate e simulate. Rispetto alla modellazione 1D si ha una migliore corrispondenza misurato-simulato nella seconda metà del tratto.



Nella figura seguente è riportata la posizione, in planimetria, dell'intersezione tra la morfologia dell'alveo fluviale e il pelo libero, ottenuta con la simulazione e la posizione di alcuni punti del pelo libero rilevati in campo. Si nota una buona corrispondenza planimetrica. In alcune zone localizzate

si mostra una differenza legata alla presenza di tiranti molto bassi e modeste variazioni di quota nella direzione trasversale.

Figura 3-34 Confronto dei confini planimetrici dell'alveo bagnato misurato e simulato con River2D per  $Q=12\text{m}^3/\text{s}$  (sinistra) e per  $Q=28\text{m}^3/\text{s}$  (destra) – tratto TIC1.



Nelle figure seguenti sono riportati i risultati di calcolo ottenuti in corrispondenza delle sezioni trasversali in alcune sezioni presentate nei precedenti paragrafi. Si noti come la modellazione 2D sia in grado di modellare la presenza di rami secondari caratterizzati da quote del pelo libero diverse rispetto a quelle dell'alveo principale.

Figura 3-35 Sezione 2: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

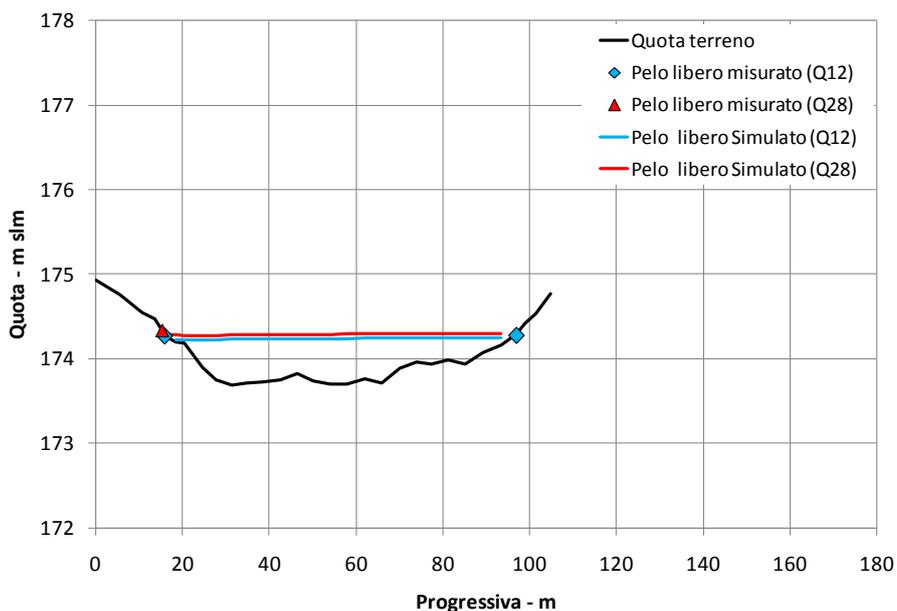


Figura 3-36 Sezione 4: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

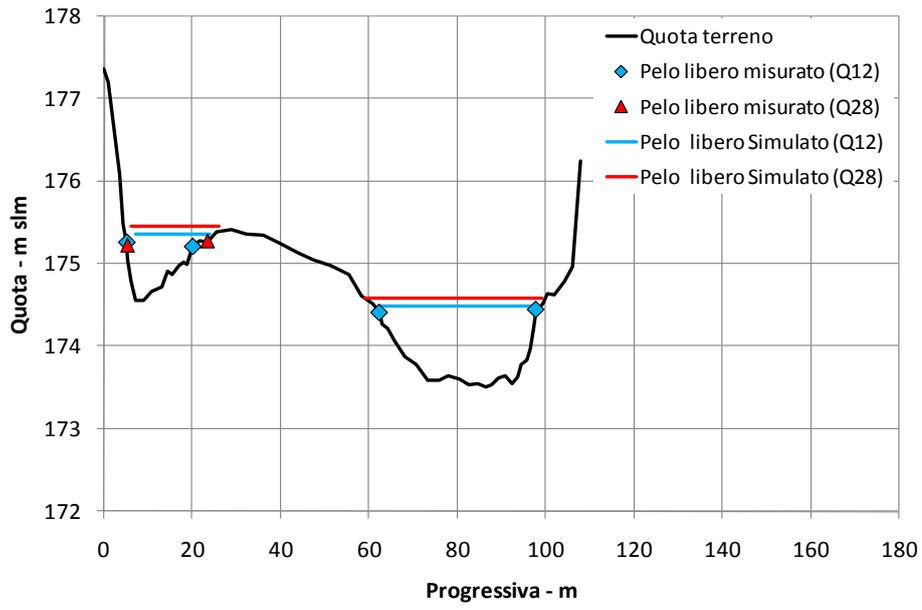


Figura 3-37 Sezione 9: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

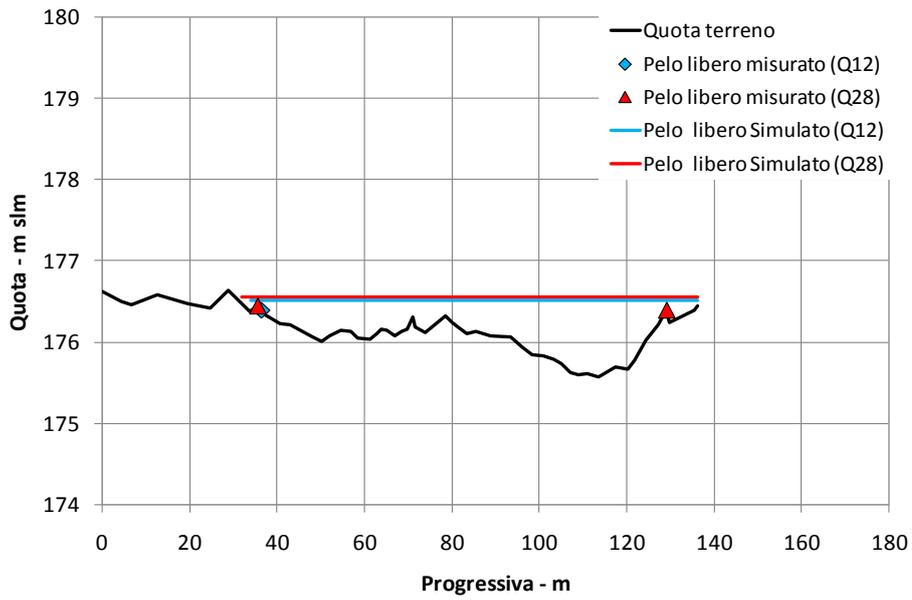
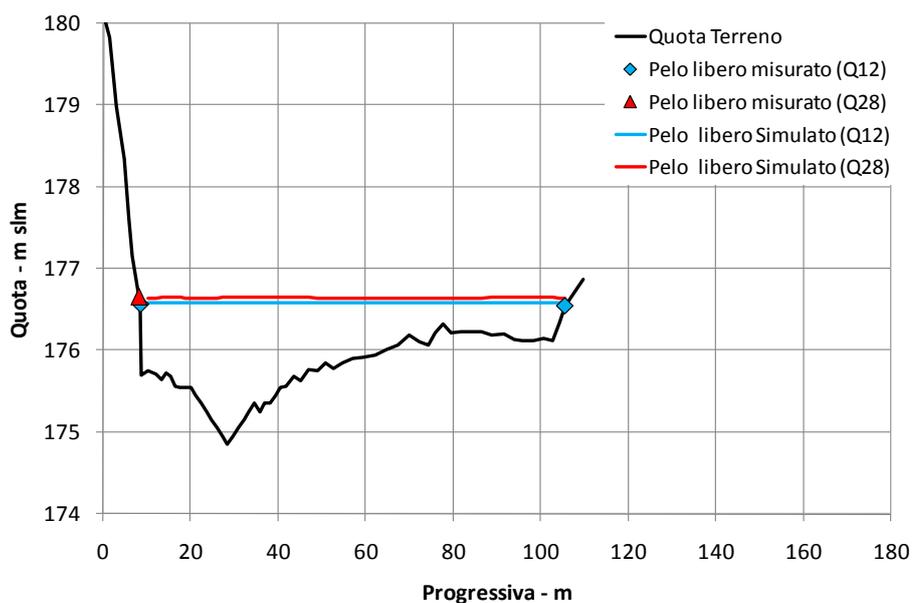


Figura 3-38 Sezione 13: confronto fra peli liberi simulati e misurati.



I risultati ottenuti dalla modellazione 2D, relativi alla distribuzione planimetrica del valore della velocità e del tirante, sono riportati nelle figure seguenti. Si nota che il primo tratto è caratterizzato da velocità generalmente inferiori rispetto al tratto centrale e finale. Inoltre è evidente la presenza di una pool nel primissimo tratto di monte.

Figura 3-39 Simulazione della velocità tramite il software River2D.

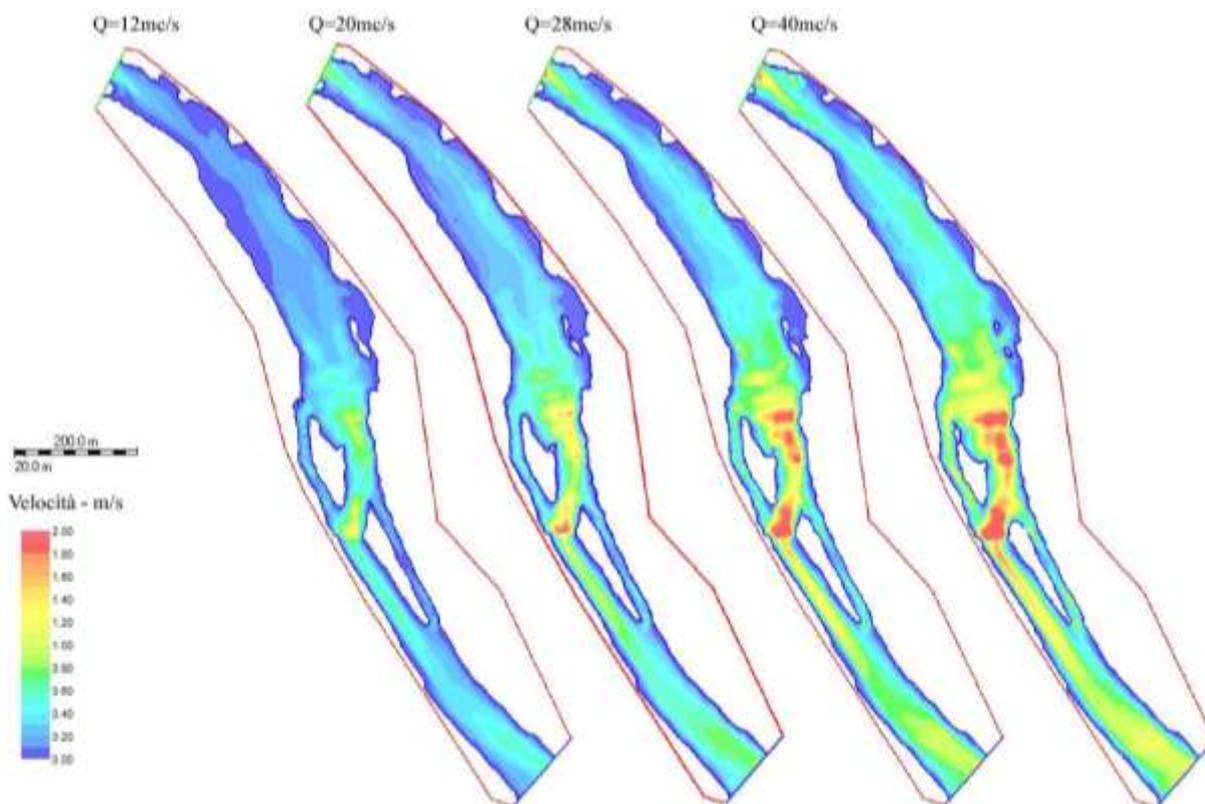


Figura 3-40 Simulazione del tirante tramite il software River2D.

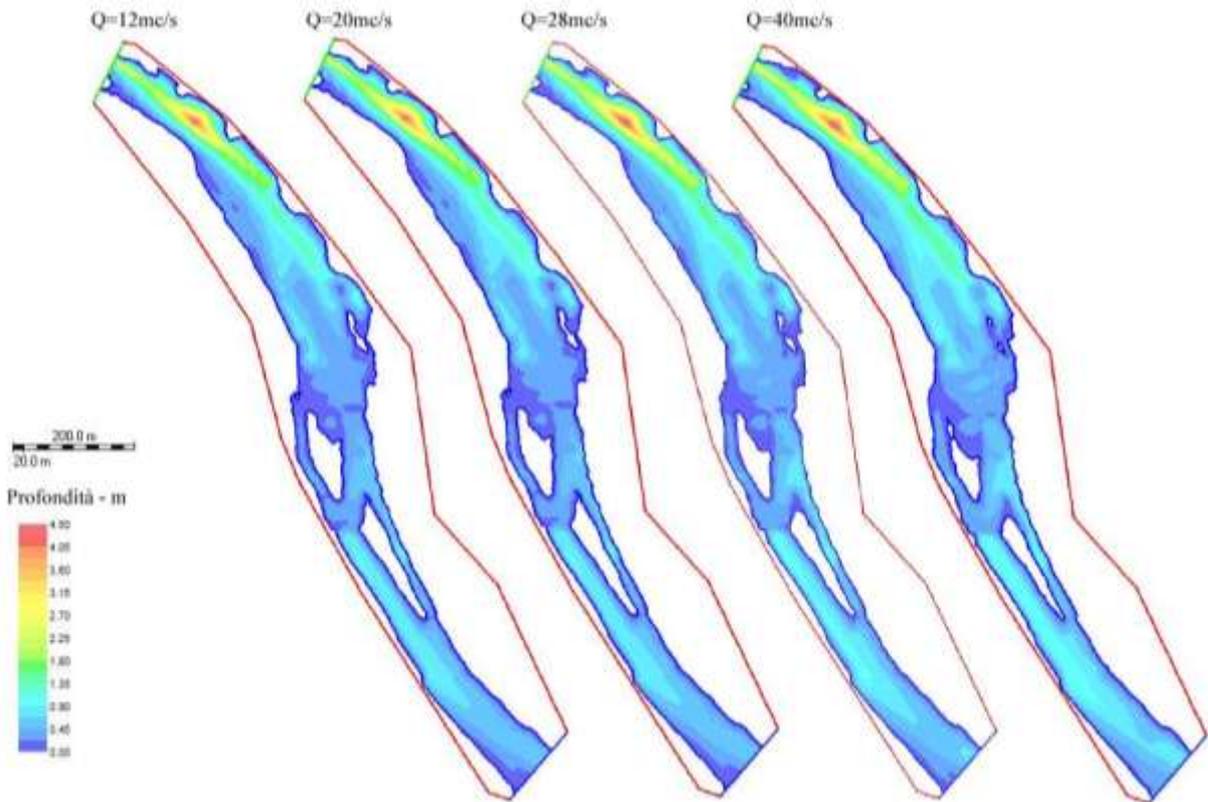


Figura 3-41 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando i parametri profondità, velocità e substrato.

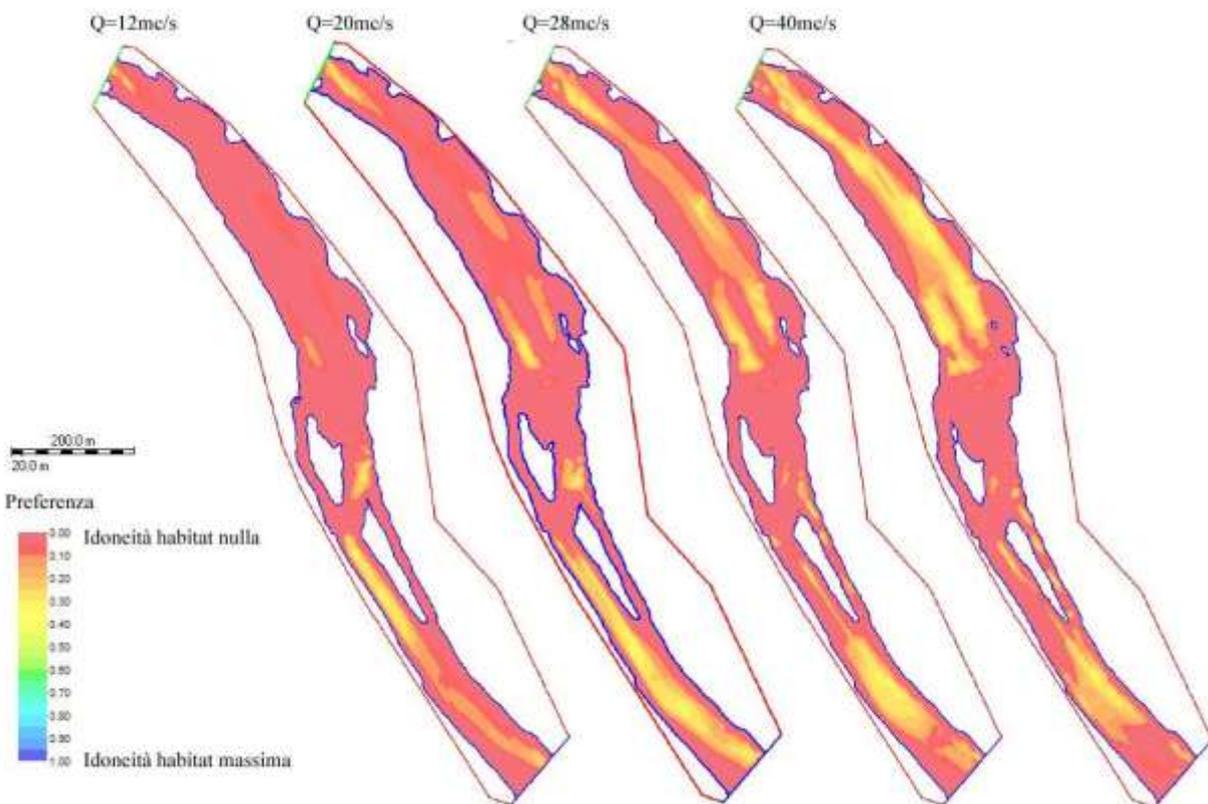


Figura 3-42 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

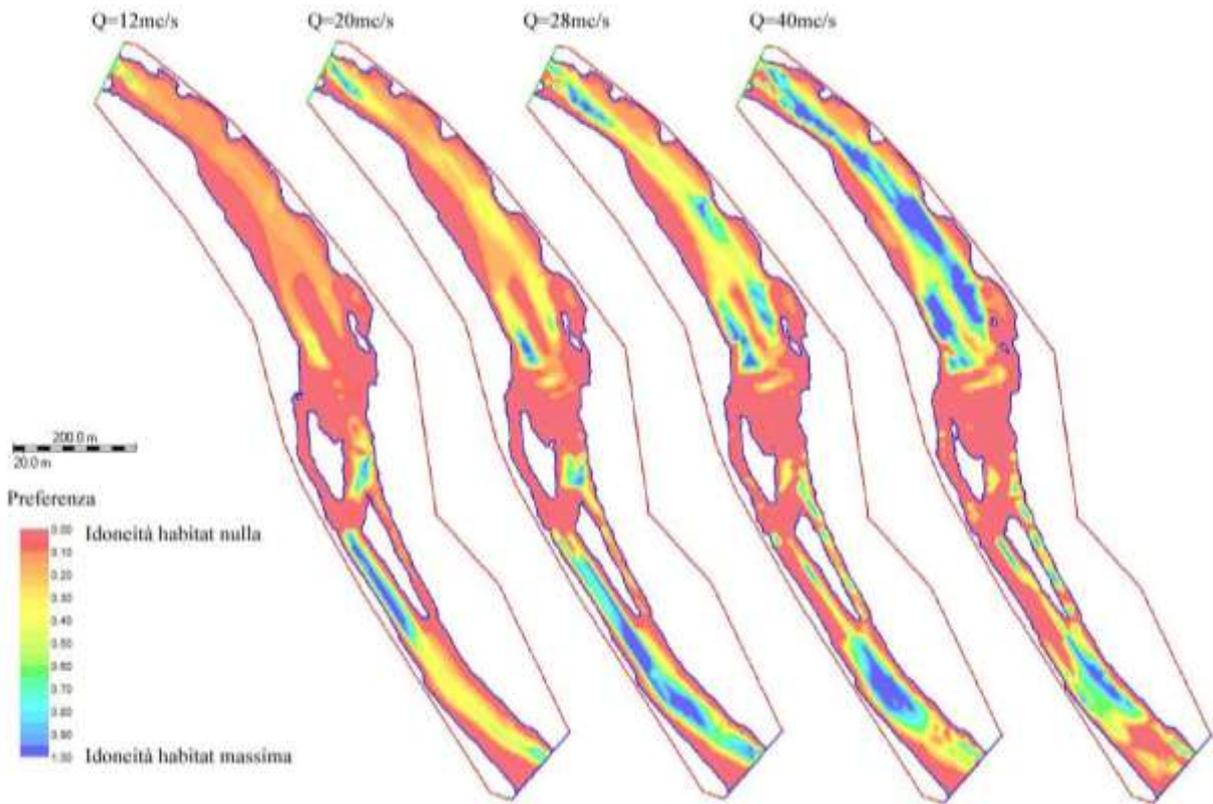


Figura 3-43 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando i parametri profondità, velocità e substrato.

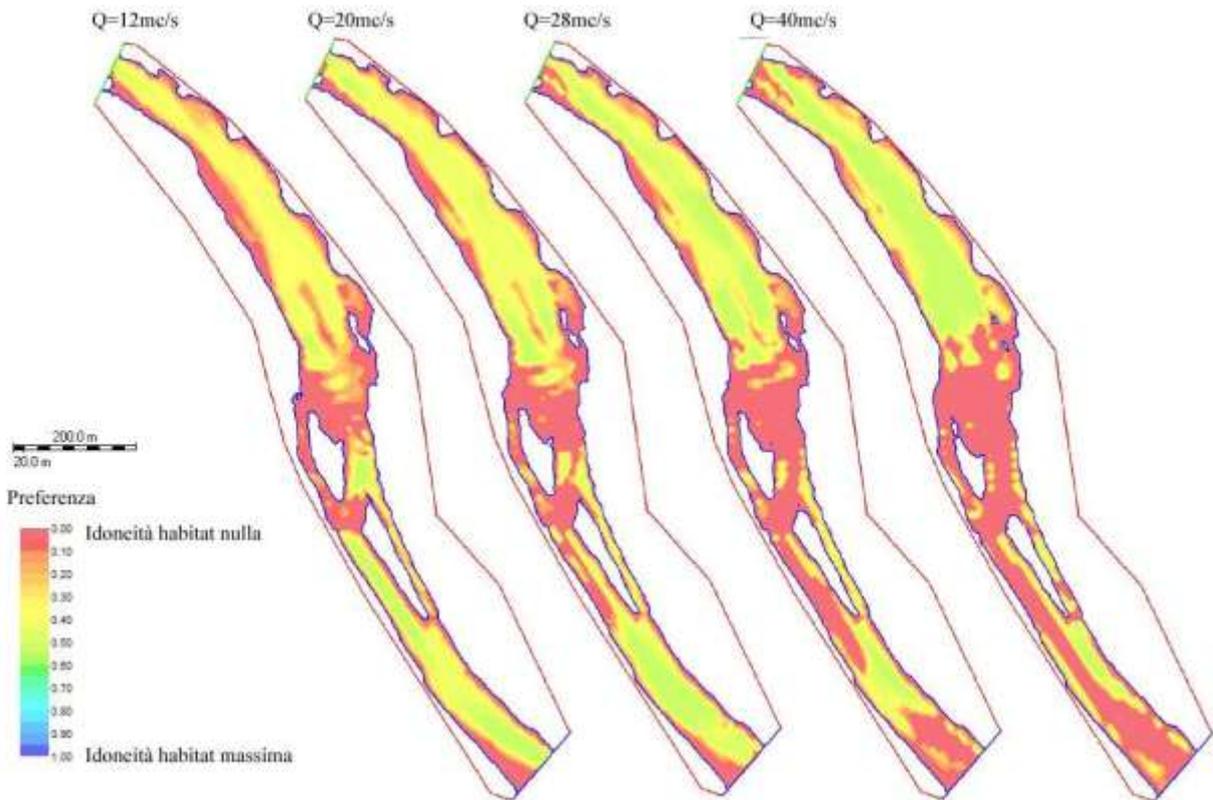
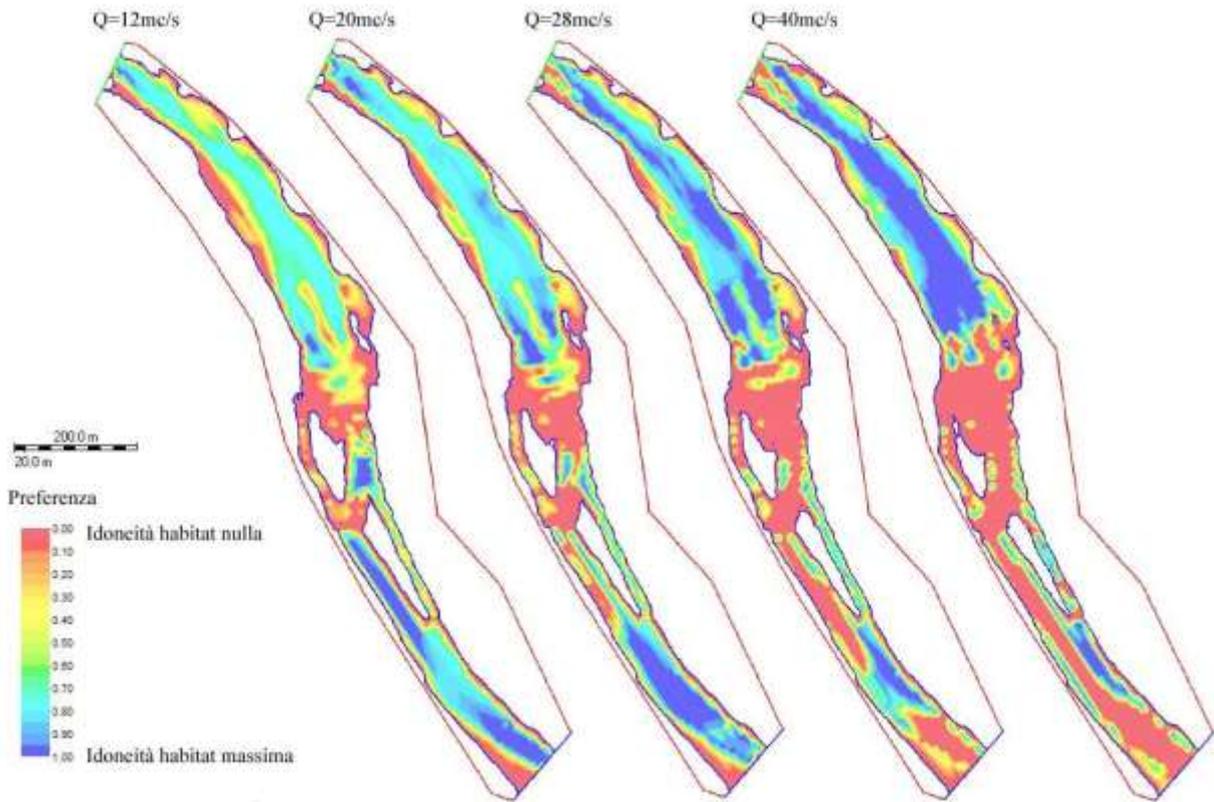


Figura 3-44 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.



Nelle tabelle e figure seguenti sono riportati i risultati relativi all'intero tratto di studio.

Tabella 3-4 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente e substrato.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		12	20	28	40
Indice di idoneità dell'habitat HHS [%]	barbo comune adulto	4 %	7 %	8 %	9 %
	barbo comune giovane	24 %	26 %	24 %	22 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	5158	8207	9134	11694
	barbo comune giovane	29000	31412	28110	28549

Tabella 3-5 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità e velocità di corrente.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		12	20	28	40
Indice di idoneità dell'habitat HHS [%]	barbo comune adulto	15 %	22 %	25 %	30 %
	barbo comune giovane	47 %	49 %	44 %	42 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	17193	27359	30448	38979
	barbo comune giovane	55769	60408	54058	54902

Figura 3-45 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando tutti i parametri: profondità, velocità e substrato.

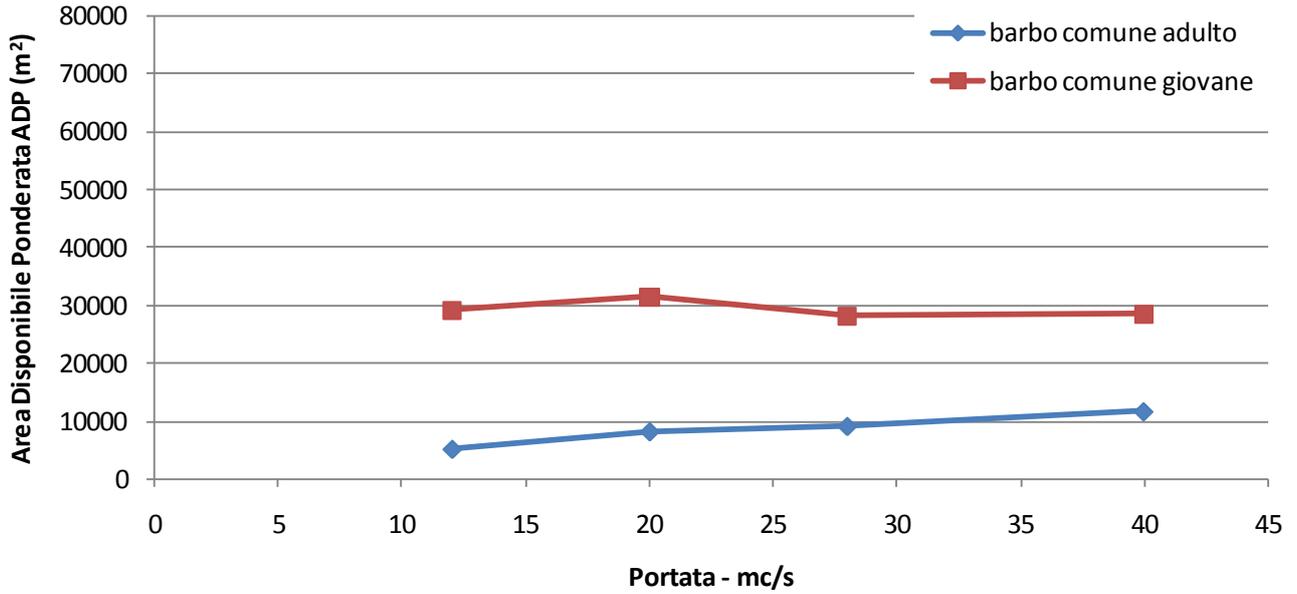
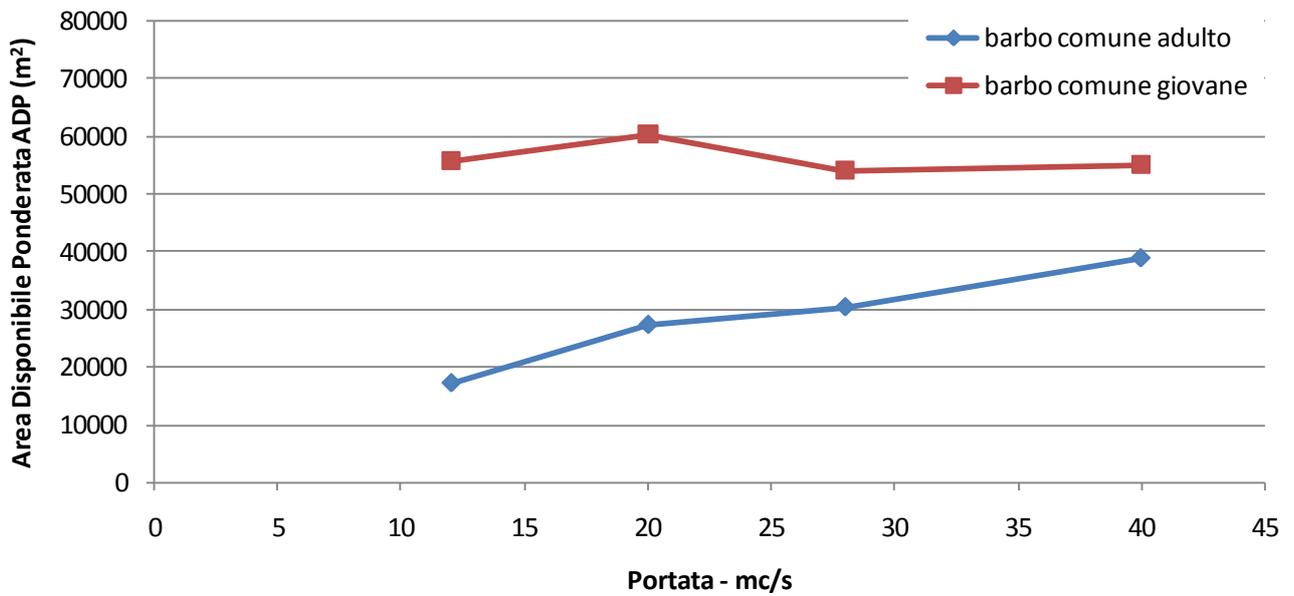


Figura 3-46 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.



### 3.3 FIUME TICINO A LONATE POZZOLO: TIC3

Il tratto di fiume Ticino in oggetto è localizzato a circa 350 m a monte del ponte di Oleggio. I dati principali del tratto rilevato sono:

- Lunghezza: 467 m.
- N° sezioni rilevate: 11.

Il rilievo è stato effettuato con una portata pari a  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_1$ ) e successivamente con una portata pari a  $22 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_2$ ).

Figura 3-47 Localizzazione del tratto TIC3 oggetto di studio.

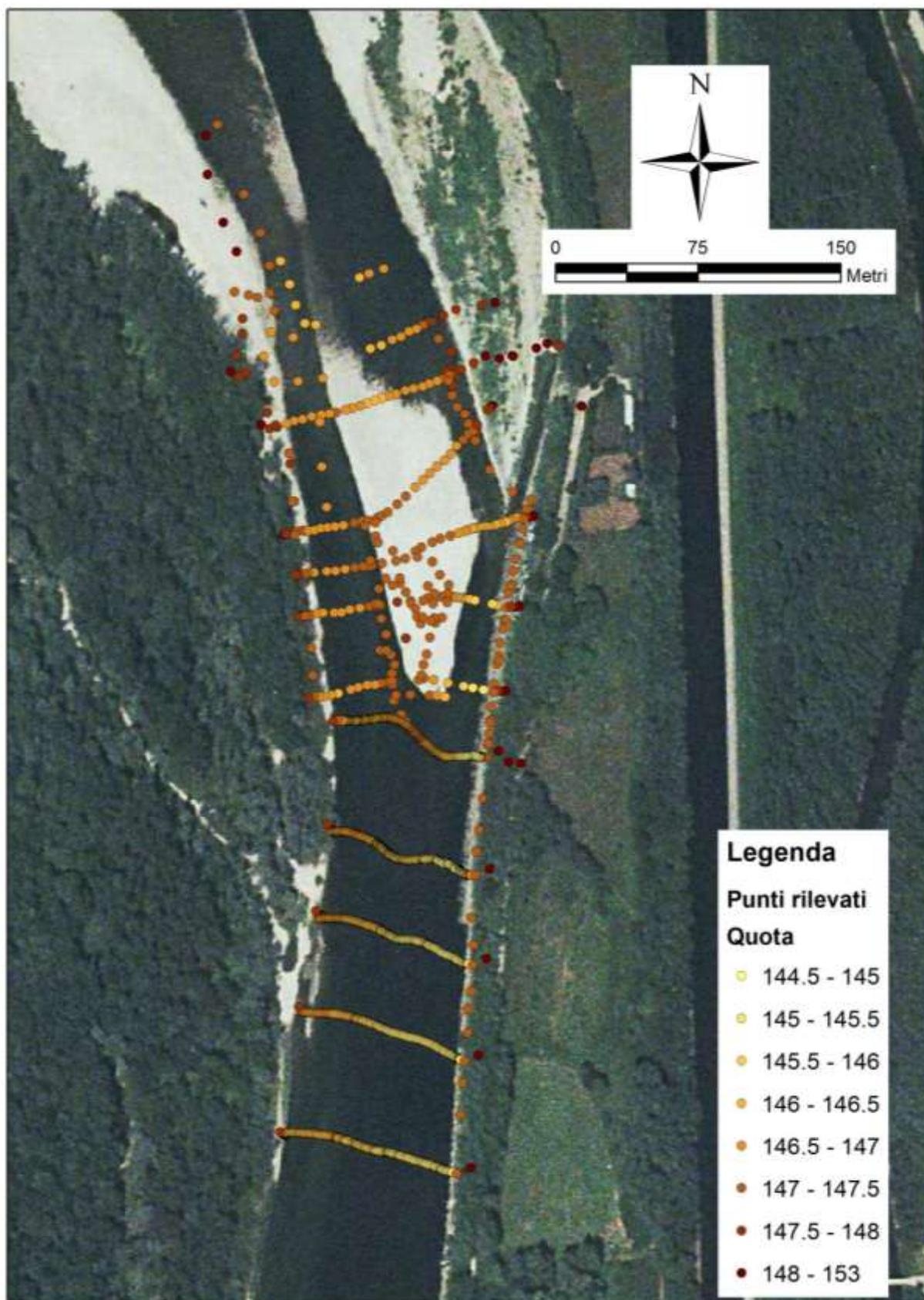


Figura 3-48 Strumentazione utilizzata per il rilievo topografico e misura della velocità.



La planimetria del tratto ottenuta con rilievo GPS, stazione totale e battellino ADV è riportata nella figura seguente.

Figura 3-49 Planimetria quotata del tratto TIC3 rilevato.

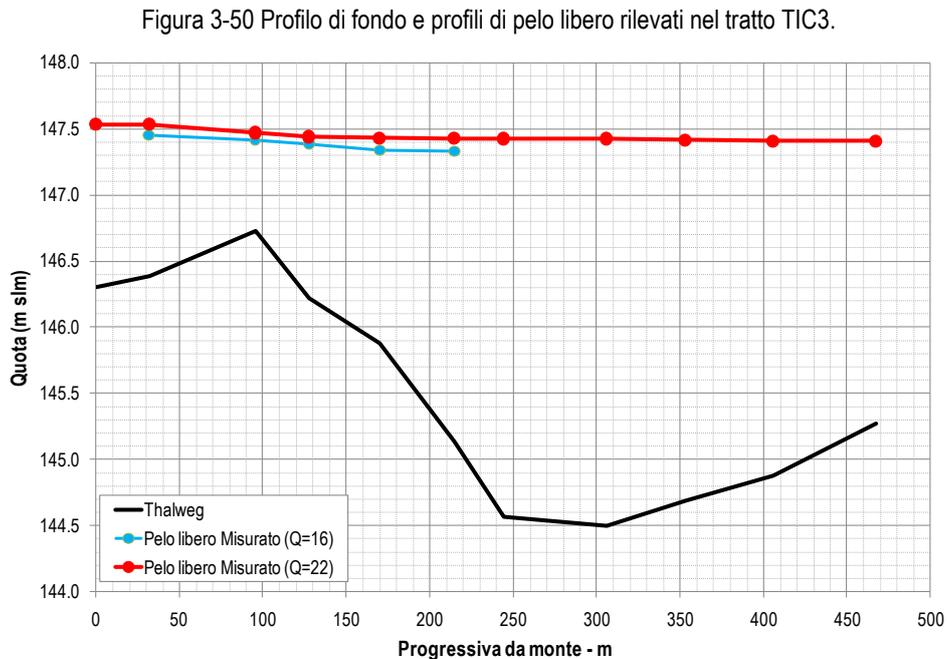


### 3.3.1 RISULTATI DEI RILIEVI TOPOGRAFICI E IDRAULICO-MORFOLOGICI

In questo paragrafo sono riportati i risultati dei rilievi topografici e idraulico-morfologici effettuati sul fiume Ticino nel tratto TIC3.

#### Rilievo del pelo libero

Il profilo di fondo alveo (thalweg) e il profilo di pelo libero sono presentati nella figura seguente.



#### Rilievo delle sezioni trasversali

Nelle figure seguenti sono riportate le 11 sezioni trasversali rilevate con la quota media di pelo libero. Per alcune è riportato l'inquadramento fotografico della sezione.

Figura 3-51 Sezione trasversale 1: geometria.

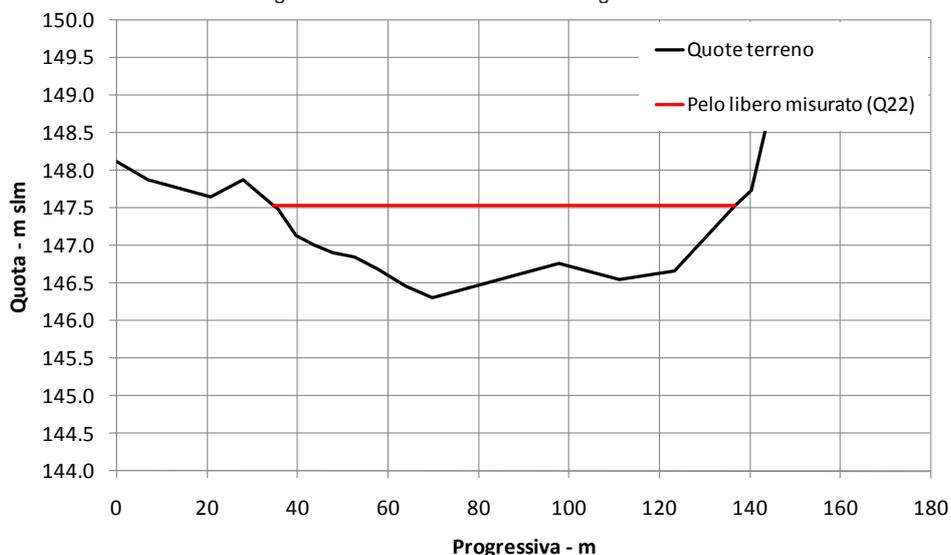


Figura 3-52 Sezione trasversale 2: geometria e inquadramento fotografico

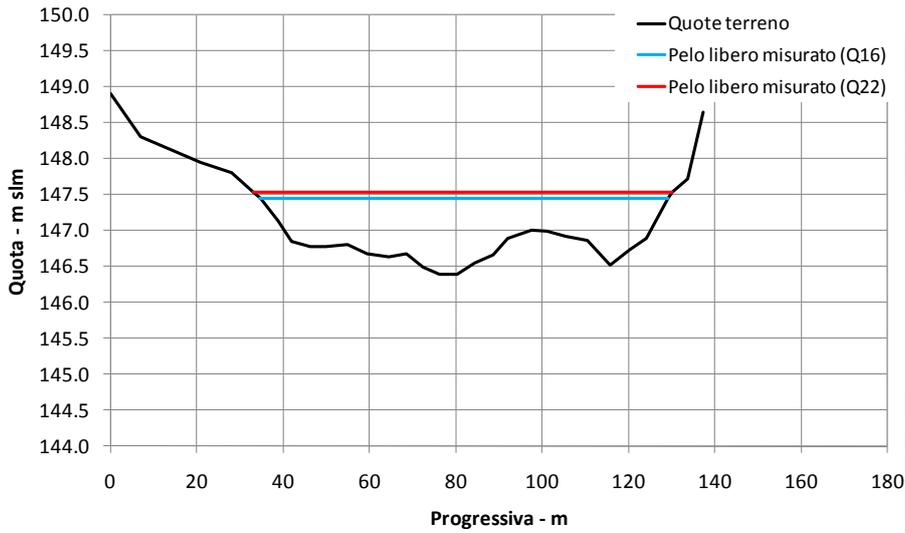


Figura 3-53 Sezione trasversale 3: geometria e confronto fotografico (in alto Q16 e in basso Q22)

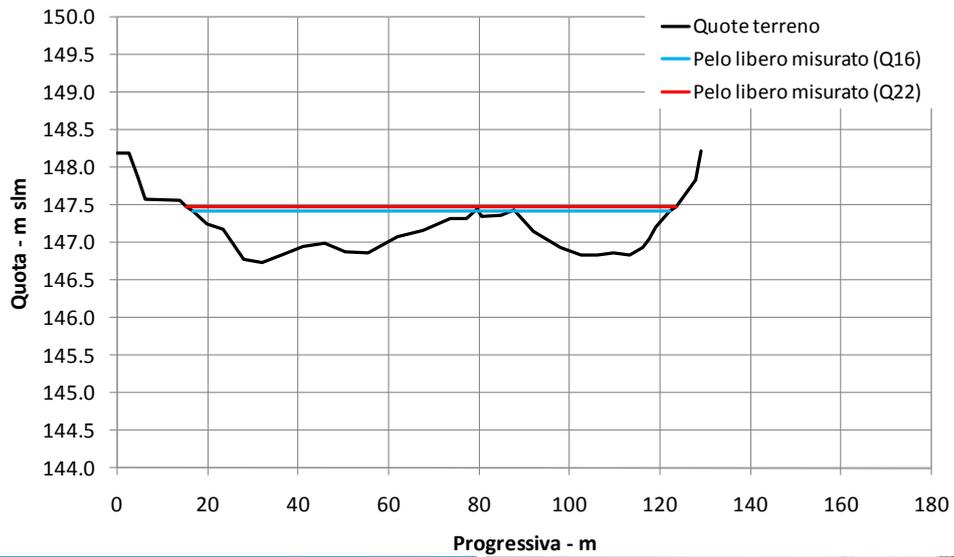


Figura 3-54 Sezione trasversale 4: geometria e confronto fotografico (a destra Q16 e a sinistra Q22)

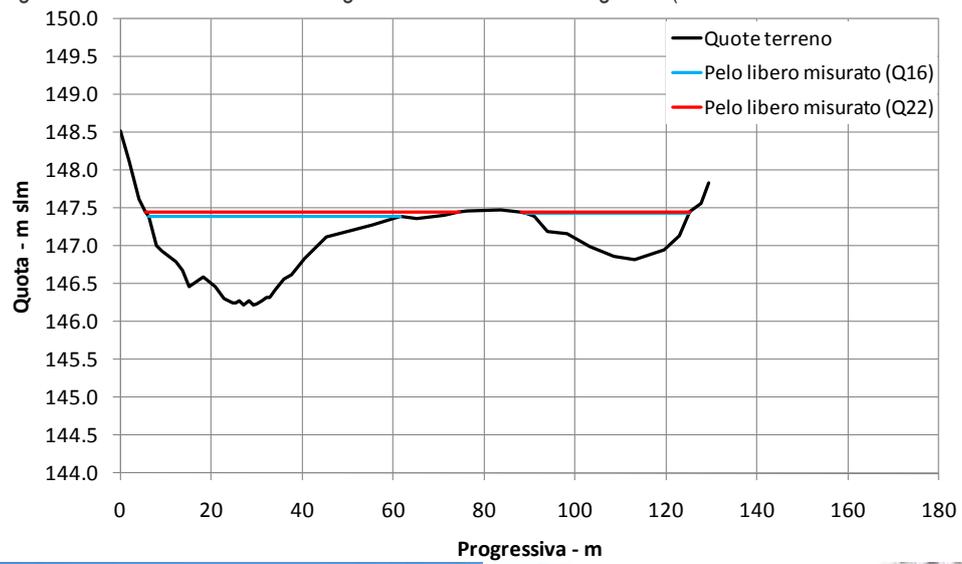


Figura 3-55 Sezione trasversale 5: geometria e inquadramento fotografico.

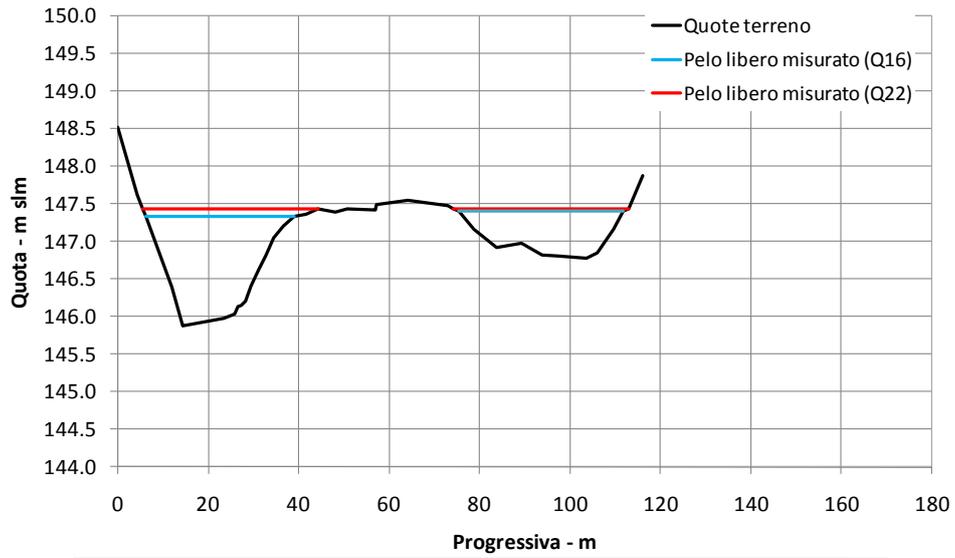


Figura 3-56 Sezione trasversale 6: geometria .

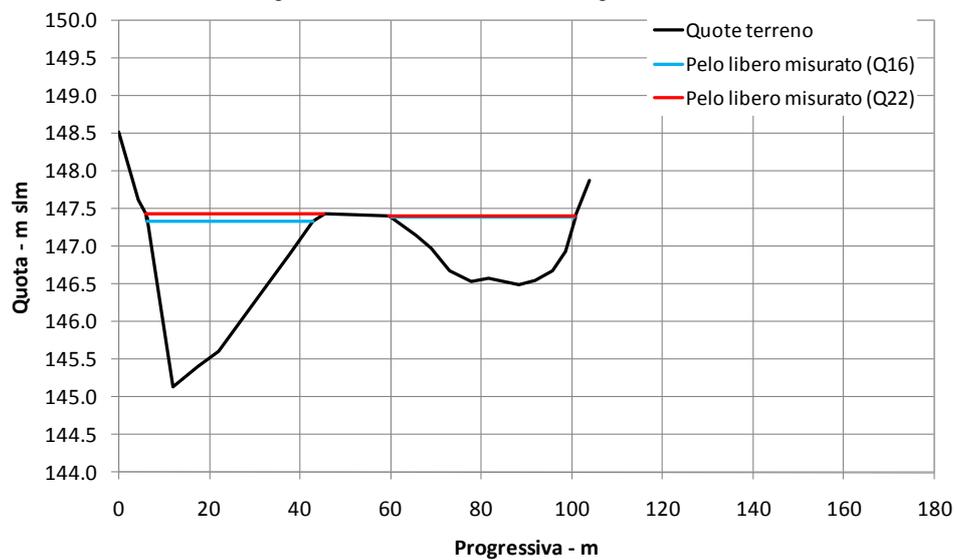


Figura 3-57 Sezione trasversale 7: geometria e inquadramento fotografico.

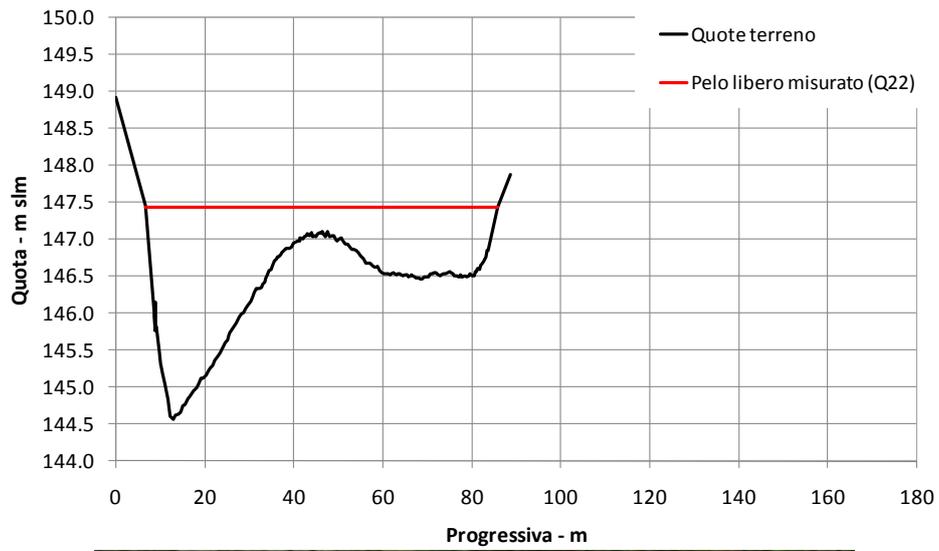


Figura 3-58 Sezione trasversale 8: geometria.

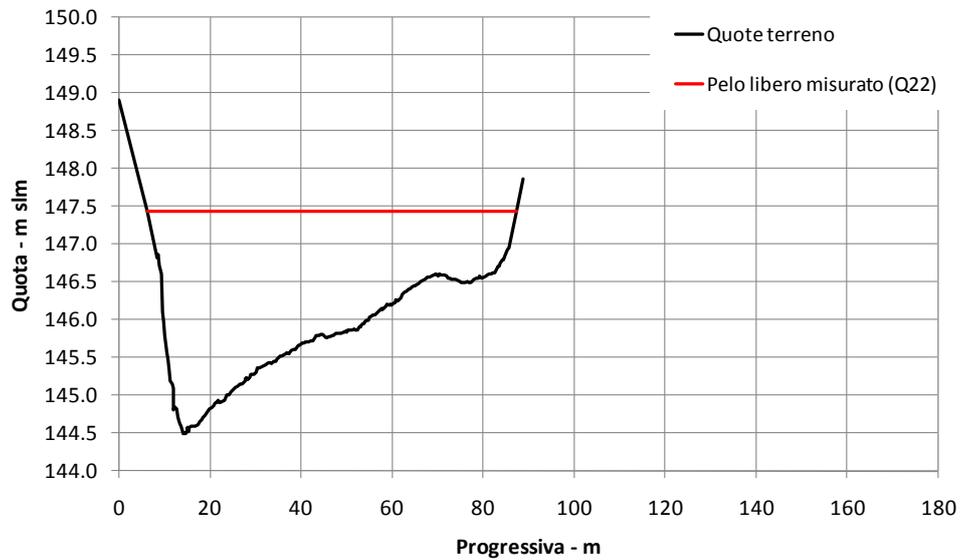


Figura 3-59 Sezione trasversale 9: geometria.

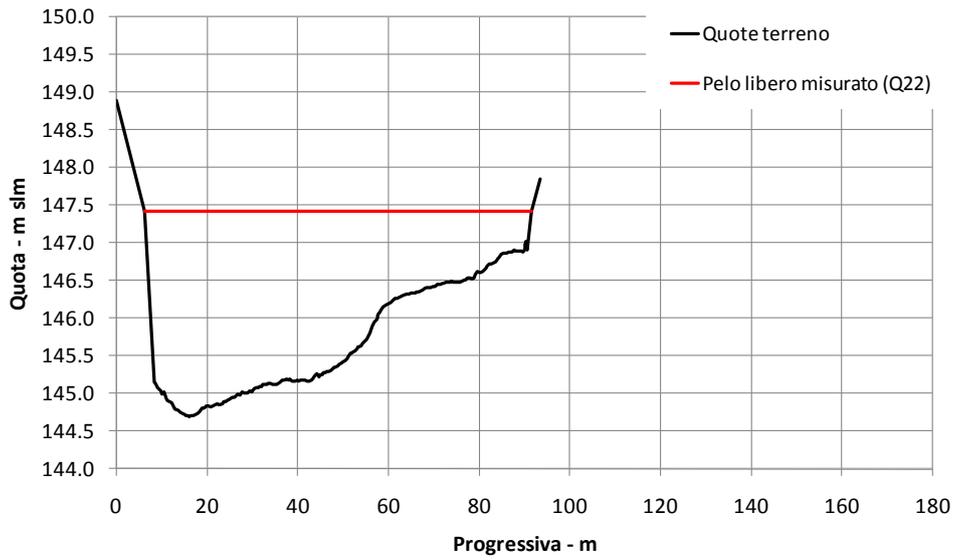


Figura 3-60 Sezione trasversale 10: geometria.

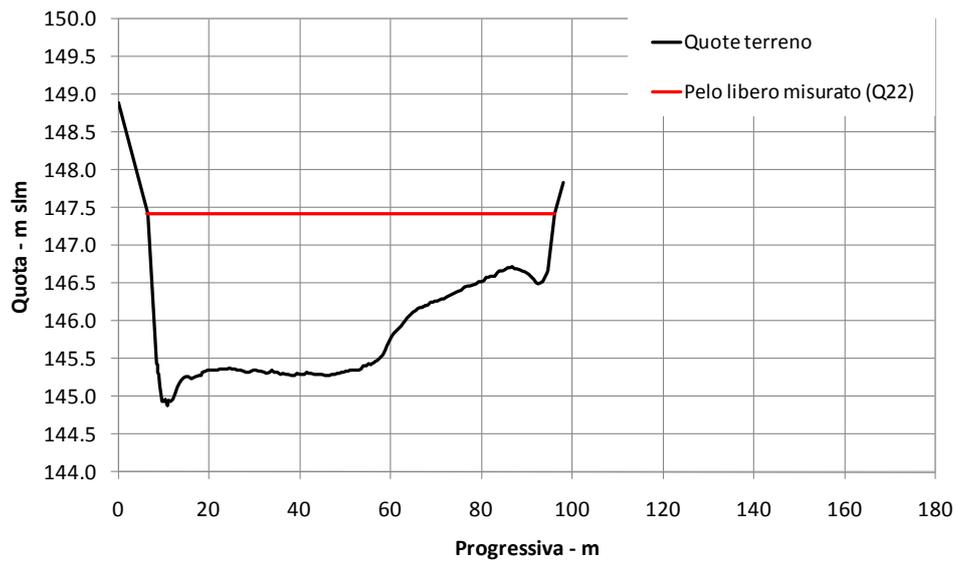
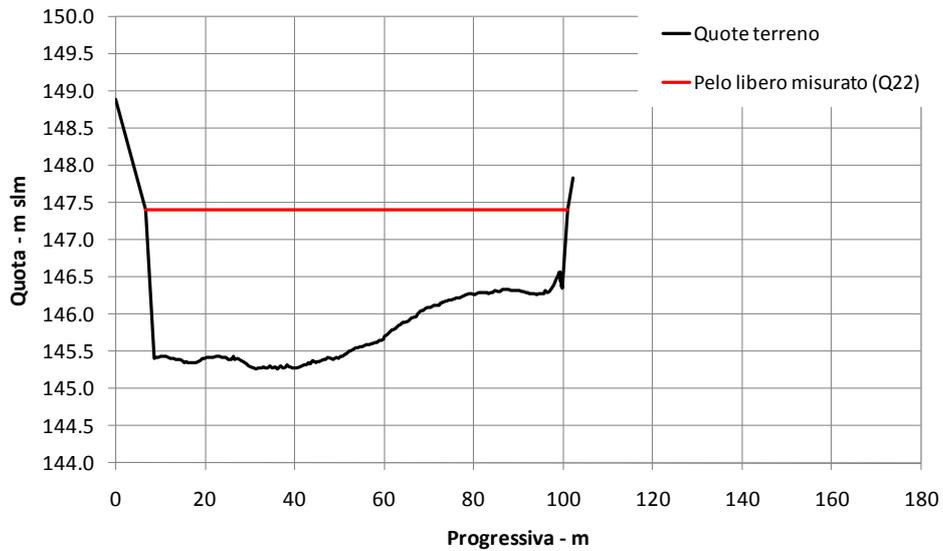


Figura 3-61 Sezione trasversale 11: geometria e inquadramento fotografico (Guardando verso monte figura di sinistra e verso valle figura di destra).



### **3.3.2 SIMULAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE**

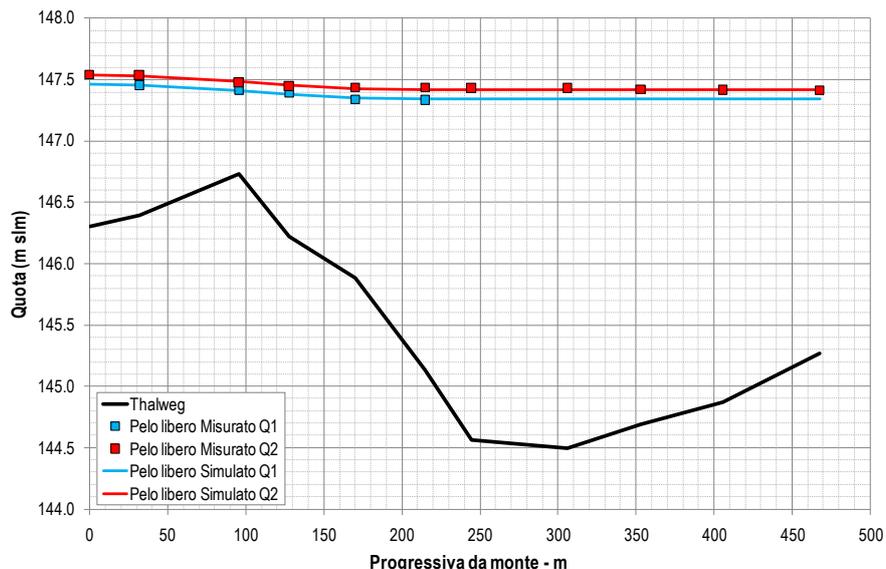
La modellazione idraulica monodimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software Hec Ras. Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=16 \text{ m}^3\text{s}$ ;  $Q_2=22 \text{ m}^3\text{s}$ .

- Condizione al contorno di monte: altezza di moto uniforme che si ha con la pendenza media dell'ultimo tratto.
- Condizione al contorno di valle: scala di deflusso con le misure effettuate.
- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $16 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_2$  ( $22 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Figura 3-62 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC3.



La simulazione ha riguardato quattro differenti portate:

- $Q_3 = 12 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_4 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_5 = 28 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_6 = 40 \text{ m}^3/\text{s}$

Nella tabella seguente sono riportate le principali grandezze idrauliche per le portate oggetto di sperimentazione ( $Q_3=12 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_4=20 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_5=28 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_6=40 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e le loro variazioni percentuali rispetto a  $Q_3$ .

Si nota che:

- l'incremento di portata del 67% da  $Q_3$  a  $Q_4$  ha come effetto un incremento medio del 7% della larghezza media, del 8% del tirante medio e del 37% della velocità media;
- l'incremento di portata del 133% da  $Q_3$  a  $Q_5$  ha come effetto un incremento medio del 16% della larghezza media, del 15% del tirante medio e del 62% della velocità media;
- l'incremento di portata del 233% da  $Q_3$  a  $Q_6$  ha come effetto un incremento medio del 20% della larghezza media, del 29% del tirante medio e del 89% della velocità media.

Tabella 3-6 Incremento percentuale grandezze idrauliche.

	Portata	Tirante medio	Velocità media	larghezza media
	mc/s	cm	m/s	m
Q <sub>3</sub>	12	0.99	0.190	84
Q <sub>4</sub>	20	1.08	0.259	89
Q <sub>5</sub>	28	1.14	0.306	97
Q <sub>6</sub>	40	1.28	0.36	100

	Incremento	Tirante medio	Velocità media	larghezza media
	%	%	%	%
Q <sub>3</sub> -Q <sub>4</sub>	67%	8%	37%	7%
Q <sub>3</sub> -Q <sub>5</sub>	133%	15%	62%	16%
Q <sub>3</sub> -Q <sub>6</sub>	233%	29%	89%	20%

Nei grafici seguenti viene rappresentato l'andamento di queste grandezze in funzione della portata.

Figura 3-63 Variazione della larghezza media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

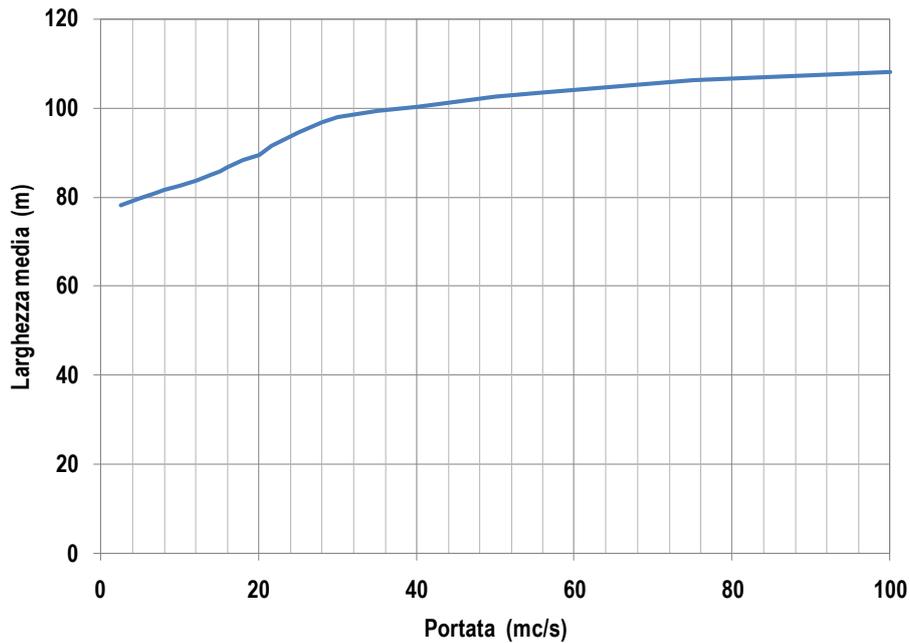


Figura 3-64 Variazione della profondità media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

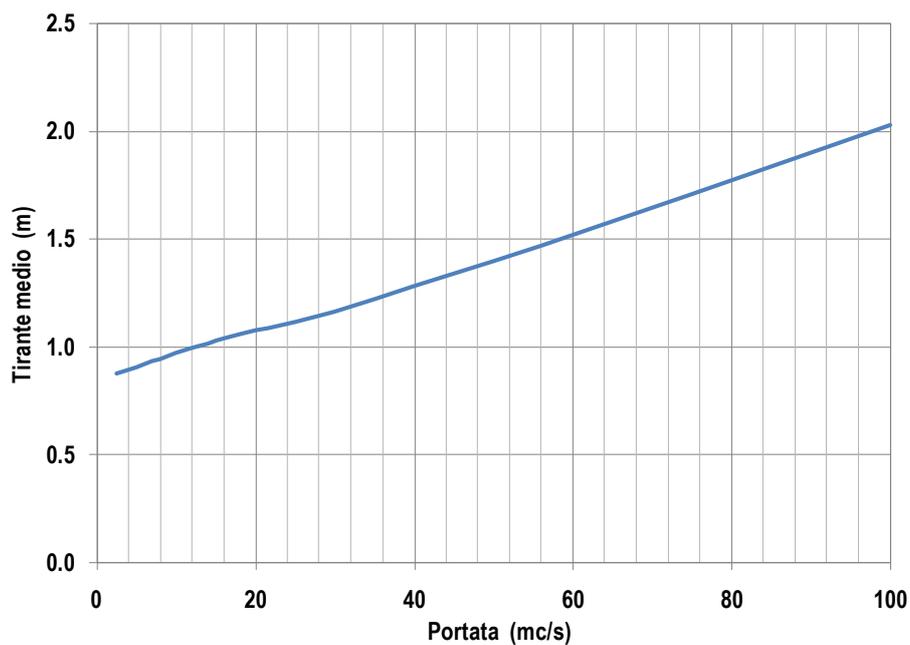
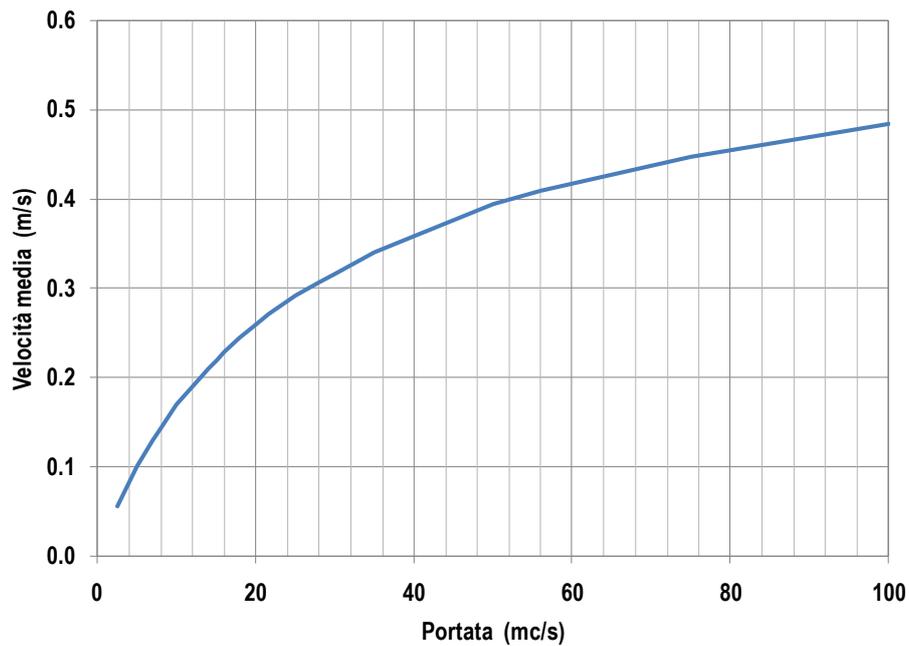


Figura 3-65 Variazione della velocità media in funzione della portata.



### 3.3.3 SIMULAZIONE ECOLOGICA MONODIMENSIONALE

A fini ecologici è stato poi applicato il modello CASiMiR-Fish (Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements), utilizzando come specie target il barbo comune.

Di seguito sono presentati i risultati grafici relativi all'ideoneità del tratto per il barbo comune, allo stadio adulto e giovanile, tenendo conto solo dei parametri "velocità" e "profondità" (escludendo quindi il parametro "substrato").

Figura 3-66 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

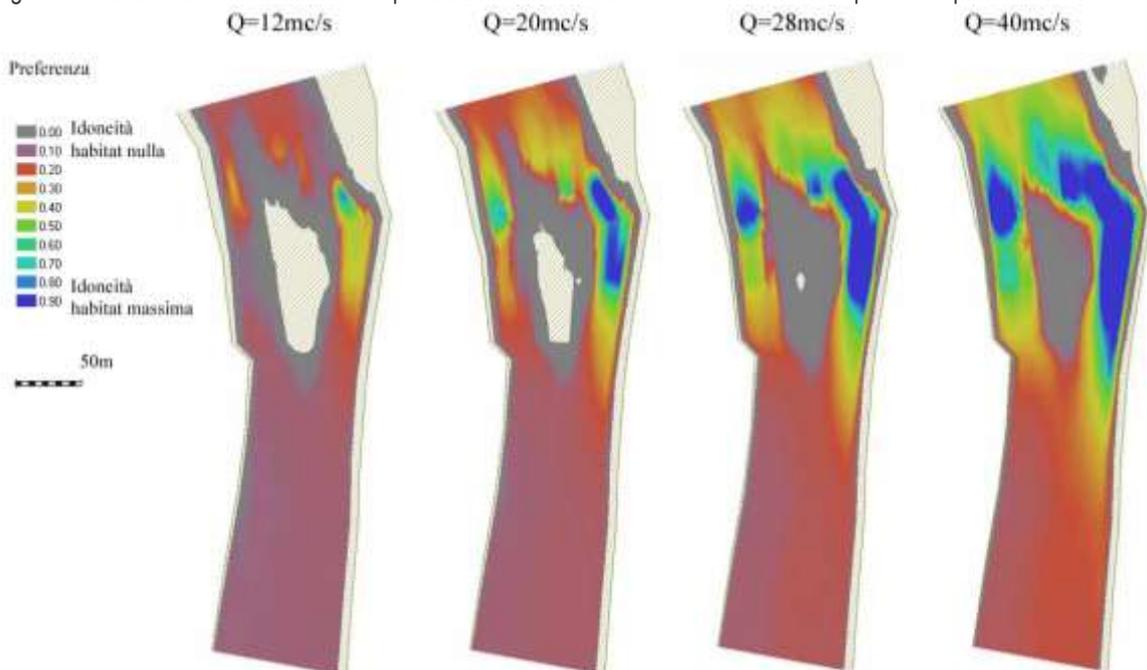
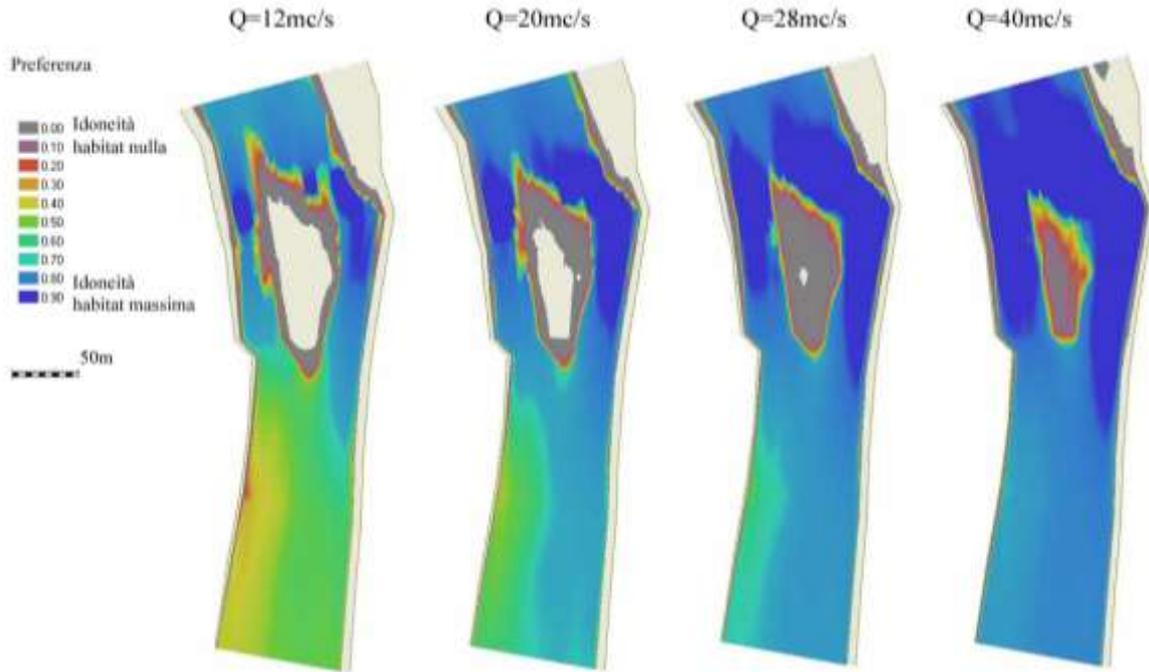


Figura 3-67 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.

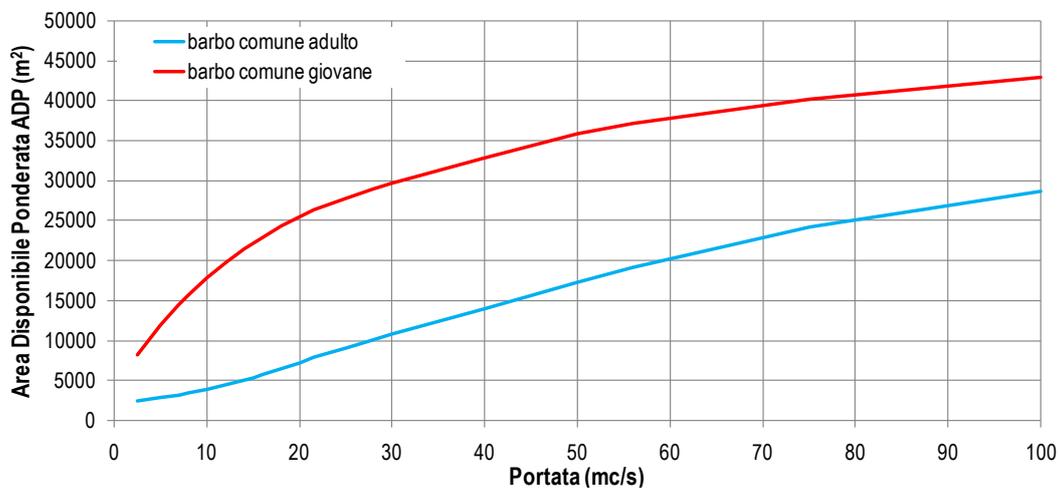


Nel grafico e nella tabella seguente è mostrato l'andamento dell'area disponibile ponderata in funzione della portata per il barbo comune adulto e giovane, escludendo l'effetto della granulometria del substrato.

Tabella 3-7 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità e velocità di corrente.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		12	20	28	40
Indice di idoneità dell'habitat HHS [-]	barbo comune adulto	12 %	18 %	24 %	33 %
	barbo comune giovane	54 %	66 %	70 %	77 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	4415	7207	10088	13960
	barbo comune giovane	19754	25581	28928	32831

Figura 3-68 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.



### 3.3.4 SIMULAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

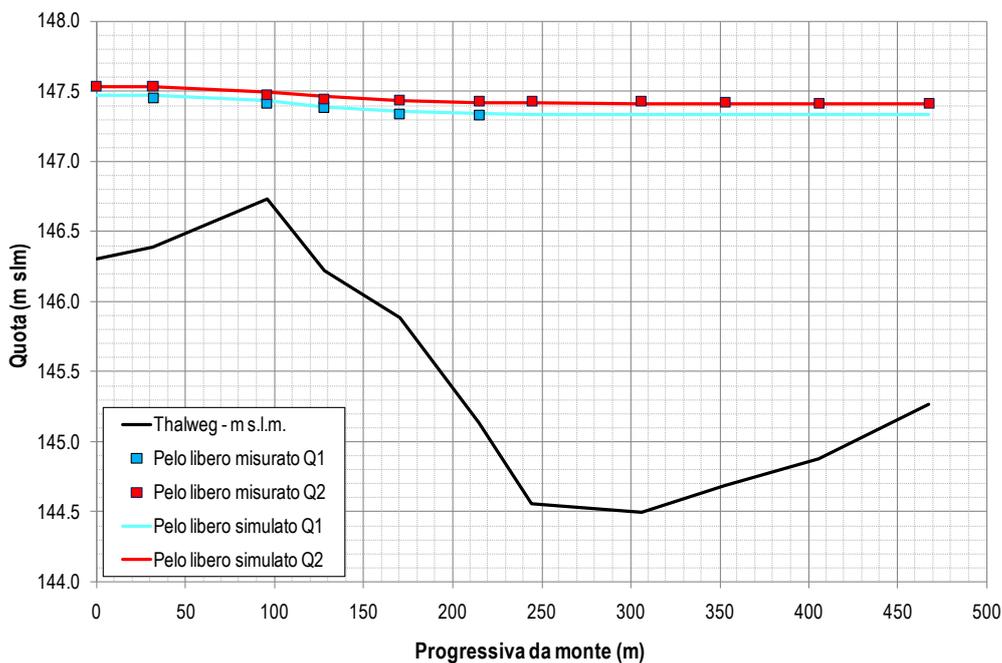
La modellazione idraulica bidimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software River2D.

Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=16 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_2=22 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione al contorno di monte: portata di calibrazione.
- Condizione al contorno di valle: Scala di deflusso ottenuta dalle misure in campo.
- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

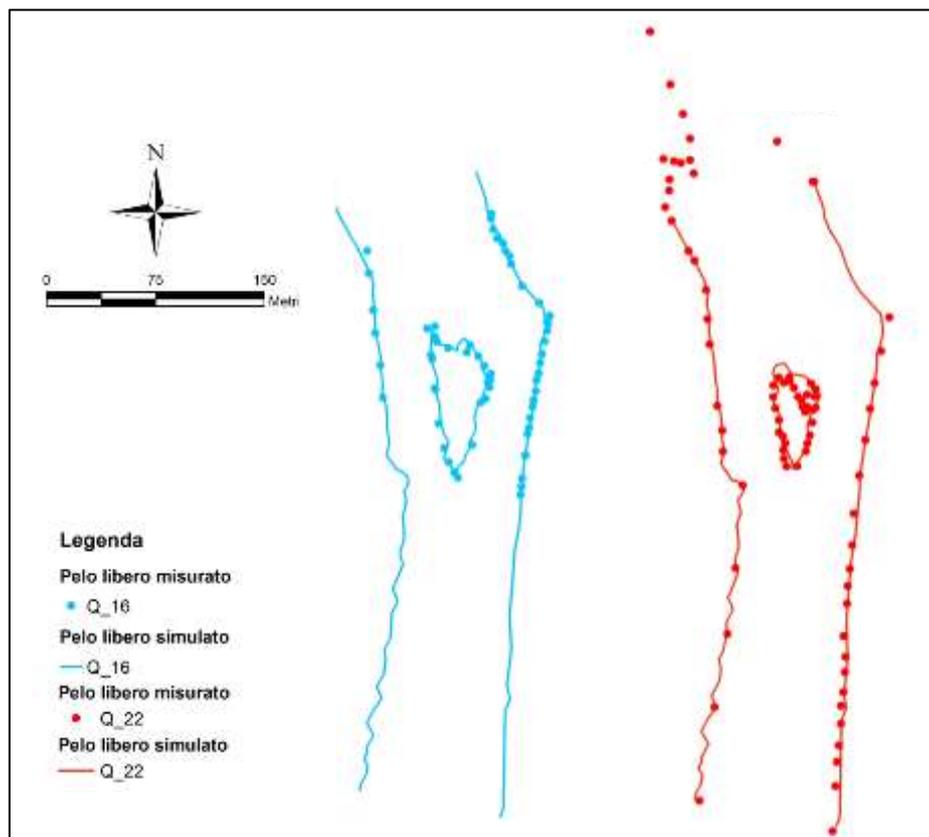
Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $16 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e  $27.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_2$  ( $22 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Nella figura seguente è riportato il confronto tra le quote di pelo libero misurate e simulate. Rispetto alla modellazione 1D si ha una migliore corrispondenza misurato-simulato nella seconda metà del tratto.

Figura 3-69 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC3.



Nella figura seguente è riportata la posizione, in planimetria, dell'intersezione tra la morfologia dell'alveo fluviale e il pelo libero ottenuta con la simulazione e la posizione di alcuni punti del pelo libero rilevati in campo. Si nota una buona corrispondenza planimetrica soprattutto nella delimitazione dell'isola centrale.

Figura 3-70 Confronto dei confini planimetrici dell'alveo bagnato misurato e simulato con River2D per  $Q=16\text{m}^3/\text{s}$  (sinistra) e per  $Q=22\text{m}^3/\text{s}$  (destra) – tratto TIC3.



Nelle figure seguenti sono riportati i risultati di calcolo, ottenuti in corrispondenza delle sezioni trasversali, presentate nei precedenti paragrafi. Si noti come la modellazione 2D a differenza di quella 1D sia in grado di modellare la presenza di rami secondari caratterizzati da quote del pelo libero diverse rispetto a quelle dell'alveo principale.

Figura 3-71 Sezione 3: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

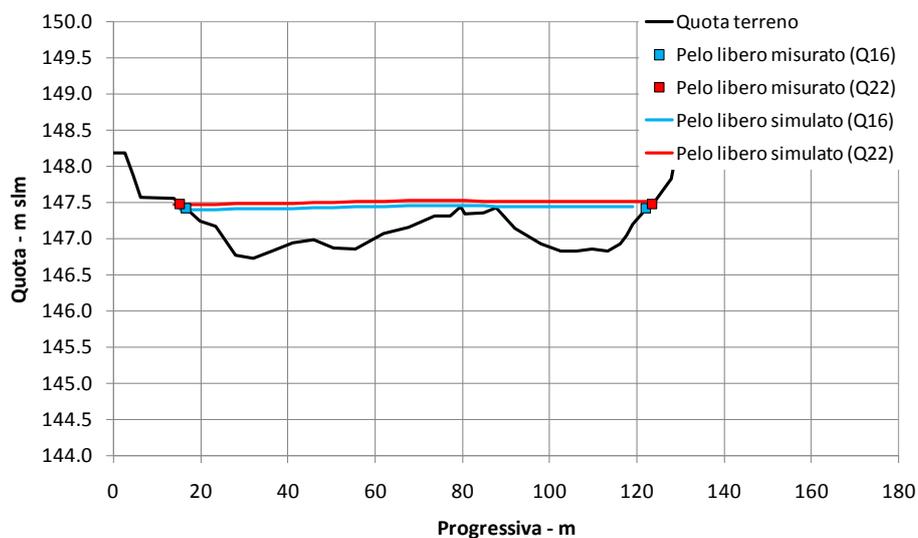


Figura 3-72 Sezione 5: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

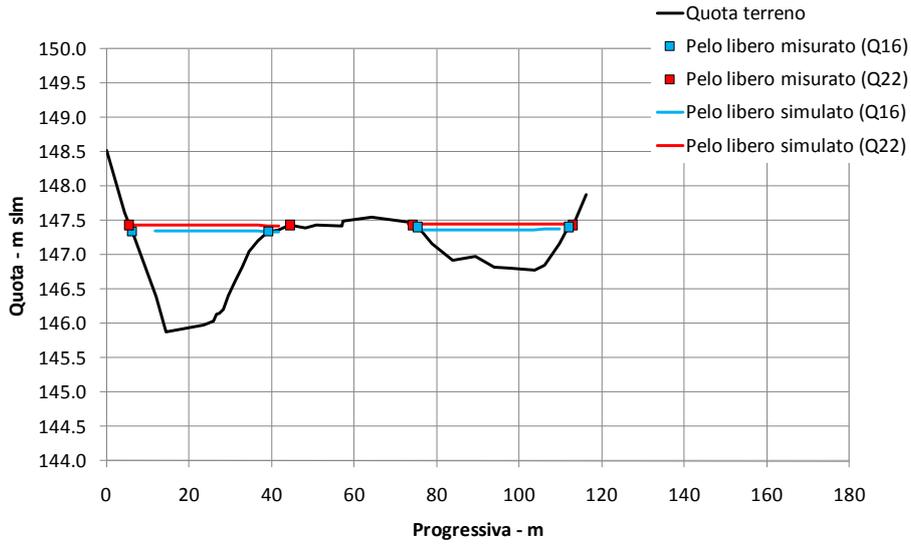


Figura 3-73 Sezione 8: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

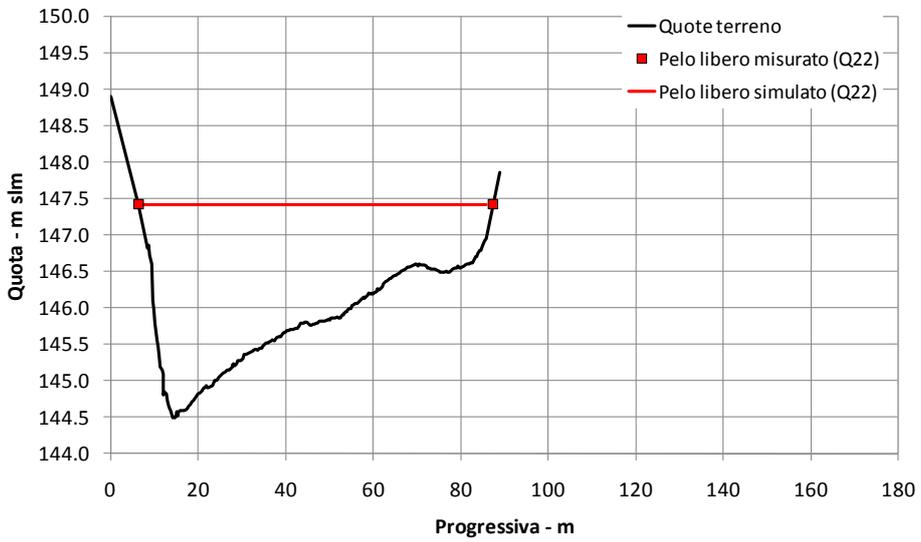
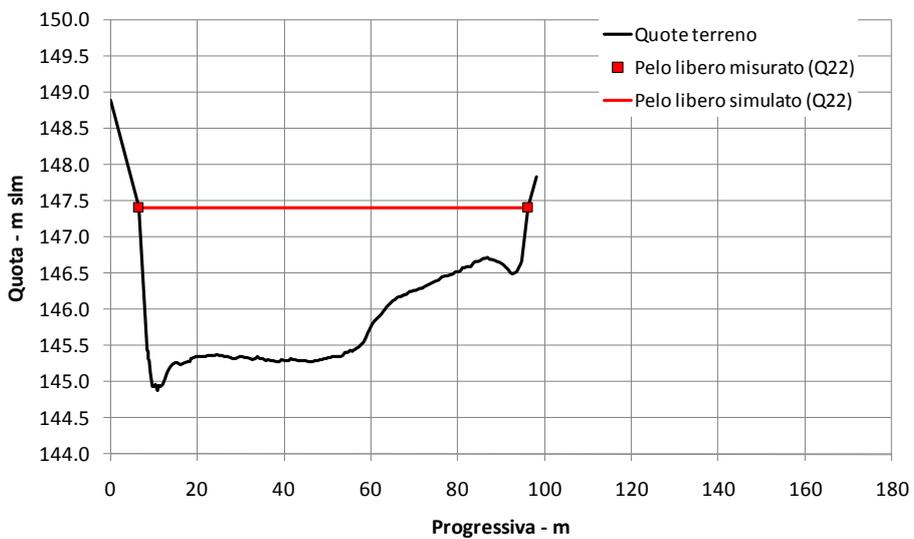


Figura 3-74 Sezione 10: confronto fra peli liberi simulati e misurati.



I risultati ottenuti dalla modellazione 2D, relativi alla distribuzione planimetrica del valore della velocità e del tirante, sono riportati nelle figure seguenti. Si nota che il primo tratto è caratterizzato da velocità generalmente superiori rispetto al tratto finale dove è evidente la presenza di una pool. Dalla simulazione eseguita è risultato completamente allagato l'isolotto centrale con una portata di almeno  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Figura 3-75 Simulazione della velocità tramite il software River2D.

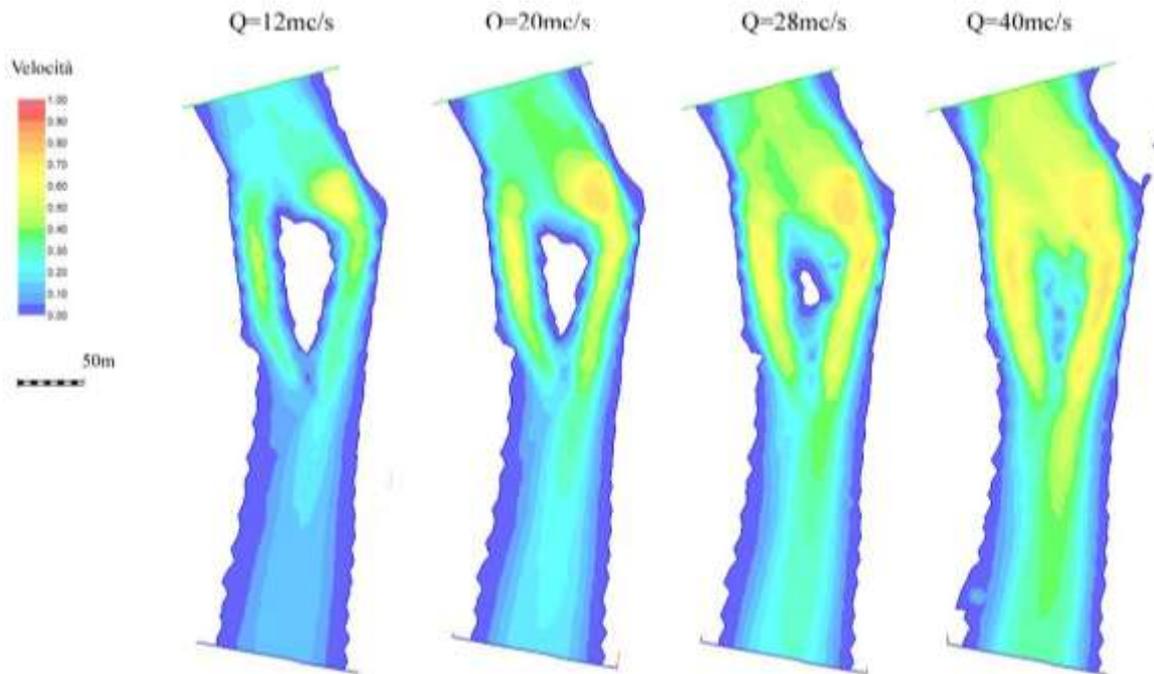


Figura 3-76 Simulazione del tirante tramite il software River2D.

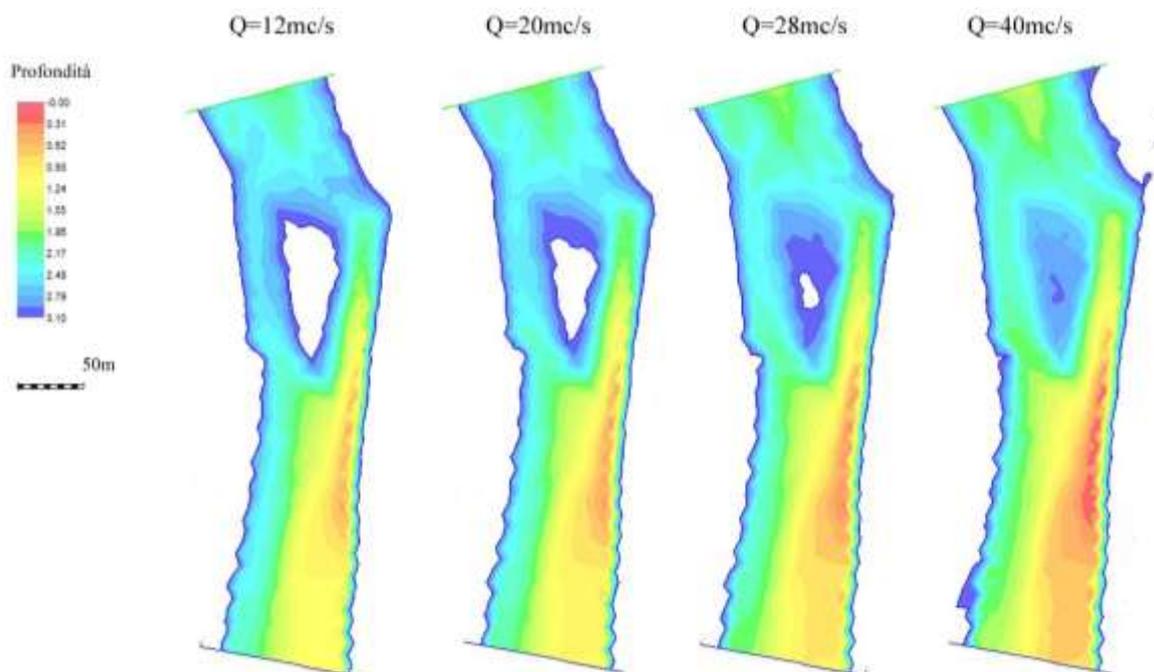


Figura 3-77 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

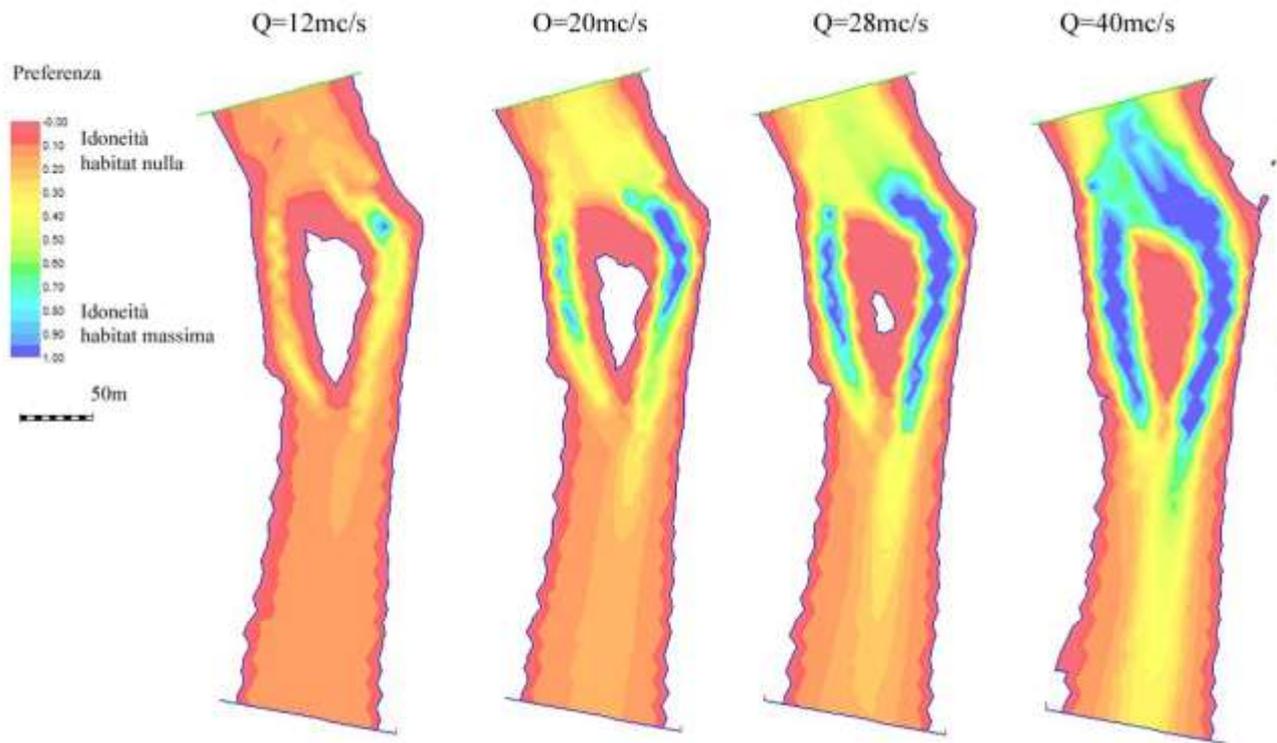
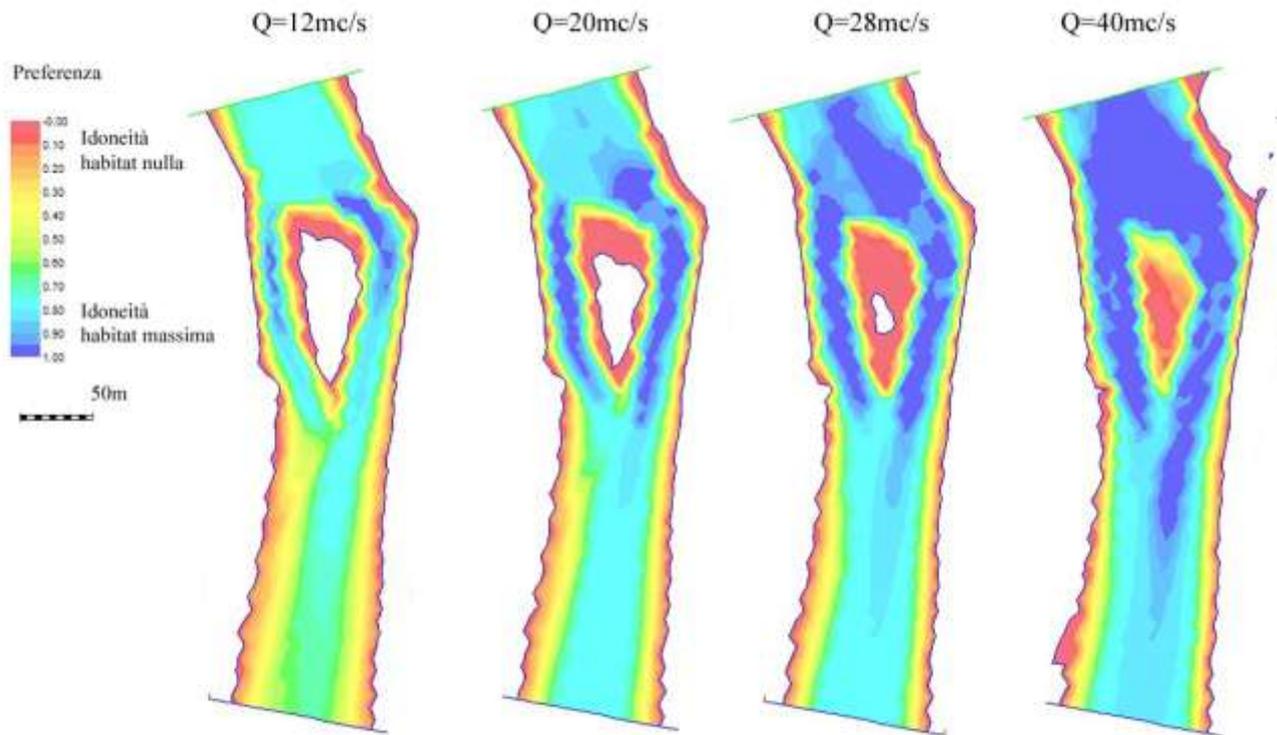


Figura 3-78 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.



Nella tabella e nella figura seguenti sono riportati i risultati relativi all'intero tratto di studio.

Tabella 3-8 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente.

		Portata [m³/s]			
		12	20	28	40
Indice di idoneità dell'habitat HHS [%]	barbo comune adulto	13 %	21 %	28 %	37 %
	barbo comune giovane	53 %	60 %	64 %	69 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m²]	barbo comune adulto	4998	8428	11795	16670
	barbo comune giovane	19633	23529	26668	30567

Figura 3-79 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.

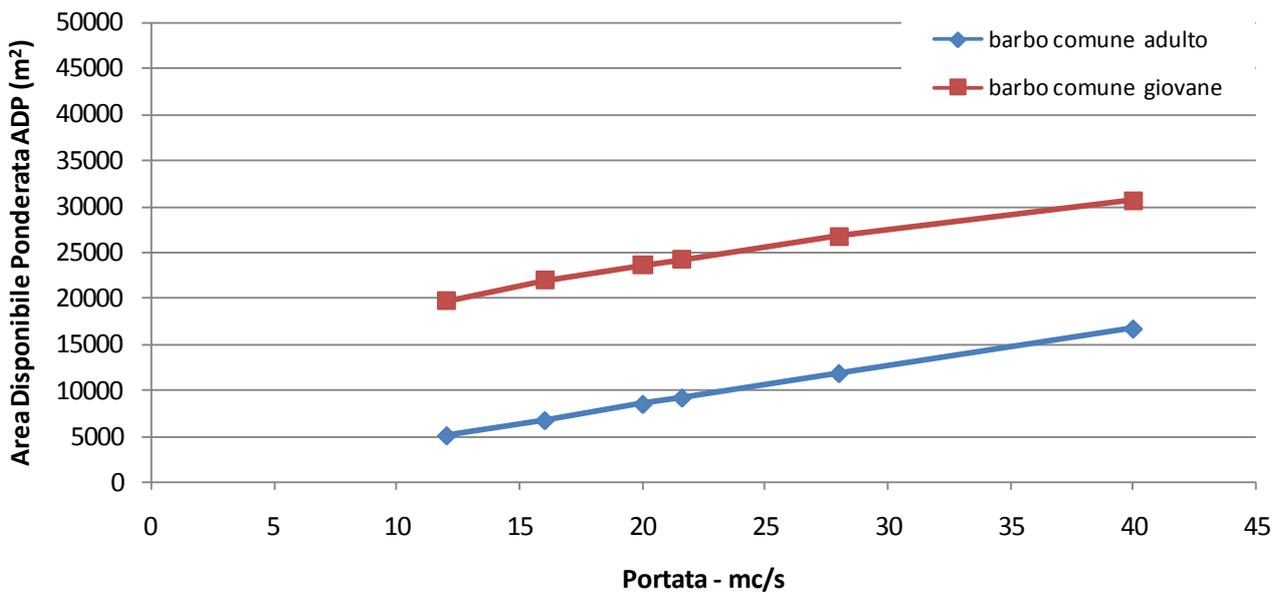
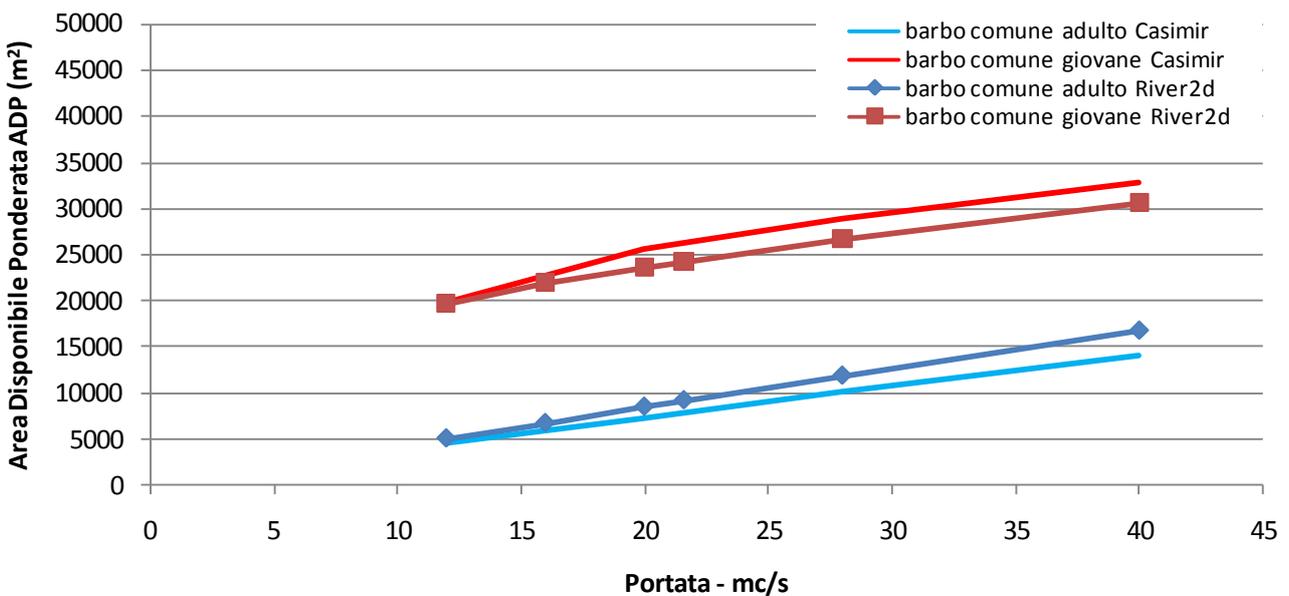


Figura 3-80 Confronto dell'Area Disponibile Ponderata fra modellazione 1D e 2D per la specie barbo comune.



### 3.4 FIUME TICINO A TURBIGO - LOC. TRE SALTI: TIC4

Il tratto del F. Ticino in oggetto è localizzato a circa 500 metri a valle della filarola di derivazione del naviglio Langosco. I dati principali del tratto rilevato sono:

- Lunghezza: 457 m
- N° sezioni rilevate: 13

Il rilievo è stato effettuato con una portata pari a  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_1$ ) e successivamente con una portata pari a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_2$ ).

Figura 3-81 Localizzazione del tratto TIC4 oggetto di studio.

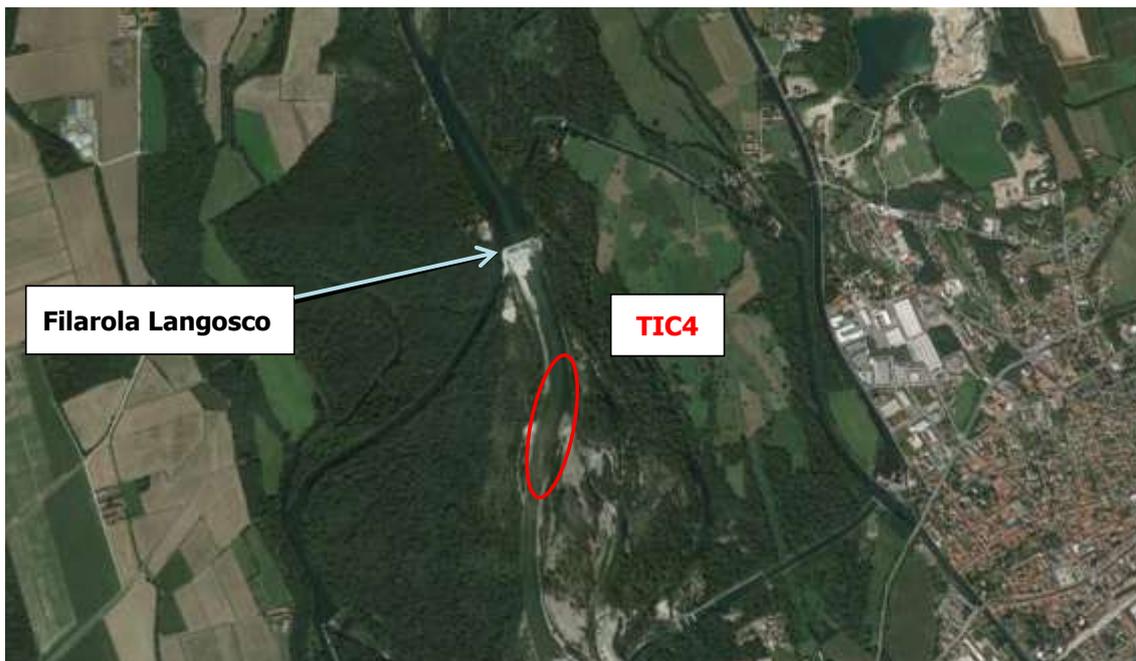
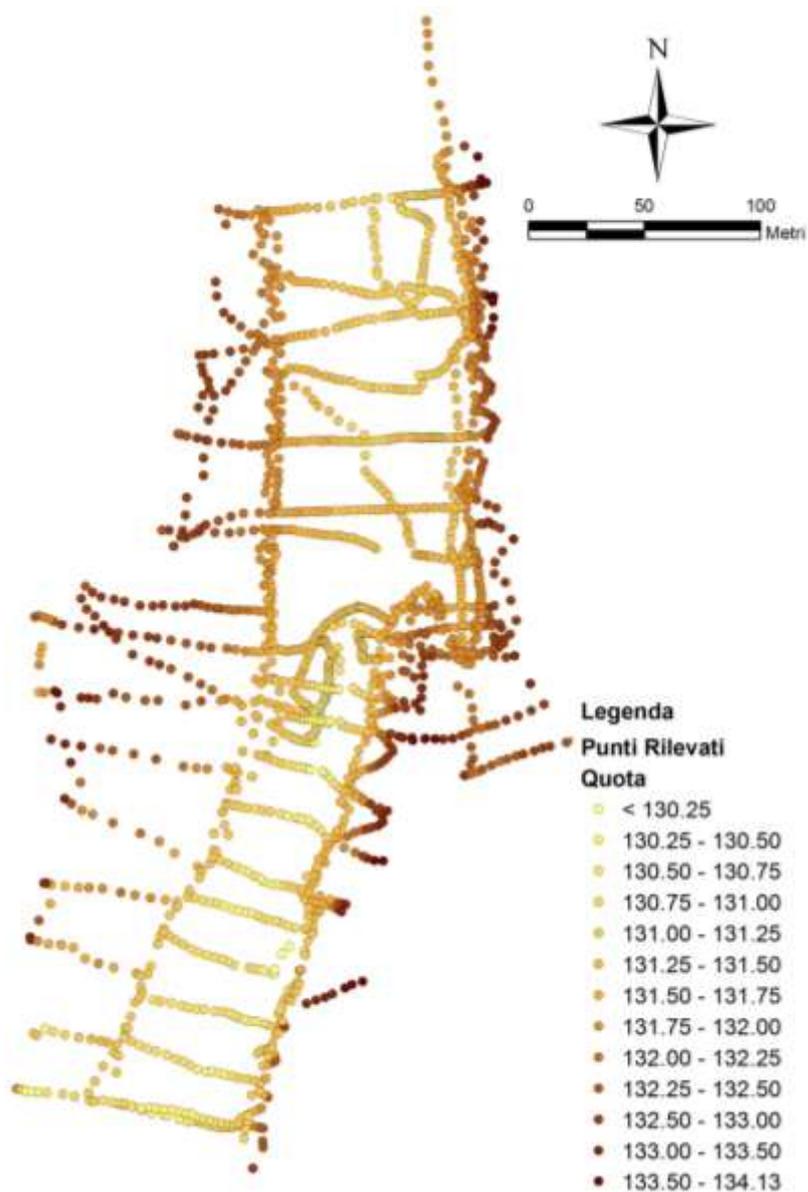


Figura 3-82 Strumentazione utilizzata per il rilievo topografico.



La planimetria del tratto ottenuta con rilievo GPS, stazione totale e battellino ADV è riportata nella figura seguente.

Figura 3-83 Planimetria quotata del tratto TIC1 rilevato.



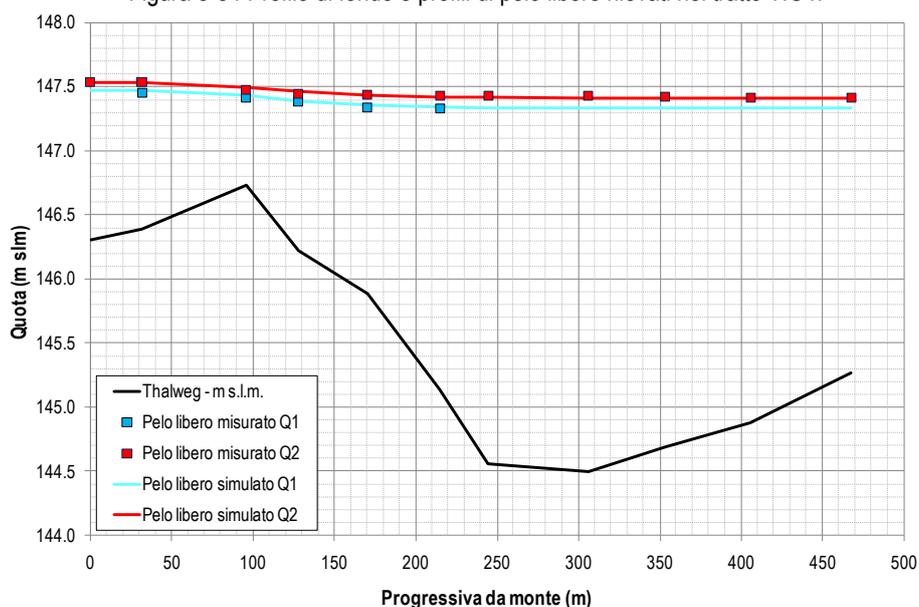
### ***3.4.1 RISULTATI DEI RILIEVI TOPOGRAFICI E IDRAULICO-MORFOLOGICI***

In questo paragrafo sono riportati i risultati dei rilievi topografici e idraulico-morfologici effettuati sul fiume Ticino nel tratto TIC4.

#### **Rilievo del pelo libero**

Il profilo di fondo alveo (*thalweg*) e il profilo di pelo libero sono presentati nella figura seguente.

Figura 3-84 Profilo di fondo e profili di pelo libero rilevati nel tratto TIC4.



### Rilievo delle sezioni trasversali

Nelle figure seguenti sono riportate le 13 sezioni trasversali rilevate con la quota media di pelo libero. Per alcune è riportato l'inquadramento fotografico della sezione.

Figura 3-85 Sezione trasversale 1: geometria e inquadramento fotografico (nella parte sinistra della foto si nota il ramo morto).

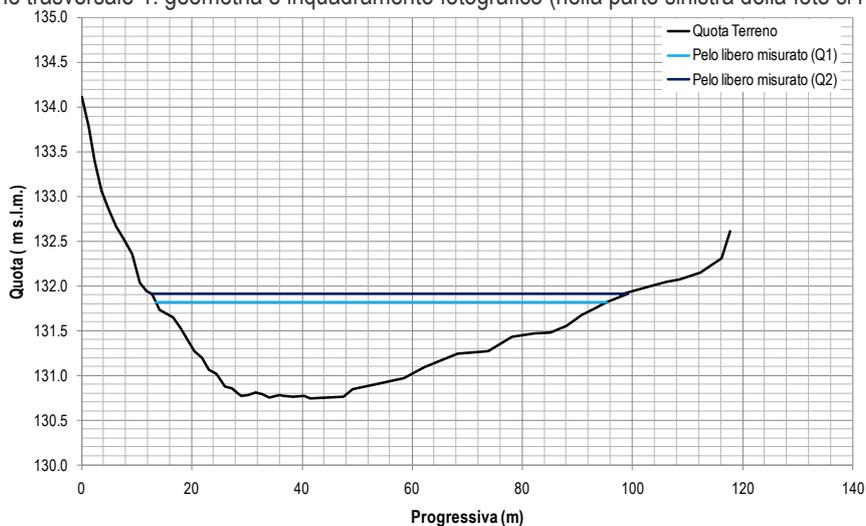


Figura 3-86 Sezione trasversale 2: geometria.

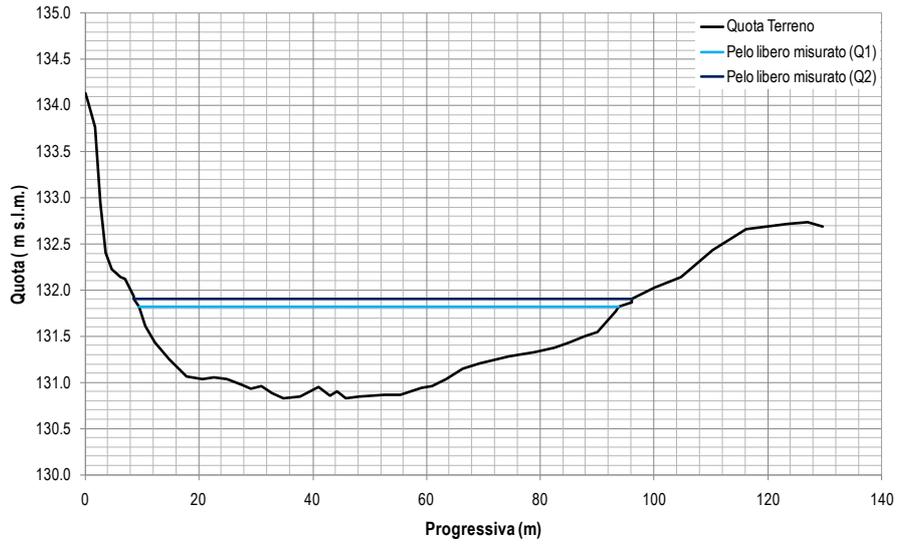


Figura 3-87 Sezione trasversale 3: geometria.

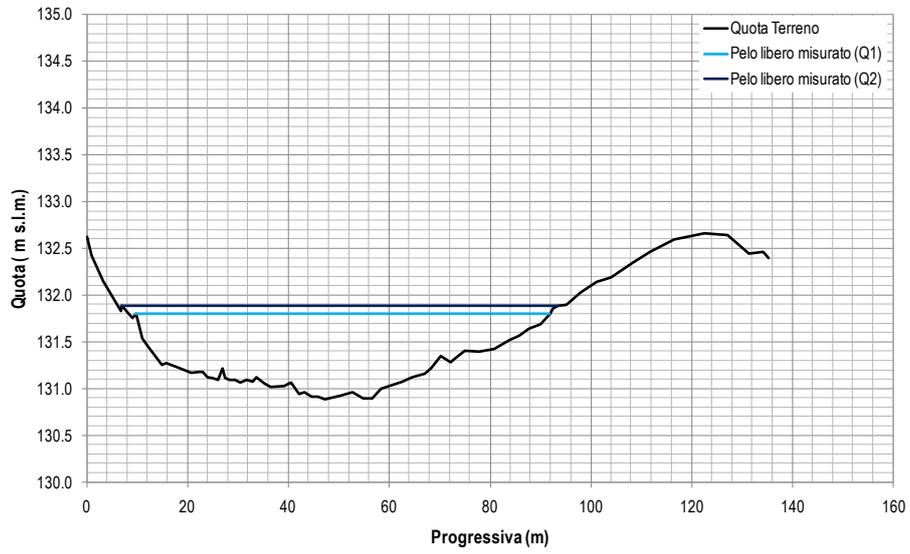


Figura 3-88 Sezione trasversale 4: geometria e inquadramento fotografico.

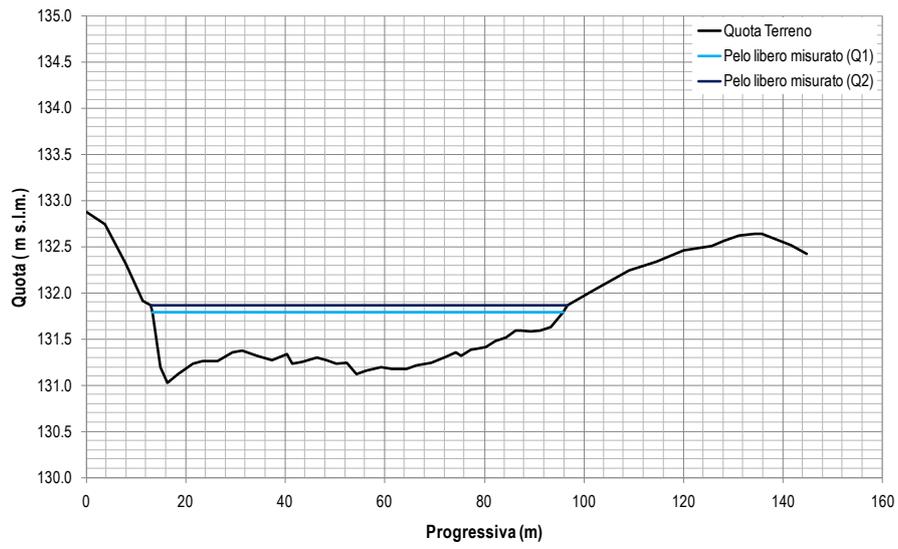


Figura 3-89 Sezione trasversale 5: geometria e inquadramento fotografico del ramo morto in sx orografica.

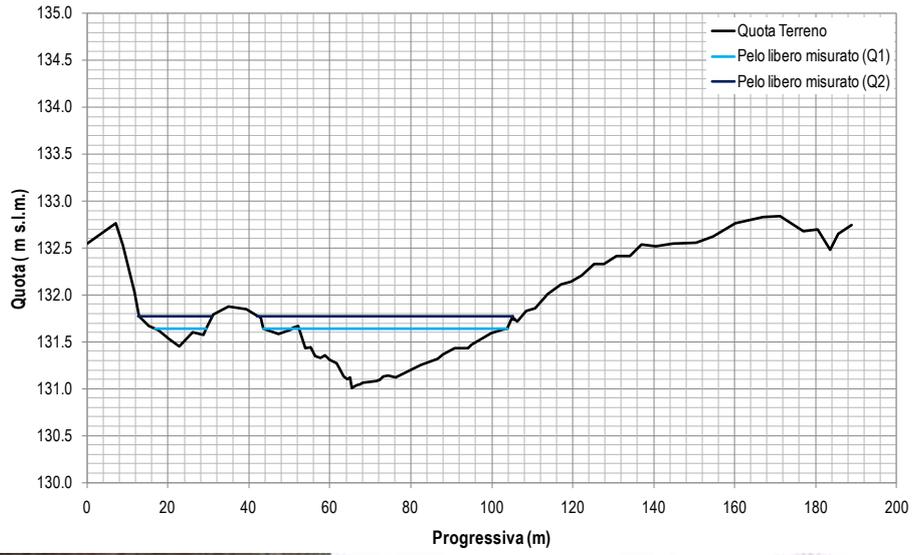


Figura 3-90 Sezione trasversale 6: geometria e inquadramento fotografico.

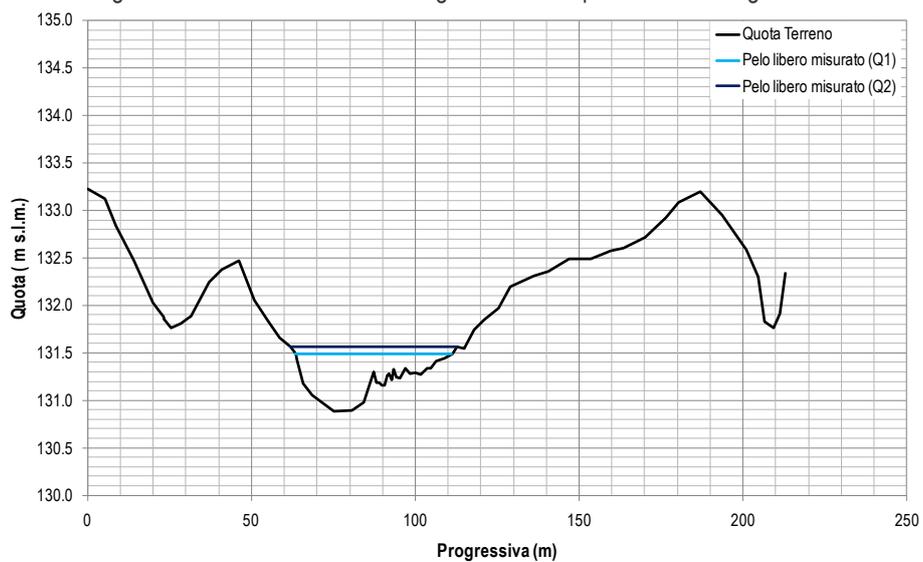


Figura 3-91 Sezione trasversale 7: geometria e inquadramento fotografico.

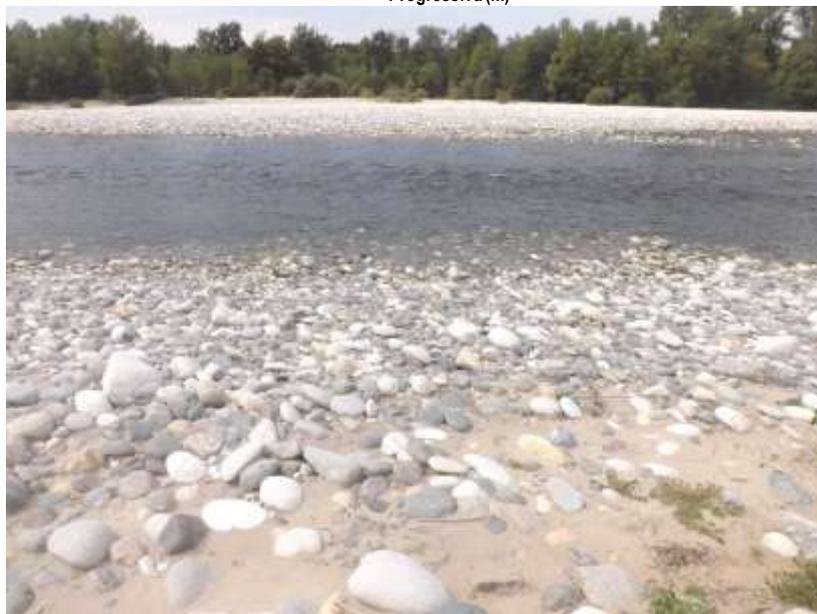
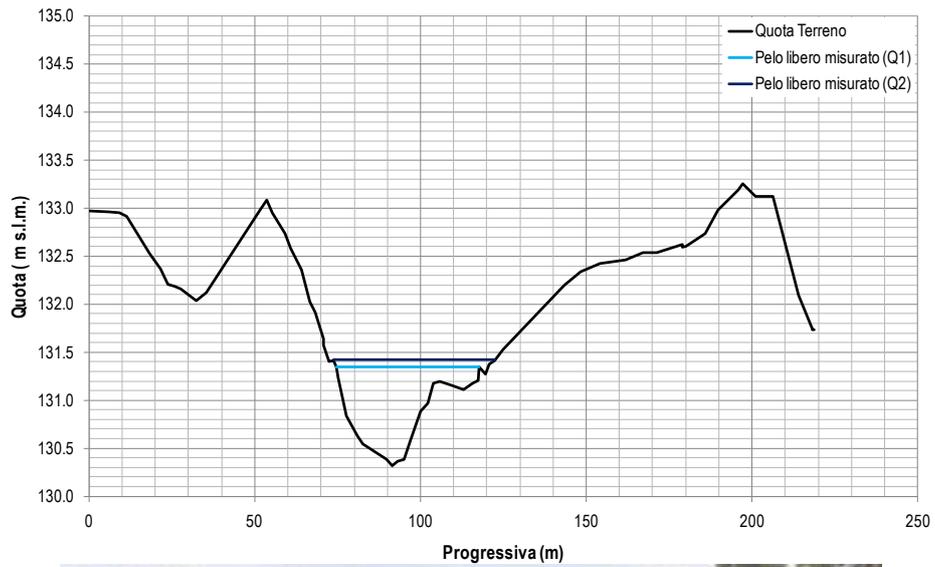


Figura 3-92 Sezione trasversale 8: geometria.

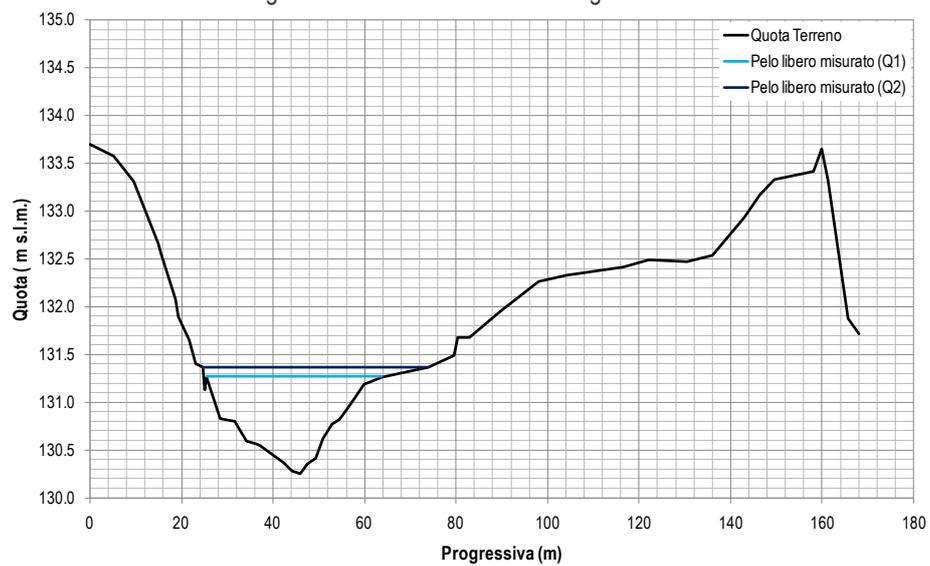


Figura 3-93 Sezione trasversale 9: geometria e inquadramento fotografico.

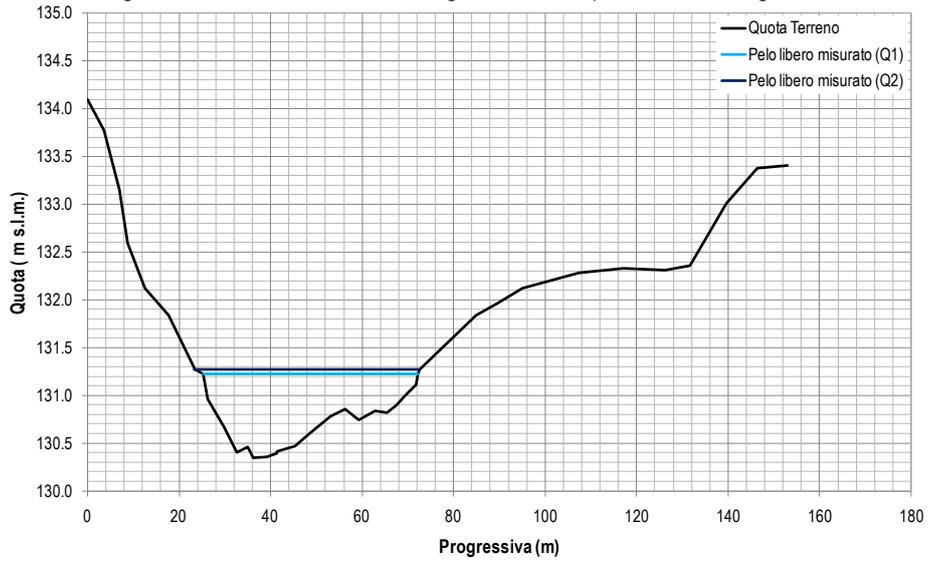


Figura 3-94 Sezione trasversale 10: geometria.

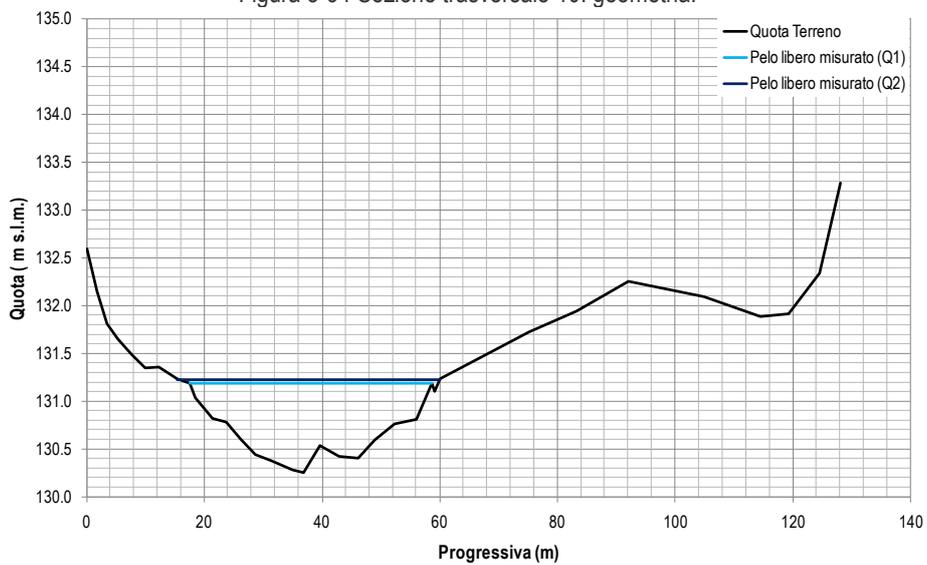


Figura 3-95 Sezione trasversale 11: geometria.

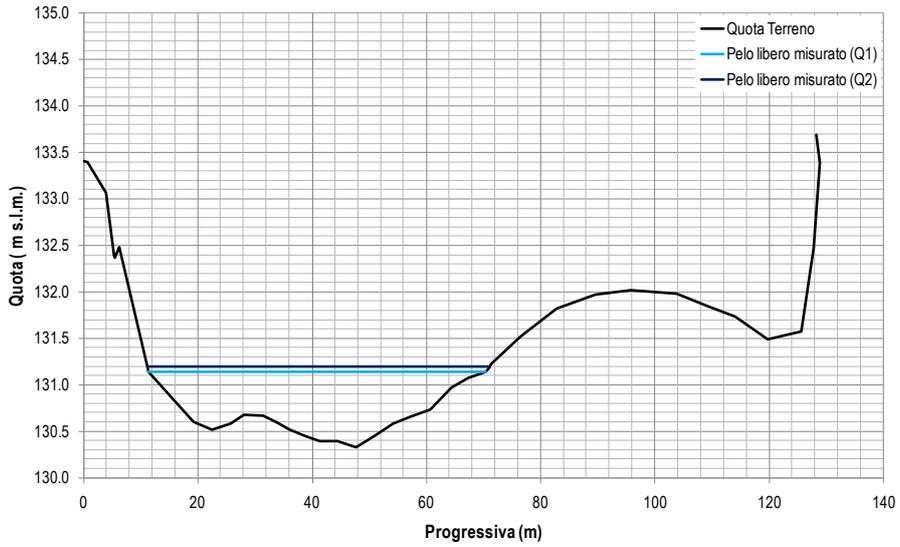


Figura 3-96 Sezione trasversale 12: geometria.

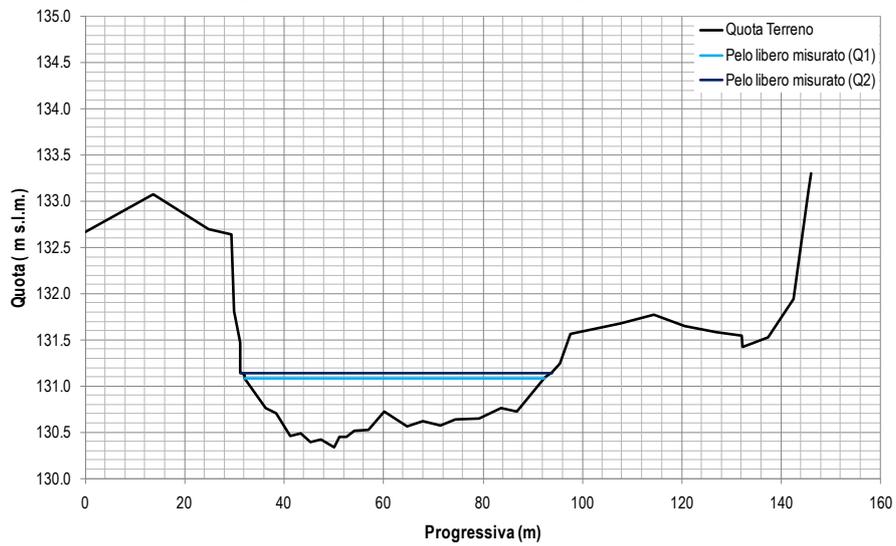
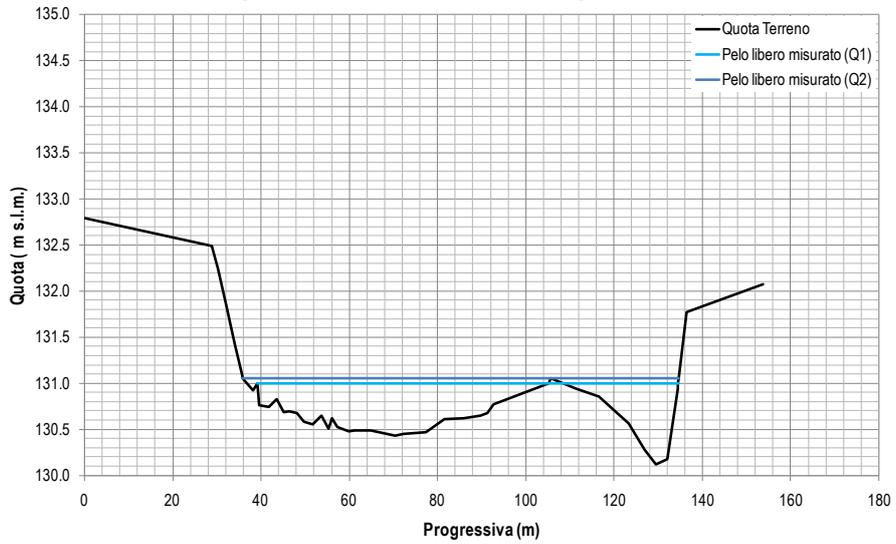


Figura 3-97 Sezione trasversale 13: geometria.



### 3.4.2 SIMULAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE

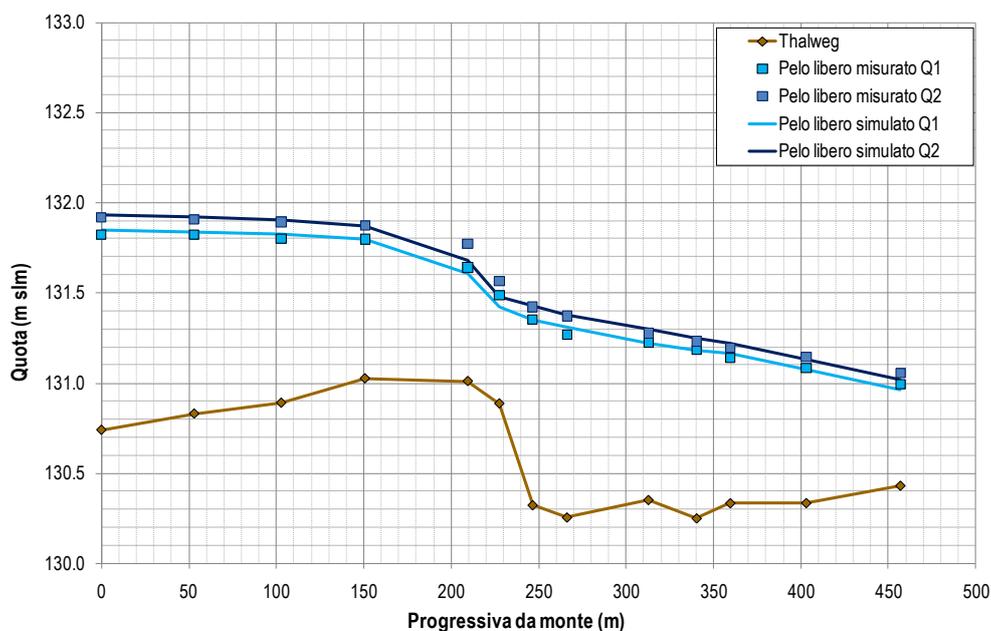
La modellazione idraulica monodimensionale, del tratto di studio, è stata effettuata con il software Hec Ras. Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=12 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_2=20 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione al contorno di monte e valle: altezza di moto uniforme che si ha con la pendenza media dell'ultimo tratto.
- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e  $27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_2$  ( $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

La figura seguente mostra la buona corrispondenza tra i valori di pelo libero rilevati e simulati.

Figura 3-98 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC4.



La simulazione ha riguardato quattro differenti portate:

- $Q_1 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_2 = 8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_3 = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_4 = 28 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nella tabella seguente sono riportate le principali grandezze idrauliche per le portate oggetto di sperimentazione ( $Q_3=5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_4=8 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_5=18 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_6=28 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e le loro variazioni percentuali rispetto a  $Q_3$ . Si nota che:

- l'incremento di portata del 60% da  $Q_3$  a  $Q_4$  ha come effetto un incremento medio del 7% della larghezza media, del 14% del tirante medio e del 22% della velocità media;
- l'incremento di portata del 260% da  $Q_3$  a  $Q_5$  ha come effetto un incremento medio del 22% della larghezza media, del 37% del tirante medio e del 94% della velocità media;
- l'incremento di portata del 460% da  $Q_3$  a  $Q_6$  ha come effetto un incremento medio del 30% della larghezza media, del 53% del tirante medio e del 144% della velocità media.

Tabella 3-9 Principali grandezze idrauliche simulate e relativi incrementi.

	Portata	Tirante medio	Velocità media	larghezza media
	mc/s	cm	m/s	m
$Q_3$	5	0.39	0.285	58
$Q_4$	8	0.45	0.348	62
$Q_5$	18	0.54	0.554	71
$Q_6$	28	0.60	0.70	76

	Incremento	Tirante medio	Velocità media	larghezza media
	%	%	%	%
$Q_3-Q_4$	60%	14%	22%	7%
$Q_3-Q_5$	260%	37%	94%	22%
$Q_3-Q_6$	460%	53%	144%	30%

Nei grafici seguenti viene rappresentato l'andamento di queste grandezze in funzione della portata.

Figura 3-99 Variazione della larghezza media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

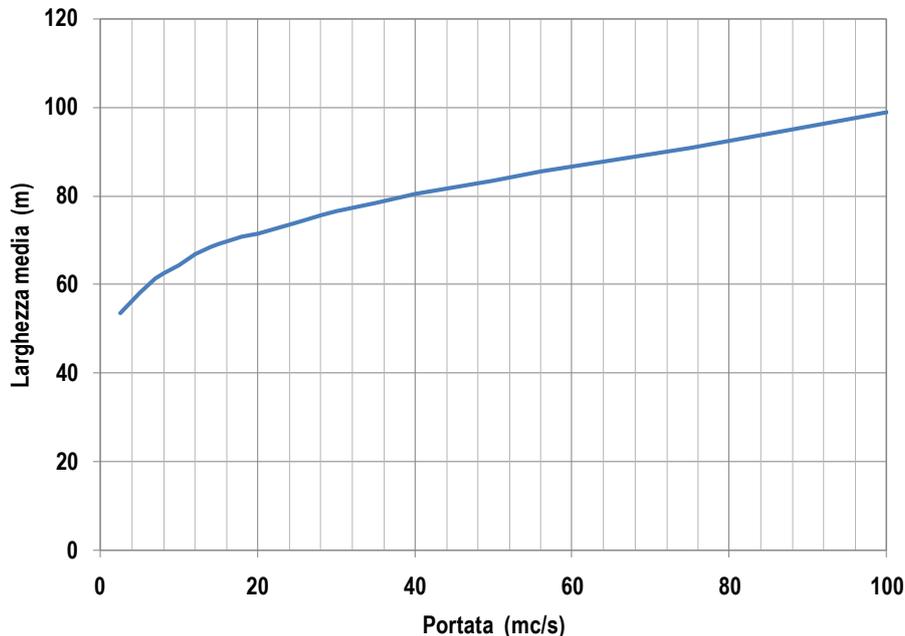


Figura 3-100 Variazione della profondità media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

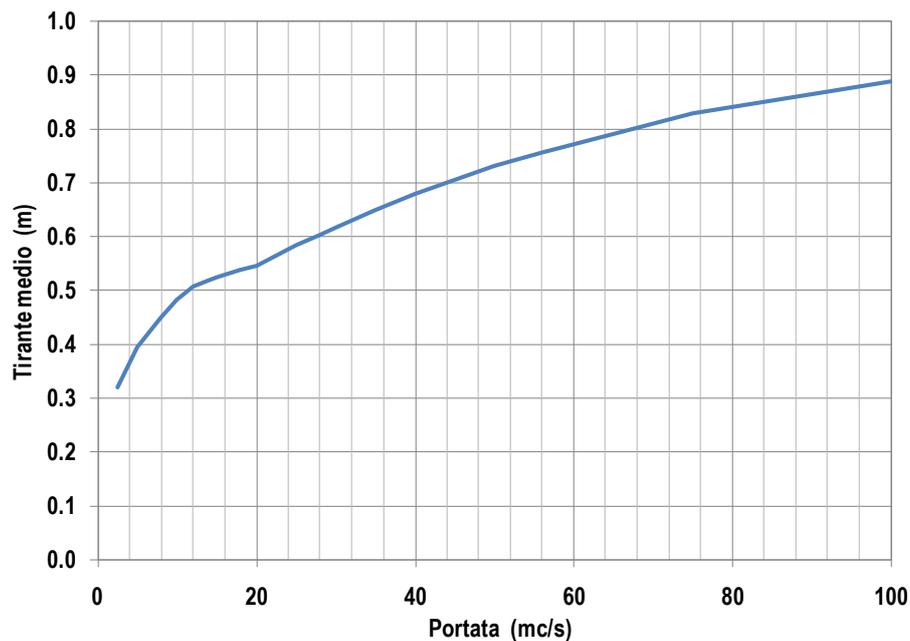
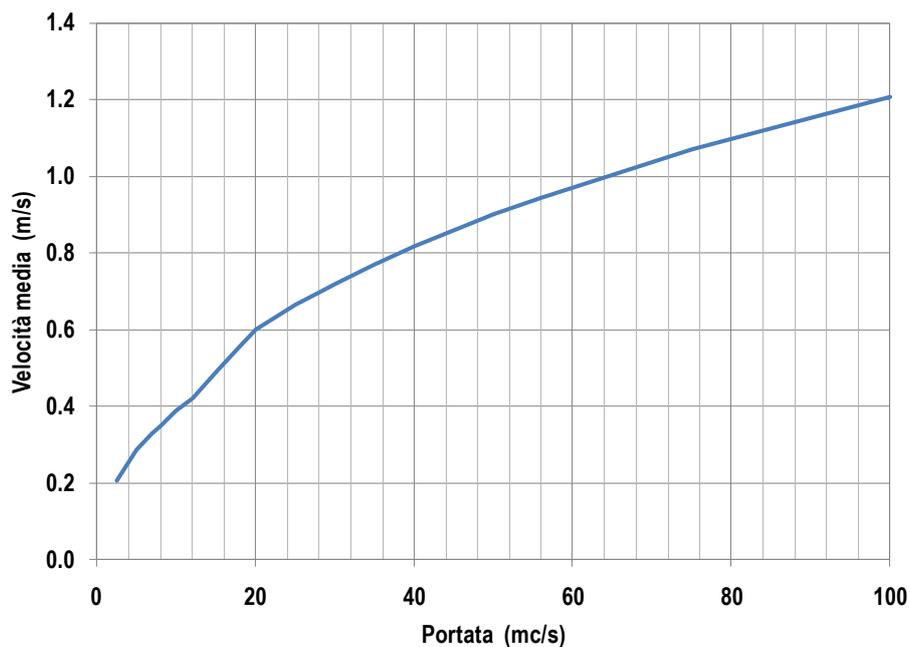


Figura 3-101 Variazione della velocità media di corrente in funzione della portata.



### **3.4.3 SIMULAZIONE ECOLOGICA MONODIMENSIONALE**

A fini ecologici è stato poi applicato il modello CASiMiR-Fish (Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements), utilizzando come specie target il barbo comune.

Di seguito sono presentati i risultati grafici relativi all' idoneità del tratto per il barbo comune, allo stadio adulto e giovanile, tenendo conto solo dei parametri "velocità" e "profondità" (escludendo quindi il parametro "substrato").

Figura 3-102 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

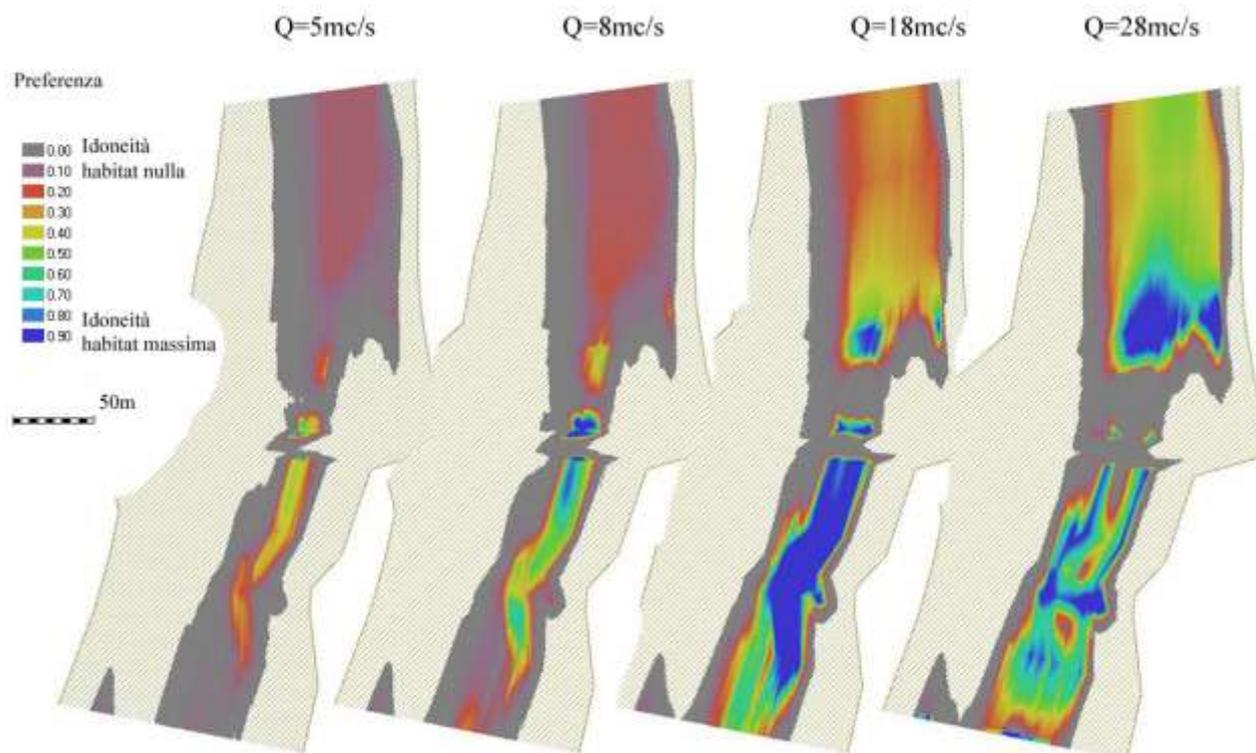
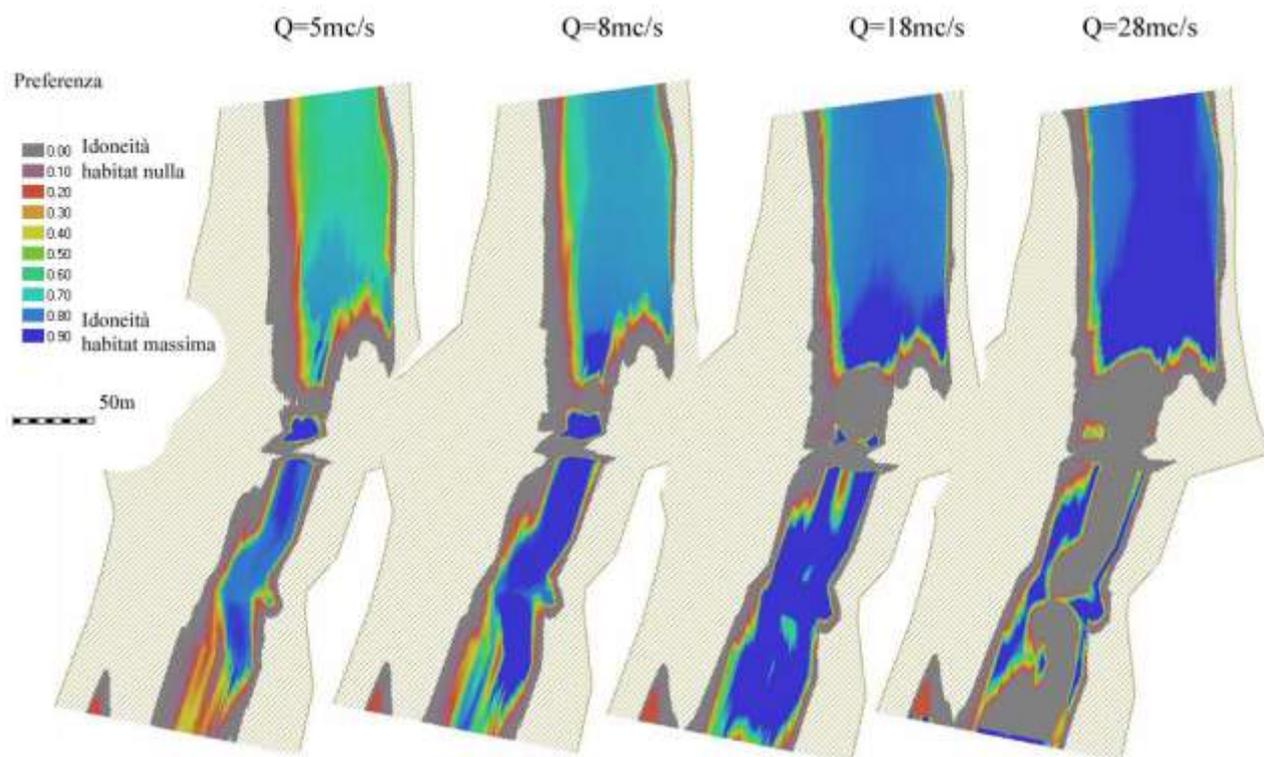


Figura 3-103 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.

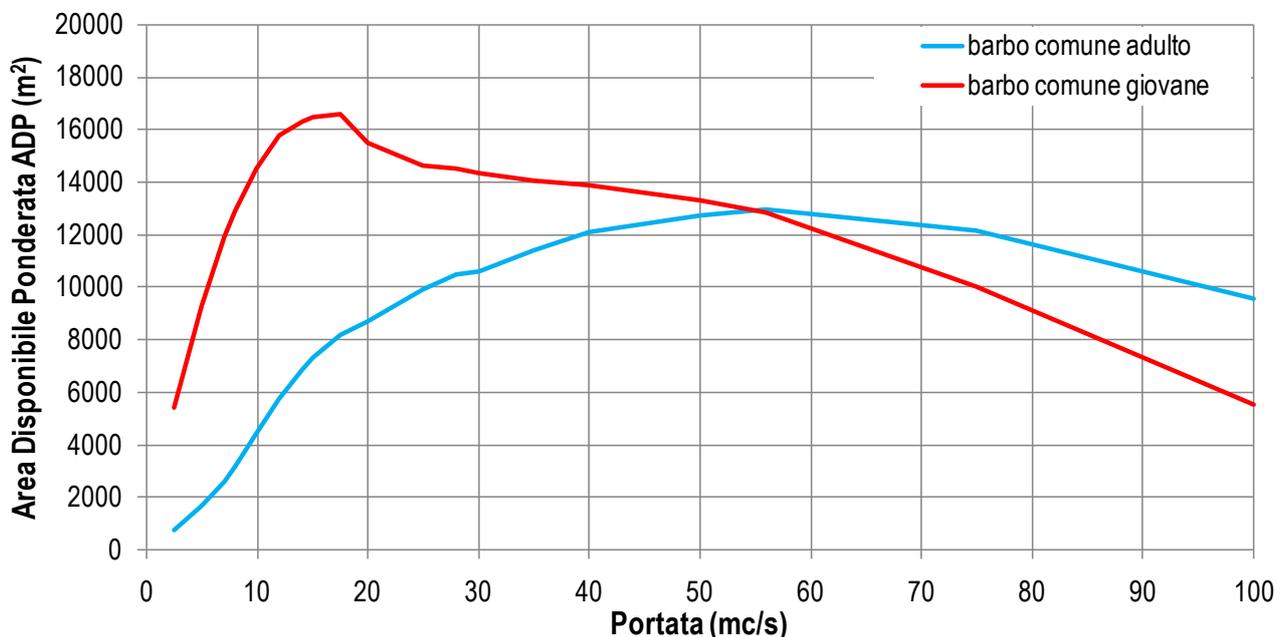


Nei grafici e nelle tabelle seguenti è mostrato l'andamento dell'area disponibile ponderata in funzione della portata per il barbo comune adulto e giovane, escludendo l'effetto della granulometria del substrato.

Tabella 3-10 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità e velocità di corrente.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		5	8	18	28
Indice di idoneità dell'habitat HHS [-]	barbo comune adulto	7 %	12 %	29 %	35 %
	barbo comune giovane	40 %	51 %	59 %	48 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	1653	3139	8199	10443
	barbo comune giovane	9276	12921	16614	14519

Figura 3-104 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.



### 3.4.4 SIMULAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione idraulica bidimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software River2D: un modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti, utilizzato per studi di idroecologia su fiumi e torrenti, sviluppato dall'Università di Alberta (Canada).

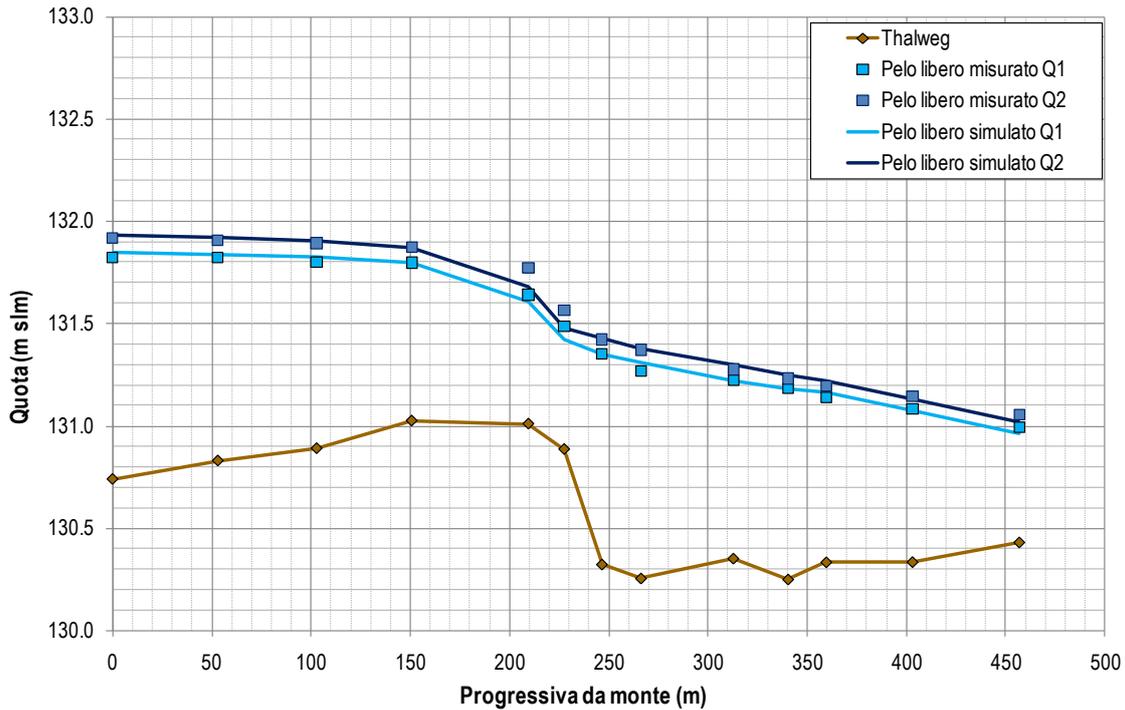
Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=12 \text{ m}^3\text{s}$ ;  $Q_2=28 \text{ m}^3\text{s}$ .
- Condizione al contorno di monte: portata di calibrazione.
- Condizione al contorno di valle: scala di deflusso ottenuta dalle misure in campo.

- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

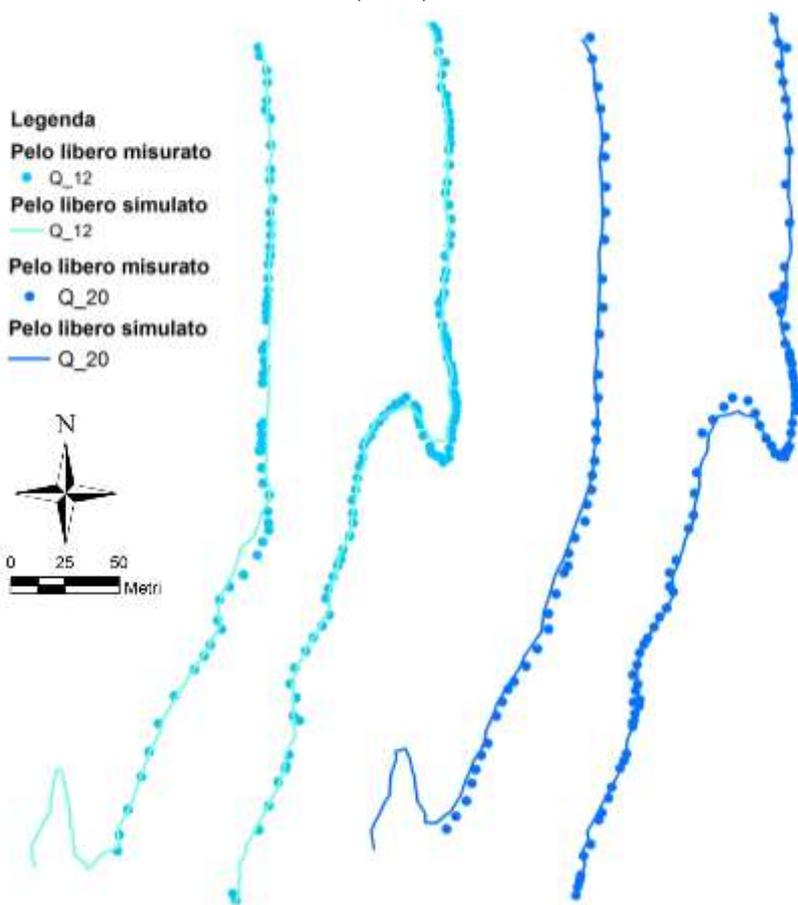
Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $17.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e  $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_2$  ( $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Nella figura seguente è riportato il confronto tra le quote di pelo libero misurate e simulate. Rispetto alla modellazione 1D si ha una migliore corrispondenza misurato-simulato nella seconda metà del tratto.

Figura 3-105 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC4.



Nella figura seguente è riportata la posizione, in planimetria, dell'intersezione tra la morfologia dell'alveo fluviale e il pelo libero ottenuta con la simulazione e la posizione di alcuni punti del pelo libero rilevati in campo. Si nota una buona corrispondenza planimetrica. In alcune zone localizzate si nota una differenza legata alla presenza di tiranti molto bassi e modeste variazioni di quota nella direzione trasversale.

Figura 3-106 Confronto dei confini planimetrici dell'alveo bagnato misurato e simulato con River2D per  $Q=12\text{m}^3/\text{s}$  (sinistra) e per  $Q=20\text{m}^3/\text{s}$  (destra) – tratto TIC4.



Nelle figure seguenti sono riportati i risultati di calcolo ottenuti in corrispondenza delle sezioni trasversali presentate nei precedenti paragrafi.

Figura 3-107 Sezione 1: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

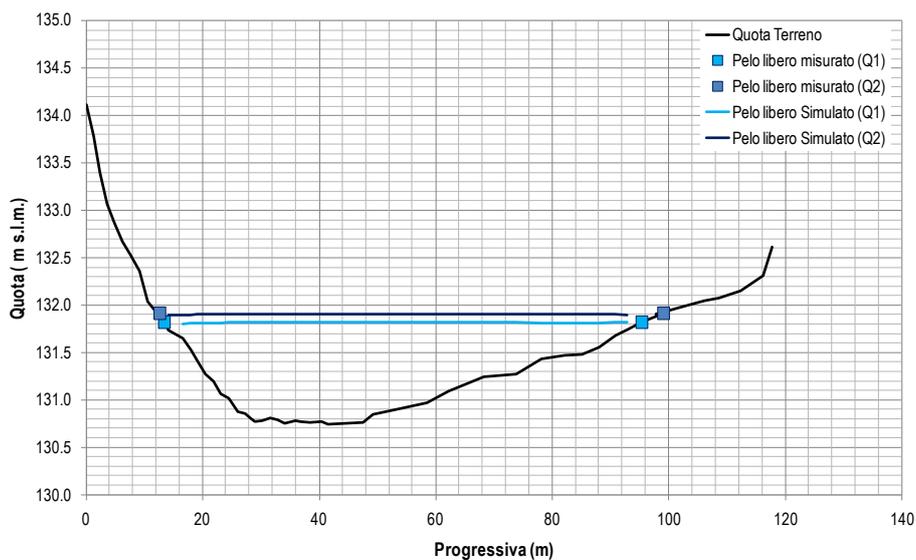


Figura 3-108 Sezione 4: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

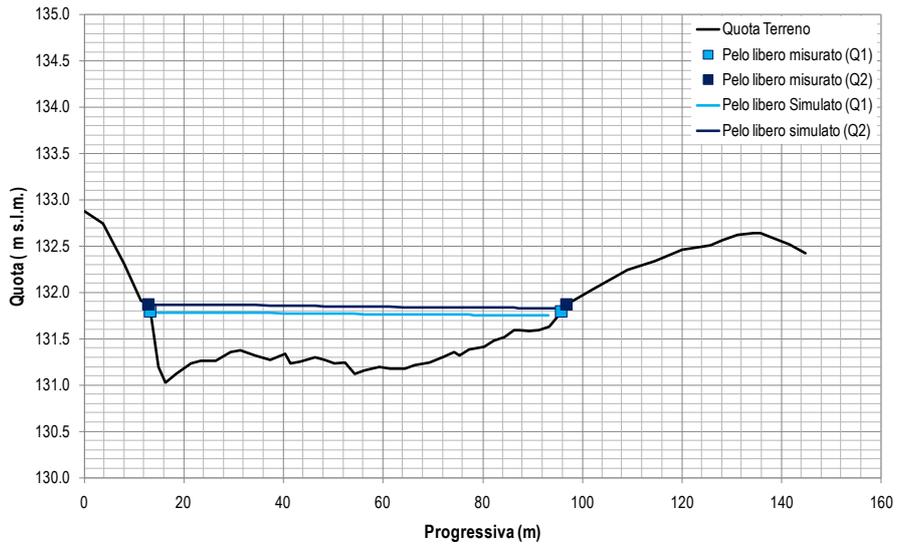


Figura 3-109 Sezione 9: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

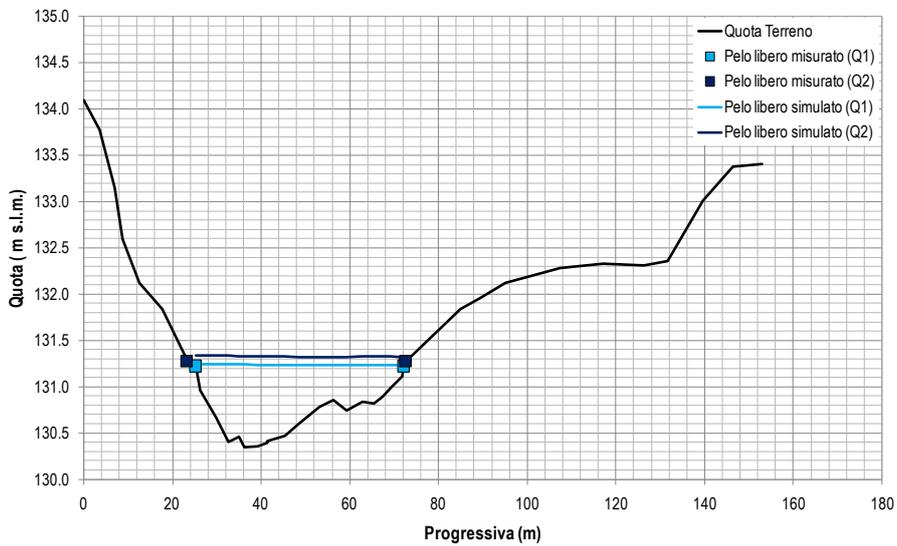
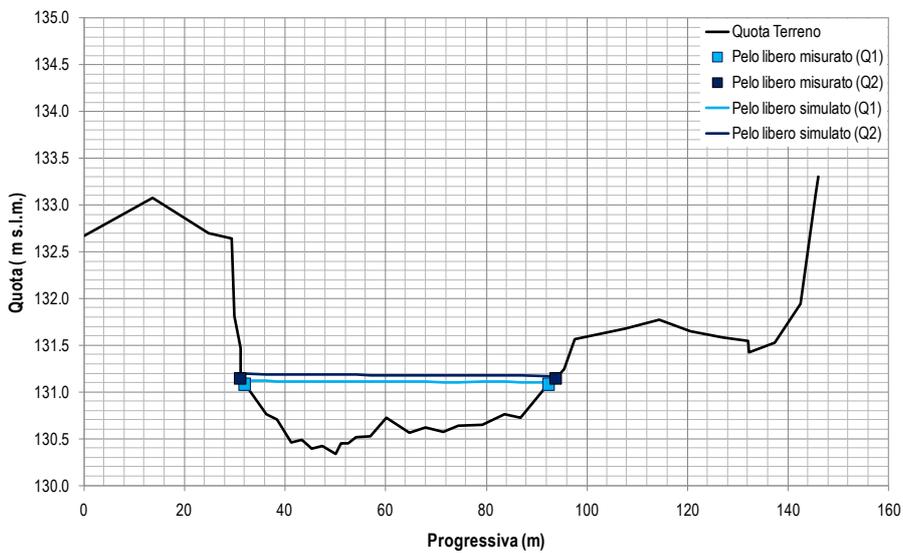


Figura 3-110 Sezione 12: confronto fra peli liberi simulati e misurati.



I risultati ottenuti dalla modellazione 2D relativi alla distribuzione planimetrica del valore della velocità e del tirante sono riportati nelle figure seguenti. Si nota che il primo tratto è caratterizzato da velocità generalmente inferiori rispetto al tratto centrale. Inoltre è evidente la presenza di una pool nel primissimo tratto di monte. Dalla simulazione eseguita è risultato che il ramo laterale in sponda sx evidenziato nel cerchio rosso non viene attivato neanche con portata pari al DMV idrologico (10%).

Figura 3-111 Simulazione della velocità tramite il software River2D.

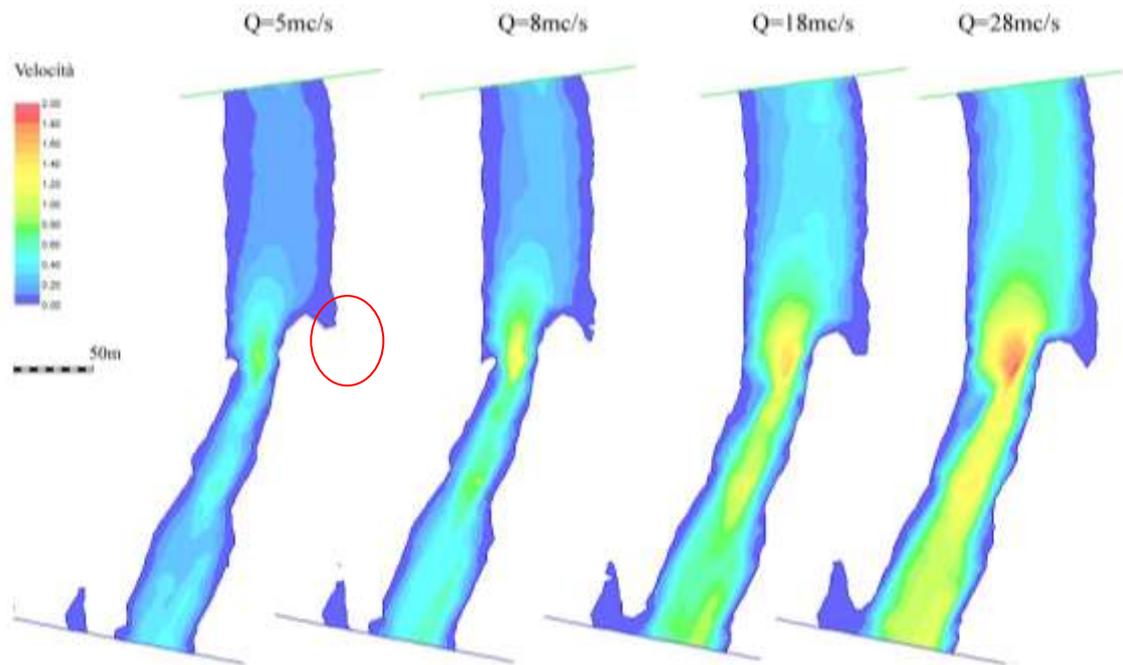


Figura 3-112 Simulazione del tirante tramite il software River2D.

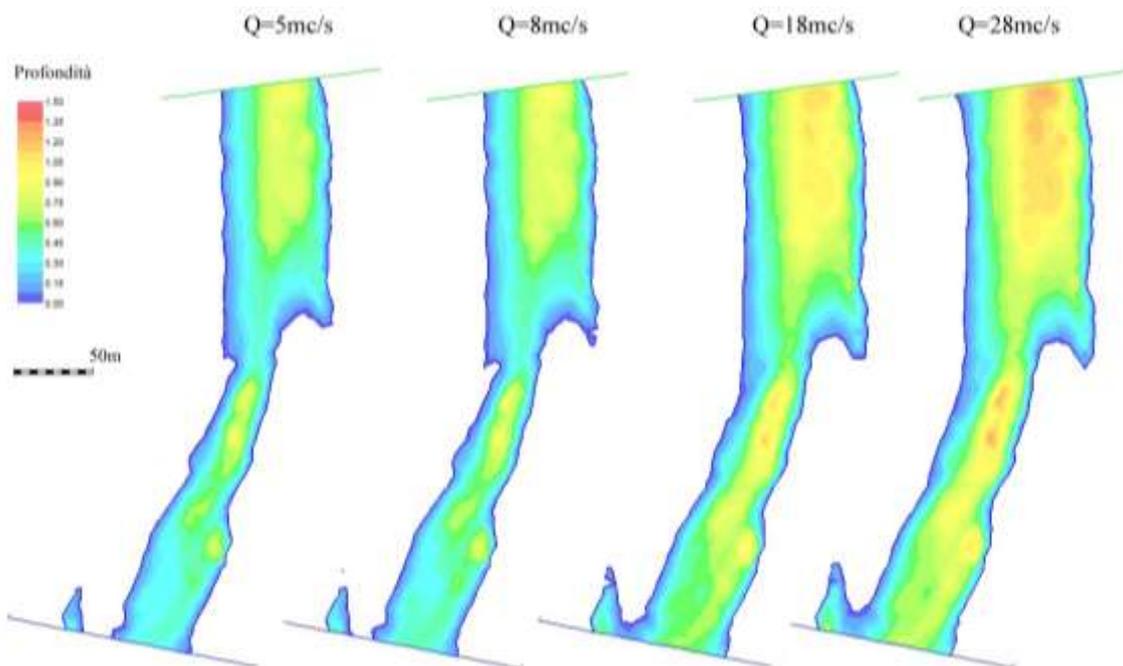


Figura 3-113 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

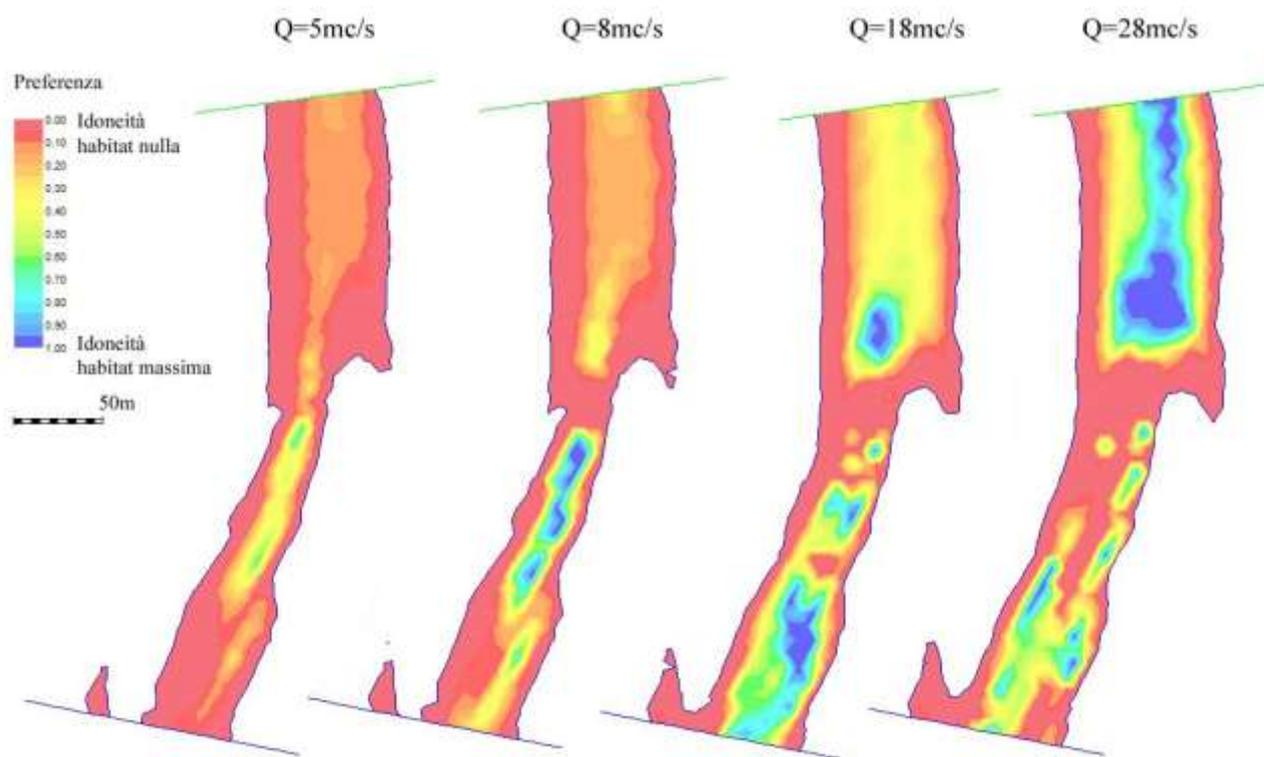
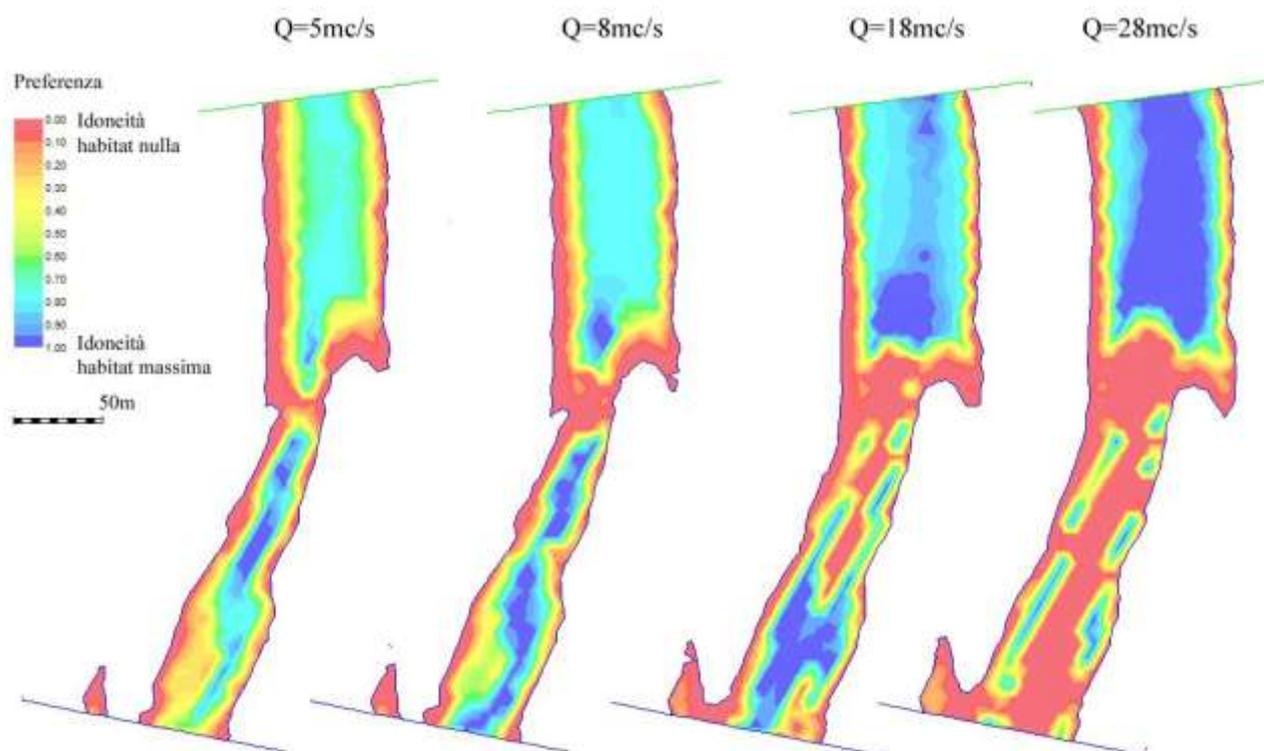


Figura 3-114 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.



Nelle tabelle e figure seguenti sono riportati i risultati relativi all'intero tratto di studio.

Tabella 3-11 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente.

		Portata [m³/s]			
		5	8	18	28
Indice di idoneità dell'habitat HHS [%]	barbo comune adulto	9 %	15 %	28 %	32 %
	barbo comune giovane	43 %	49 %	52 %	43 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m²]	barbo comune adulto	2072	3693	8044	9809
	barbo comune giovane	10056	11921	14824	13159

Figura 3-115 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.

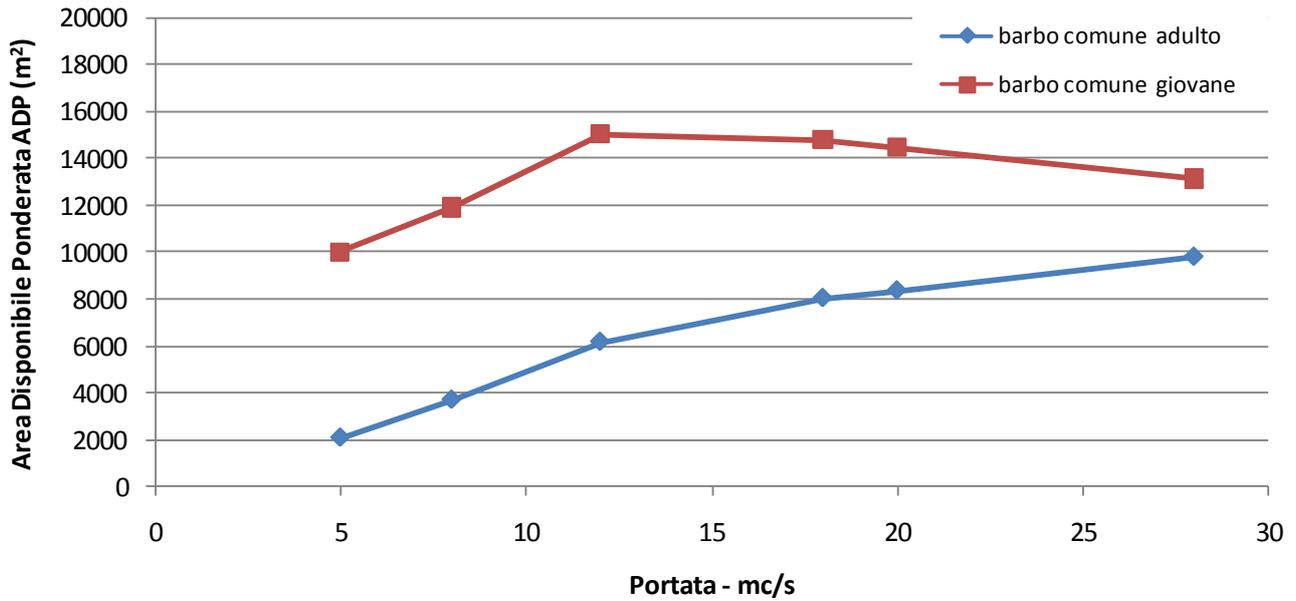
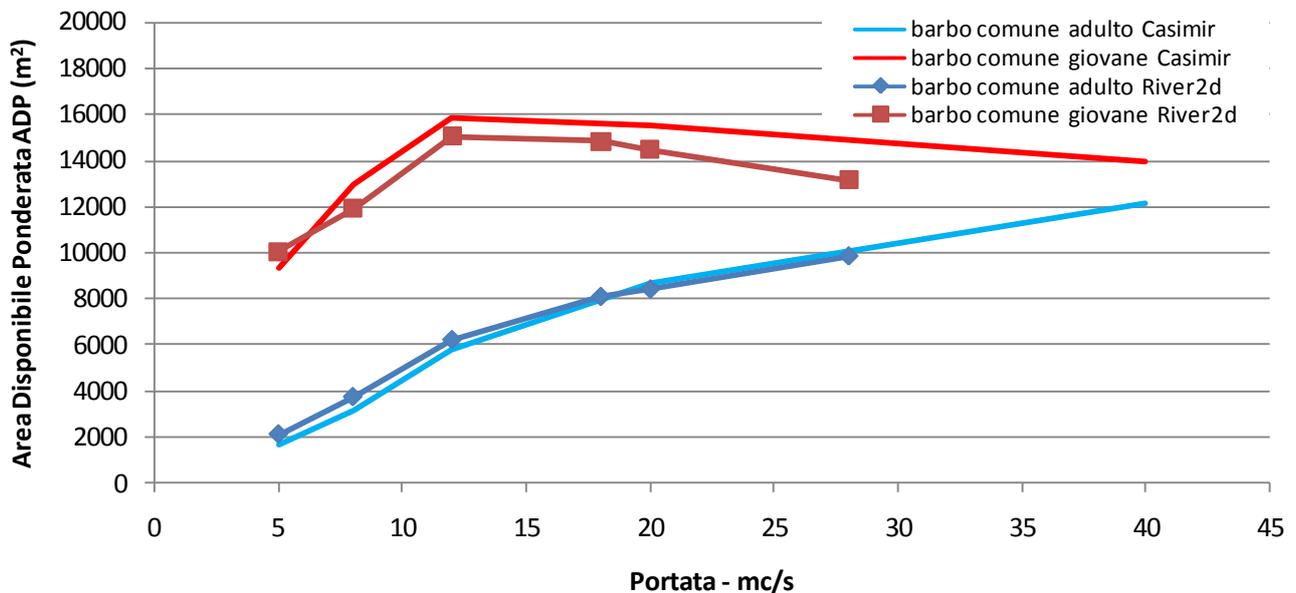


Figura 3-116 Confronto dell'Area Disponibile Ponderata fra modellazione 1D e 2D per la specie barbo comune.



### 3.5 FIUME TICINO A TURBIGO – VALLE PONTE: TIC5

Il tratto di fiume Ticino oggetto di studio è circa 200 m a valle del ponte di Turbigo. I dati principali del tratto rilevato sono:

- Lunghezza: 254 m
- N° sezioni rilevate: 6

Il rilievo è stato effettuato con una portata pari a  $95 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_1$ ).

Figura 3-117 Localizzazione del tratto TIC5 oggetto di studio.

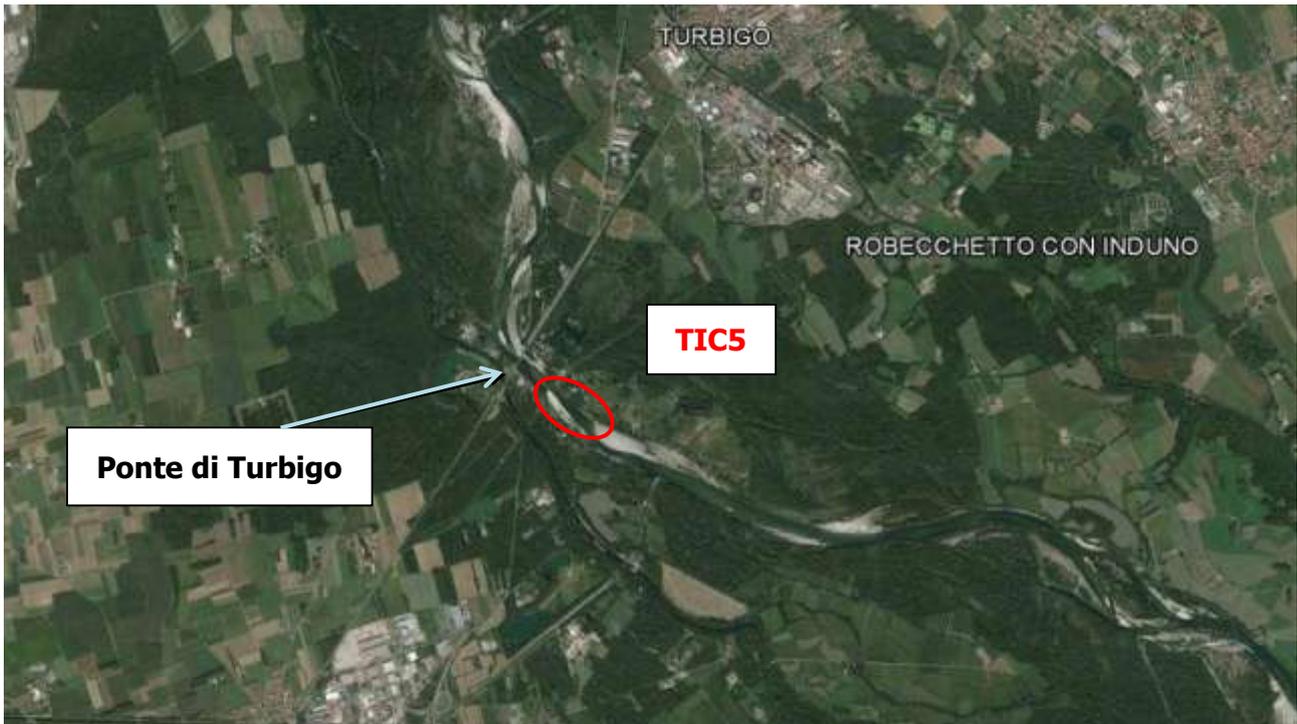
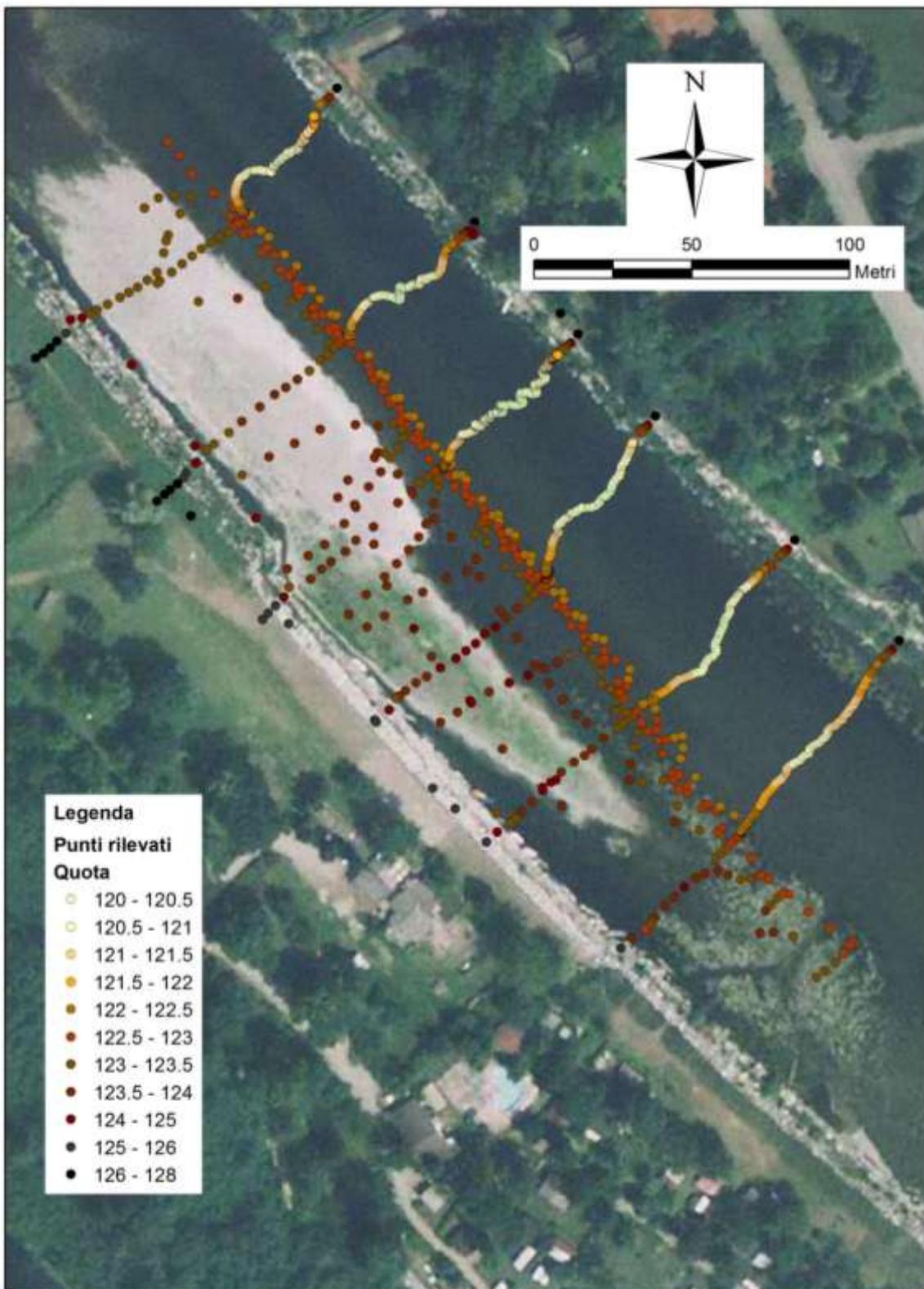


Figura 3-118 Strumentazione utilizzata per il rilievo topografico e la misura della portata.



La planimetria del tratto ottenuta con rilievo GPS, stazione totale e battellino ADV è riportata nella figura seguente.

Figura 3-119 Planimetria quotata del tratto TIC5 rilevato.

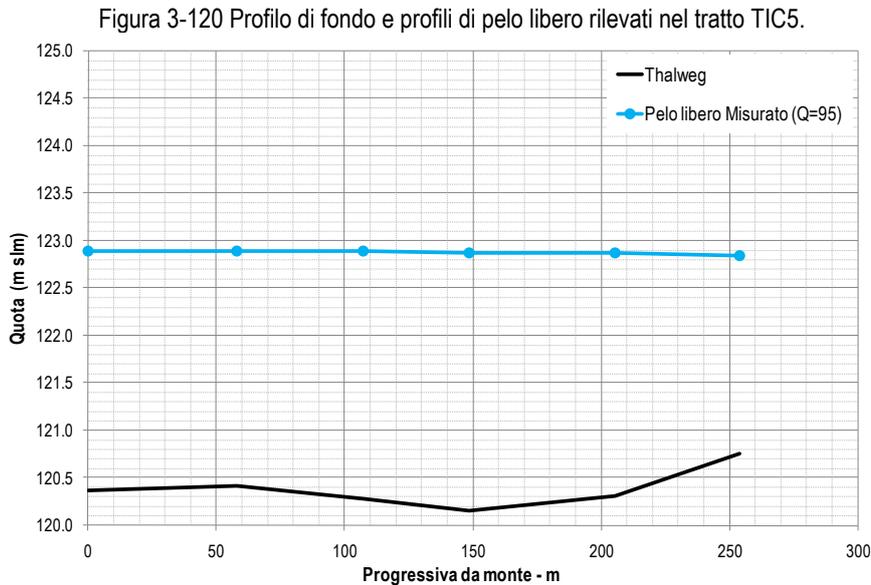


### 3.5.1 RISULTATI DEI RILIEVI TOPOGRAFICI E IDRAULICO-MORFOLOGICI

In questo paragrafo sono riportati i risultati dei rilievi topografici e idraulico-morfologici effettuati sul fiume Ticino nel tratto TIC5.

#### Rilievo del pelo libero

Il profilo di fondo alveo (thalweg) e il profilo di pelo libero sono presentati nella figura seguente.



#### Rilievo delle sezioni trasversali

Nelle figure seguenti sono riportate le 6 sezioni trasversali rilevate con la quota media di pelo libero. Per alcune è riportato l'inquadramento fotografico della sezione.

Figura 3-121 Sezione trasversale 1: geometria e inquadramento fotografico.

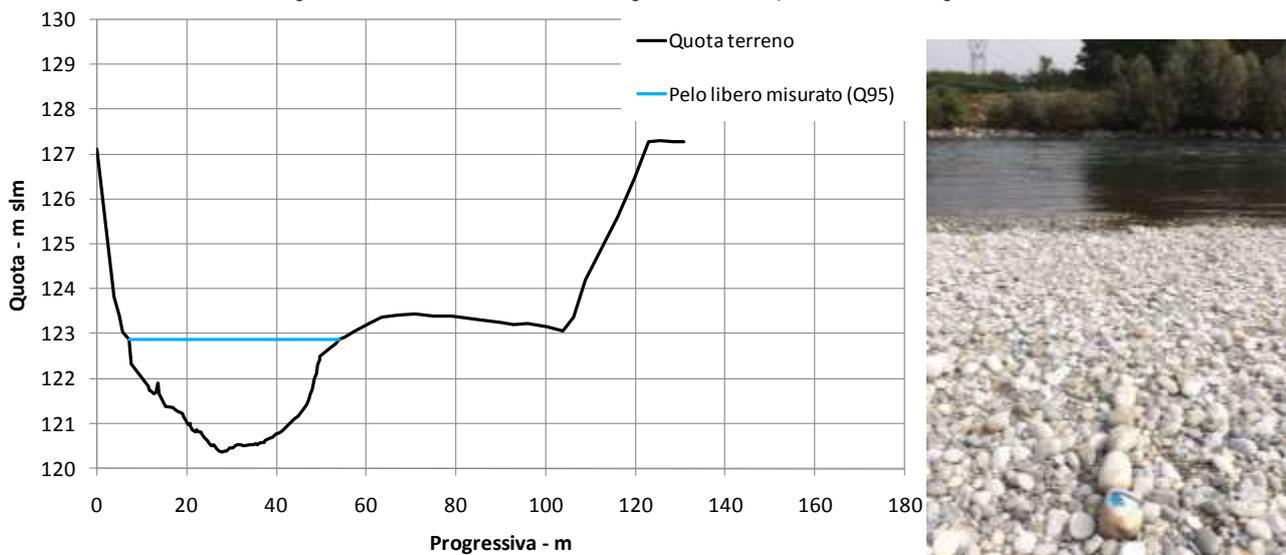


Figura 3-122 Sezione trasversale 2: geometria e inquadramento fotografico.

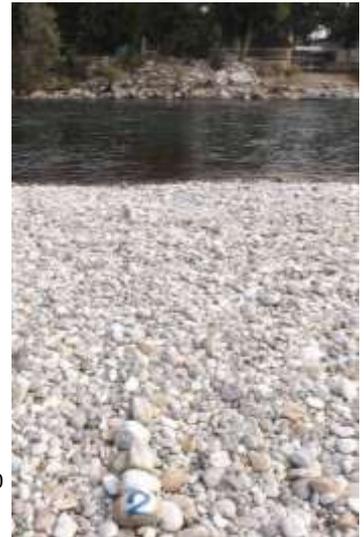
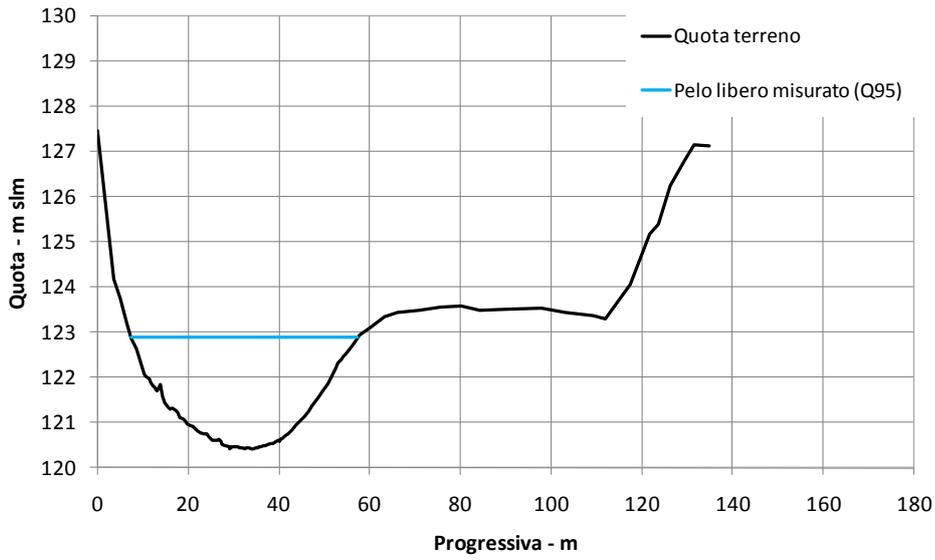


Figura 3-123 Sezione trasversale 3: geometria e inquadramento fotografico.

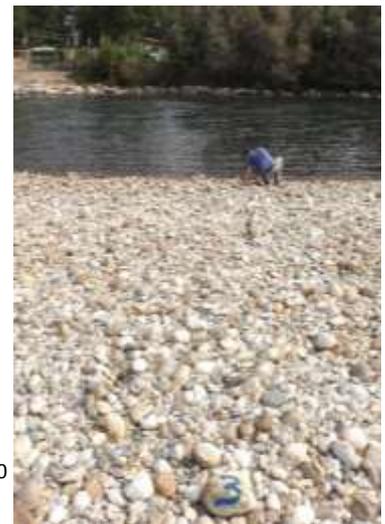
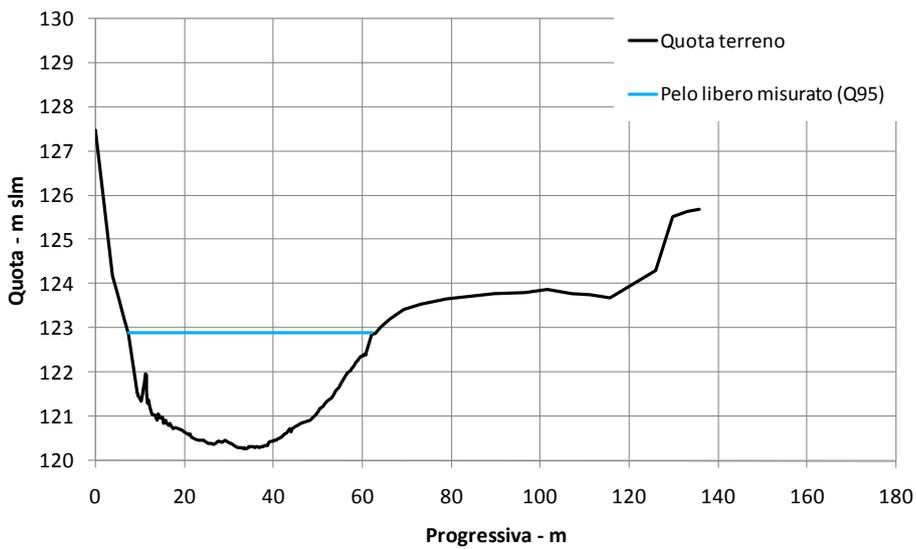


Figura 3-124 Sezione trasversale 4: geometria e inquadramento fotografico.

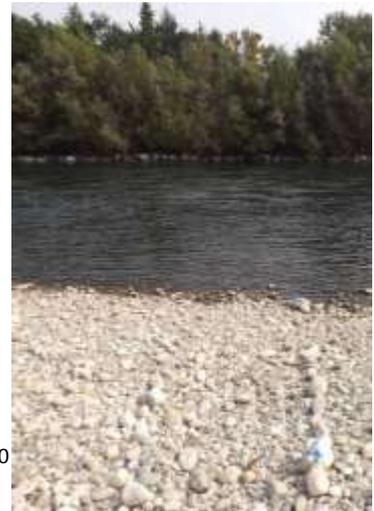
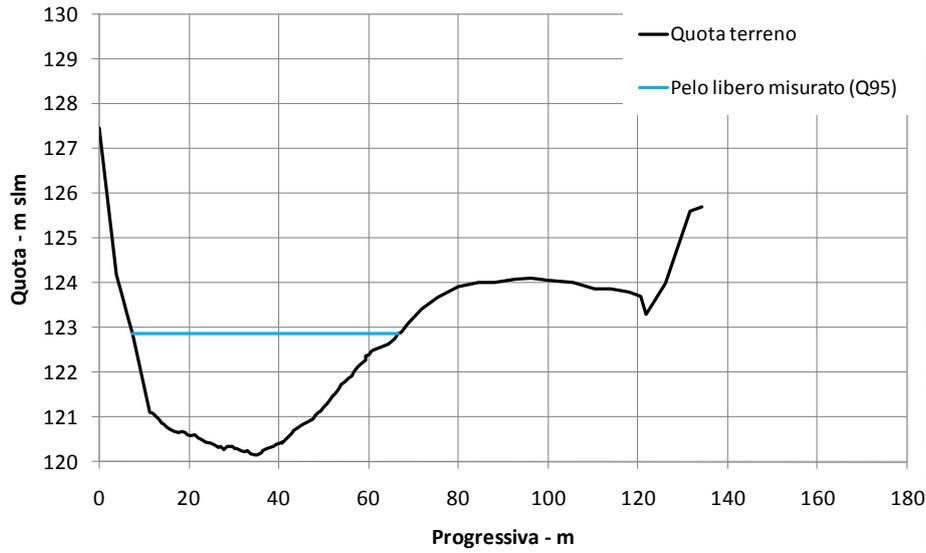


Figura 3-125 Sezione trasversale 5: geometria e inquadramento fotografico.

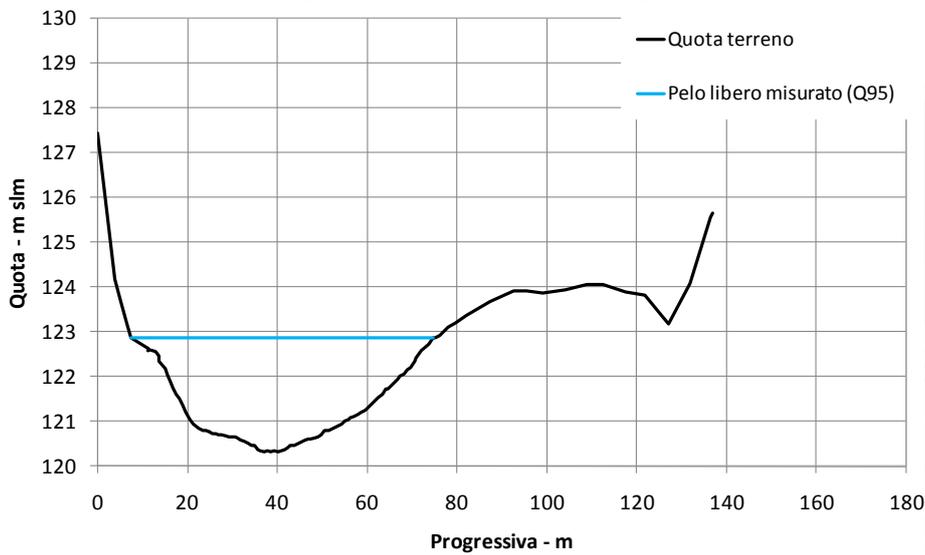
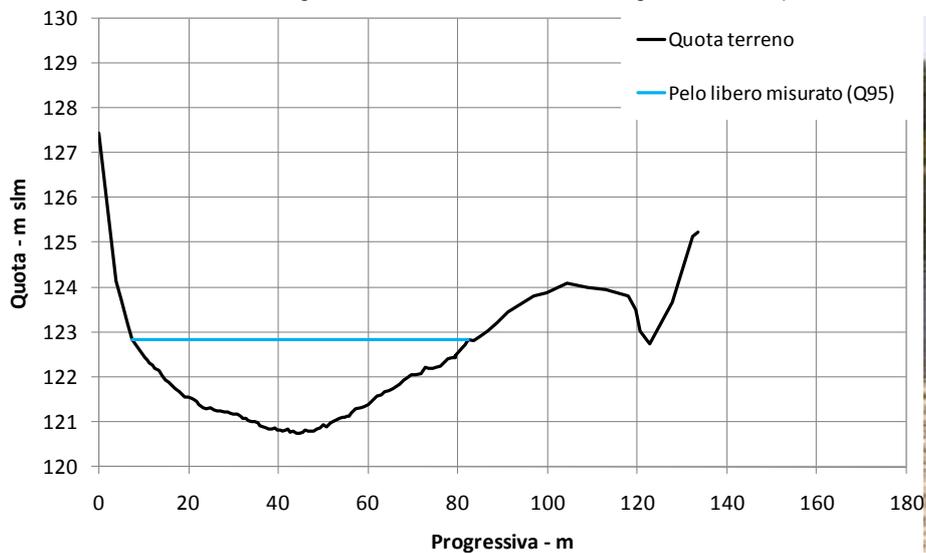


Figura 3-126 Sezione trasversale 6: geometria e inquadramento fotografico.



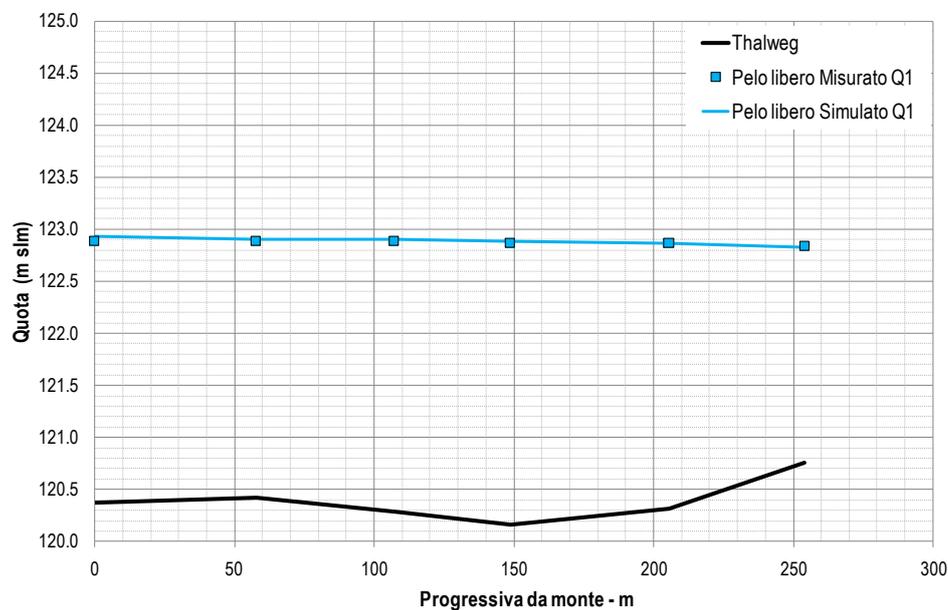
### 3.5.2 SIMULAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE

La modellazione idraulica monodimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software Hec Ras. Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=95 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione al contorno di valle: Quota di pelo libero misurato.
- Tipo simulazione: corrente lenta.

Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per  $Q_1$  ( $95 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Figura 3-127 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC5.



La simulazione ha riguardato quattro differenti portate:

- $Q_3 = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_4 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_5 = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- $Q_6 = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nella tabella seguente sono riportate le principali grandezze idrauliche per le portate oggetto di sperimentazione ( $Q_3=25 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_4=50 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_5=75 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_6=100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e le loro variazioni percentuali rispetto a  $Q_3$ .

Si nota che:

- l'incremento di portata del 100% da  $Q_3$  a  $Q_4$  ha come effetto un incremento medio del 12% della larghezza media, del 28% del tirante medio e del 38% della velocità media;
- l'incremento di portata del 200% da  $Q_3$  a  $Q_5$  ha come effetto un incremento medio del 21% della larghezza media, del 44% del tirante medio e del 69% della velocità media;
- l'incremento di portata del 460% da  $Q_3$  a  $Q_6$  ha come effetto un incremento medio del 30% della larghezza media, del 58% del tirante medio e del 92% della velocità media.

Tabella 3-12 Principali grandezze idrauliche simulate e relativi incrementi.

	Portata	Tirante medio	Velocità media	larghezza media
	mc/s	cm	m/s	m
$Q_3$	<b>25</b>	1.07	0.526	46
$Q_4$	<b>50</b>	1.37	0.729	52
$Q_5$	<b>75</b>	1.55	0.892	56
$Q_6$	<b>100</b>	1.69	1.01	60

	Incremento	Tirante medio	Velocità media	larghezza media
	%	%	%	%
$Q_3$ - $Q_4$	100%	28%	38%	12%
$Q_3$ - $Q_5$	200%	44%	69%	21%
$Q_3$ - $Q_6$	300%	58%	92%	30%

Nei grafici seguenti viene rappresentato l'andamento di queste grandezze in funzione della portata.

Figura 3-128 Variazione della larghezza media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

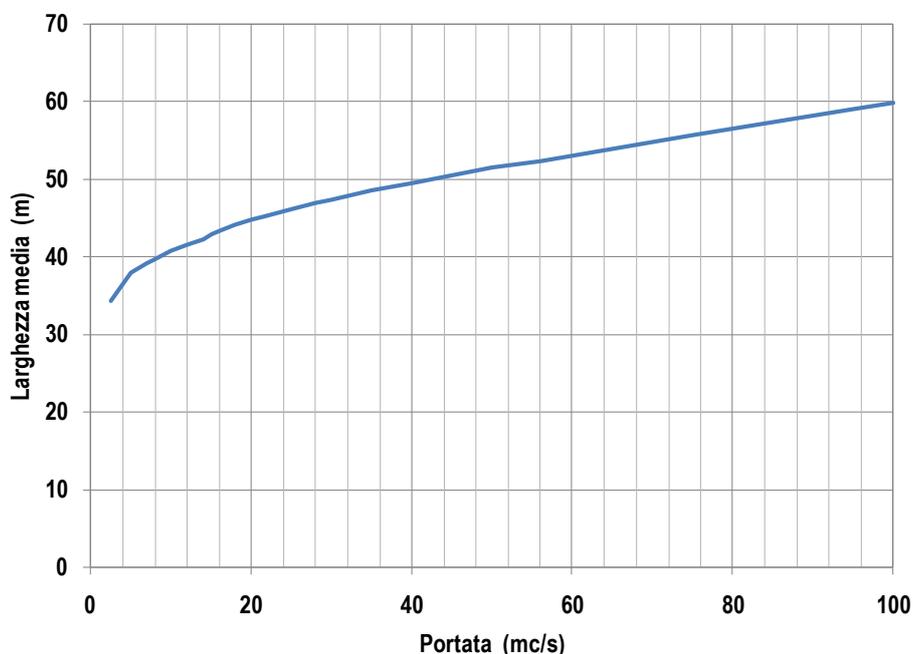


Figura 3-129 Variazione della profondità media dell'alveo bagnato in funzione della portata.

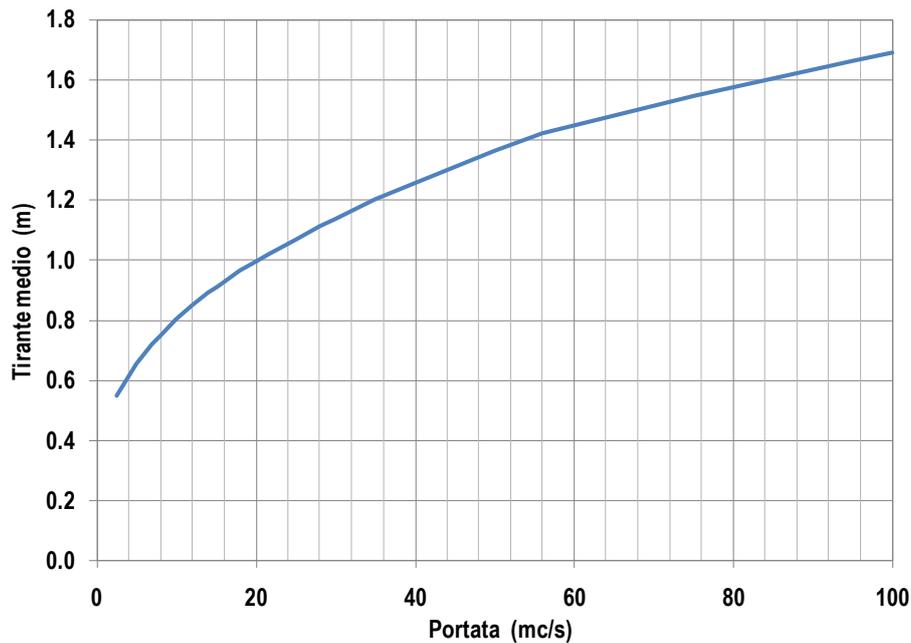
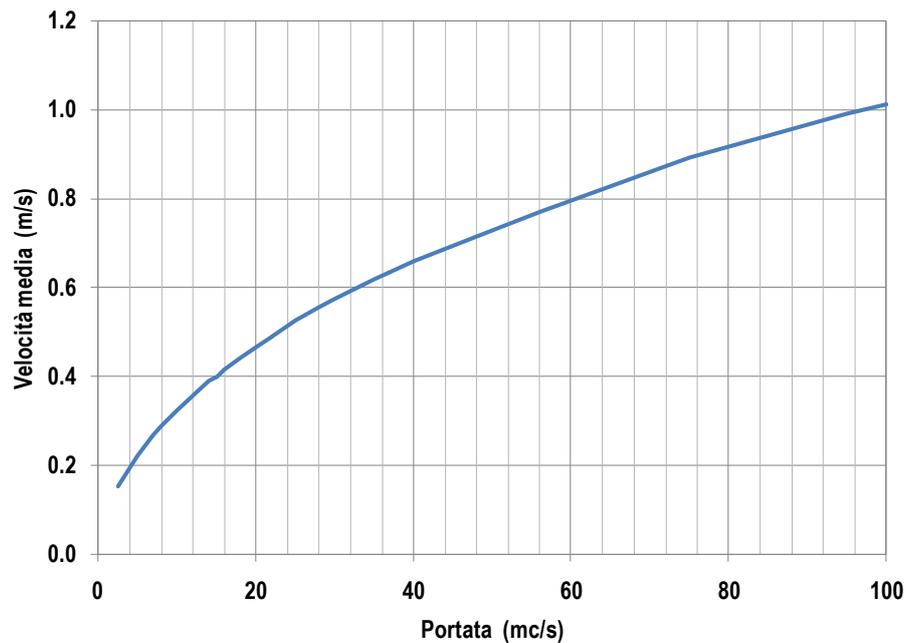


Figura 3-130 Variazione della velocità media di corrente in funzione della portata.



### **3.5.3 SIMULAZIONE ECOLOGICA MONODIMENSIONALE**

A fini ecologici è stato poi applicato il modello CASiMiR-Fish (Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements), utilizzando come specie target il barbo comune.

Di seguito sono presentati i risultati grafici relativi all'idoneità del tratto per il barbo comune, allo stadio adulto e giovanile, tenendo conto solo dei parametri "velocità" e "profondità" (escludendo quindi il parametro "substrato").

Figura 3-131 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

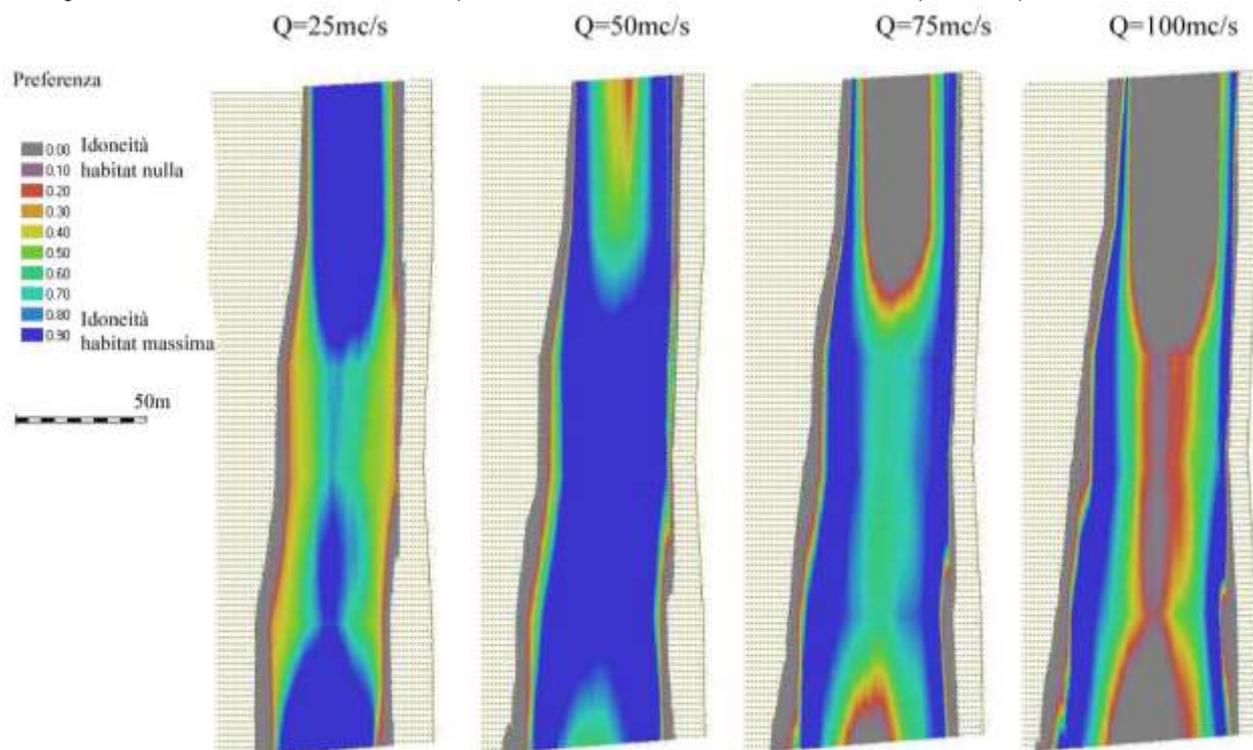
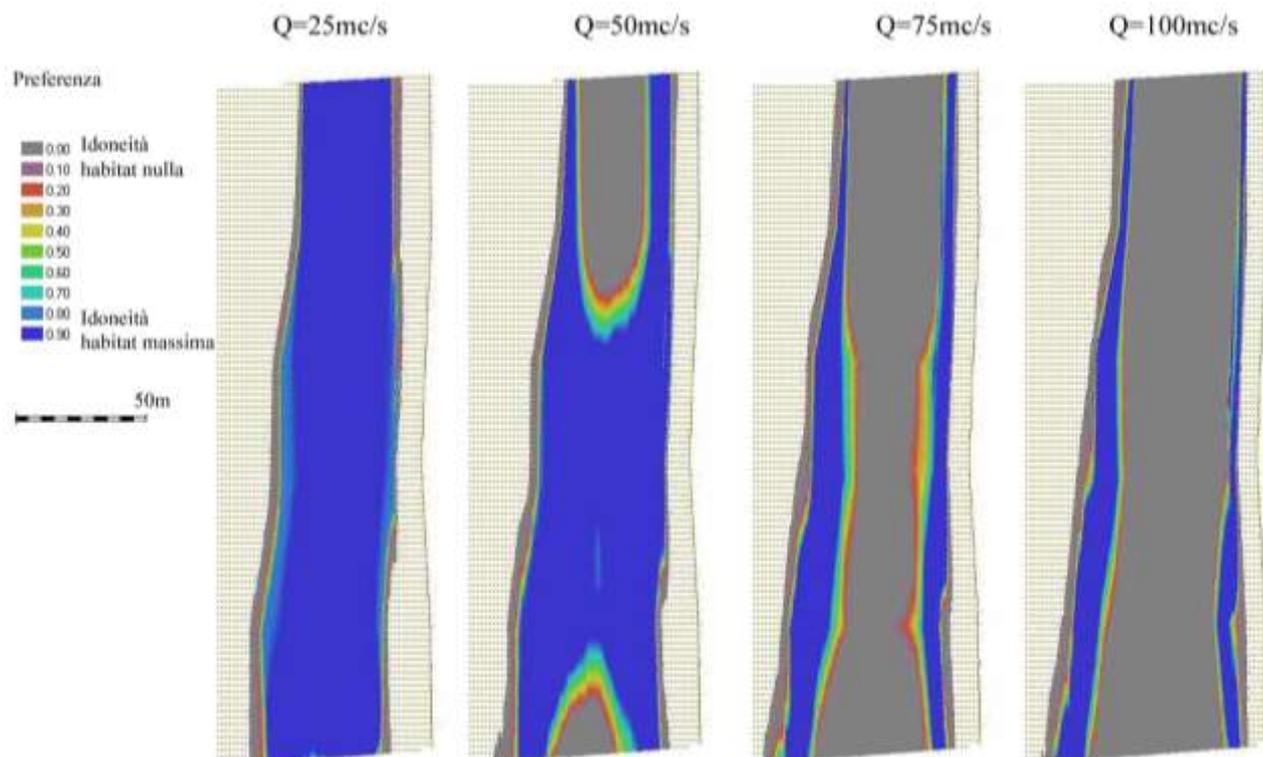


Figura 3-132 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.

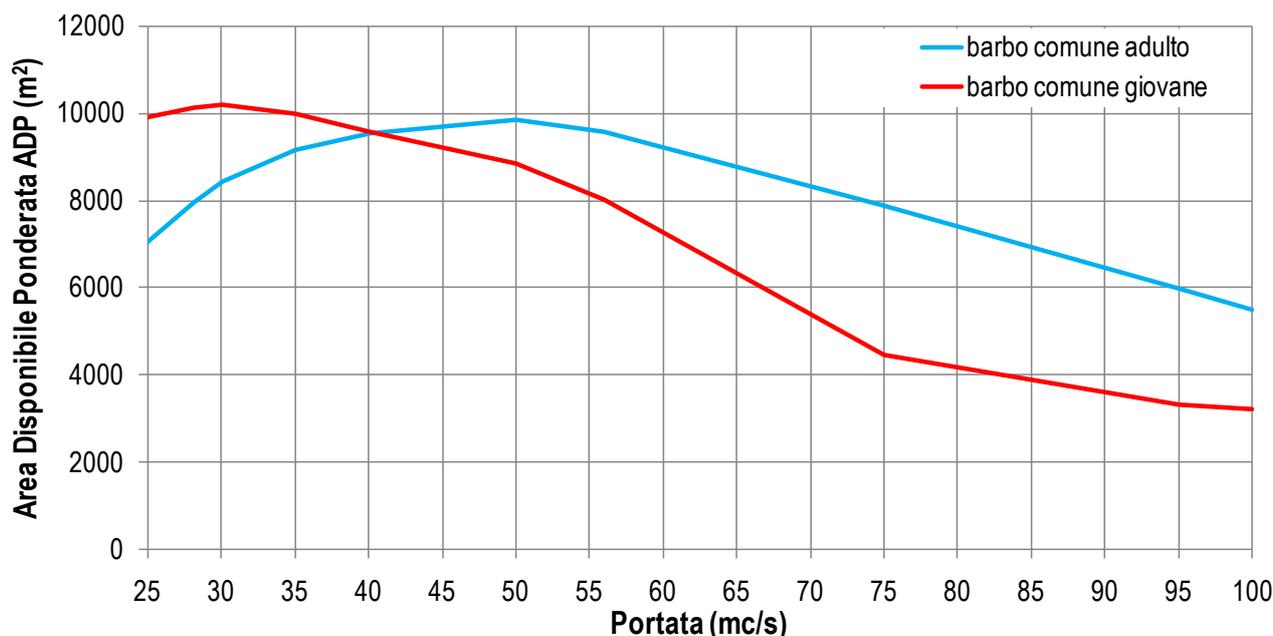


Nei grafici e nelle tabelle seguenti è mostrato l'andamento dell'area disponibile ponderata in funzione della portata per il barbo comune adulto e giovane, escludendo l'effetto della granulometria del substrato.

Tabella 3-13 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		25	50	75	100
Indice di idoneità dell'habitat HHS [-]	barbo comune adulto	61 %	76 %	56 %	37 %
	barbo comune giovane	85 %	68 %	32 %	21 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	7108	9865	7879	5503
	barbo comune giovane	9911	8860	4446	3210

Figura 3-133 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità e velocità.



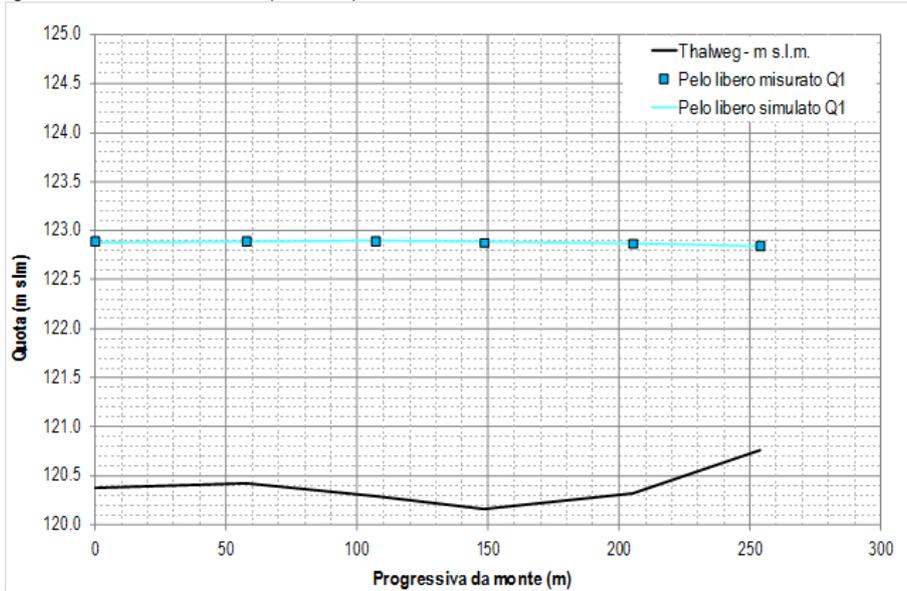
### 3.5.4 SIMULAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione idraulica bidimensionale del tratto di studio è stata effettuata con il software River2D. Le principali caratteristiche della modellazione sono le seguenti:

- Simulazione in moto permanente.
- Portata di calibrazione:  $Q_1=95 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione al contorno di monte: portata di calibrazione.
- Condizione al contorno di valle: scala di deflusso ottenuta dalle misure in campo.
- Tipo simulazione: mista (possibilità di avere corrente veloce e lenta).

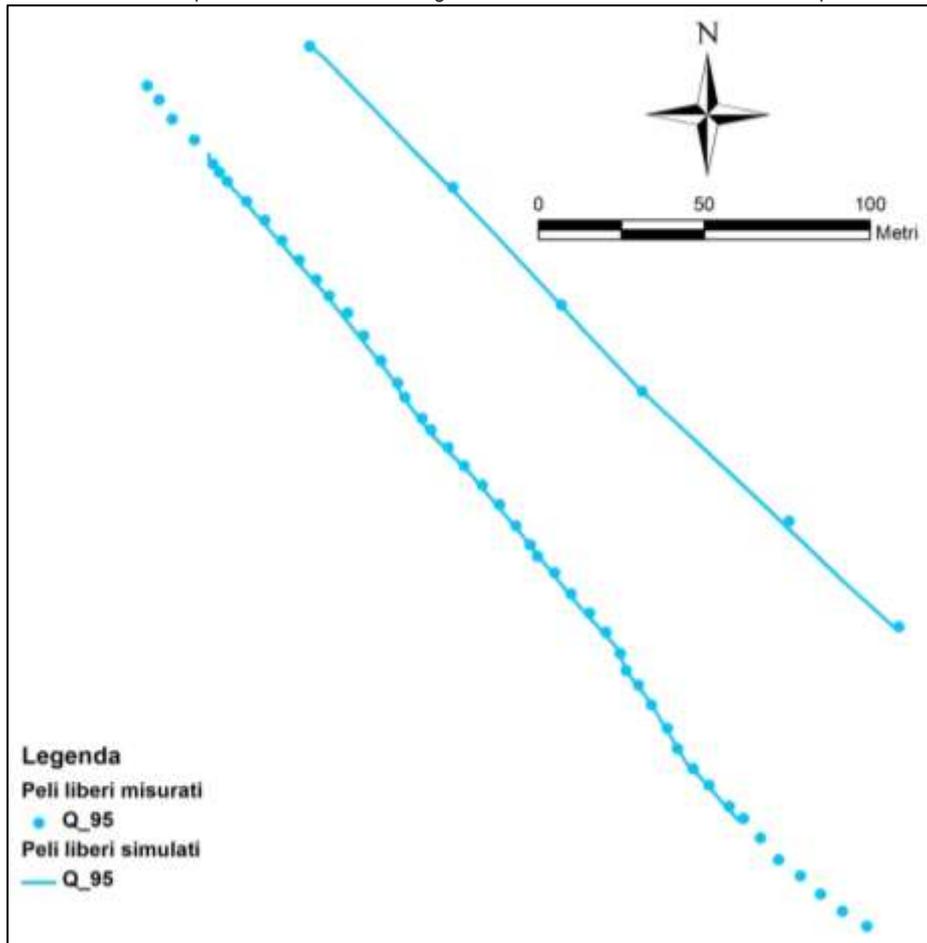
Il parametro fondamentale per la taratura del modello è la scabrezza. Il coefficiente di scabrezza ( $K_s$ ) che permette di ottenere le migliori corrispondenze tra le quote di pelo libero rilevate e simulate è pari a  $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Nella figura seguente è riportato il confronto tra le quote di pelo libero misurate e simulate.

Figura 3-134 Confronto tra i profili di pelo libero misurati e simulati nel fiume Ticino – tratto TIC5.



Nella figura seguente è riportata la posizione in planimetria dell'intersezione tra la morfologia dell'alveo fluviale e il pelo libero ottenuta con la simulazione e la posizione di alcuni punti del pelo libero rilevati in campo. Si nota un'ottima corrispondenza planimetrica.

Figura 3-135 Confronto dei confini planimetrici dell'alveo bagnato misurato e simulato con River2D per  $Q=95\text{m}^3/\text{s}$  – tratto TIC5.



Nelle figure seguenti sono riportati i risultati di calcolo ottenuti in corrispondenza delle sezioni trasversali presentate nei precedenti paragrafi.

Figura 3-136 Sezione 2: confronto fra peli liberi simulati e misurati.

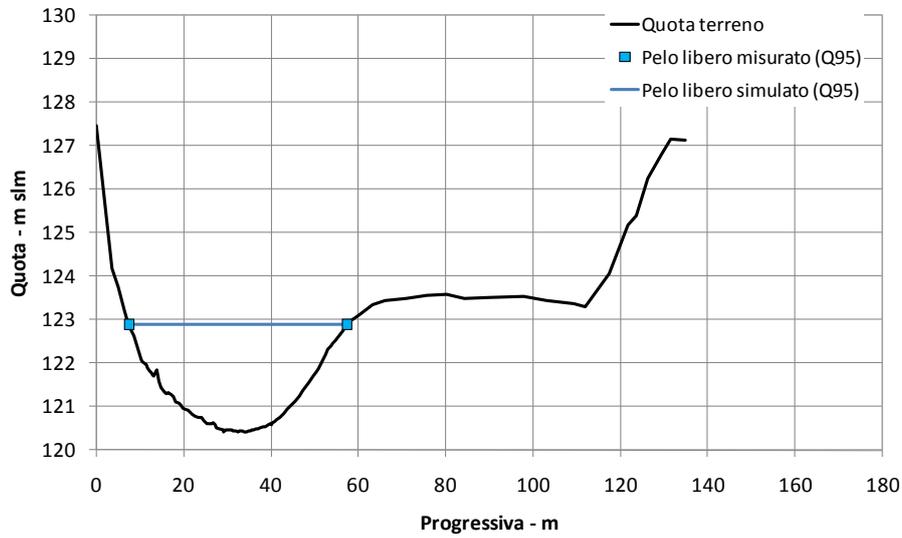
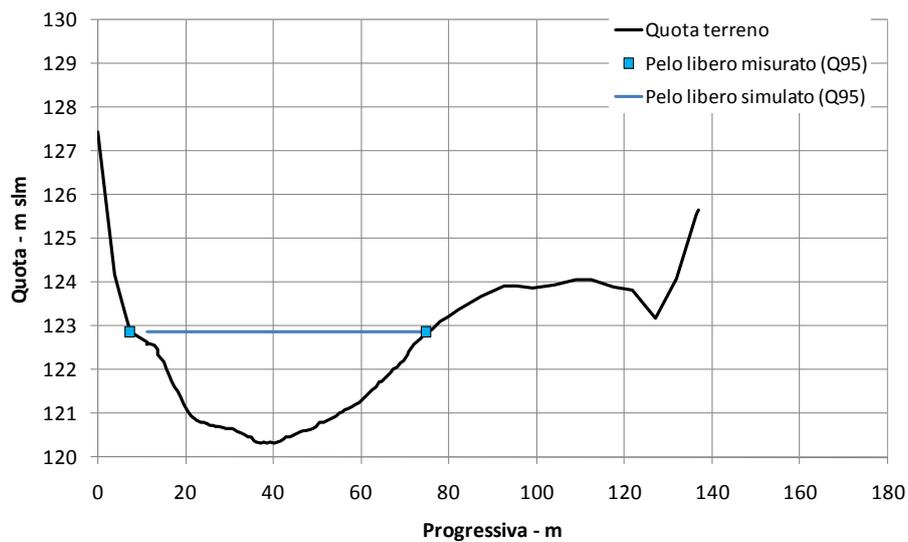


Figura 3-137 Sezione 5: confronto fra peli liberi simulati e misurati.



I risultati ottenuti dalla modellazione 2D relativi alla distribuzione planimetrica del valore della velocità e del tirante sono riportati nelle figure seguenti. Si nota l'omogeneità longitudinale nelle caratteristiche del tratto.

Figura 3-138 Simulazione della velocità tramite il software River2D.

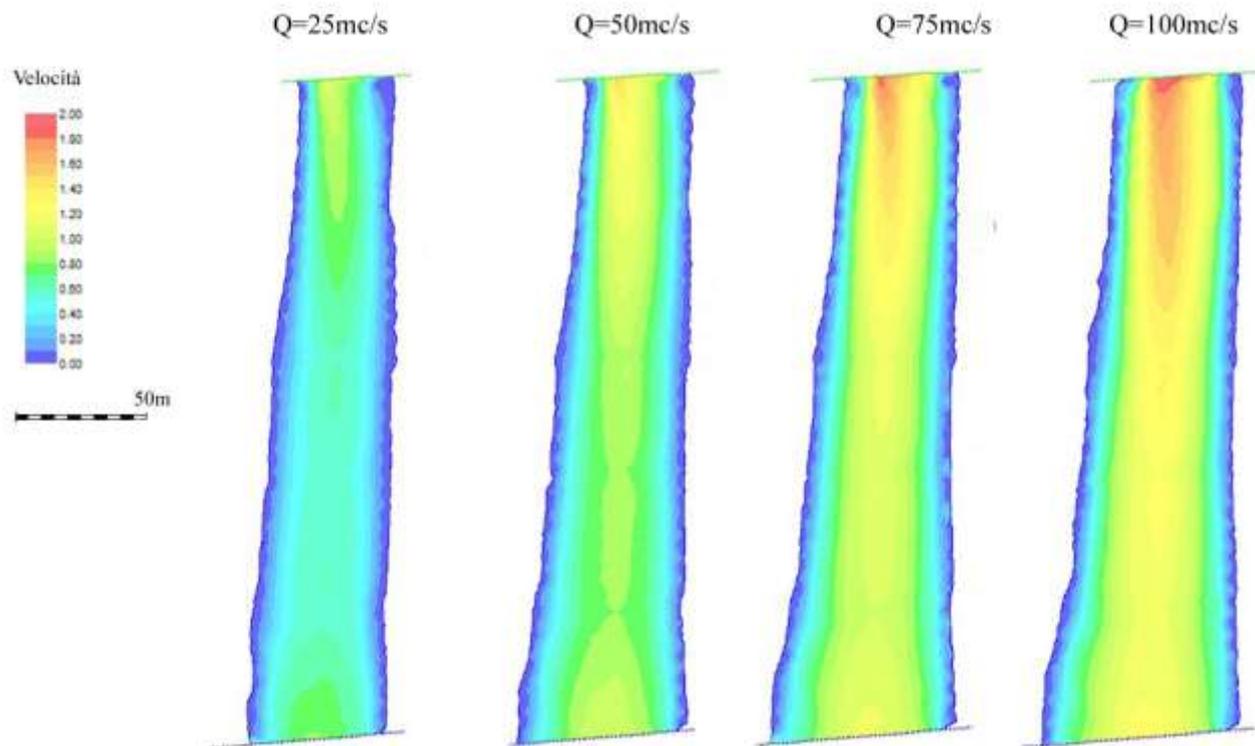


Figura 3-139 Simulazione del tirante tramite il software River2D.

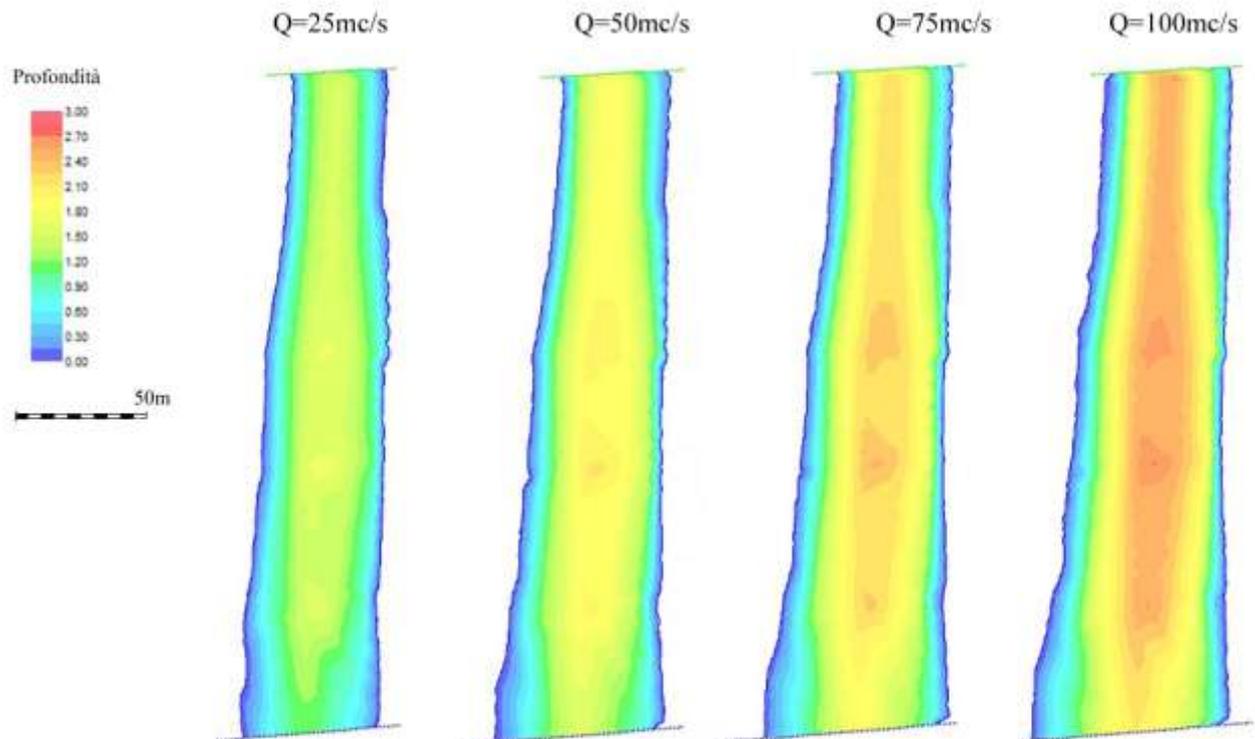


Figura 3-140 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune adulto considerando solo i parametri profondità e velocità.

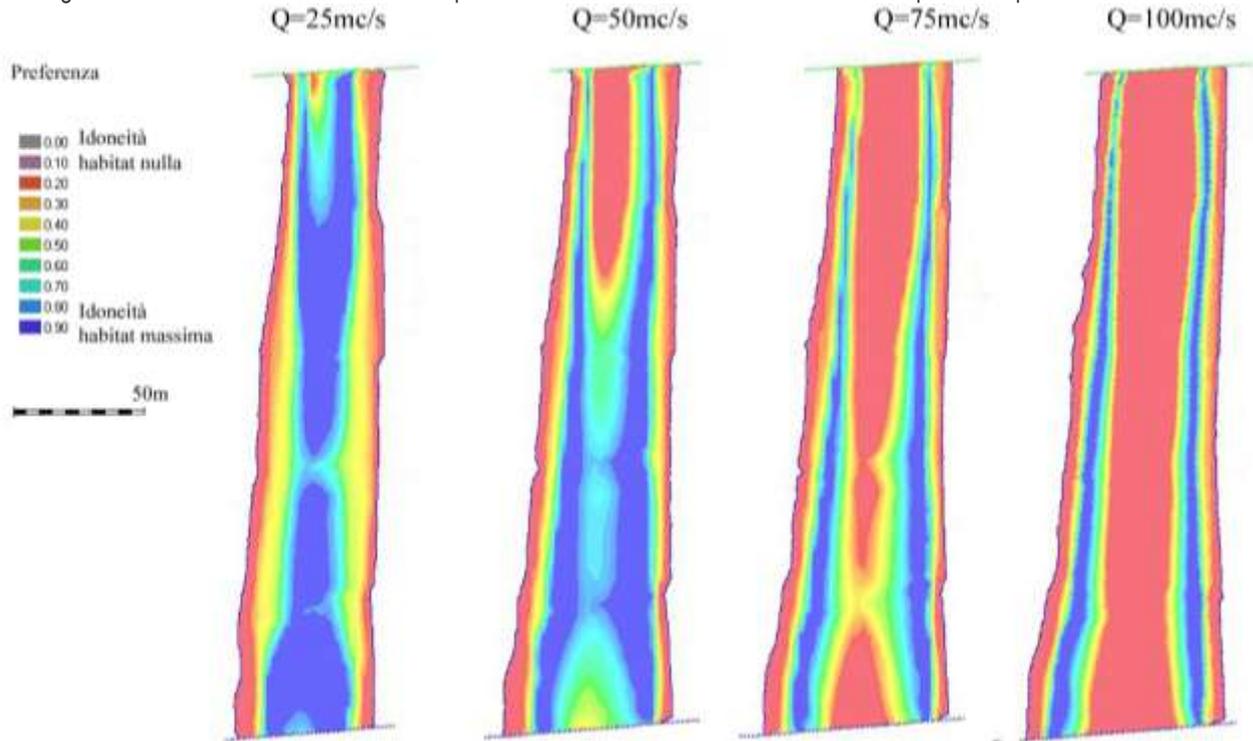
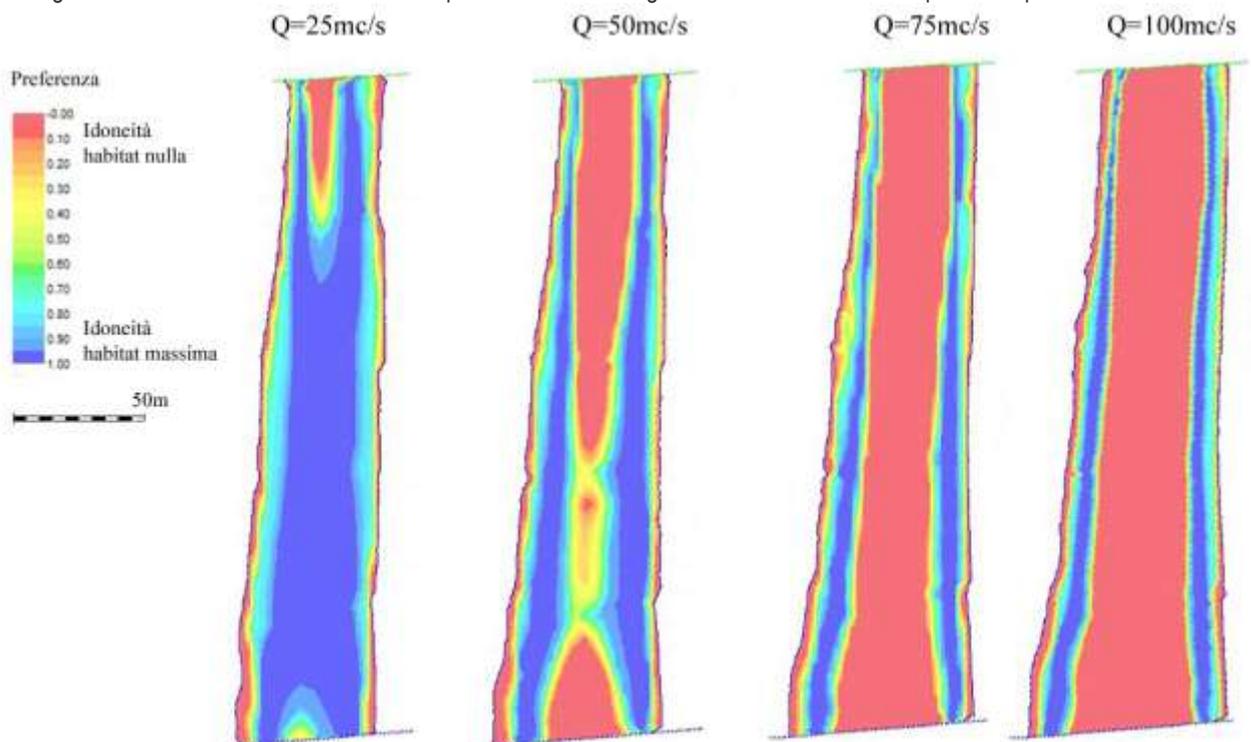


Figura 3-141 Indice di idoneità dell'habitat per il barbo comune giovane considerando solo i parametri profondità e velocità.



Nella tabella e nella figura seguenti sono riportati i risultati relativi all'intero tratto di studio.

Tabella 3-14 Indice di idoneità dell'habitat e Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando i parametri profondità, velocità di corrente.

		Portata [m <sup>3</sup> /s]			
		25	50	75	100
Indice di idoneità dell'habitat HHS [%]	barbo comune adulto	61 %	60 %	38 %	28 %
	barbo comune giovane	79 %	53 %	33 %	27 %
Area Disponibile Ponderata ADP [m <sup>2</sup> ]	barbo comune adulto	6965	7655	5309	4202
	barbo comune giovane	9027	6775	4514	4058

Figura 3-142 Area Disponibile Ponderata per il barbo comune considerando solo i parametri profondità E velocità.

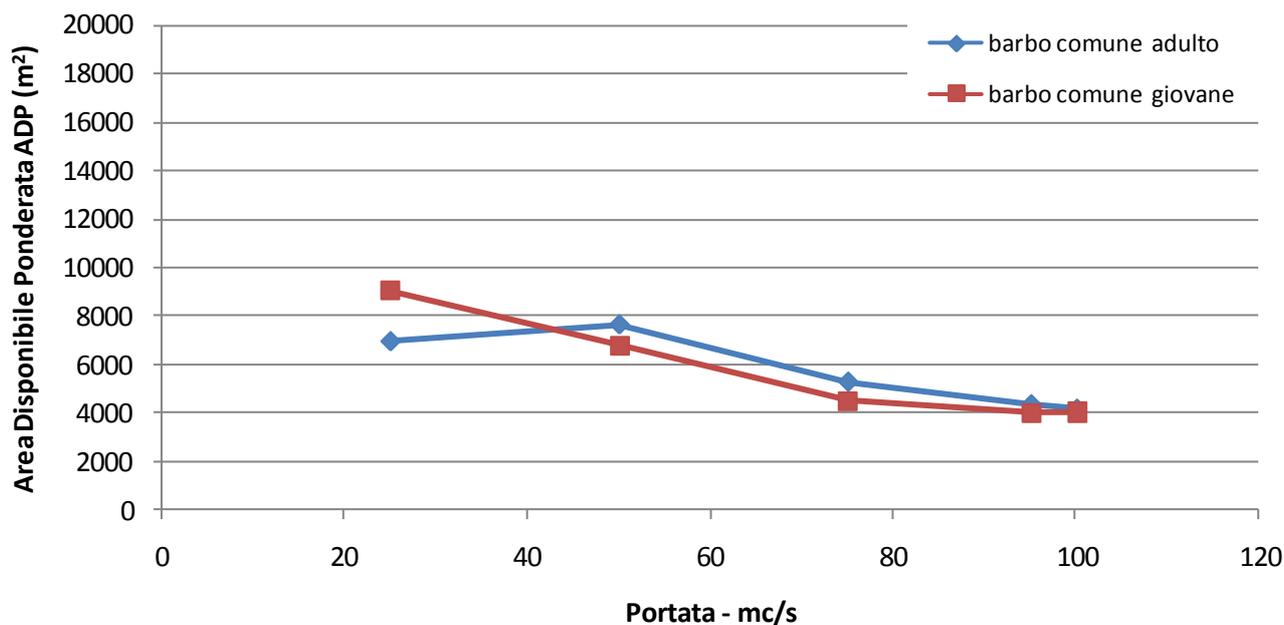
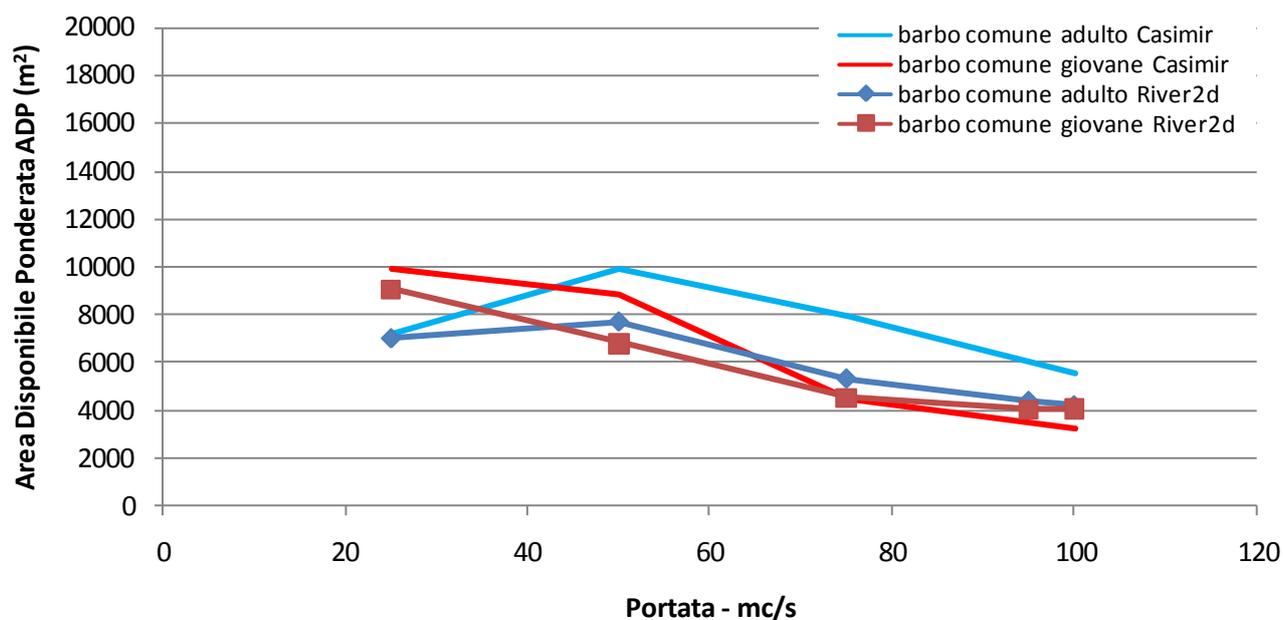


Figura 3-143 Confronto dell'Area Disponibile Ponderata fra modellazione 1D e 2D per la specie barbo comune.



## 4 FAUNA ITTICA

In questo capitolo sono riportati i grafici che descrivono le strutture di popolazione delle popolazioni ittiche censite nei diversi tratti di studio nel fiume Ticino.

Figura 4-1 Attività di censimento ittico lungo il fiume Ticino.



## 4.1 TRATTO DI MONITORAGGIO TIC1 – MADDALENA

Figura 4-2 Struttura della popolazione di persico reale, agosto 2015.

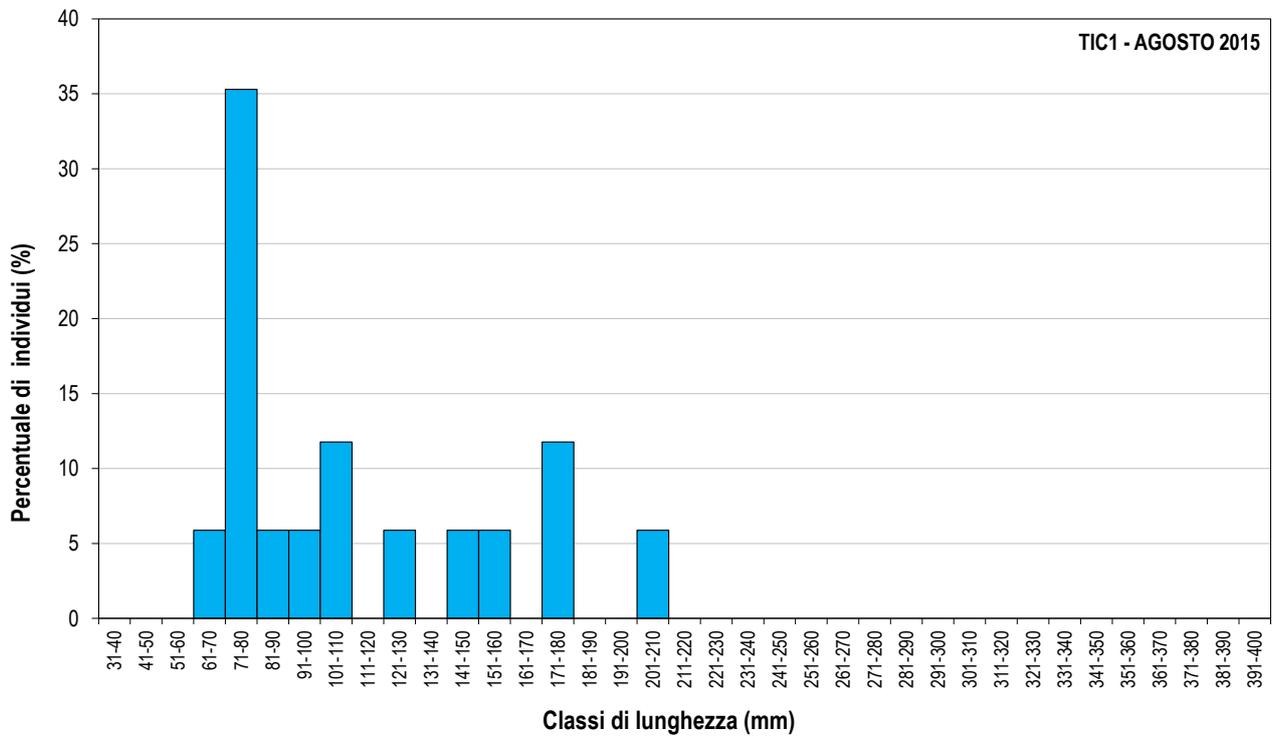


Figura 4-3 Struttura della popolazione di ghiozzo padano, agosto 2015.

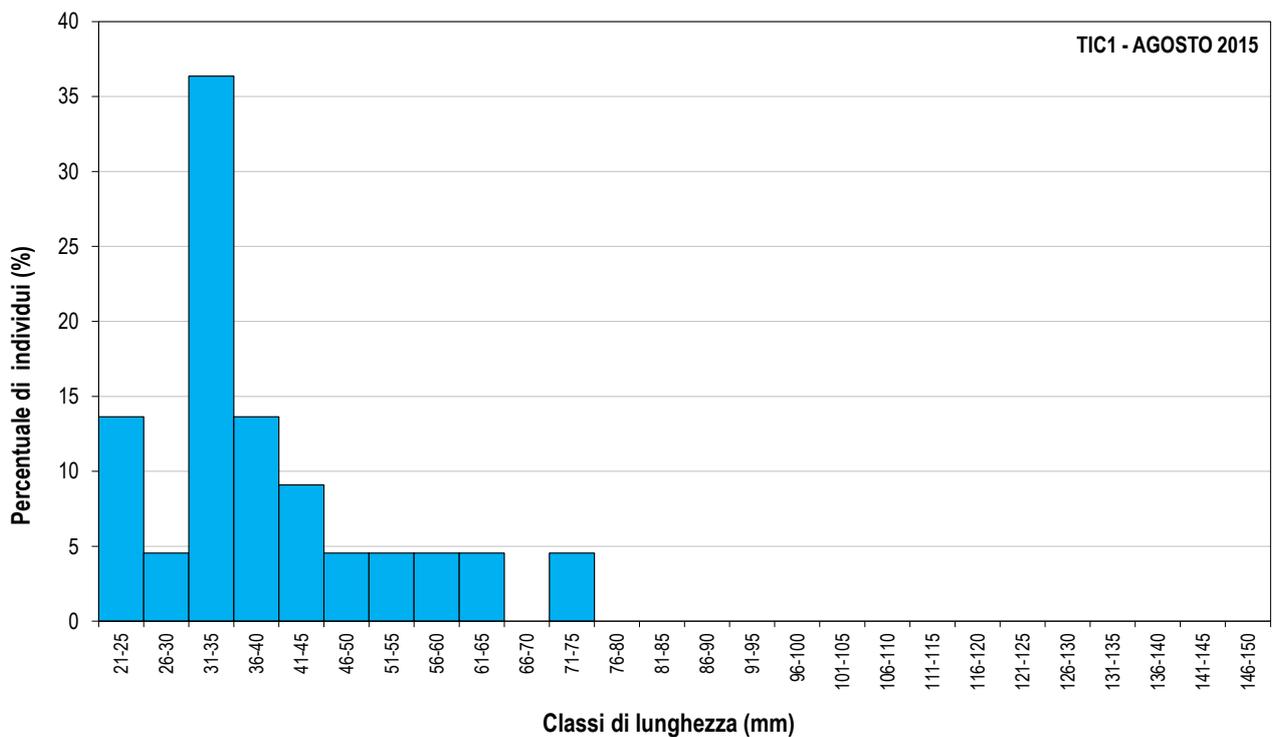


Figura 4-4 Sstruttura della popolazione di barbo comune, agosto 2015.

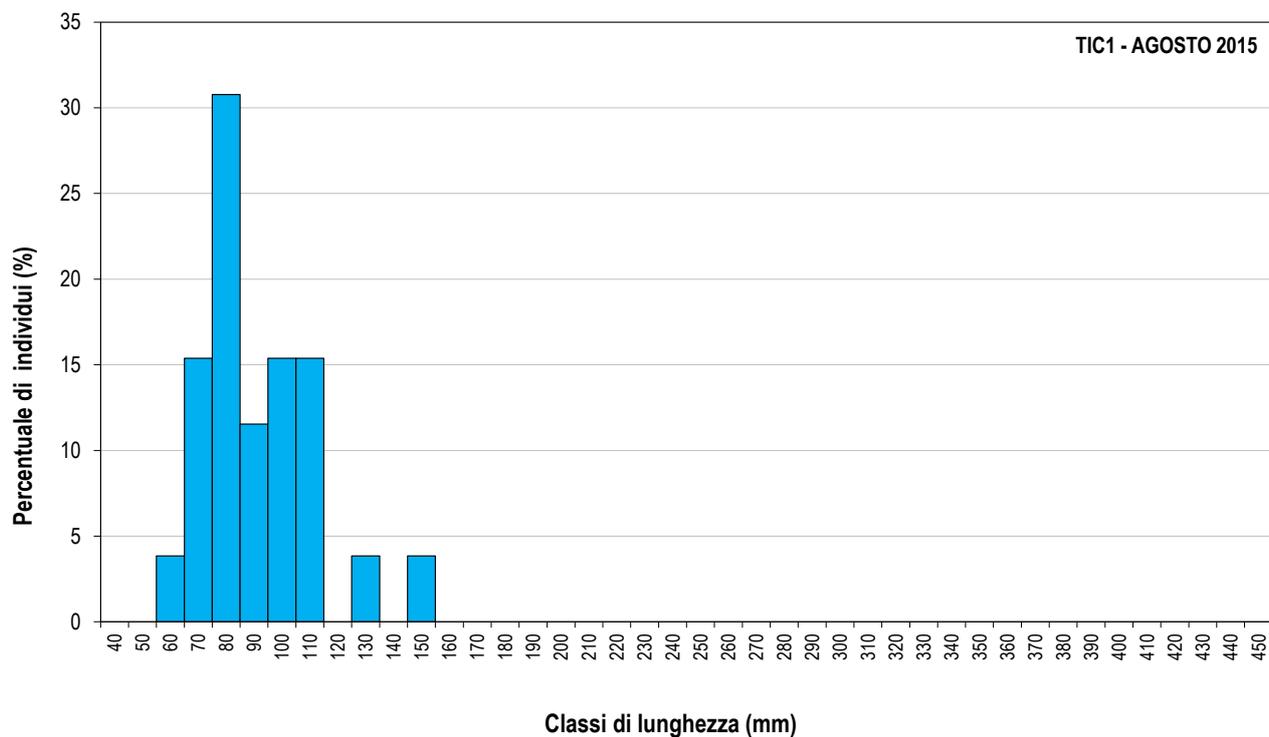


Figura 4-5 Struttura della popolazione di sanguinerola, agosto 2015.

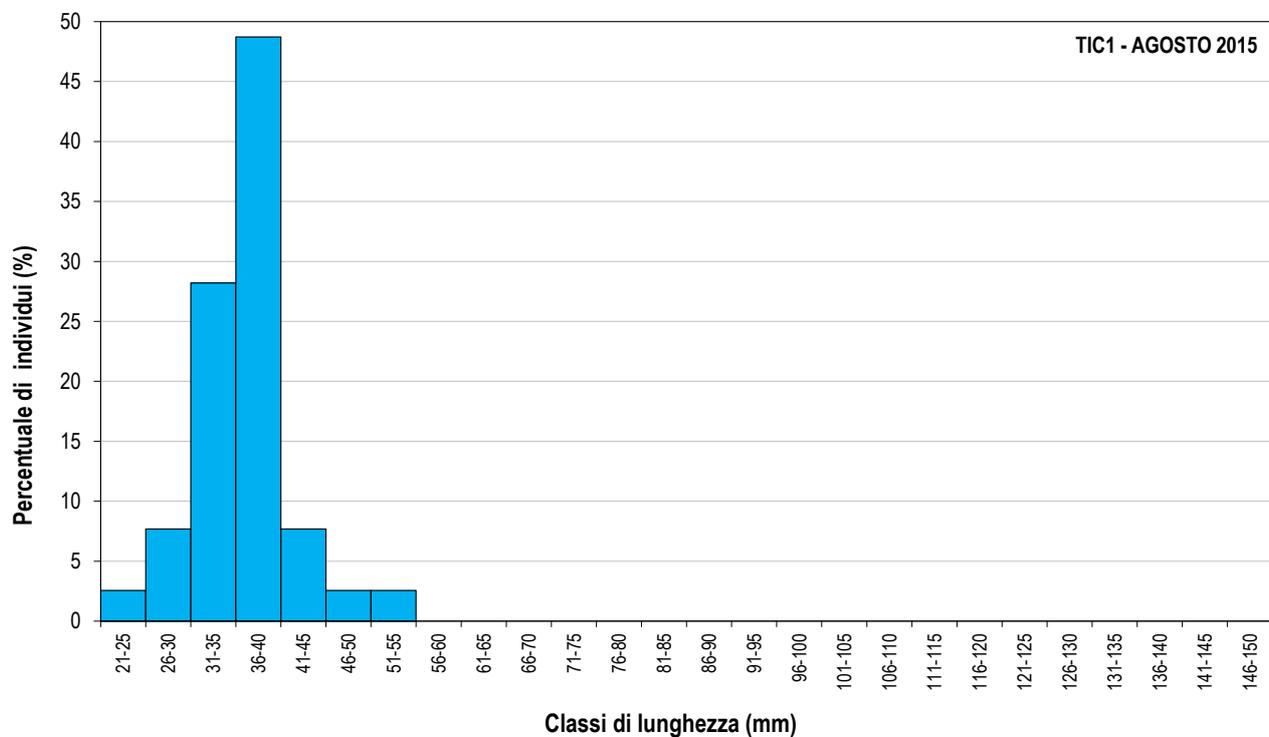
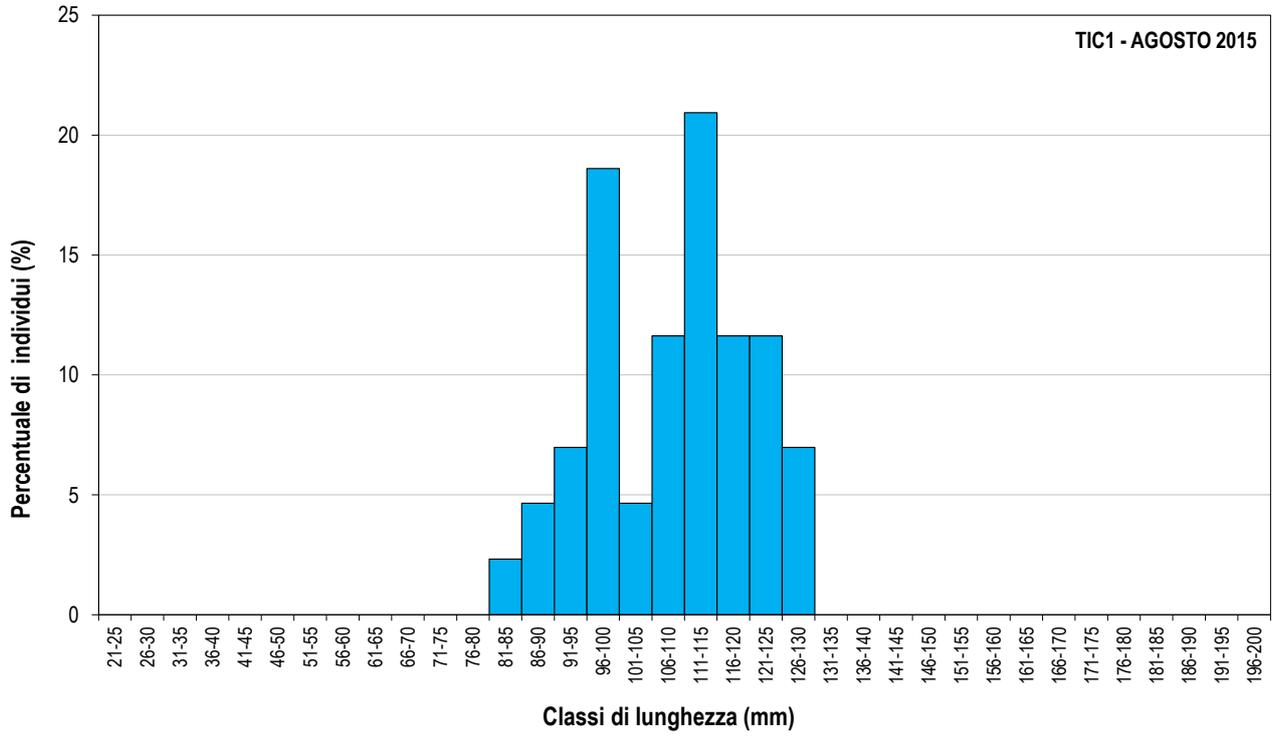


Figura 4-6 Struttura della popolazione di vairone, agosto 2015.



## 4.2 TRATTO DI MONITORAGGIO TIC3 – PONTE DI FERRO

Figura 4-7 Struttura della popolazione di barbo comune, agosto 2015.

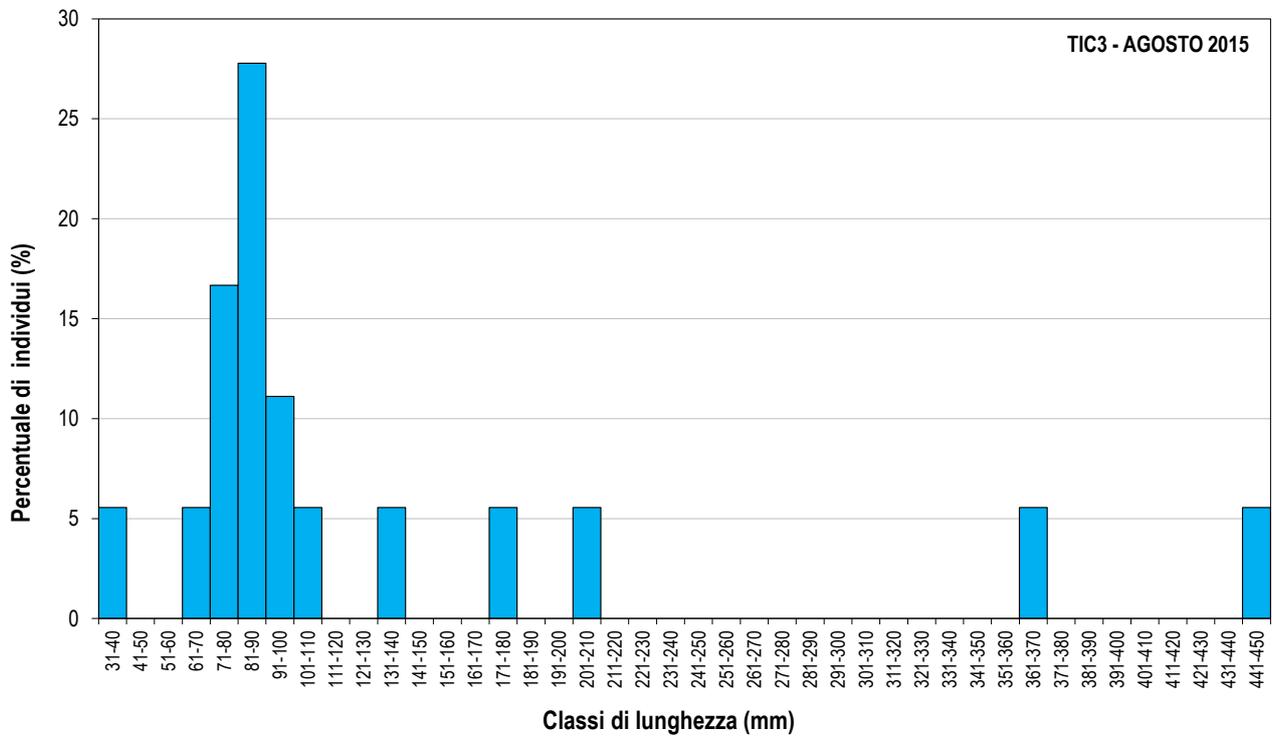


Figura 4-8 Struttura della popolazione di cavedano, agosto 2015.

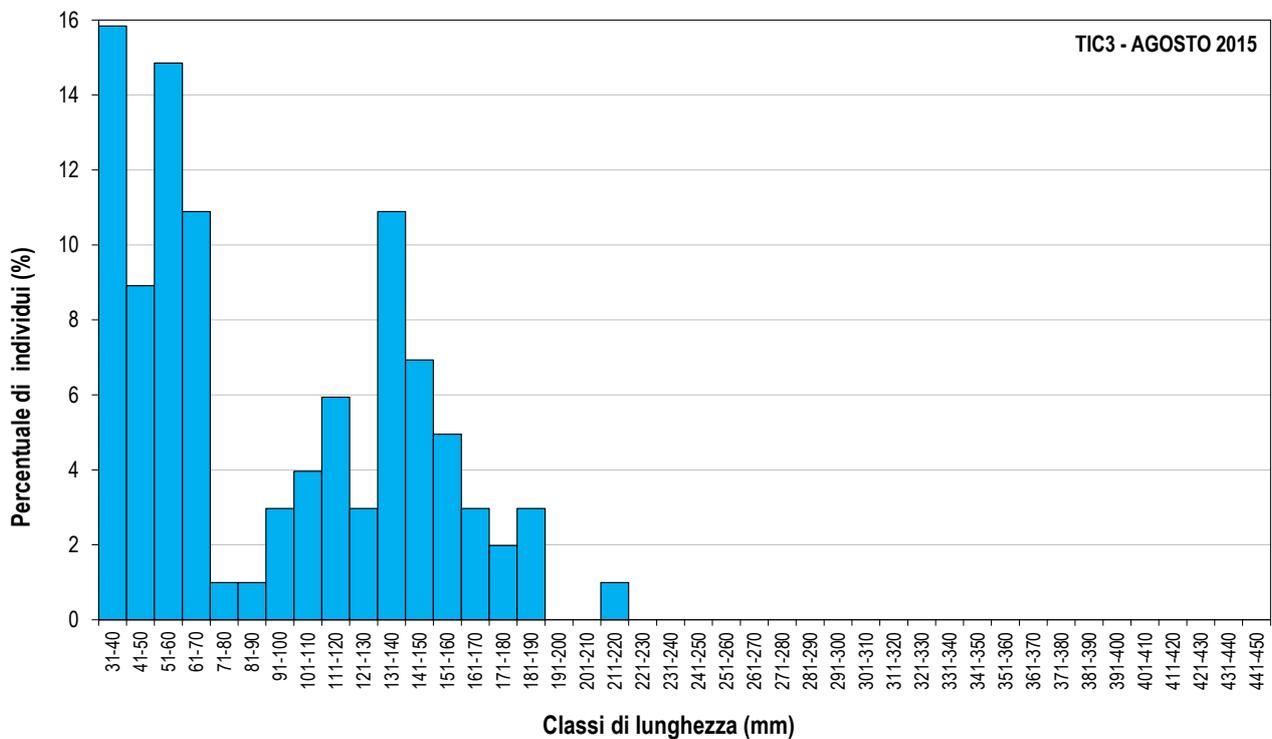


Figura 4-9 Struttura della popolazione di persico reale, agosto 2015.

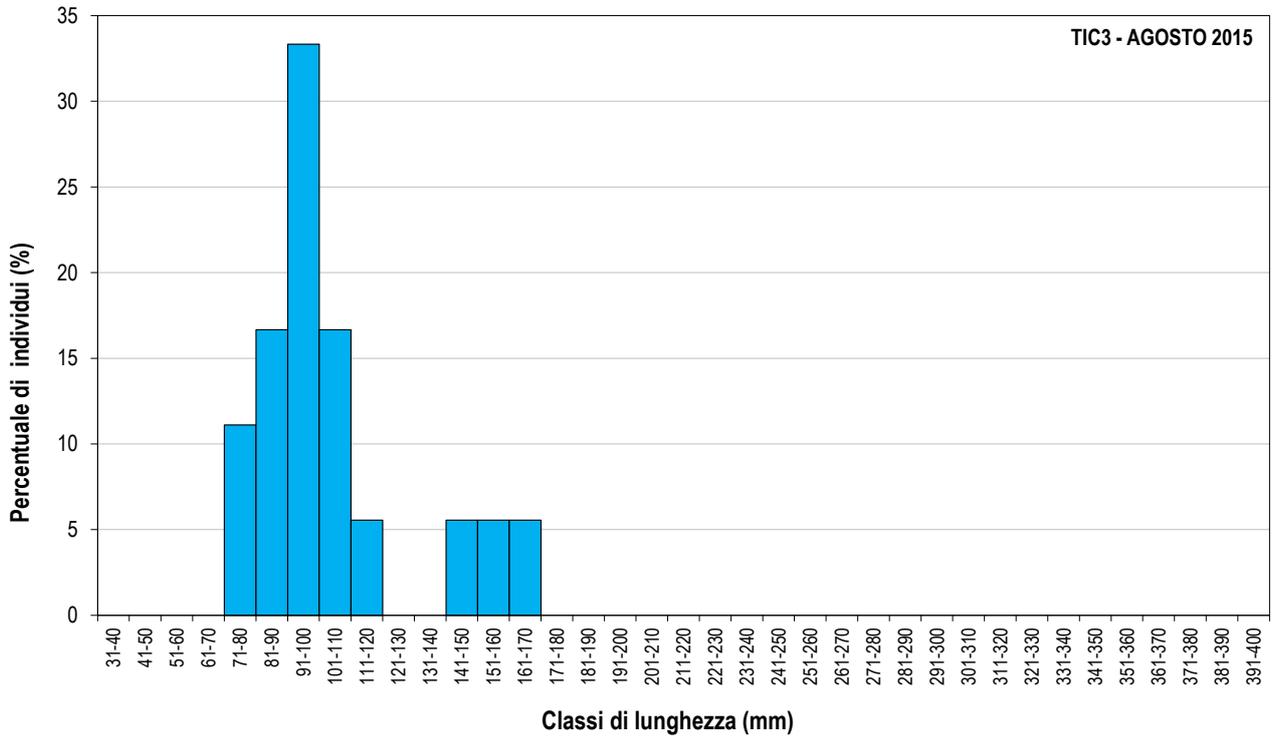
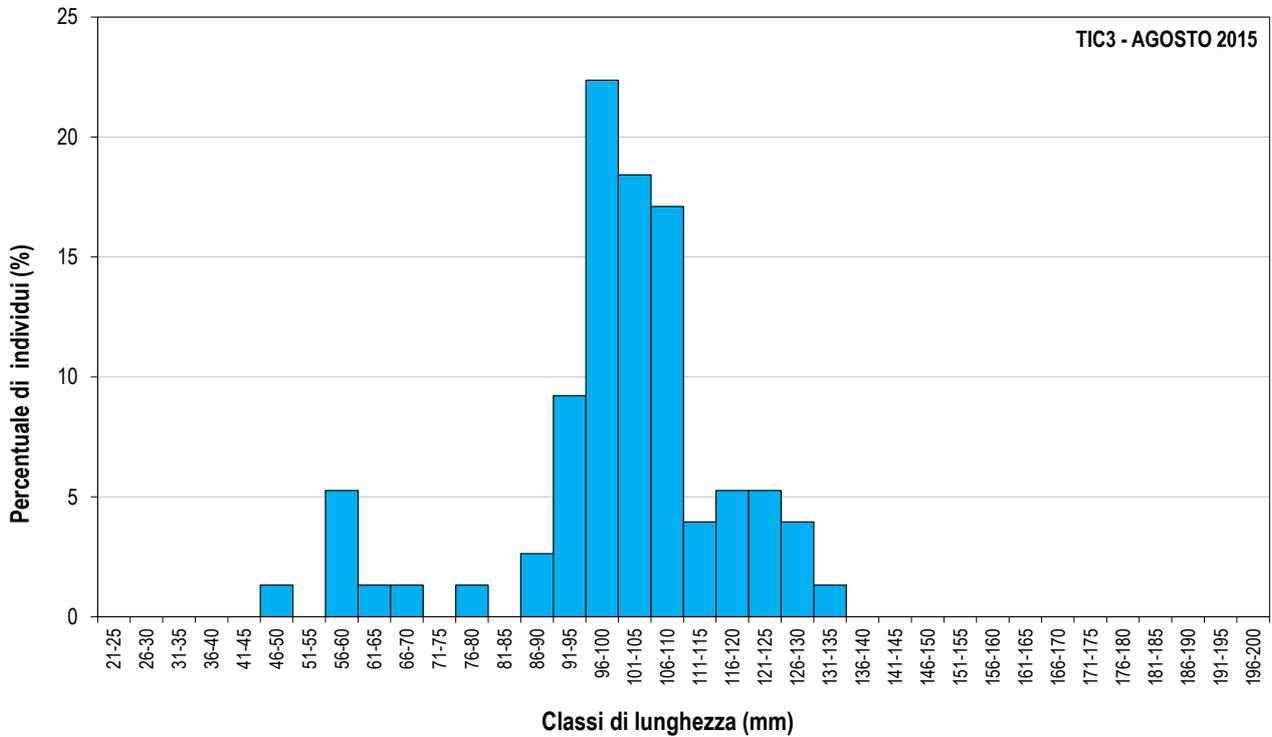


Figura 4-10 Sstruttura della popolazione di vairone, agosto 2015.



### 4.3 TRATTI DI MONITORAGGIO TIC4 – TRE SALTI E TIC5 – PONTE DI TURBIGO

Figura 4-11 Struttura della popolazione di cavedano, dicembre 2013.

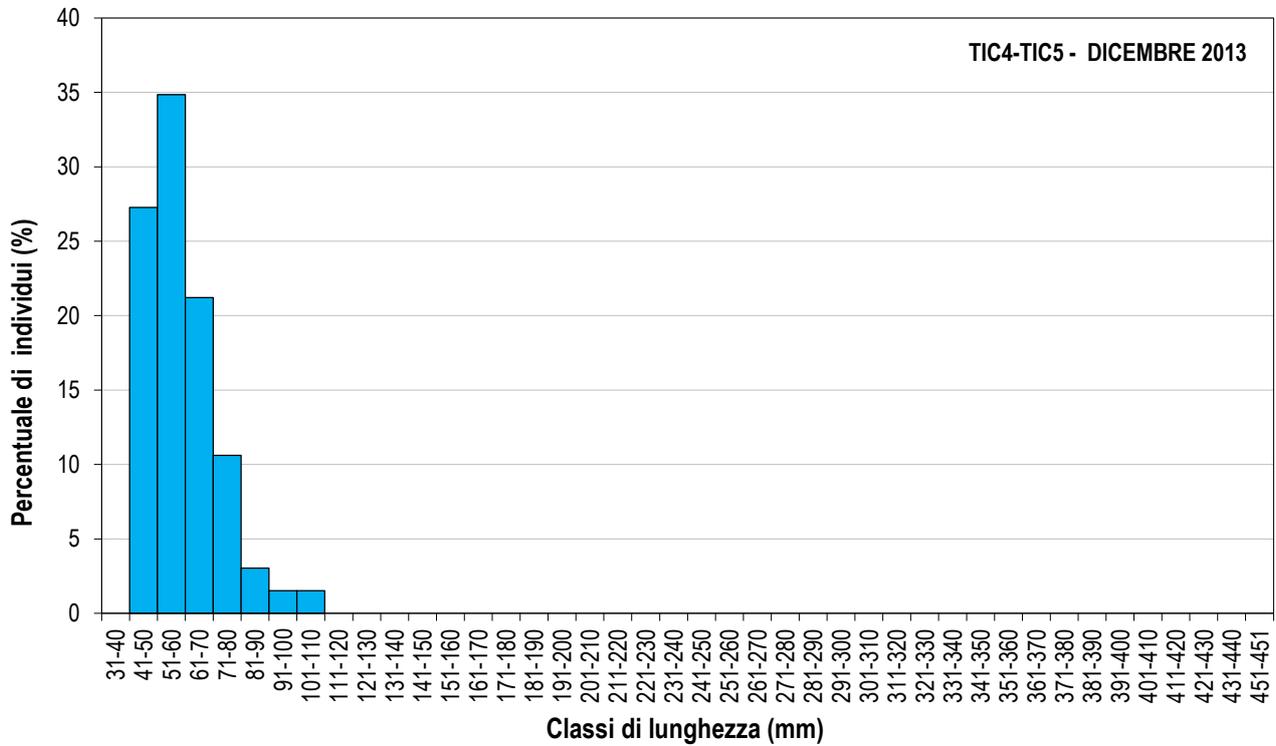


Figura 4-12 Struttura della popolazione di cavedano, dicembre 2013.

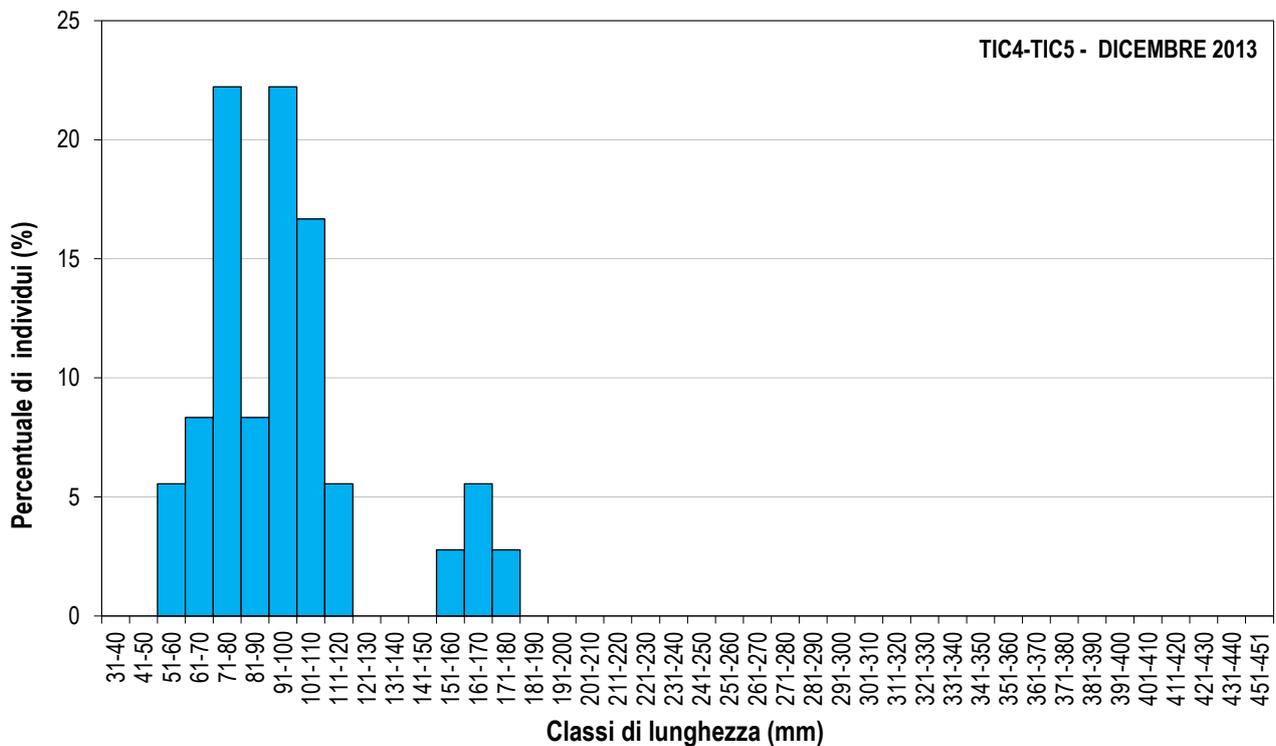


Figura 4-13 Struttura della popolazione di vairone, dicembre 2013.

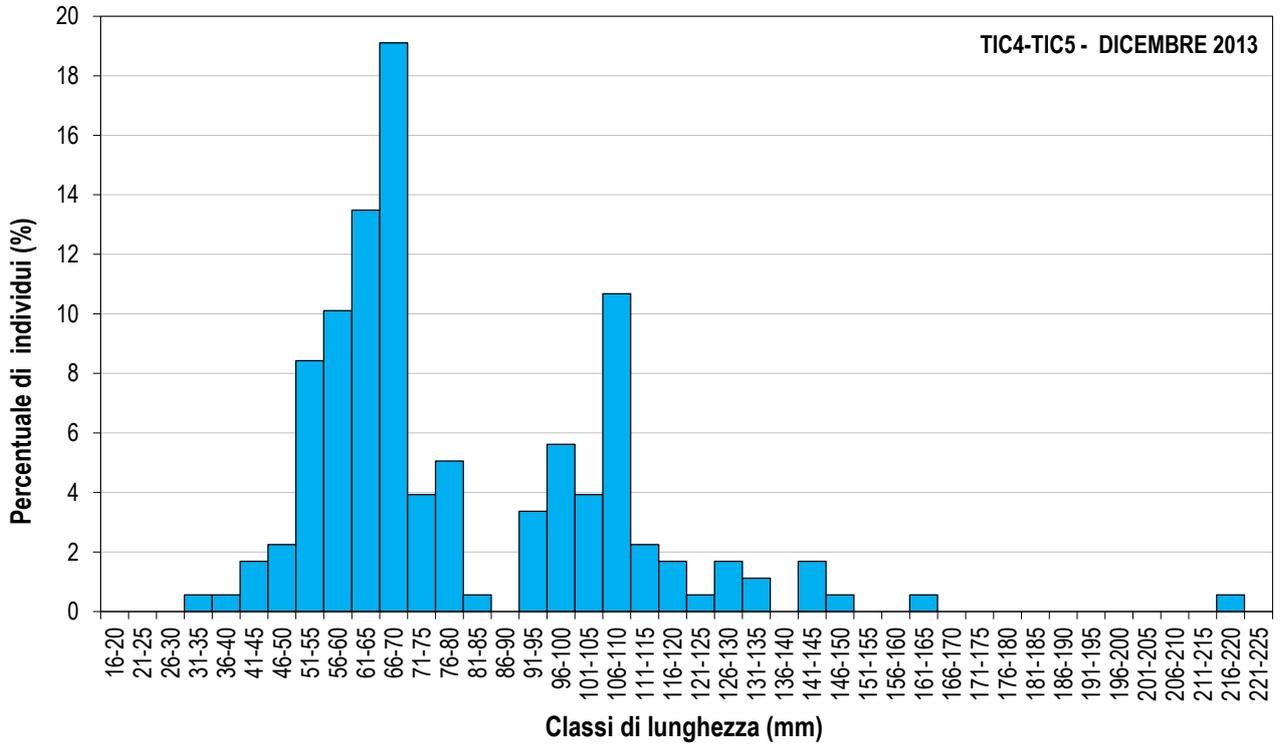


Figura 4-14 Struttura della popolazione di alborella, dicembre 2013.

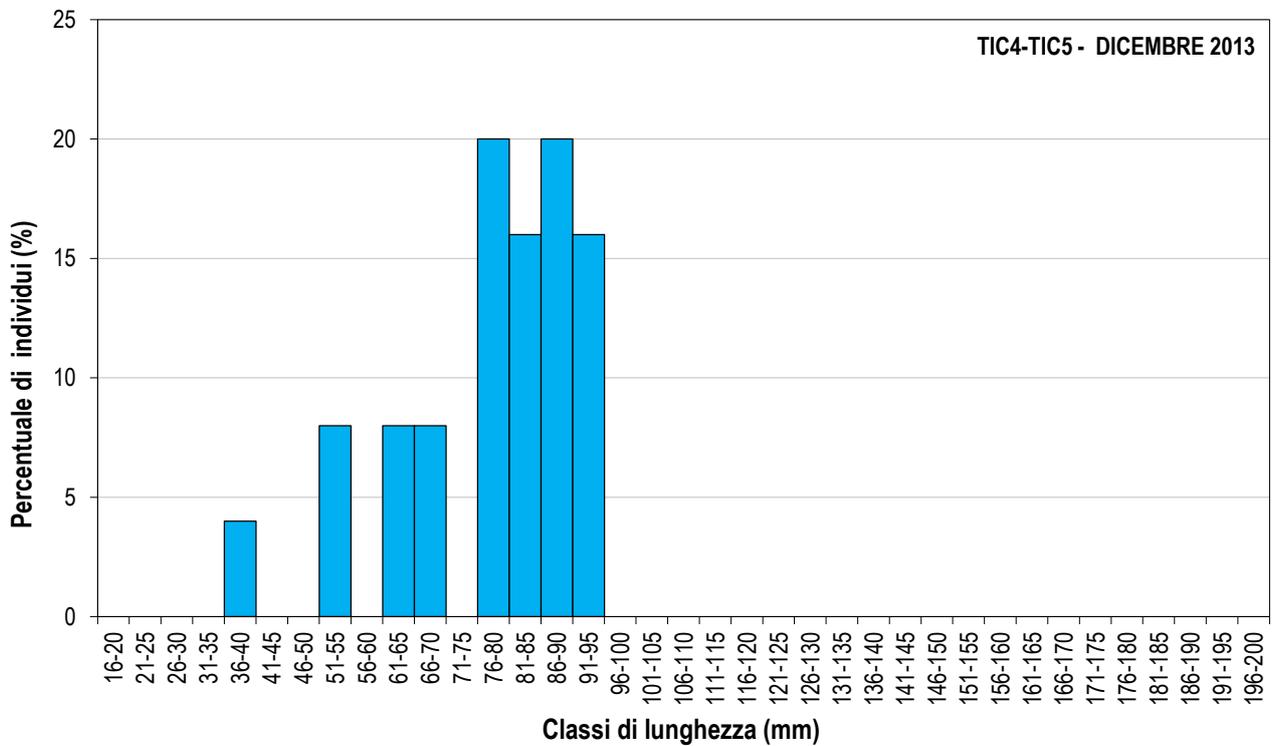


Figura 4-15 Struttura della popolazione di sanguinerola, dicembre 2013.

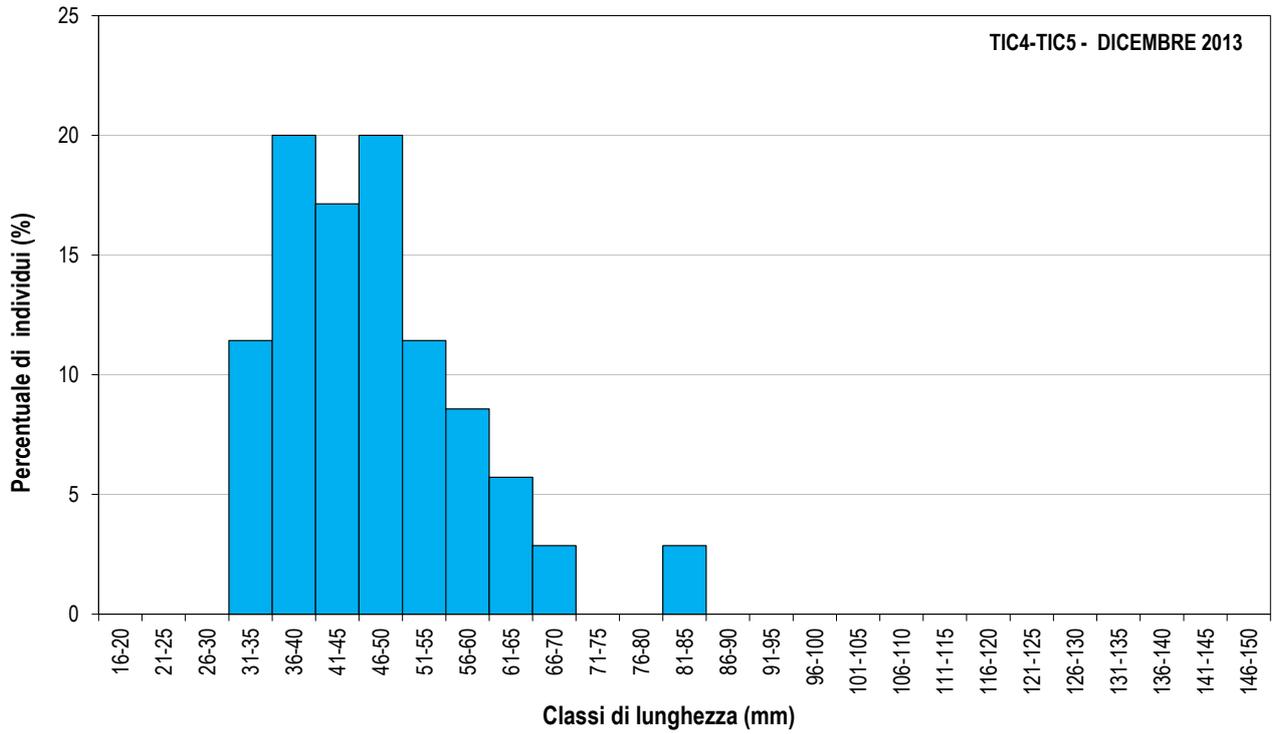


Figura 4-16 Struttura della popolazione di siluro, dicembre 2013.

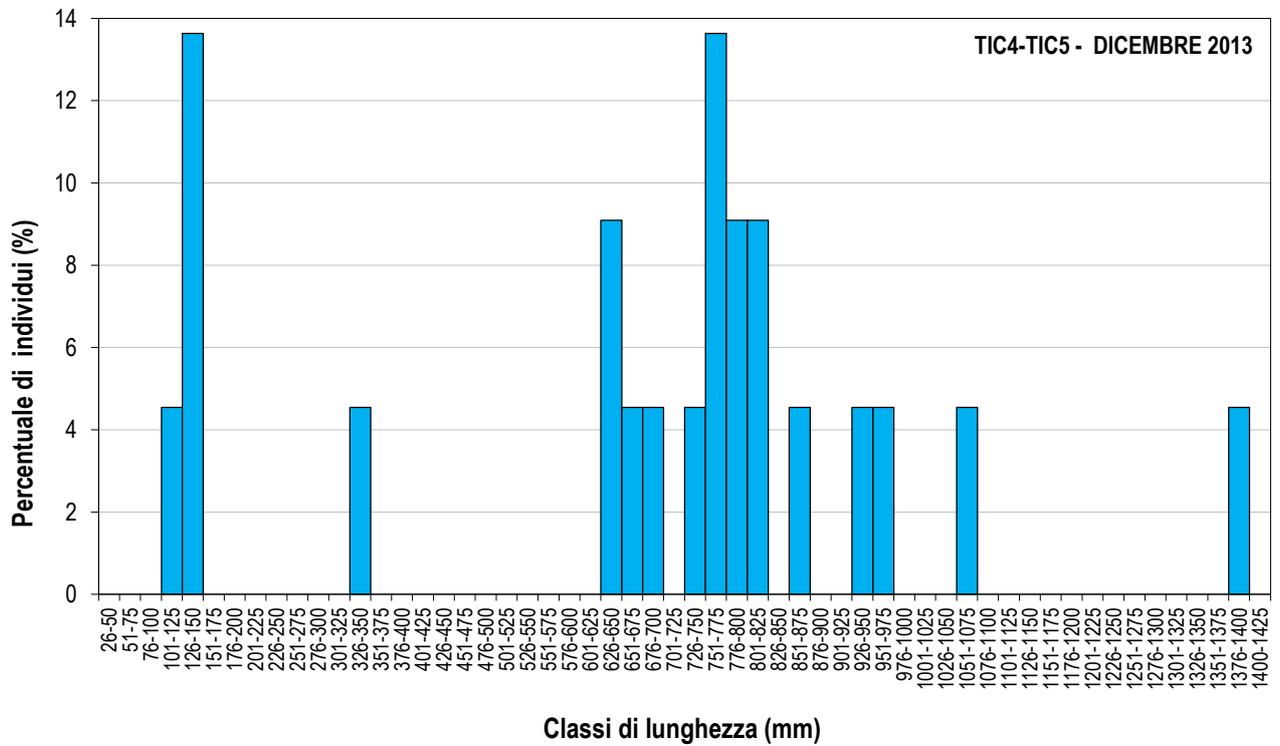


Figura 4-17 Struttura della popolazione di barbo comune, agosto 2015.

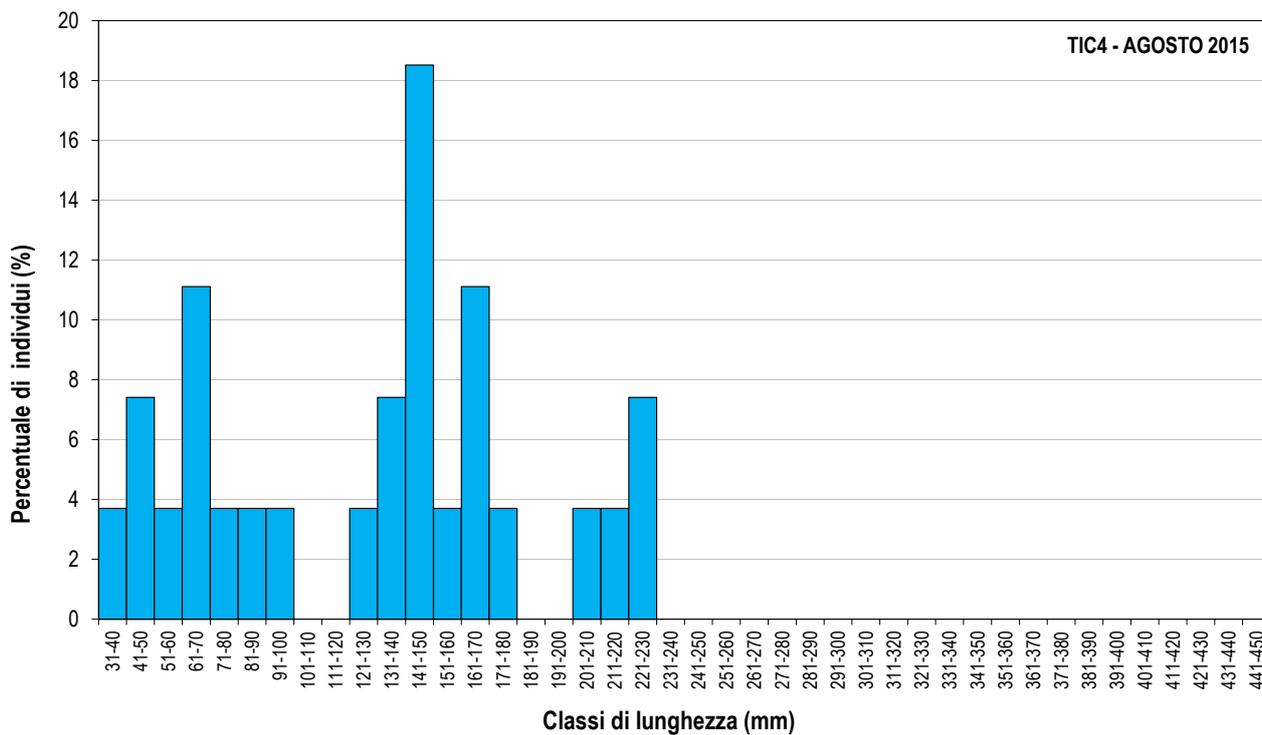


Figura 4-18 Struttura della popolazione di cavedano, agosto 2015.

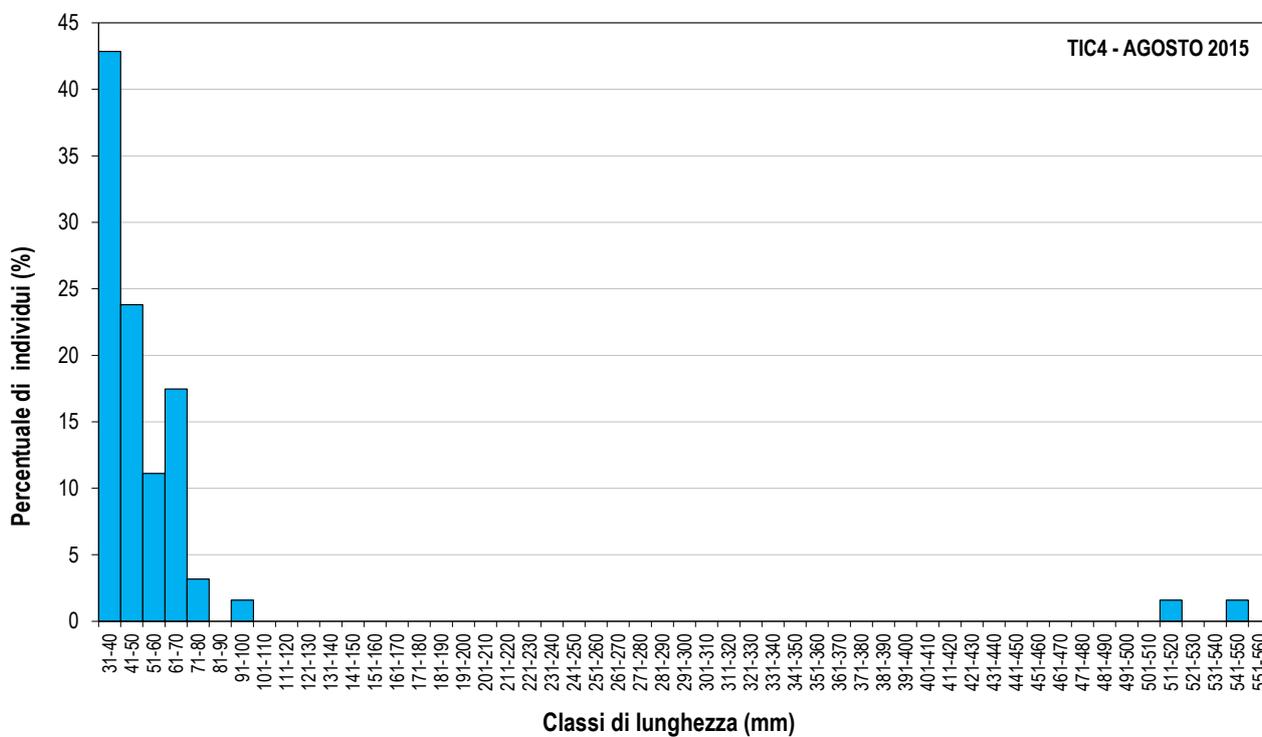


Figura 4-19 Struttura della popolazione di ghiozzo padano, agosto 2015.

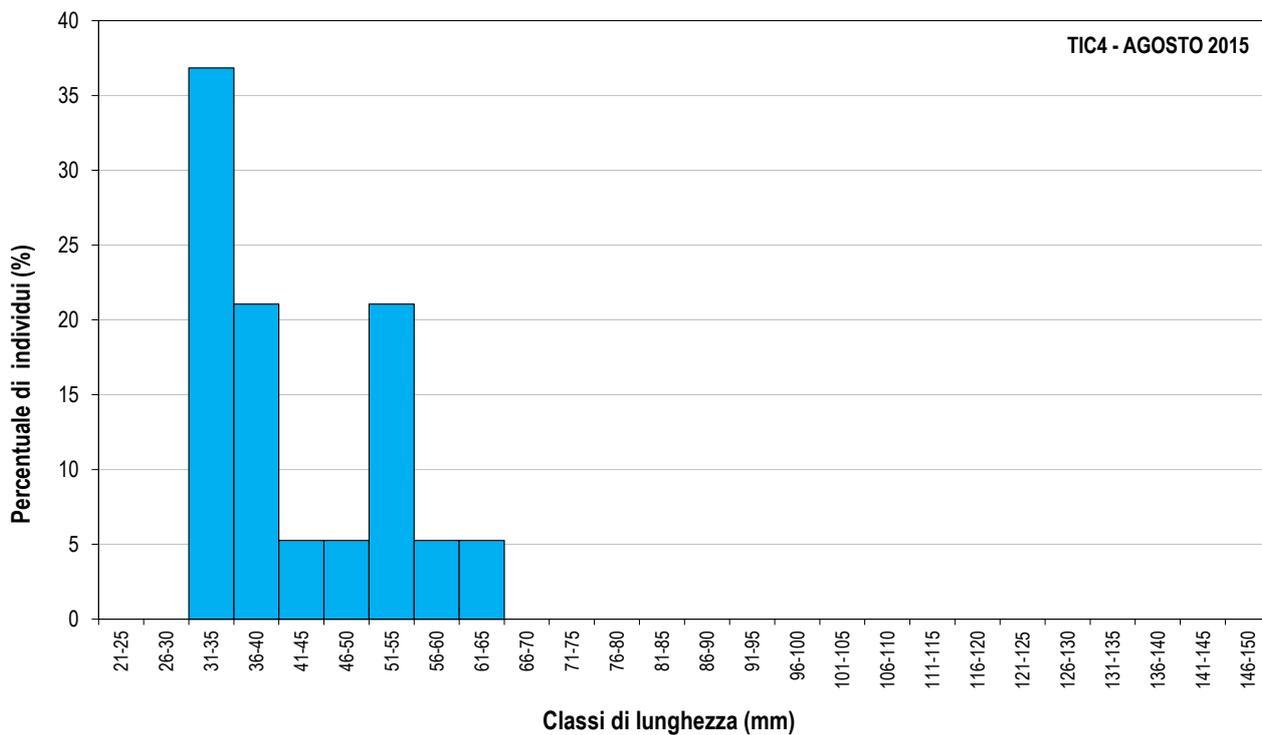


Figura 4-20 Struttura della popolazione di vairone, agosto 2015.

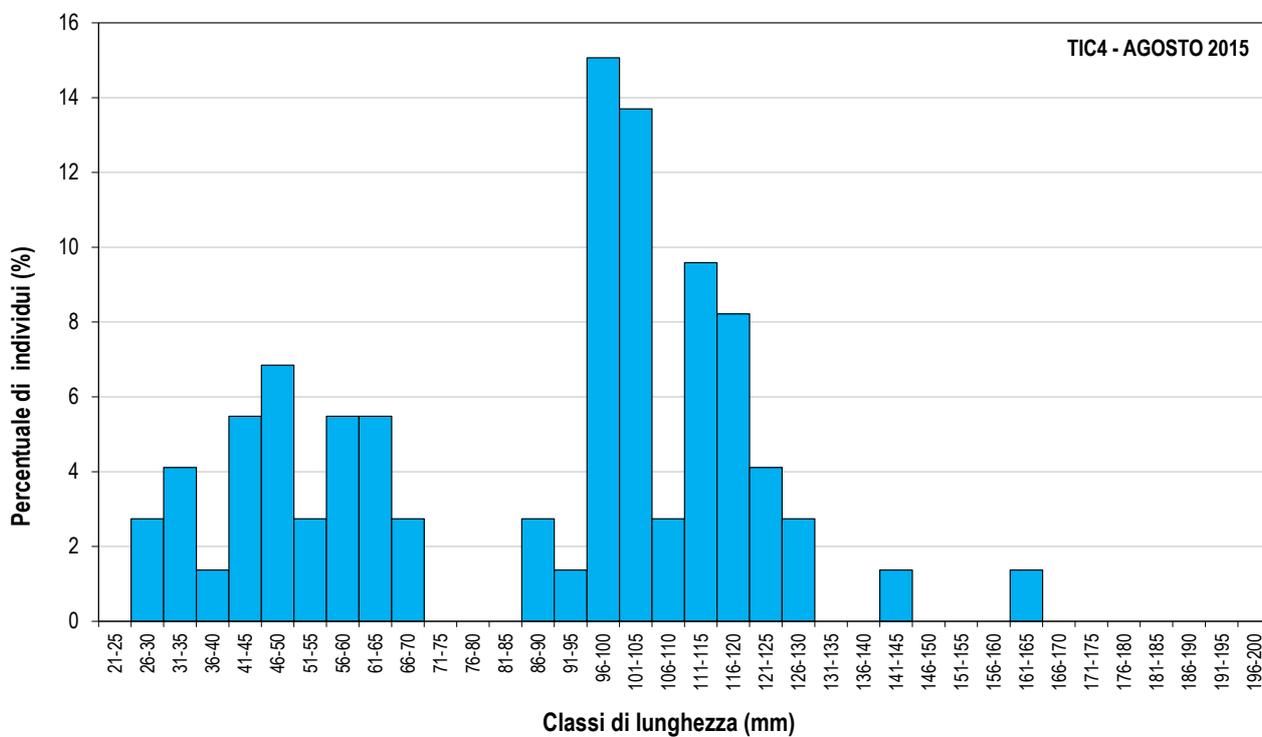


Figura 4-21 Struttura della popolazione di barbo comune, agosto 2015.

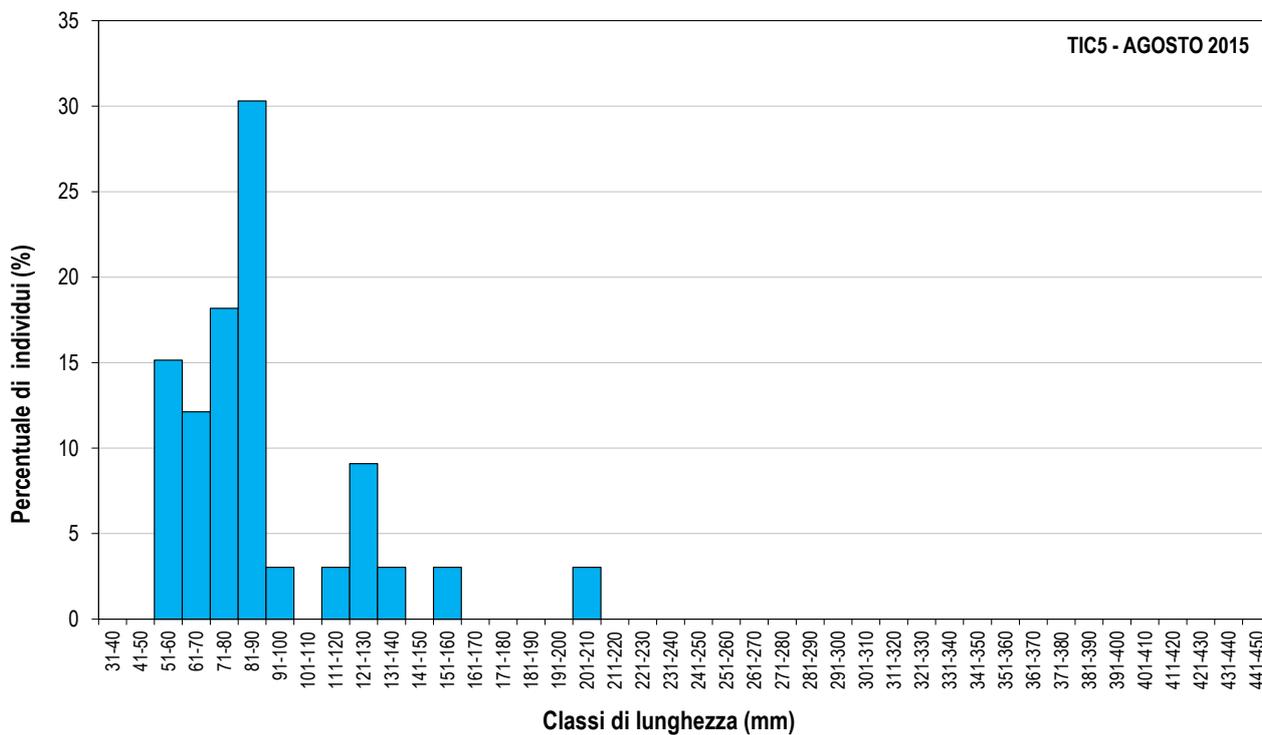


Figura 4-22 Struttura della popolazione di cavedano, agosto 2015.

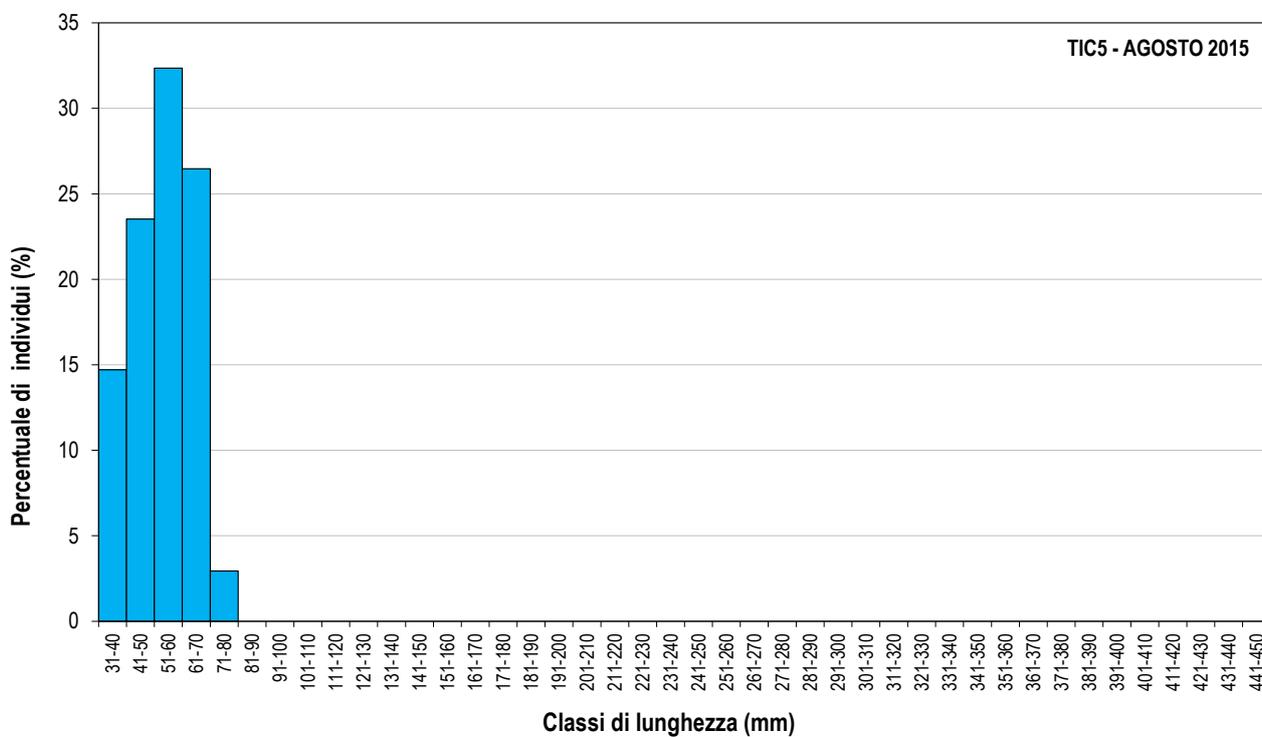
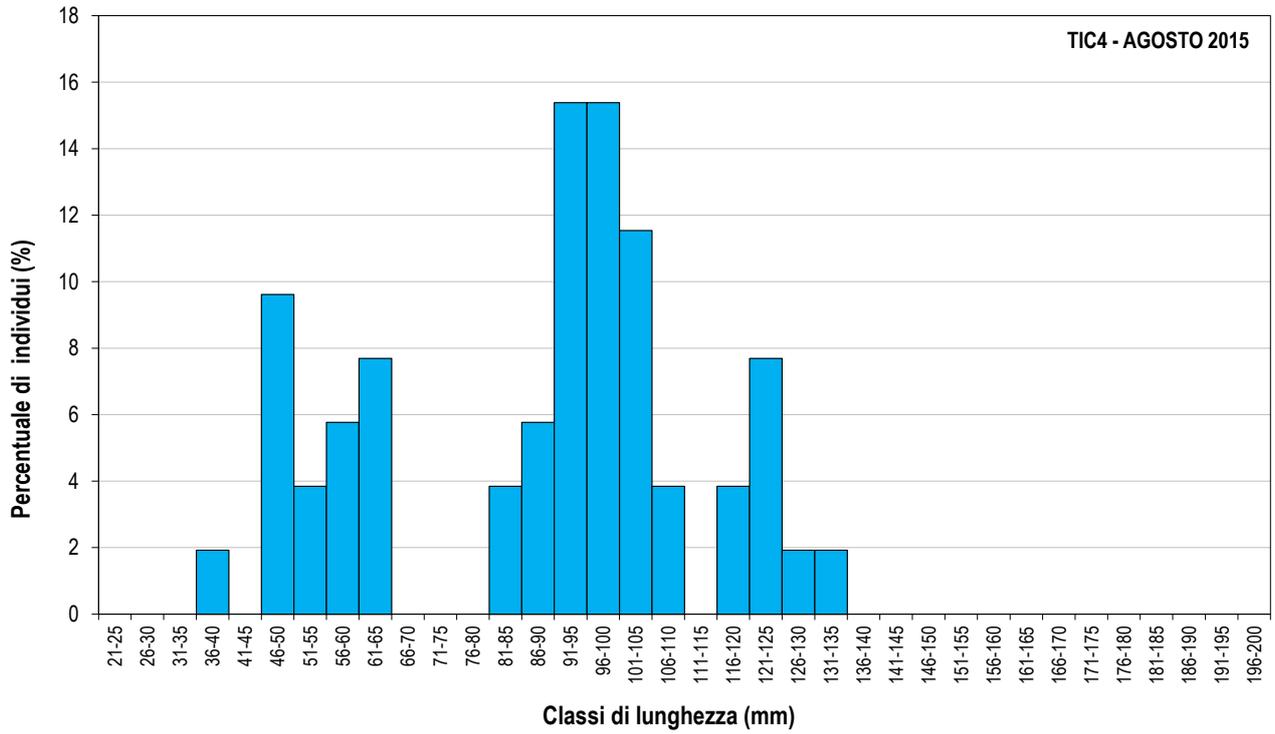


Figura 4-23 Struttura della popolazione di vairone, agosto 2015.



## 5 BIBLIOGRAFIA

- AA. VV., 2003. I.F.F. Indice di Funzionalità Fluviale. Manuale ANPA / seconda edizione, giugno 2003, 223 pp.
- AA. VV., 2007. I.F.F. 2007 - Indice di Funzionalità Fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata. MANUALE APAT 2007, 336 pp.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE), 2010. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 4.1, Hydrologic Engineering Center, Davis, California, USA.
- Schneider M., Noack M., Gebler T. & Kopecki I., 2010. Handbook for the Habitat Simulation Model CASiMiR. University of Stuttgart, Institute of Hydraulic Engineering – Schneider & Jorde Ecological Engineering GmbH.
- Steffler P. and Blackburn J., 2002. *River 2D Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual*, University of Alberta, Canada.