

Committente:



Oggetto:

OPERE IDRAULICHE DI 3° CATEGORIA
Fiume Dora Riparia

PROGETTO ESECUTIVO

TO-E-1282

Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a
protezione dell'area industriale di Rosta (TO)



RELAZIONE IDRAULICA

SCALA:

DATA:

Marzo 2017

Identificazione elaborato	Ambito		Tipologia		Commessa	n° elaborato	2
PRES1013-2	P	R	E	S	1013		

Dati Progettisti:

Studio ANSELMO Associati
Via Vittorio Emanuele n. 14
10023 CHIARI (TO)
tel./fax 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

Dott. Ing. Virgilio Anselmo
Dott. For. Fulvio Anselmo
Collaboratori:
Dott. For. Davide Spada
Dott. Ing. Donato Vittore

Rev.	Redatto	Controllato	Approvato	Data	Timbri e Firme
0	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	03-2017	

Il Responsabile del procedimento:

FIRMA

File : PRES1013_2_R00.doc

Sommario

1	PREMESSA.....	1
1.1	Riferimenti normativi	1
1.2	La documentazione di riferimento	2
1.3	Finalità dello studio	2
2	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	3
2.1	Caratteristiche dell'intervento.....	6
2.2	Modellazione idraulica	8
2.2.1	Metodo di calcolo	8
2.2.2	Geometria impiegata	9
2.2.3	Condizioni al contorno e settaggi di calcolo	10
2.2.3.1	Portata in ingresso	10
2.2.3.2	Scabrezza	10
2.2.3.3	Condizione in uscita.....	10
2.2.4	Taratura del modello	11
2.3	Risultati.....	11
2.4	Compatibilità degli interventi con l'assetto idraulico del Fiume Dora Riparia previsto dal PAI	12
3	INDICAZIONI PROPEDEUTICHE AL PROGETTO ESECUTIVO	13
4	CONCLUSIONI.....	16
5	RIFERIMENTI	17
	APPENDICE - A . Sezioni allegate allo Studio di Fattibilità (tratte da Elaborato 3.2.2/4 Atlante delle sezioni e dei Livelli idrici).	19
	APPENDICE - B Sezioni trasversali rilevate a terra (febbraio 2015) e confronto con altri dati altimetrici a disposizione.	25
	APPENDICE - C . Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello numerico hec-ras attivato in moto permanente.....	35
	APPENDICE - D . Risultati tabulari della verifica in moto permanente.	39

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

1 PREMESSA

Il presente progetto esecutivo da seguito a quanto previsto nel progetto preliminare (AIPo 2013) e prevede la realizzazione del completamento delle opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione dell'area industriale di Rosta (TO).

L'intervento è volto alla risoluzione di una criticità locale, come previsto dalla pianificazione di Bacino con l'apposizione di un limite "B di progetto", e costituirà il completamento della messa in sicurezza delle aree nel territorio comunale (vedi Figura 1-1).

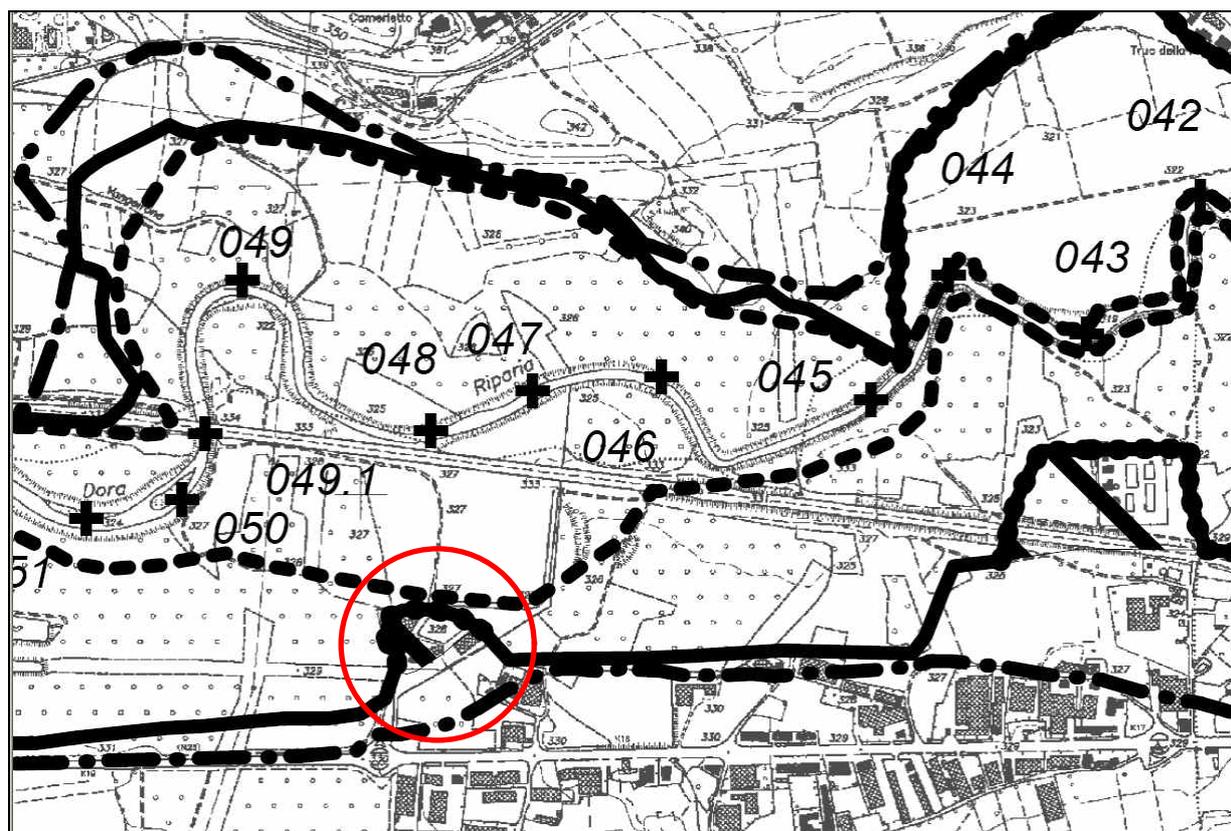


Figura 1-1. Inquadramento dell'area oggetto di intervento: in rosso si evidenzia l'area interessata dall'intervento (tratto da PAI "Tavole della delimitazione delle Fasce Fluviali FOGLIO 155 SEZ. III – Giaveno" Deliberazione n. 9/2007).

1.1 Riferimenti normativi

Le indagini sono state condotte sulla base dei contenuti dei seguenti riferimenti normativi:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI – 2001);
- Direttiva 4 del PAI "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B" (aggiornamento aprile 2006);

- Progetto di variante al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Variante delle fasce fluviali del fiume Dora Riparia. Controdeduzioni alle osservazioni e proposta di parere regionale adottato con D.G.R. 40-5775 del 23 aprile 2007;
- Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI - 2007) - "Fiume Dora Riparia" allegato alla deliberazione n. 9 del 19 luglio 2007. Nel seguito tale riferimento verrà nominato come *Variante al PAI*.

1.2 La documentazione di riferimento

L'attività di progettazione preliminare, frutto di un attento esame dell'attuale stato dei luoghi ed in considerazione degli episodi di piena verificatisi in passato, è stata preceduta da una serie di sopralluoghi ed incontri con l'Amministrazione comunale, al fine di condividere la scelta progettuale adottata sulla base dei contenuti dello *Studio di Fattibilità* (ADBPO - 2003).

Al fine di rispettare la congruenza con i contenuti del PAI e del progetto preliminare, si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2003) "*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po e del fiume Toce nel tratto da Maseca alla foce*", di seguito nominato come *Studio di Fattibilità*. Ai fini del presente progetto esecutivo, sono stati assunti gli approfondimenti topografici, idrologico-idraulici, geomorfologici ed ambientali, così come già effettuato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po per l'elaborazione della *Variante al PAI* (2007) che riporta la variante delle fasce fluviali del Fiume Dora Riparia.
- AIPo (2013) "*Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione dell'area industriale di Rosta (TO) - PROGETTO PRELIMINARE*", di seguito nominato come *Preliminare*. Ai fini del presente progetto esecutivo sono state assunte le indicazioni in merito alle finalità dell'intervento, al tracciato ed alla tipologia costruttiva.

1.3 Finalità dello studio

Il presente studio ha le seguenti finalità:

- 1) Approfondimento delle dinamiche di allagamento nell'area oggetto di intervento.
- 2) Quantificazione delle caratteristiche della corrente in prossimità dell'opera al fine fornire supporto decisionale in merito alle indicazioni progettuali.
- 3) Indagine della compatibilità idraulica dell'intervento con l'assetto di progetto previsto dal PAI.

Le indagini idrauliche consistono in:

- a) esame della documentazione esistente;
- b) rilievo a terra delle sezioni trasversali adatte alla rappresentazione del tronco oggetto di indagine. L' intervento risulta compreso tra le sezioni 49 e 46 del PAI (vedi Figura 1-1)

che sono state rilevate e verificate secondo quanto preventivamente concordato con AIPo;

- c) predisposizione di un modello numerico in moto permanente per sezioni (mediante codice di calcolo hec-ras) al fine di determinare il livello idrometrico della piena di riferimento con tr 200 anni. Il modello viene attivato considerando il tronco tra le sezioni 52 e 36 del PAI (pari a circa 6 km) in cui le sezioni comprese tra la 49 e la 46 (tronco pari a circa 1 km) sono state aggiornate sulla base del nuovo rilievo a terra. Il livello della piena di riferimento viene determinato per definire le quote di progetto della sommità arginale.

2 VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

In merito all'area oggetto di interesse lo *Studio di Fattibilità* evidenzia che *"l'analisi idraulica ha indicato che nel tratto a monte il corso d'acqua non è contenuto dalle sponde e dalle discontinue strutture arginali esistenti che non presentano una quota di ritenuta sufficiente a garantire la sicurezza idraulica delle aree retrostanti pertanto a valle le acque di piena invadono anche la suddetta area industriale tanto da rendere necessario l'intervento in progetto"*.

L'argine in progetto è posto a tutela della zona industriale di Rosta dai livelli di piena della Dora Riparia che, in occasione dell'evento dell'ottobre 2000 ⁽¹⁾, è stata interessata dall'esonazione del corso d'acqua (vedi Figura 2-3) con battenti dell'ordine di 0.4 – 0.5 m ⁽²⁾.

Si segnala in oltre che, sulla scorta delle segnalazioni dell'Amministrazione Comunale e delle verifiche puntuali condotte dall'AIPo in sede di *Preliminare*, è stato evidenziato che una parte significativa dell'area oggetto di interesse è soggetta a potenziali allagamenti anche per piene non eccezionali.

Sulla base delle indagini effettuate, la dinamica dell'esonazione della piena con tr 200 anni nell'area di interesse è stata ricostruita secondo lo schema seguente (vedi Figura 2-2):

- 1) l'alveo della Dora è insufficiente al convogliamento della portata con tr 200 anni. In prossimità dell'area di interesse l'esonazione sul piano campagna, in sponda destra, avviene a partire nell'intorno della sezione 50 posta a monte del ponte dell'A32 (vedi Figura 2-1).
- 2) L'acqua prosegue sul piano campagna in direzione Est, verso la zona industriale, percorrendo una discontinuità morfologicamente ben identificabile.
- 3) La parte più esposta della zona industriale viene pertanto interessata con andamento Ovest-Est. La lama d'acqua si adagia alla sponda sinistra del canale senza superarlo.

⁽¹⁾ L'evento dell'ottobre 2000 ha avuto tempo di ritorno inferiore a 200 anni (CITTÀ DI TORINO – 2006).

⁽²⁾ Dato raccolto da testimonianza diretta dei proprietari dei capannoni industriali.

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

- 4) L'esame della dinamica di esondazione mostra che è indispensabile il raccordo dell'argine in progetto a ridosso della viabilità secondaria (Strada Prasecco) in quanto, la parte più ad Est dell'area, posta in sponda destra del canale, può essere interessata dalla "risalita" della corrente che coinvolge la depressione del piano campagna posta immediatamente a valle.
- 5) Le dinamiche descritte trovano conferma nelle testimonianze raccolte in occasione dell'ottobre 2000 (vedi Figura 2-3).

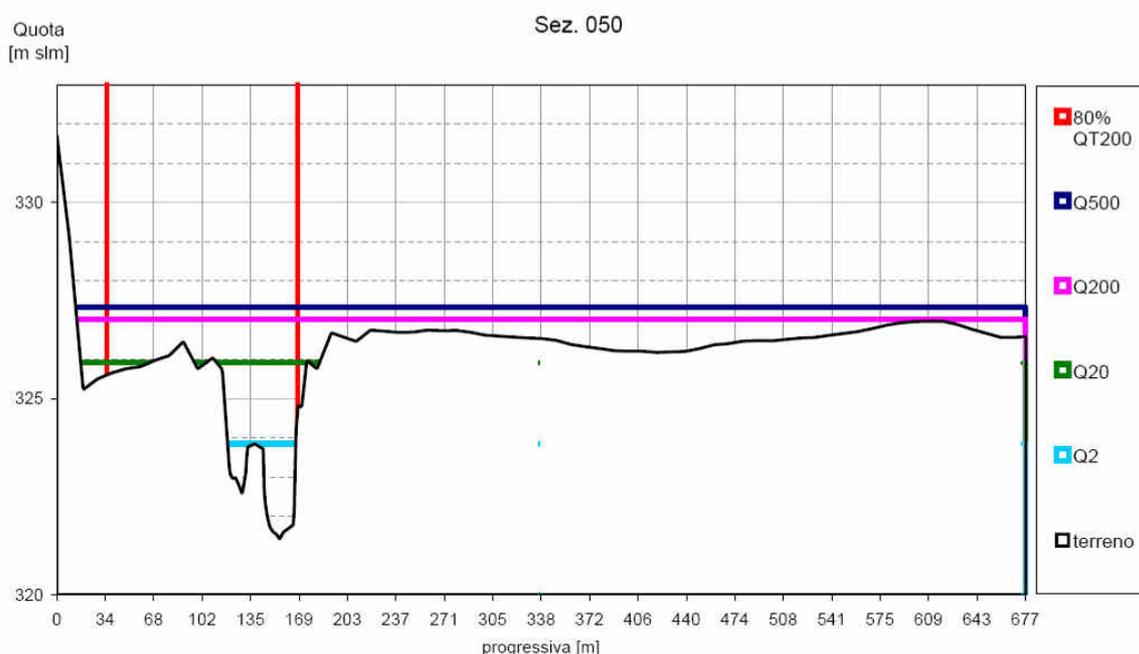


Figura 2-1. Schema della sezione n. 050 (vedi Figura 1-1) posta a circa 130 m a monte del ponte dell'autostrada A32 (tratto da *Studio di Fattibilità – "Elaborato 3.2.2/4 Atlante sezioni e livelli"*). Dalla figura emerge l'insufficienza della sponda destra (il livello della piena duecentennale è rappresentato dalla linea magenta) nel tronco che da origine all'allagamento che andrà ad interessare l'area di interesse.

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

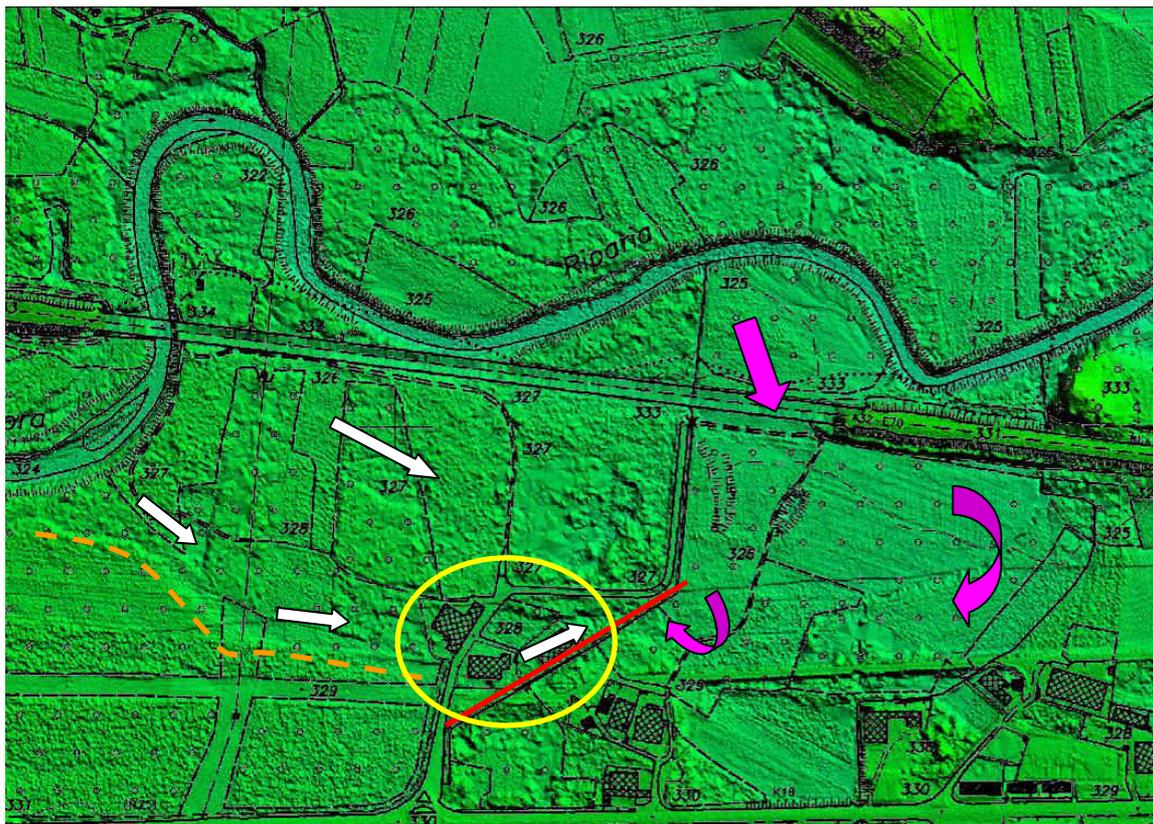


Figura 2-2. Rappresentazione della morfologia dell'area di interesse e delle modalità di allagamento dell'area (la rappresentazione è fondata su LiDAR realizzato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale [PST-A 2008-2009]. Si specifica che i dati e le informazioni sono di esclusiva proprietà del Ministero). Le frecce bianche rappresentano la direzione dell'allagamento con andamento Ovest-Est proveniente dalla sezione 050, il tratteggio arancione rappresenta la discontinuità morfologicamente ben identificabile. In rosso il canale che attraversa l'area di interesse (la lama d'acqua proveniente da Ovest si adagia alla sponda sinistra del canale senza superarlo), in giallo l'area di interesse. Le frecce magenta rappresentano l'area interessata dalla "risalita" della corrente che coinvolge la depressione del piano campagna posta immediatamente a valle, da cui emerge la necessità di raccordare l'argine alla viabilità secondaria (Strada Prasecco).

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

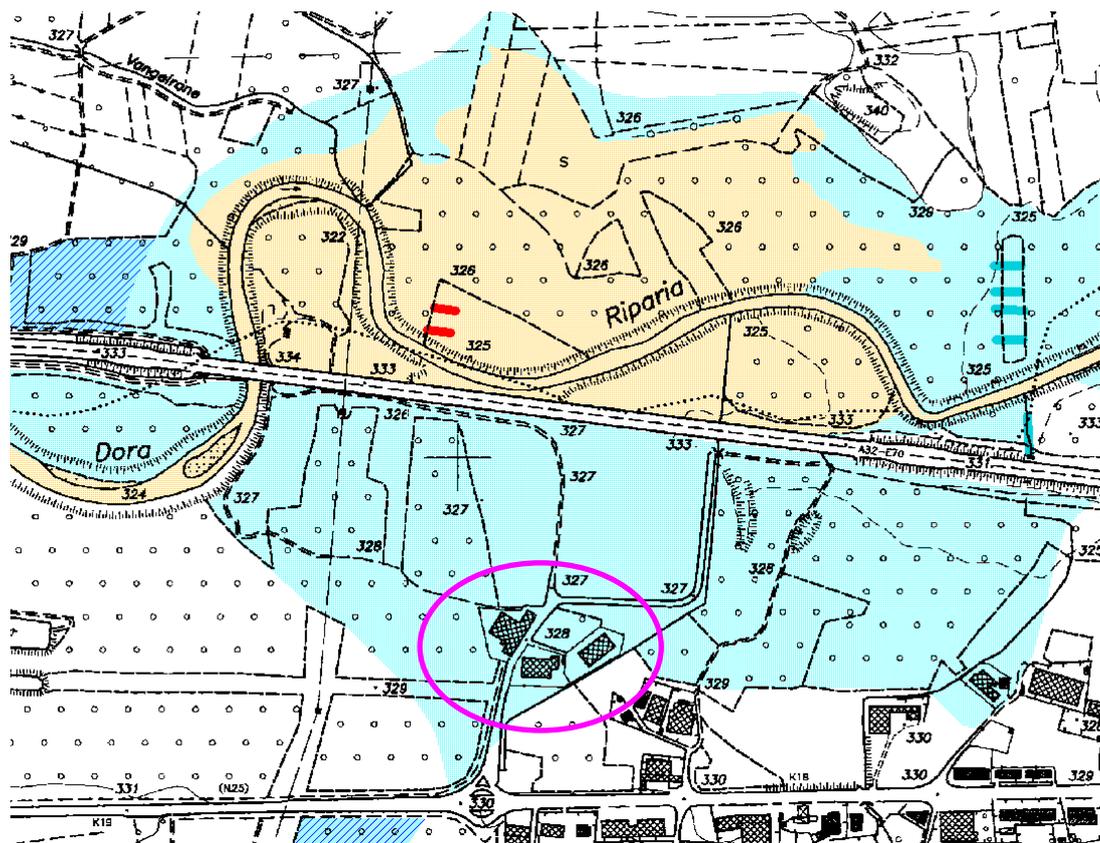


Figura 2-3. Effetti dell'evento dell'ottobre 2000 in prossimità dell'area di interesse (nell'ellisse in magenta). In azzurro gli allagamenti, in marrone le azioni di deposito di sedimenti e in rosso tracce di solchi di erosione (tratto da ARPA PIEMONTE – Sistema Informativo Geografico).

2.1 Caratteristiche dell'intervento

Lo *Studio di Fattibilità* specifica che, per ovviare alla criticità locale della zona industriale di Rosta, è stata individuata la realizzazione di un nuovo argine (l'intervento è codificato come *DR-MS-04 "ROSTA"* in Figura 2-4).

L'assetto di progetto definito dalla *Variante al PAI* ne prevede la realizzazione (par 4.5.1 Assetto di progetto).

Il *Preliminare* individua uno sviluppo complessivo di circa 700 m tra la S.S. 25 ed il raccordo con la viabilità secondaria (Strada Prasecco) prevedendo quanto segue: "La sagoma arginale ha forma trasversale trapezia con scarpa 2:3 sia a fiume sia a campagna. Il corpo arginale sarà realizzato con materiale di tipo "A4-A6" come da norma CNR-UNI 10006; le due scarpate saranno rivestite con uno strato di terreno vegetale e rinverdate mediante idrosemina. Il manufatto poggerà su uno strato di fondazione posto a -0,50 m dal piano campagna esistente".

In considerazione di quanto emerso dal *Preliminare*, dal rilievo topografico a terra appositamente effettuato per la redazione del progetto esecutivo, ed a seguito della condivisione delle informazioni con l'Amministrazione comunale, il tracciato dell'opera è definito in Figura 2-5.

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

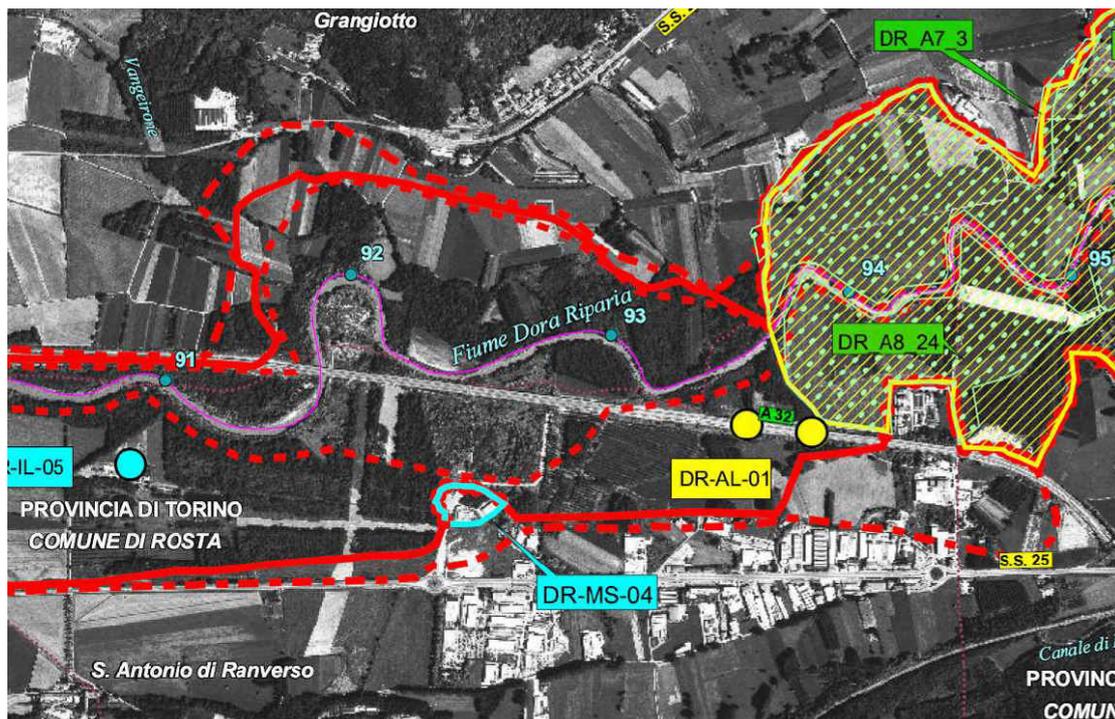


Figura 2-4. Corografia dell'intervento così come previsto in *Studio di fattibilità* (Elaborato 3.4.1/4/2C Definizione dell'assetto di progetto del sistema fluviale - Atlante cartografico degli interventi).



Figura 2-5. In rosso il tracciato dell'opera.

2.2 Modellazione idraulica

La modellazione idraulica consiste nella predisposizione di un modello numerico in moto permanente per sezioni (mediante codice di calcolo hec-ras) al fine di determinare il livello idrometrico della piena di riferimento con tr 200 anni.

La simulazione è stata attivata considerando le sezioni rilevate nel 2002, originariamente impiegate per la redazione dello *Studio di Fattibilità*, al fine di tarare il modello. Successivamente la geometria del tronco entro cui è compreso l'intervento è stata aggiornata mediante l'introduzione delle stesse sezioni rilevate nel 2015 (vedi Figura 2-6). Il livello della piena di riferimento viene determinato per definire le quote di progetto della sommità arginale.

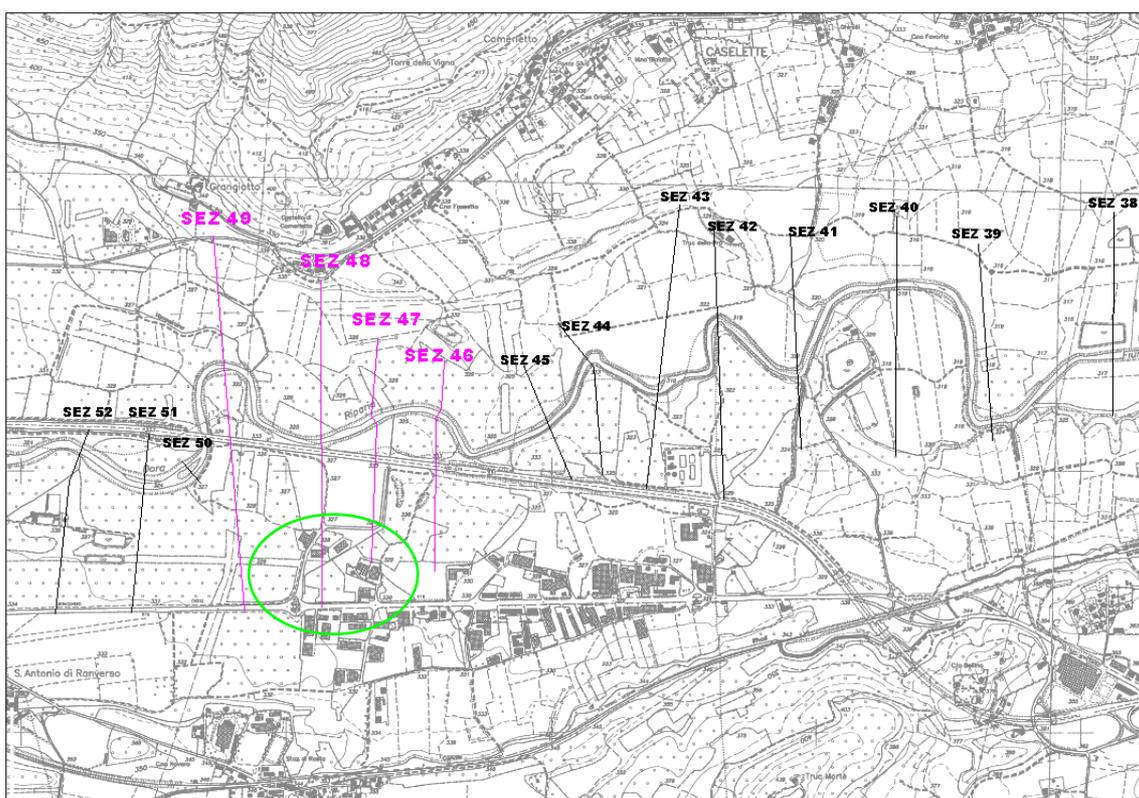


Figura 2-6. Rappresentazione del tronco oggetto di modellazione idraulica. In magenta le sezioni che sono state aggiornate a seguito di rilievo a terra (febbraio 2015), in verde l'area oggetto di interesse.

2.2.1 METODO DI CALCOLO

Al fine di mantenere la congruenza con i contenuti della *Variante al PAI*, il modello numerico predisposto per il progetto esecutivo è stato allestito considerando gli stessi dati di partenza impiegati per la redazione dello *Studio di Fattibilità* (sezioni, portate, scabrezza, livelli idrometrici, ecc.).

A seguito dell'esame dell'entità dei fenomeni da rappresentare, il presente studio è stato condotto mediante la predisposizione di un modello per sezioni in moto permanente

monodimensionale (HEC-RAS, River Analysis System descritto in APPENDICE - C) che prevede portata costante nel tempo e geometria delle sezioni variabile derivante da rilievo a terra ⁽³⁾.

Lo schema, che tiene conto della variazione delle dimensioni dell'alveo e delle singolarità localizzate (rappresentate da manufatti, bruschi restringimenti o allargamenti, variazioni di scabrezza, salti di fondo), è adeguato alle finalità del progetto esecutivo, in quanto permette di descrivere le caratteristiche della corrente in prossimità dell'opera al fine fornire supporto decisionale in merito alle indicazioni progettuali (quota del coronamento, ecc.).

2.2.2 GEOMETRIA IMPIEGATA

Il modello idraulico è stato attivato per il tronco compreso tra le sezioni 52 e 36 del PAI (tronco pari a circa 6 km) inserendo le sezioni rilevate nel 2002 (originariamente impiegate per la redazione dello *Studio di Fattibilità*).

Una volta tarato il modello, la geometria è stata aggiornata introducendo le 4 sezioni comprese tra la 49 e la 46 (tronco pari a circa 1 km in cui è collocato l'intervento in progetto) che sono state appositamente rilevate a terra nel febbraio 2015 ⁽⁴⁾.

L'esame delle sezioni rilevate a terra (sezioni rilevate nel 2002 in APPENDICE - A, sezioni rilevate nel 2015 in 0) mostra quanto segue:

- Nel tronco di interesse non vi sono apprezzabili differenze tra le sezioni originariamente rilevate nel 2002 e quelle rilevate nel 2015. L'alveo della Dora Riparia in questo tratto è sostanzialmente invariato.
- La differenza principale si concretizza in sponda destra ai margini dell'area inondabile, in cui è stata realizzata una viabilità secondaria (Strada Prasecco) il cui rilevato è posto a quota più alta rispetto a quello della piena duecentennale. La strada non influenza l'estensione dell'allagamento nell'area di interesse in quanto si sviluppa partendo dalla sezione 047 in direzione Est.

Ai fini del progetto esecutivo dell'argine le sezioni possono essere utilmente impiegate per l'aggiornamento del modello idraulico.

Si segnala che a causa di un'anomalia nella restituzione, il DTM citato nel *Preliminare* (pag. 12) potrà essere impiegato solo con alcuni accorgimenti.

Si ritiene che l'operazione di omogeneizzazione delle quote citata nel *Preliminare* non sia accettabile e che la quota ivi riportata per la piena duecentennale (327.85 alla sez. 48) non possa essere assunta come riferimento. La verifica delle sezioni a terra (ribattute nel 2015)

⁽³⁾ Si è valutato che per l'esame di un tronco relativamente breve (pochi km), lo schema in moto permanente è più cautelativo di quello in moto vario in quanto non considera gli effetti della laminazione (che in un tronco così breve sarebbero comunque trascurabili). Lo schema di propagazione monodimensionale di moto vario è invece giustificato se applicato allo studio dell'intera asta, in quanto adeguato alla valutazione dei fenomeni di laminazione.

⁽⁴⁾ Il rilievo delle sezioni è avvenuto conformemente a quanto previsto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po in "Specifiche tecniche delle attività - Specifiche per l'esecuzione di rilievi topografici e aerofotogrammetrici" (PAI - 2001).

conferma che la quota del pelo libero di riferimento deve essere quello riportato dallo *Studio di Fattibilità* (325.74 alla sez. 48). Dettagli in 0.

2.2.3 CONDIZIONI AL CONTORNO E SETTAGGI DI CALCOLO

Ai sensi della Direttiva 4 del PAI (aggiornamento aprile 2006), il profilo di piena risultante dai calcoli idraulici riferiti al progetto esecutivo dell'opera, deve essere coerente con quello definito dall'Autorità di Bacino con riferimento alle sezioni di calcolo utilizzate per la delimitazione delle fasce fluviali. A tal fine, come già detto in premessa, le condizioni al contorno per il tronco in parola, sia in termini di portata in ingresso che di scabrezza delle superfici e di livelli idrometrici in uscita, vengono fissate in riferimento ai contenuti della *Variante al PAI* e dello *Studio di Fattibilità*.

La condizione al contorno in ingresso fa riferimento alla piena con tr 200 anni.

La condizione al contorno in uscita è stata posta come livello d'acqua in corrispondenza di una sezione di controllo.

Il motore di calcolo è stato impostato in corrente lenta, condizione in cui la corrente si svolge al di sopra dell'altezza critica e tipica dell'andamento fluviale.

Ai fini della convergenza delle equazioni interne, sono state infittite le sezioni trasversali attivando l'opzione per l'interpolazione delle sezioni ogni 50 m.

2.2.3.1 Portata in ingresso

La condizione al contorno di monte (portata in ingresso del Fiume Dora Riparia) è tratta dalla *Variante al PAI* (par. 5, tabella 3) che prevede una portata duecentennale a Rosta pari a 680 m³/s (stato di fatto).

2.2.3.2 Scabrezza

Le condizioni di scabrezza sono state fissate con riferimento ai valori n di Manning, (rif. *Studio di Fattibilità* "Elaborato 3.2.2/1/2K – Rappresentazioni grafiche e tabellari").

I valori assegnati sono rispettivamente pari a:

- $n = 0.037 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per l' alveo inciso;
- $n = 0.042 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per golene e piano campagna inteso come valore medio;

2.2.3.3 Condizione in uscita

La condizione al contorno in uscita è stata posta come livello d'acqua in corrispondenza di una sezione di controllo posta a monte del ponte di Alpignano (sezione 36 dello *Studio* citato) pari a 316.36 (*Variante al PAI* pag. 30 e *Studio di Fattibilità* "Elaborato 3.4.1/1/1-2H – Scheda rappresentativa del profilo idraulico").

2.2.4 TARATURA DEL MODELLO

Al fine di tarare il modello la simulazione è stata attivata per il tronco compreso tra le sezioni 52 e 36 del PAI, considerando le sezioni rilevate nel 2002 originariamente impiegate per la redazione dello *Studio di Fattibilità* (vedi Tabella 2-1).

Tabella 2-1. Confronto tra il profilo idraulico con tr 200 anni risultante dal modello idraulico predisposto ed i valori riportati in *Studio di Fattibilità* "Elaborato 3.4.1/1/1-2H – Scheda rappresentativa del profilo idraulico" scenario attuale. Si evidenzia che l'intervento in progetto è collocato tra le sezioni 49 e 46.

Sezione	Livello (tr 200 anni)	
	Studio di Fattibilità	Modello idraulico predisposto
N°	m s.l.m.	m s.l.m.
52	328.01	328.01
51	327.36	327.32
50	327.03	326.88
49	326.39	326.38
48	325.56	325.79
47	325.25	325.61
46	324.79	324.81
45	323.82	324.08
44	323.21	322.96
43	322.51	322.43
42	321.88	321.81
41	320.77	321.03
40	319.97	320.59
39	319.04	319.09
38	317.94	318.1
37	317.09	317.13
36	316.36	316.36

A seguito dell'esame dei risultati ottenuti, si ritiene che il modello idraulico predisposto possa essere utilmente impiegato per la definizione delle quote di progetto.

2.3 Risultati

La simulazione è stata attivata considerando le sezioni rilevate nel 2002, originariamente impiegate per la redazione dello *Studio di Fattibilità*, al fine di tarare il modello (vedi Tabella 2-1). Successivamente la geometria è stata aggiornata introducendo le 4 sezioni comprese tra la 49 e la 46 (tronco pari a circa 1 km in cui è collocato l'intervento in progetto) che sono state appositamente rilevate a terra nel febbraio 2015 (vedi Figura 2-6).

I risultati ottenuti in merito al livello della piena di riferimento sono congruenti con lo scenario di progetto riportato nella Variante al PAI e pertanto verranno impiegati per la definizione delle quote di progetto della sommità arginale (vedi Tabella 2-2).

I risultati completi della simulazione sono riportati in APPENDICE - D.

Tabella 2-2. Profilo idraulico con tr 200 anni risultante dal modello idraulico a seguito dell'attualizzazione del tronco tra le sezioni 49 e 46 in cui è collocato l'intervento in progetto. Si riporta in oltre il confronto con i contenuti della *Variante al PAI* (par. 5 tabella riferita allo scenario di progetto).

Sezione	Livello (tr 200 anni) - scenario di progetto	
	Variante al PAI	Modello idraulico predisposto
N°	m s.l.m.	m s.l.m.
49	326.39	326.38
48	325.74	325.79
47	325.59	325.62
46	325.44	324.87

2.4 Compatibilità degli interventi con l'assetto idraulico del Fiume Dora Riparia previsto dal PAI

Per quanto riguarda l'assetto di progetto del Fiume Dora Riparia il PAI persegue, tramite interventi strutturali e non, i seguenti obiettivi (tratto da capitolo 6 del *Preliminare*):

- 1) *contenimento dei livelli di piena con tempo di ritorno di 200 anni tramite realizzazione di nuovi argini o adeguamento/completamento di quelli esistenti da Susa alla confluenza in Po;*
- 2) *interventi di manutenzione straordinaria, adeguamento e nuova realizzazione di opere di difesa spondale con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo inciso e per la stabilizzazione al piede delle sponde, a carattere sporadico;*
- 3) *mantenimento dell'attuale capacità di laminazione naturale lungo tutta l'asta (nel caso in oggetto, trattandosi di interventi locali di modesta dimensione, dal punto di vista della propagazione delle piene, le opere in progetto non generano significative modificazioni a livello di asta fluviale).*

Gli interventi previsti rispettano le indicazioni fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po per l'assetto di progetto del Fiume Dora Riparia contenuto nella *Variante al PAI*.

3 INDICAZIONI PROPEDEUTICHE AL PROGETTO ESECUTIVO

La modellazione idraulica predisposta ha consentito di rideterminare il livello idrometrico della piena di riferimento con tr 200 anni sulla base dell'aggiornamento della geometria delle sezioni che descrivono il tronco interessato dall'intervento. Il livello della piena di riferimento viene impiegato per definire la quota di progetto della sommità arginale (coronamento).

Al fine di semplificare le operazioni di progettazione il tracciato dell'argine è stato suddiviso in segmenti omogenei (vedi Figura 3-1).

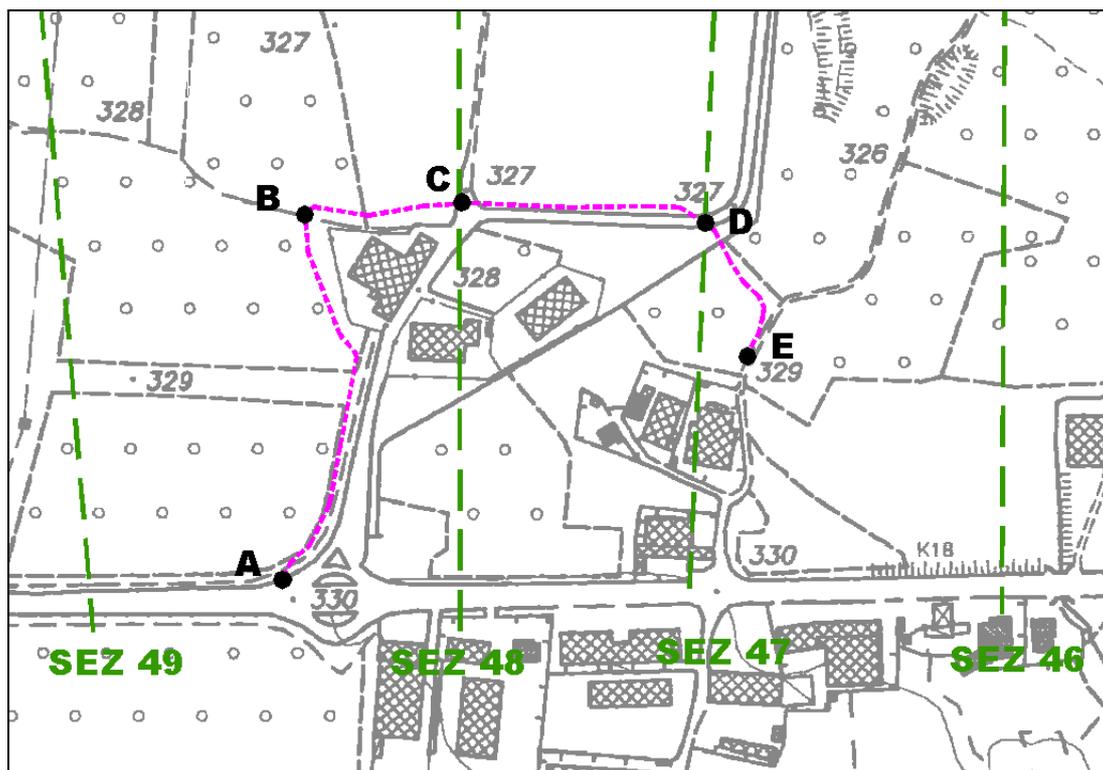


Figura 3-1. Corografia dell'argine in progetto e suddivisione in segmenti omogenei.

Il coronamento dell'argine è stato materializzato in modo da razionalizzare il rapporto costi-benefici secondo la seguente procedura:

- dal rilievo topografico è stato estratto il profilo del terreno in asse al percorso dell'argine al fine di evidenziare la morfologia locale;
- dal modello idraulico è stato estratto il profilo idrometrico sullo stesso asse al fine di evidenziare l'altezza dell'acqua a contatto del rilevato lungo tutto il tracciato;
- l'incrocio delle informazioni citate, incrementate del franco idraulico, ha portato alla materializzazione del coronamento adagiando il rilevato al terreno naturale;

Il profilo del coronamento dell'argine è riportato nell'Elaborato 5 – *Profilo argine*.

Nel seguito si espongono le indicazioni propedeutiche al progetto esecutivo:

- 1) Segmento A-B. A partire dalla sezione 50, posta a monte del ponte della A32, l'acqua esonda sul piano campagna in sponda destra. La lama d'acqua interessa il piano campagna con andamento Ovest-Est ed altezza variabile dipendente dalla morfologia locale. L'esondazione che coinvolge l'area industriale si adagia al rilevato stradale della S.S. 25. Si rileva che in questo tratto, nella condizione post-intervento, la corrente risulta praticamente ortogonale all'argine. Pur essendo la velocità ridottissima (e quindi il termine cinetico trascurabile) si prevede che il franco idraulico in questo tratto sia aumentato a 1.3 m (anzichè 1 m come avviene usualmente) al fine di tener conto dell'effetto di ostacolo prodotto dall'argine stesso ⁽⁵⁾. La quota del coronamento verrà mantenuta per tutto il tratto A-B in quanto, essendo ortogonale alla direzione della corrente, il livello idrometrico sarà praticamente costante per tutto il tronco A-B. Al fine di seguire un criterio cautelativo, la quota del coronamento dell'argine (costante per tutto il tronco A-B) è fissata in riferimento al livello idrometrico della sezione 49 (pari a 326.38) incrementata del franco idraulico (1.3 m) e sarà quindi pari a 327.68.
- 2) Segmento B-C. In questo tratto la corrente, inizialmente ortogonale all'argine, tenderà ad adagiarsi al rilevato seguendone il percorso (praticamente parallelo all'alveo). Nel tratto B-C il terreno si alza leggermente mentre il pelo libero si abbassa fino a quota 325.79 nella sezione 48. In corrispondenza della strada di servizio che si diparte verso nord, il pelo libero è inferiore alla quota del terreno. Al fine di dare continuità al corpo arginale, la quota del coronamento è dovuta solo al franco idraulico riferito al piano campagna. In conclusione la quota del coronamento dell'argine in corrispondenza del punto C è pari a 327.24 (quota del terreno 326.24 incrementata del franco idraulico di 1.0 m).
- 3) Segmento C-D. In questo tratto la corrente è pressochè parallela all'argine. Nel tratto C-D il terreno si immerge nuovamente. In corrispondenza del punto D la quota del coronamento dell'argine sarebbe pari al livello idrometrico della sezione 47 (pari a 325.62) incrementata del franco idraulico (1.0 m) a quota 326.62. Al fine di raccordare la sommità dell'argine con le sponde del canale, la quota del coronamento viene incrementata a 326.65.
- 4) Segmento D-E. In questo tratto il terreno forma una depressione e la corrente "risale" dalla depressione del piano campagna posta a valle verso la parte più a Est dell'area industriale evidenziando la necessità di raccordare l'argine alla viabilità secondaria (Strada Prasecco). In corrispondenza del punto E la quota del coronamento dell'argine sarebbe pari al livello idrometrico della sezione 47 (pari a 325.62) incrementata del

⁽⁵⁾ Tale effetto potrebbe essere quantificato mediante la predisposizione di un modello bidimensionale. In considerazione dei risultati ottenuti degli approfondimenti già effettuati si ritiene che questo non sia necessario.

franco idraulico (1.0 m) a quota 326.62. Come per il tratto precedente, al fine di raccordare la sommità dell'argine con le sponde del canale, la quota del coronamento viene incrementata a 326.65.

A margine di quanto precedentemente richiamato, si espongono alcune considerazioni in merito alle interazioni che avvengono tra il canale che attraversa l'area di interesse e l'argine in progetto (il profilo delle sponde del canale è riportato nell'Elaborato 6 – *Profilo canale*):

- a) Sulla base delle verifiche idrauliche predisposte, la piena duecentennale si adagia alla sponda sinistra del canale senza superarlo. Quanto esposto è confermato dalle testimonianze raccolte in occasione dell'evento dell'ottobre 2000 (vedi Figura 2-3). Nel punto in cui il canale attraverserà l'argine si propone di raccordare la sommità dell'argine con le sponde del canale alla quota di 326.65.
- b) La materializzazione della quota di piena duecentennale nel canale mostra che l'effetto del rigurgito dovuto al Fiume Dora Riparia è contenuto all'interno delle sponde del canale, pertanto è esclusa la necessità di inserire una chiavica.
- c) L'esame del profilo delle sponde del canale mostra che tra la progressiva 273.3 e la 355.4 le sponde del canale si abbassano di circa 0.5 m (vedi Elaborato 6 – *Profilo canale*). Al fine di scongiurare definitivamente l'allagamento da tergo che si potrebbe verificare a partire dal canale stesso e mantenere un franco idraulico pari ad 1 m circa lungo tutto il tracciato del canale, si ritiene opportuno sopraelevare le sponde del tronco citato (lunghezza complessiva pari a 82 m circa).
- d) A seguito della realizzazione dell'argine si escludono interazioni tra le acque circolanti sul piano campagna e quelle del canale nel tratto interessato dall'argine.

4 CONCLUSIONI

Il presente studio rappresenta la verifica di compatibilità idraulica dell'argine in progetto.

La modellazione idraulica è consistita nella predisposizione di un modello numerico in moto permanente per sezioni (mediante codice di calcolo hec-ras) al fine di determinare il livello idrometrico della piena di riferimento con tr 200 anni. La simulazione è stata attivata considerando le sezioni rilevate nel 2002 (originariamente impiegate per la redazione dello *Studio di Fattibilità* predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po) al fine di tarare il modello e renderlo congruente con i contenuti della *Variante al PAI* (2007). Successivamente la geometria del tronco entro cui è compreso l'intervento è stata aggiornata mediante l'introduzione delle sezioni comprese tra la 49 e la 46 rilevate nel 2015. Il livello della piena di riferimento è stato determinato per definire le quote di progetto della sommità arginale il cui profilo è riportato nell'Elaborato 5 – *Profilo argine*.

Gli interventi previsti rispettano le indicazioni fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po per l'assetto di progetto del Fiume Dora Riparia contenuto nella *Variante al PAI*.

In merito ad eventuali altri impieghi del presente studio si evidenzia che i risultati sono stati calibrati e verificati per il tronco in cui è collocato l'intervento. Le valutazioni espresse nel presente studio si basano sui dati e sulle informazioni ad oggi disponibili (marzo 2015). Poiché la situazione antropica è soggetta ad una rapida evoluzione, tali valutazioni devono intendersi "congelate" al momento in cui sono stati raccolti i dati di supporto. Sono in oltre fatte salve eventuali evoluzioni dei dissesti individuati e non che, alla luce dello stato di fatto vigente e delle attuali conoscenze, non sono prevedibili né quantificabili.

5 RIFERIMENTI

AIPo (2013): *Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione dell'area industriale di Rosta (TO) - PROGETTO PRELIMINARE*, Ufficio di Torino.

ARPA PIEMONTE (2003): *Eventi alluvionali in Piemonte - Evento alluvionale regionale del 13-16 ottobre 2000*, Torino.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001-a): *PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico)*, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001-b): *Piano per l'Assetto Idrogeologico -7- Norme di attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001-c): *Piano per l'Assetto Idrogeologico -7- Norme di attuazione - Direttiva 4 criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B*, Parma – Aggiornamento 2006.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2003): *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po*. Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2006): *Progetto di variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Fiume Dora Riparia - Relazione tecnica*, Parma – Allegato alla deliberazione n° 12/2006 del 5 aprile 2006.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2007): *Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Fiume Dora Riparia - Relazione tecnica*, Parma – Allegato alla deliberazione n° 9 del 19 luglio 2007.

CHOW V.T. (1959): *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York.

CITTÀ DI TORINO (2006): *Nuovo ponte sulla Dora in Via Livorno – PROGETTO DEFINITIVO*, Torino.

LO BRUTTO M. (2005): *I sistemi Laser Scanning aerei*. Geomatica e modellizzazione digitale del terreno, Master Universitario di II livello in "Sistemi Informativi Territoriali", Università degli Studi di Palermo (<http://www.idra.unipa.it/>).

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (2011): *Manuale d'uso del software applicativo Adb-ToolBox (versione 1.6). Strumenti per il trattamento dei dati LiDAR (St LiDAR)*.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (2011): *Guida all'uso dei dati geografici con ADB Toolbox*.

PENASA A. (2012): *Impiego di dati LiDAR per la creazione di mappe tematiche a supporto del tecnico forestale*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova.

PIROTTI F. (2009): *La tecnologia lidar per applicazioni forestali*, Sherwood, Foreste ed alberi oggi, 156: 7-15.

REGIONE PIEMONTE (2007): *Progetto di variante al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Variante delle fasce fluviali del fiume Dora Riparia. Controdeduzioni alle osservazioni e proposta di parere regionale adottato con D.G.R. 40-5775 del 23 aprile 2007*, Supplemento Ordinario n. 1 al B.U. n. 17.

US ARMY CORPS OF ENGINEERING (2001): *HEC-RAS - Hydraulic reference manual*, Dodson & Associates.

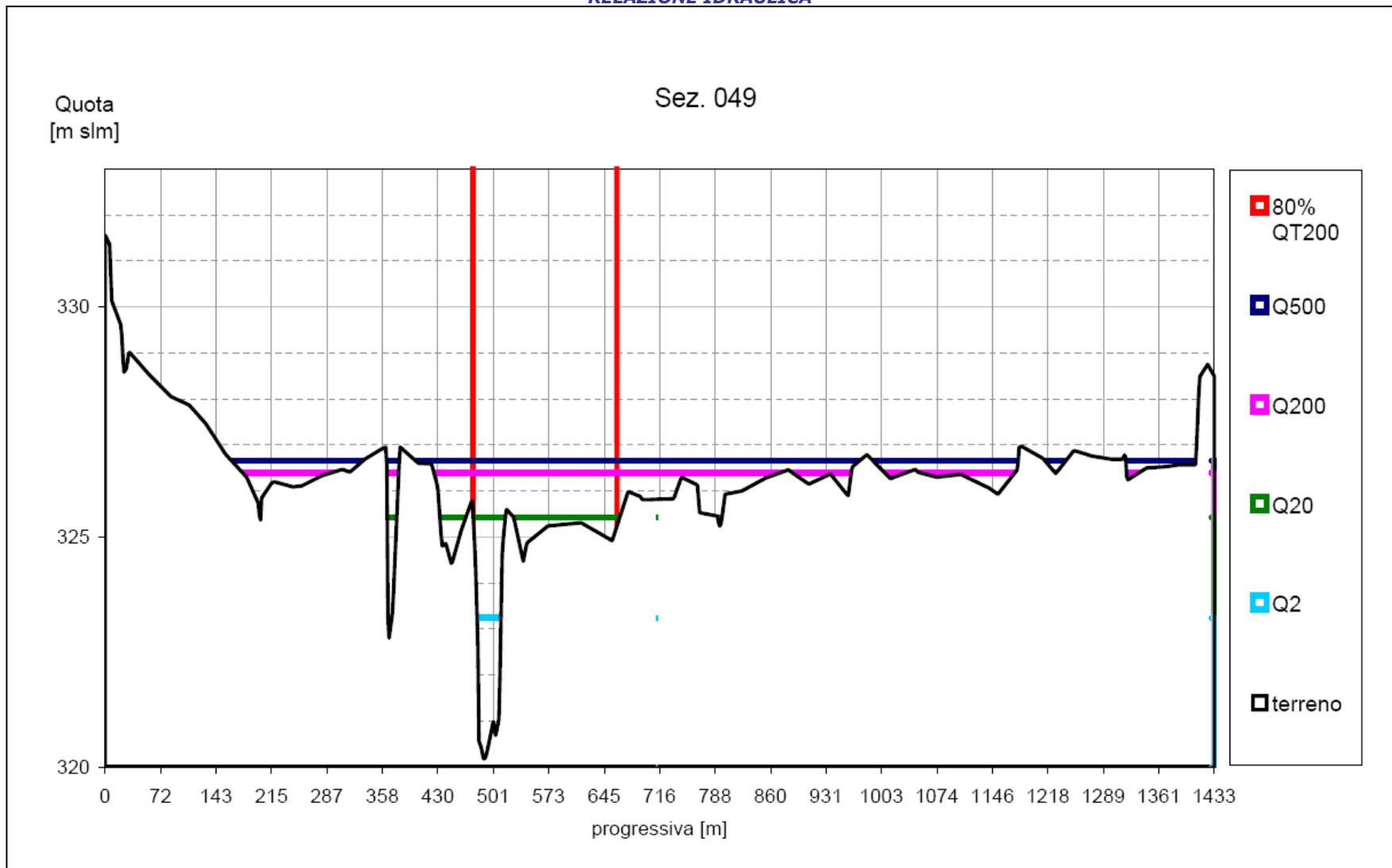
US ARMY CORPS OF ENGINEERING (2001): *HEC-RAS – Application Guide*, Dodson & Associates.

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

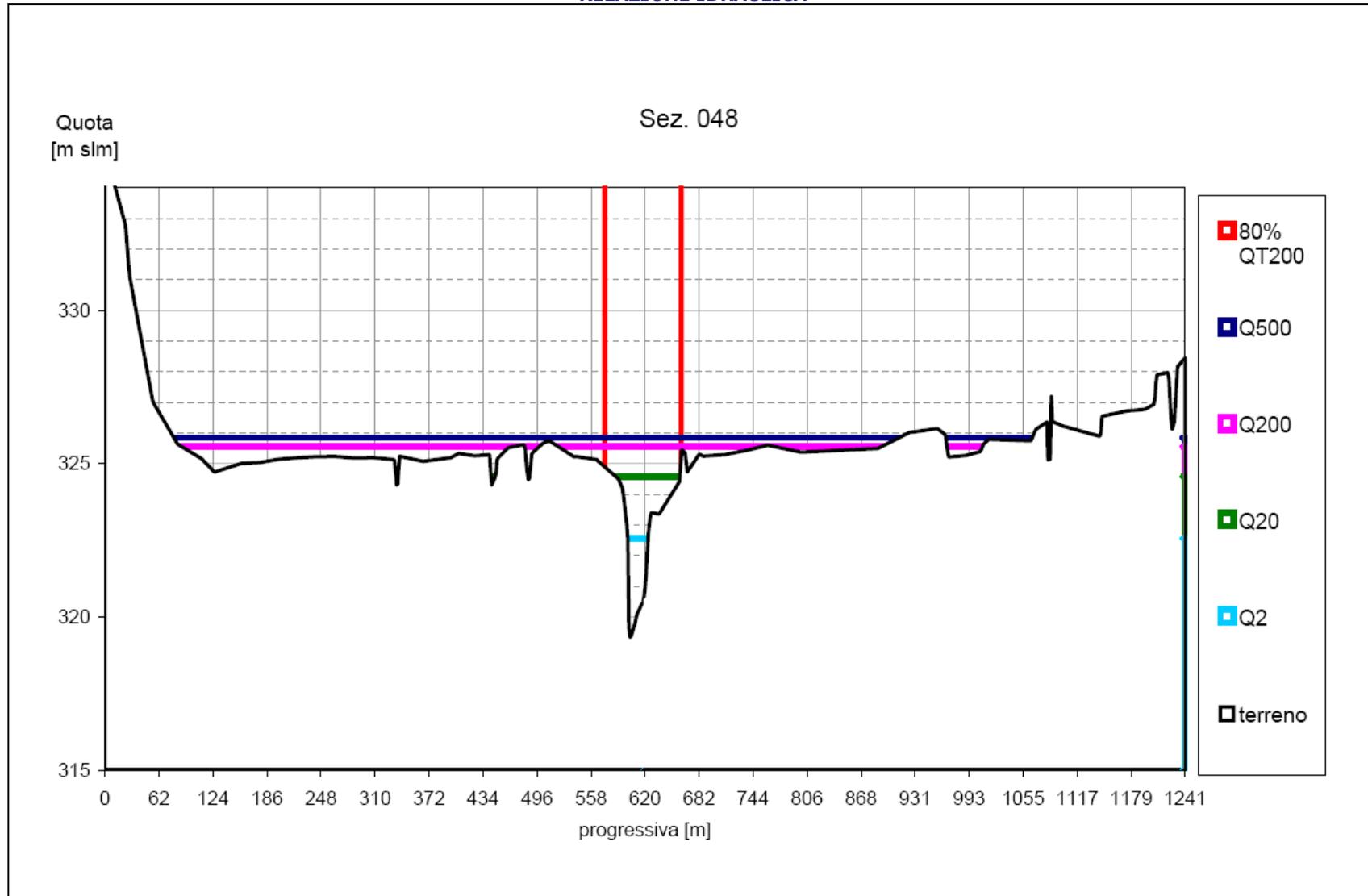
APPENDICE - A. SEZIONI ALLEGATE ALLO STUDIO DI FATTIBILITÀ (TRATTE DA ELABORATO 3.2.2/4 ATLANTE DELLE SEZIONI E DEI LIVELLI IDRICI).

Nel seguito si riportano le sezioni rilevate nel 2002 che furono impiegate per la redazione dello *Studio di Fattibilità* impiegato per la redazione della *Variante al PAI* attualmente vigente (le scale sono alterate al fine di esaltare le altezze e far emergere le discontinuità del piano campagna).

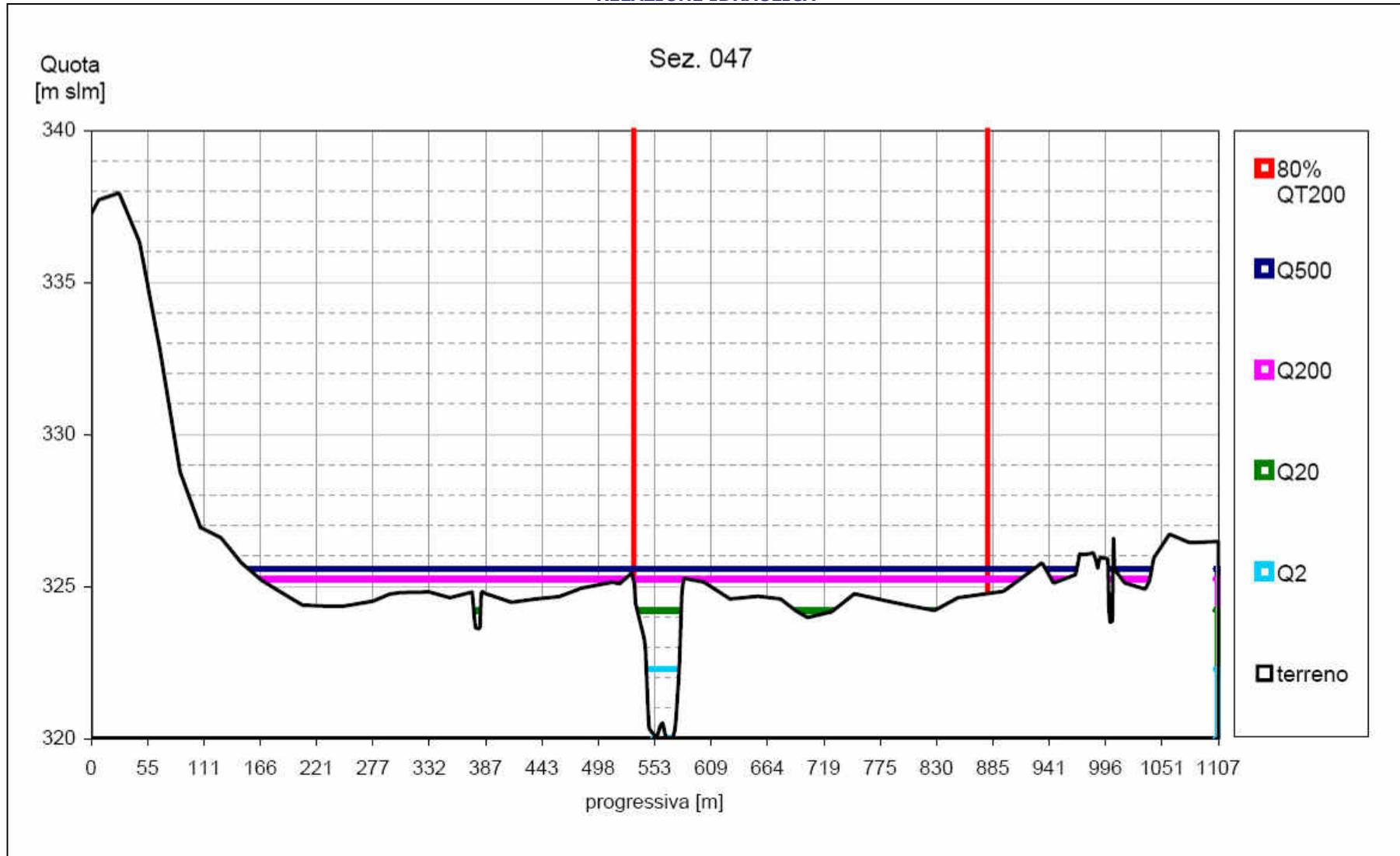
AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



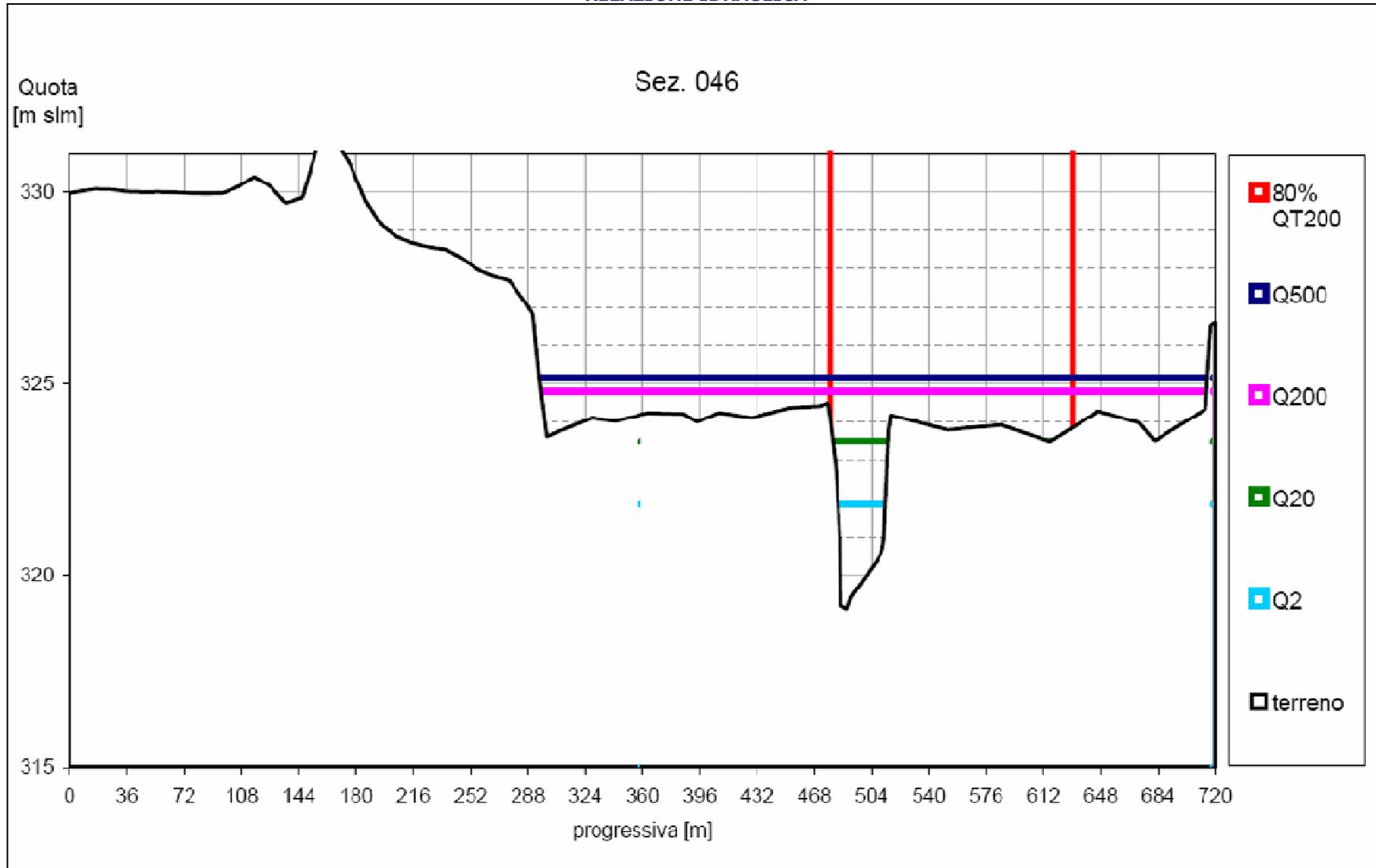
AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

APPENDICE - B SEZIONI TRASVERSALI RILEVATE A TERRA (FEBBRAIO 2015) E CONFRONTO CON ALTRI DATI ALTIMETRICI A DISPOSIZIONE.

Nelle pagine successive si riportano le sezioni rilevate a terra con rilievo del febbraio 2015. Si specifica che il rilievo delle sezioni è avvenuto conformemente a quanto previsto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po in "Specifica tecnica delle attività - Specifica per l'esecuzione di rilievi topografici e aerofotogrammetrici" (PAI - 2001) impiegando gli stessi capisaldi impiegati per il rilievo delle sezioni utilizzate per la redazione dello *Studio di Fattibilità*.

Si specifica che, analogamente alle sezioni allegato allo *Studio di Fattibilità*, le sezioni sono rappresentate con scale alterate al fine di esaltare le altezze e far emergere le discontinuità del piano campagna.

Nel Preliminare si riporta che "dal confronto tra la sez. 48 dello "Studio..." e il DTM a disposizione, si rileva che le quote del DTM ⁽⁶⁾ sono superiori di circa 2,30 m. Pertanto si è operata una omogeneizzazione delle quote e in APPENDICE il livello di piena di riferimento dell'Autorità di Bacino, pari a m 325.55 slm, corrisponde a m 327.85 slm. Questa, quindi, è stato assunto quale livello di piena di progetto" (pag. 12).

Al fine di operare un confronto tra i dati altimetrici a disposizione (sezioni rilevate a terra e DTM) occorre quindi riassumere le caratteristiche di restituzione dei rilievi LiDAR.

Ciò che si ottiene con un rilievo LiDAR è un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche (sistema WGS 84), alla quota (Z) calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa (I). Analizzando i punti riflessi si osserva un ritorno multiplo del segnale, ed in presenza di vegetazione (non eccessivamente densa) il segnale penetra riflettendo punti a vari livelli della fronda e al suolo.

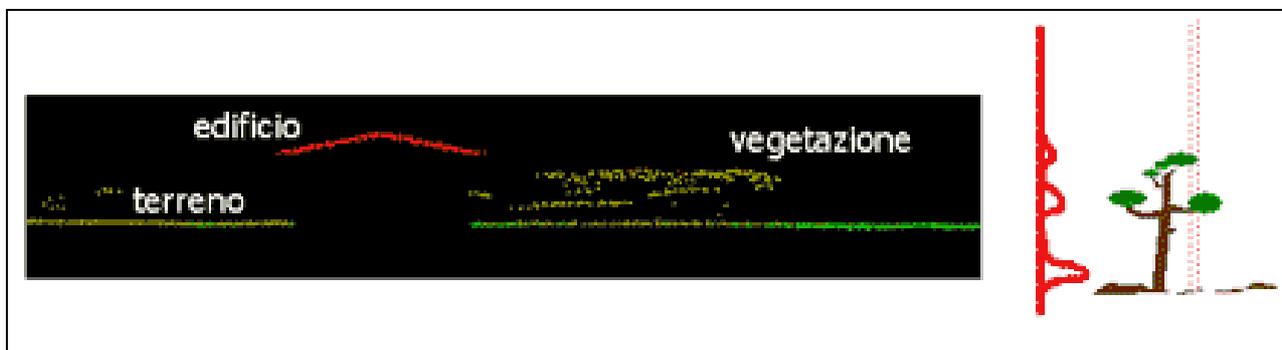


Figura B - 1. Punti riflessi lungo un profilo lidar. Il raggio laser penetra la vegetazione, se non eccessivamente densa, e riflette quindi punti a vari livelli.

L'estensione dell'impronta a terra dell'impulso laser risulta determinante per sfruttare la possibilità di individuare oggetti molto sottili e piccoli particolari (es. cavi sospesi) e la capacità di sfruttare i piccoli varchi nella vegetazione per raggiungere il suolo. La dimensione dell'impronta al suolo è, inoltre, alla base del fenomeno di generazione degli echi multipli: quando l'impulso laser incontra un ostacolo, come la chioma di un albero, una parte del segnale viene riflessa dall'ostacolo mentre un'altra parte rimanente (non intercettata) prosegue il suo tragitto fino all'ostacolo successivo.

⁽⁶⁾ Il DTM citato deriva dal LiDAR realizzato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale [PST-A 2008-2009].

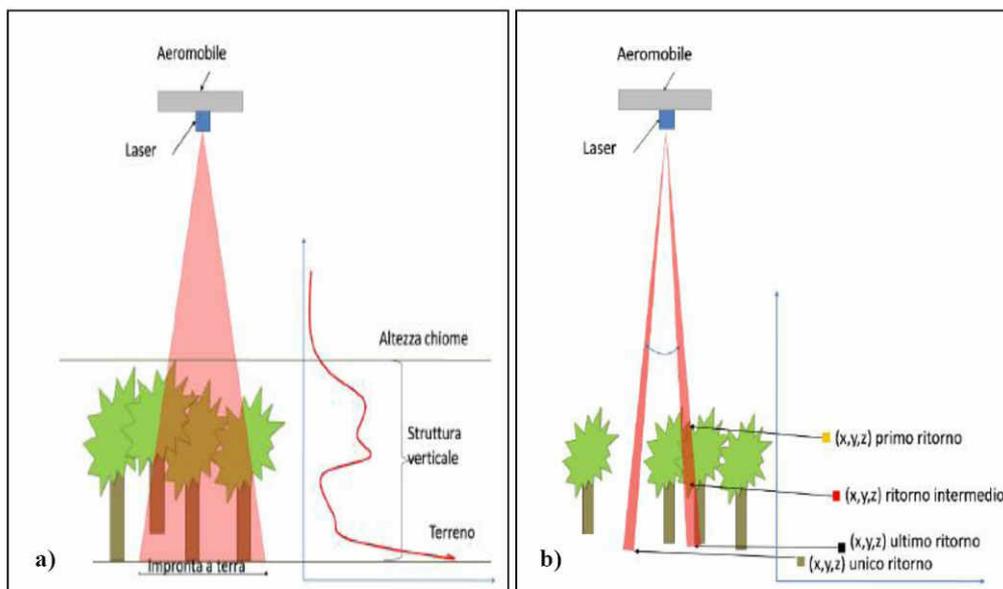


Figura B - 2. Rappresentazione schematica dell'impronta a terra dell'impulso laser. Nel primo caso vengono registrati un maggiore numero di echi, nel secondo le misure sono più accurate e coprono un'area minore (PIROTTI – 2009).

Le riflessioni multiple di uno stesso raggio arrivano al ricevitore in tempi differenti e possono essere quindi discriminate. Si hanno così un primo eco (*first pulse*) e un certo numero di echi successivi, fino all'ultimo (*last pulse*).

Poiché il laser acquisisce la posizione di molteplici impulsi, si procede ad una classificazione del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico, discriminando gli impulsi che risultano appartenenti al suolo dagli impulsi classificabili come superfici arboree ed arbustive, elementi antropici quali cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, etc.

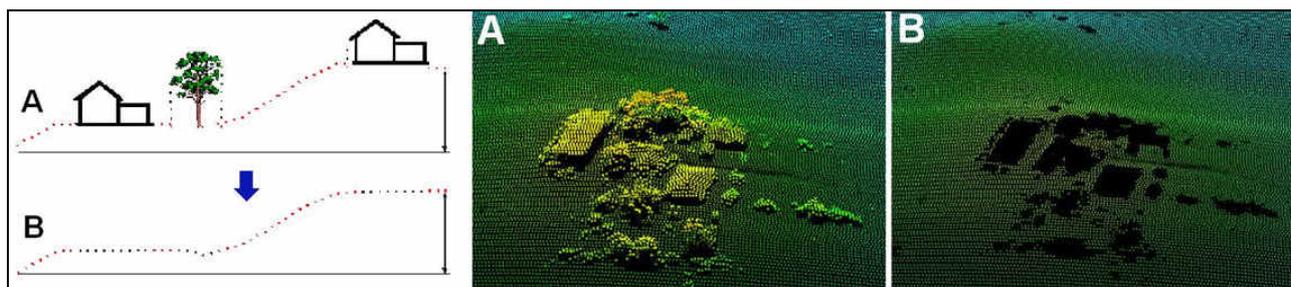


Figura B - 3. A) Punti totali, che comprendono suolo, superfici arboree ed arbustive, elementi antropici quali edifici, ponti, automobili, ecc. B) Impulsi che sulla base di un procedimento di filtraggio risultano appartenenti al suolo.

Dalla nuvola di punti totali si ottiene un Modello Digitale di Superficie (DSM, Digital Surface Model), mentre per elaborazioni successive, che comprendono sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un Modello Digitale del Terreno (DTM, Digital Elevation Model).

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

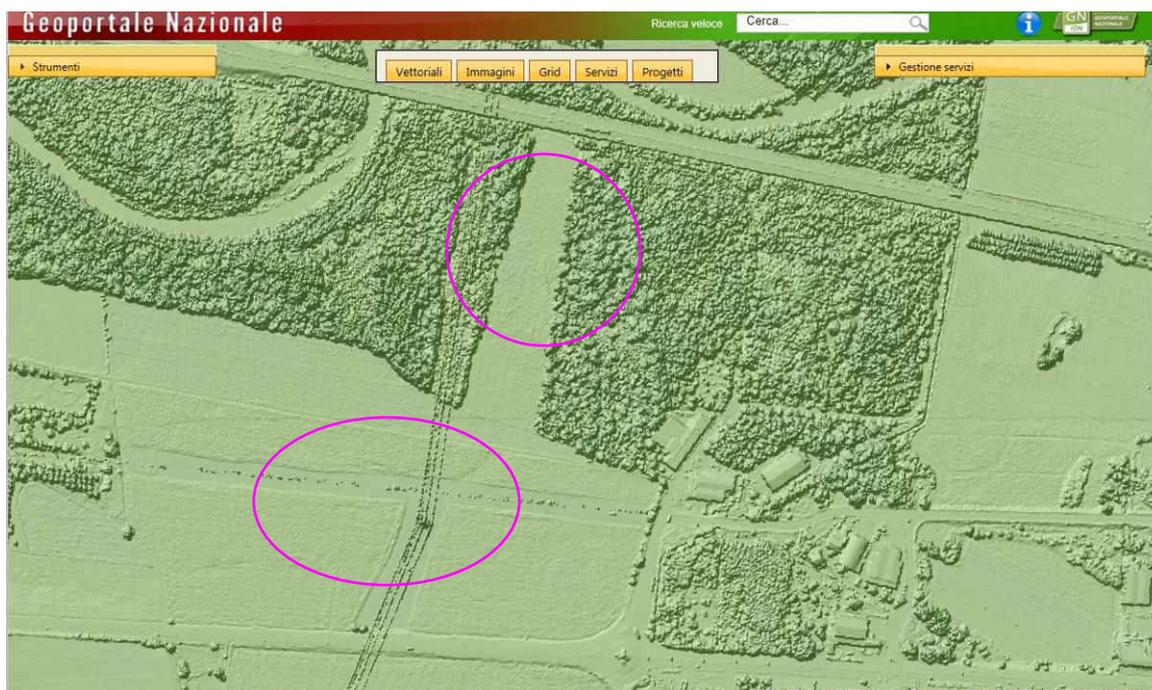


Figura B - 4. Esempio di rappresentazione 3D del tratto di costa a sud della Foce del Savio. A) Foto aerea, B) Modello Digitale di Superficie (DSM), C) Modello Digitale del Terreno (DTM).

In sostanza la validità della restituzione del DTM dipende principalmente da due fattori interconnessi: la capacità del sensore di cogliere particolari "piccoli" (*small footprint*) ed i criteri di classificazione dei punti che avviene mediante sia automatico che manuale.

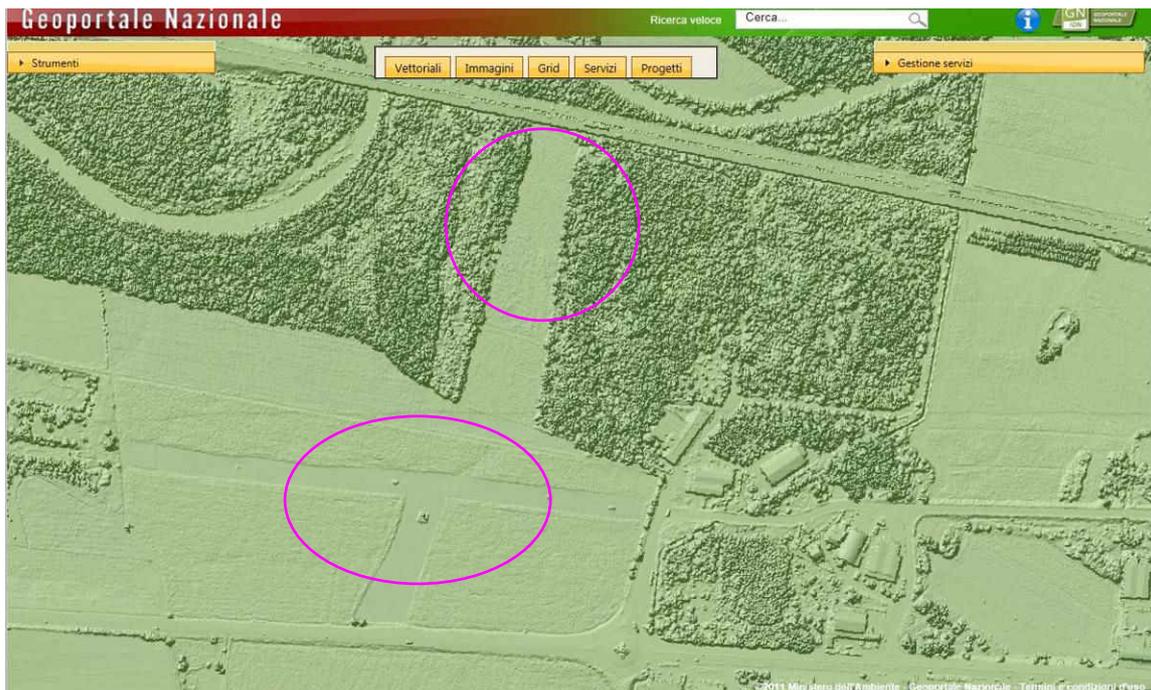
L'esame del rilievo LiDAR dell'area oggetto di indagine evidenzia quanto segue:

- 1) Rappresentazione del DSM First (primo impulso). In magenta l'esempio di aree che daranno origine ad una restituzione anomala. La rappresentazione include il cosiddetto "rumore" rappresentato sia dalla vegetazione che da edifici, veicoli, linee elettriche, ponti, ecc.



- 2) Rappresentazione del DSM Last (ultimo impulso). In magenta l'esempio di aree che daranno origine ad una restituzione anomala. La rappresentazione riporta ancora parte del rumore ed evidenzia la superficie che dovrà essere classificata e filtrata (con processi sia automatici che manuali) al fine di ottenere il DTM.

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

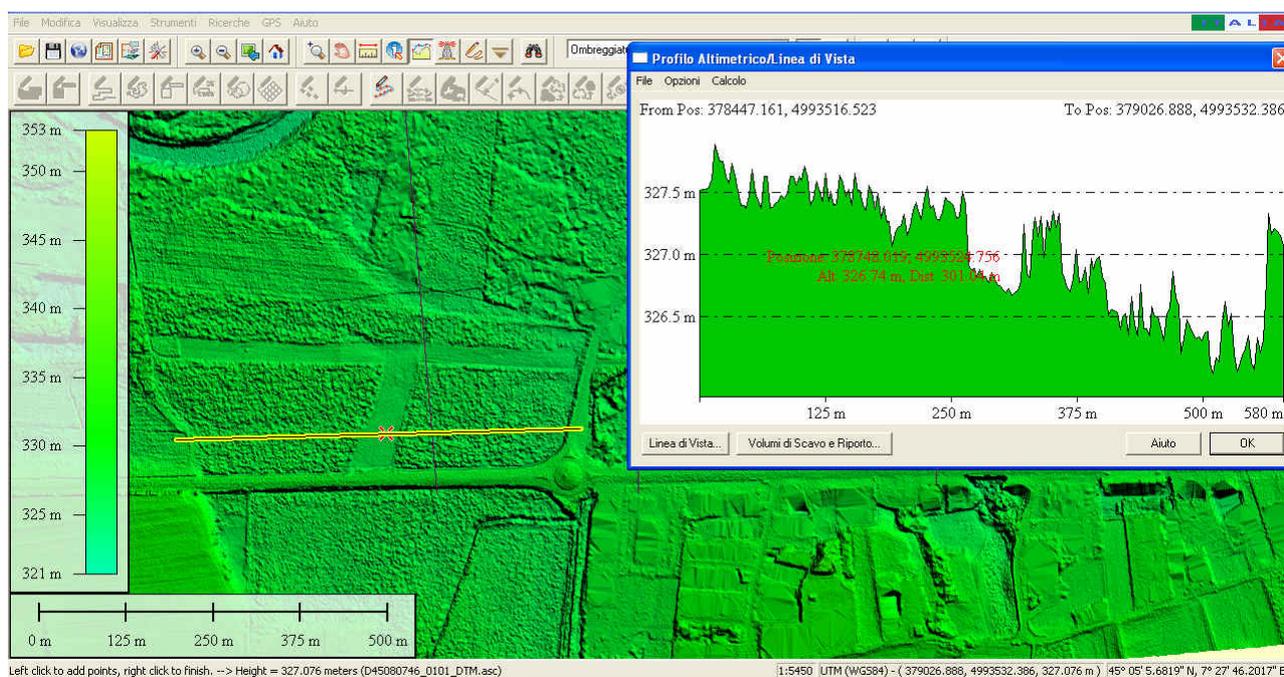


- 3) L'esame delle ortofoto riprese in occasione del volo effettuato per il rilievo, mostra che è stato fatto in stagione vegetativa avanzata (si notano ampie porzioni di seminativi e zone a prato in diversi stadi vegetativi). In magenta l'esempio di aree che daranno origine ad una restituzione anomala. In queste condizioni (seminativi densi e vegetazione ripariale densa) il sensore non è in grado di penetrare completamente la vegetazione falsando il DTM finale.

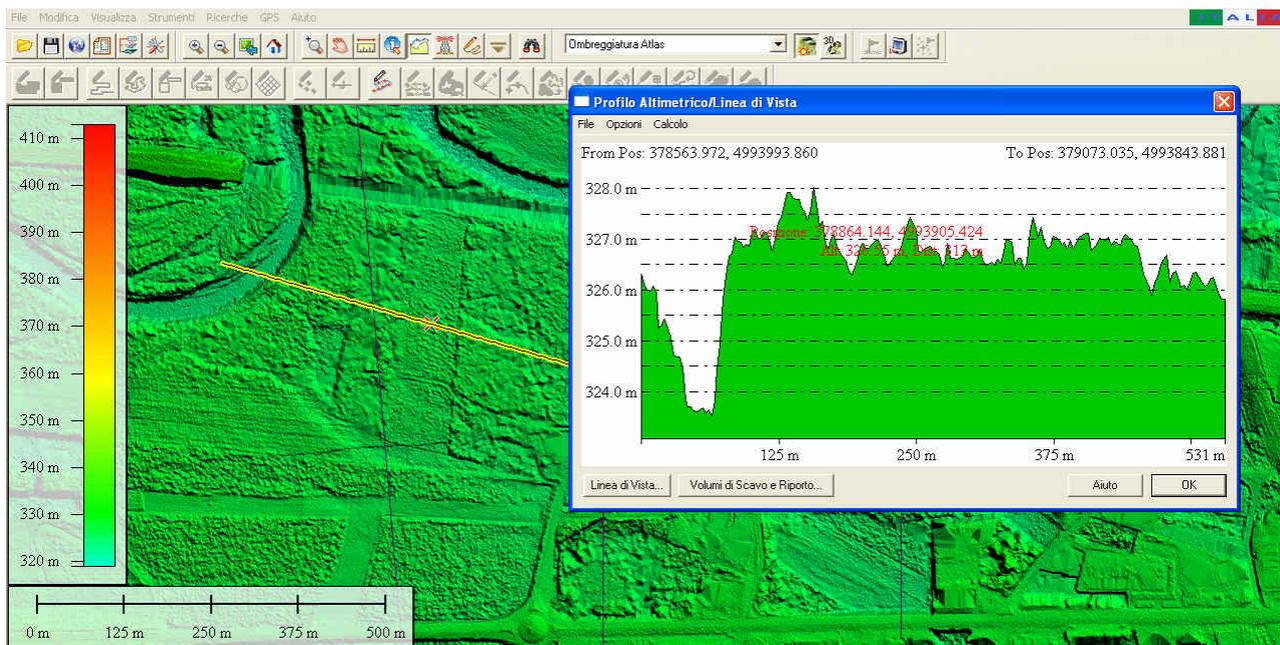


AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

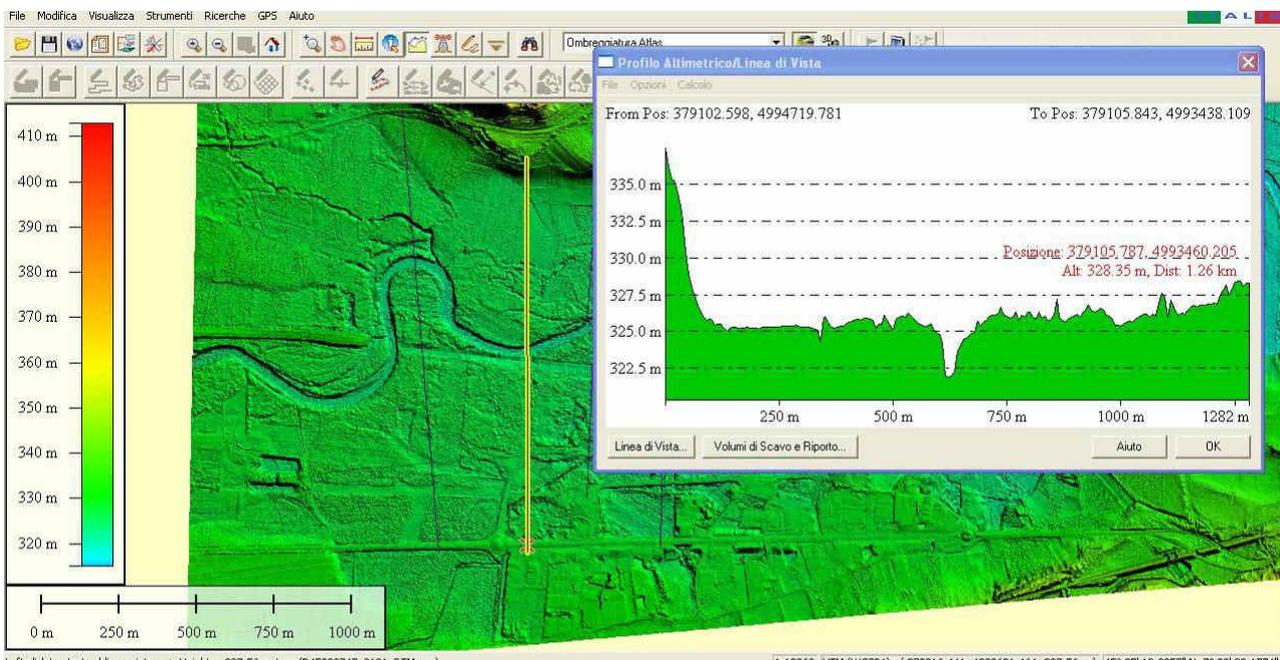
- 4) Rappresentazione del DTM che rappresenta, a seguito del filtraggio, i soli punti che appartengono al suolo. Si notano diverse anomalie dovute alle operazioni di filtraggio (es. viadotto dell'autostrada). In particolare nelle aree evidenziate in magenta il terreno è uniforme ma il diverso stadio vegetativo ha portato ad interpretare una diversa quota del terreno (vedi sezioni nelle figure successive).



AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

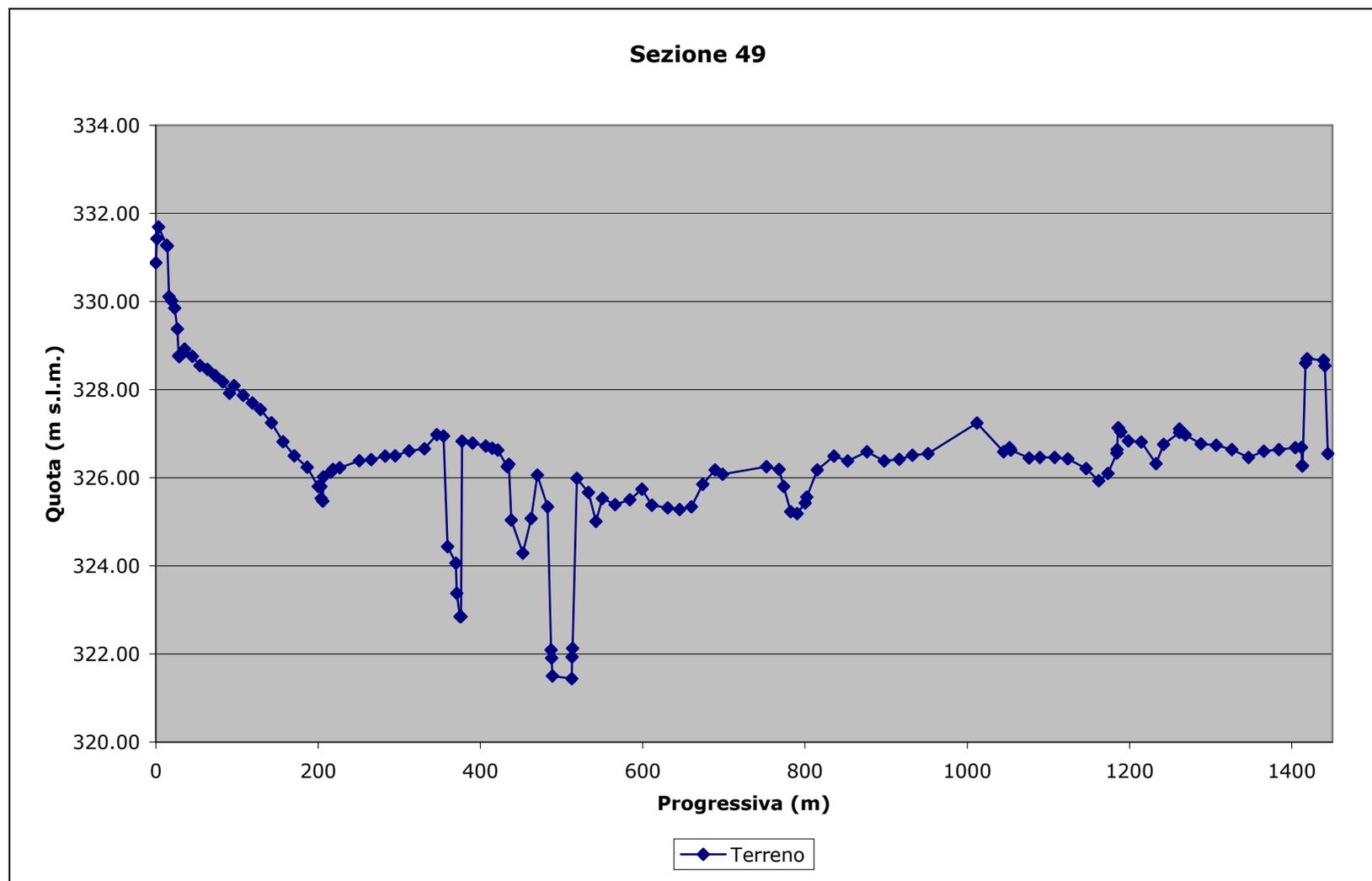


- 5) In queste condizioni l'estrazione di sezioni trasversali mostrerà un piano campagna più alto di quanto riscontrabile dalla verifica a terra mentre la quota delle discontinuità antropiche avrà maggior precisione (tolleranza pari a ± 0.15 m). Si veda il confronto tra la successiva figura e la sezione 48 riportata a pag. 32 che mostra che i due rilievi sono congruenti. Si segnala ad esempio che la quota della strada battuta a terra è pari a 128.30 (nel DTM è pari a 128.35) mentre il piano campagna è pari a circa 325.40 (nel DTM è pari a circa 326.5).

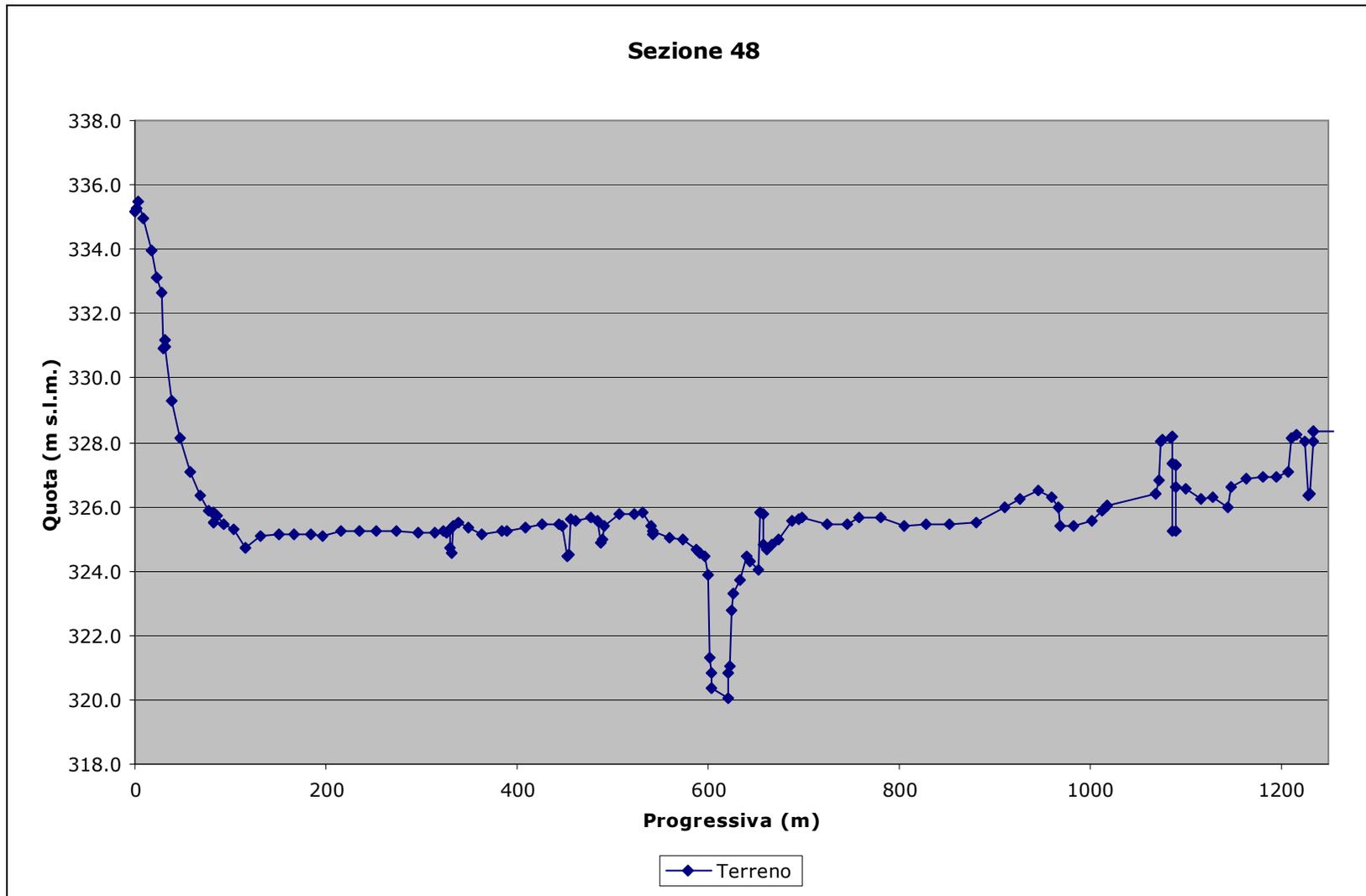


A seguito di quanto esposto si ritiene che l'operazione di omogeneizzazione delle quote citata nel *Preliminare* non sia accettabile e che la quota riportata per la piena duecentennale non può essere assunta come riferimento. La verifica delle sezioni a terra (ribattute nel 2015) conferma che la quota del pelo libero di riferimento deve essere quello riportato dallo *Studio di Fattibilità*.

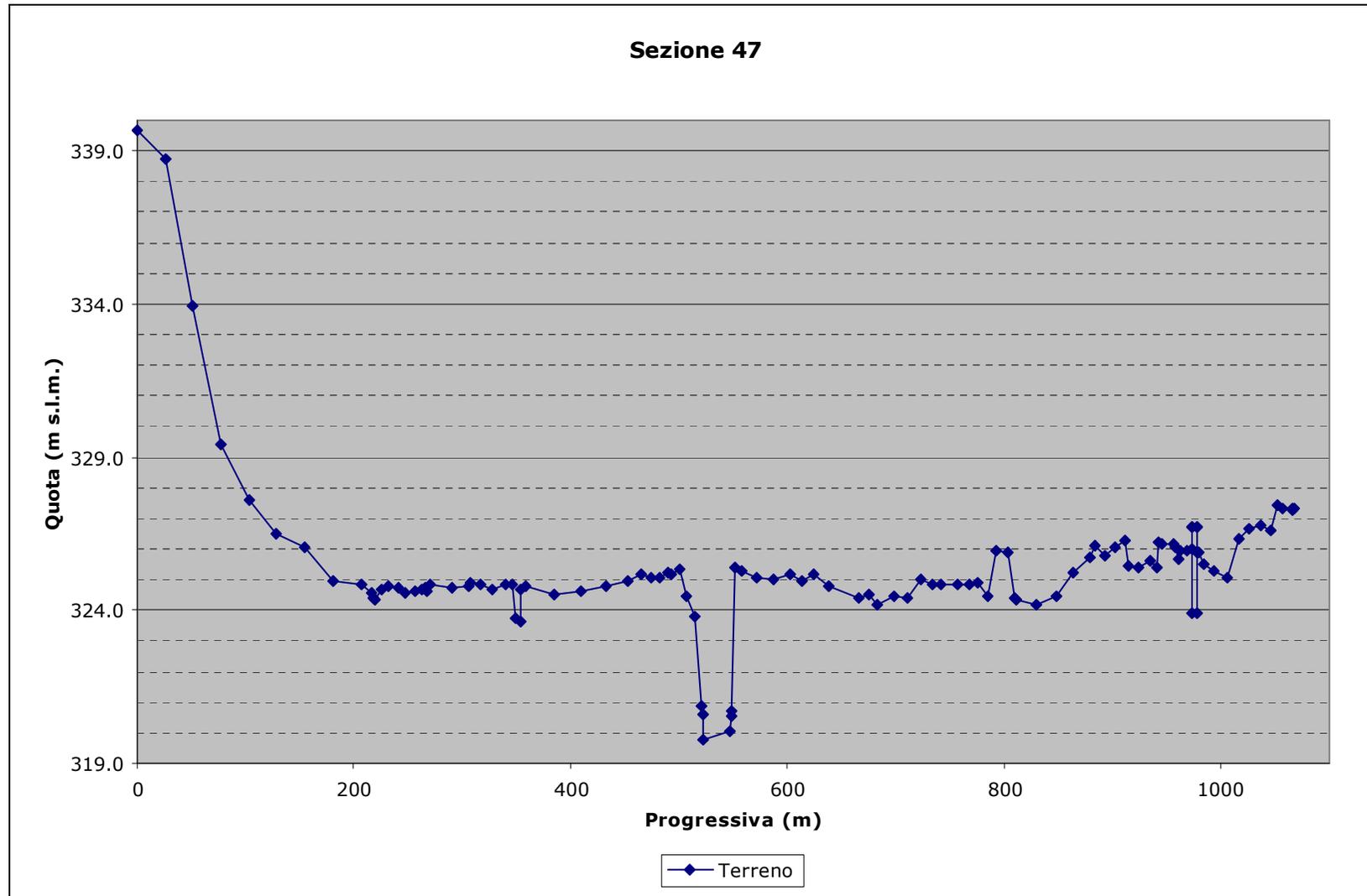
AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



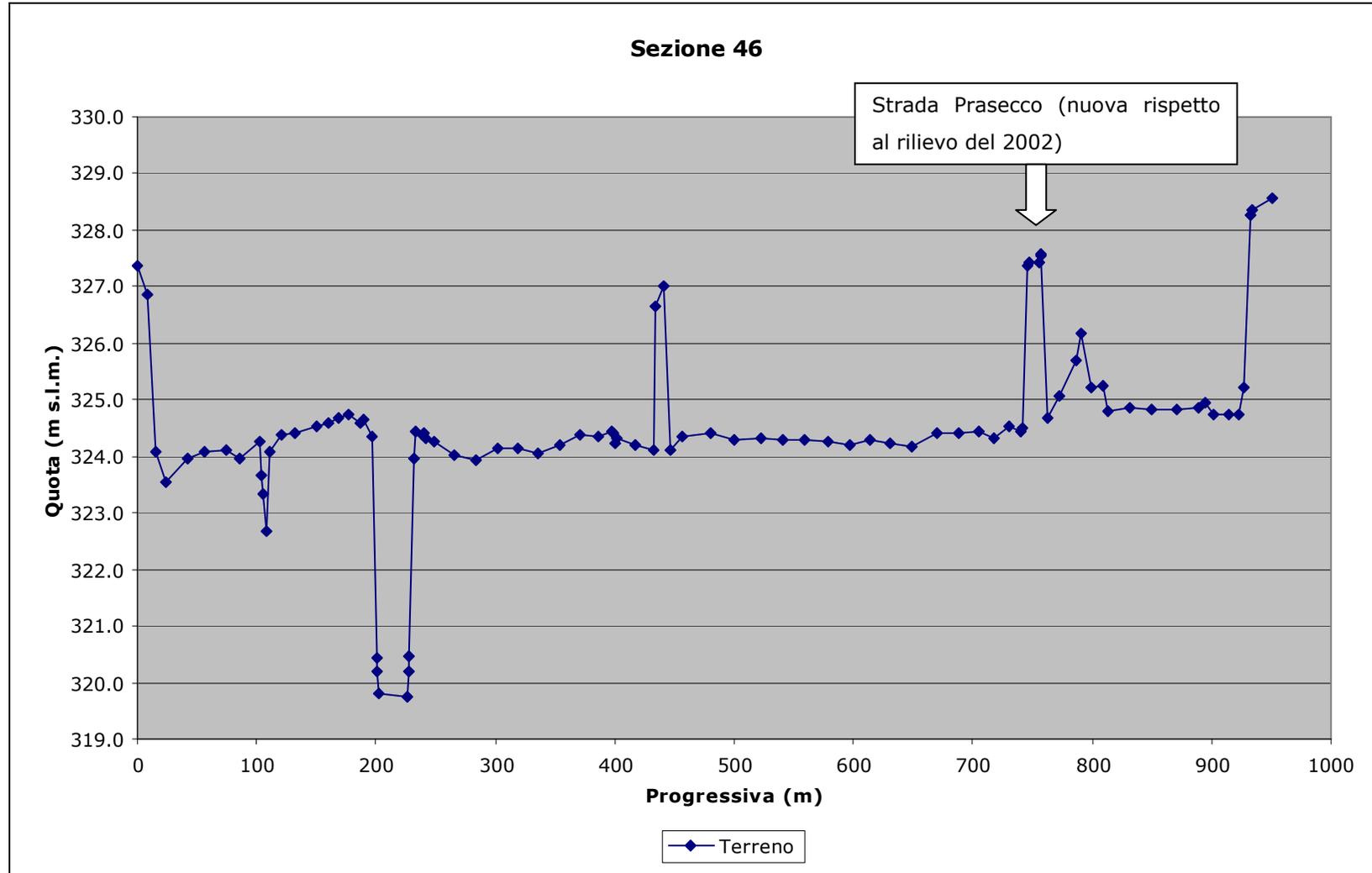
AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA



APPENDICE - C. DESCRIZIONE DELLO SCHEMA DI CALCOLO ADOTTATO DAL MODELLO NUMERICO HEC-RAS ATTIVATO IN MOTO PERMANENTE.

La determinazione del profilo del pelo libero è stata effettuata mediante modellazione in moto permanente della portata di riferimento tramite il codice numerico HEC-RAS è stato messo a punto dalla Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni '60 con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI, il codice è attualmente disponibile nella release 4.1.3. Si tratta di un codice di calcolo diffuso a livello internazionale e ampiamente collaudato. Negli USA, in particolare, costituisce l'algoritmo di riferimento per la determinazione dei livelli idrici richiesto dalla FEMA nelle procedure connesse alla copertura assicurativa dei danni alluvionali.

Il codice di calcolo esegue la determinazione del profilo del pelo libero nelle condizioni di moto permanente monodimensionale. La versione 3.0 ha incluso l'analisi in moto vario e si prevede l'estensione all'analisi del trasporto solido su contorno mobile.

Il profilo del pelo libero è calcolato per ogni sezione trasversale risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa denominata *standard step method* ampiamente descritta nei testi classici dell'idraulica delle correnti a pelo libero.

L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

y profondità della corrente nella sezione (m)

z quota del fondo (m)

V velocità media della corrente nella sezione (portata totale/area totale)

α coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione

g accelerazione di gravità (9.81 m/s²)

h_e perdita di energia (m)

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura C 1.

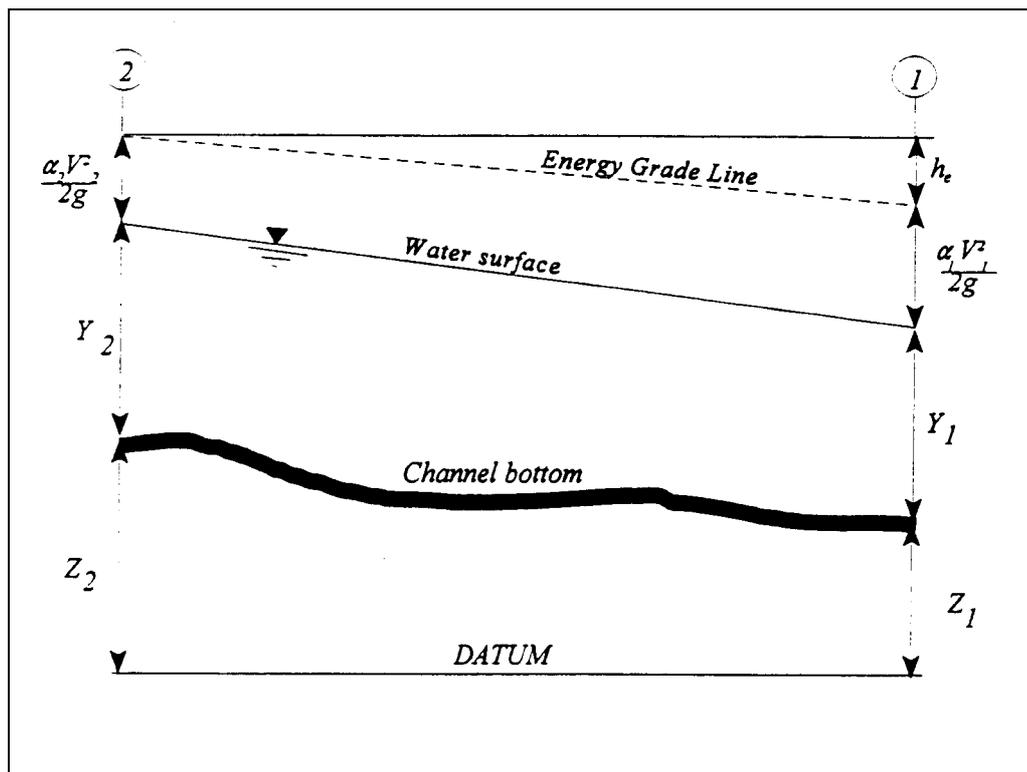


Figura C 1. Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da HEC, 1997)

La sezione trasversale del corso d'acqua viene rappresentata mediante ascissa e ordinata dei punti rilevati e schematizzata in tre settori rilevanti ai fini del convogliamento della portata: golena sinistra (indicata con pedice lob), canale principale (pedice ch), golena destra (pedice rob), ritenendo che in ciascuno dei tre settori la distribuzione di velocità sia uniforme (in caso contrario si procederà ad ulteriori suddivisioni, come riferito in seguito).

La perdita di energia tra due sezioni, espressa dal termine h_e , comprende le perdite dovute alla resistenza distribuita (in funzione della scabrezza) e le perdite localizzate per espansione o restringimento delle sezioni, secondo la relazione

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

L lunghezza del tronco (in metri), ponderata in funzione della media delle portate defluenti nelle tre porzioni in cui può essere suddivisa ciascuna sezione, secondo quanto detto sopra. La relazione per la ponderazione citata è

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

dove i simboli L , con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli Q le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m^3/s);

S_f pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C coefficiente di contrazione o di espansione. Si osservi che per espansione o contrazione non si intende aumento o diminuzione dell'area bagnata tra la sezione di monte e quella di valle, ma diminuzione o aumento del termine cinetico tra monte e valle.

Tipici valori dei coefficienti di contrazione ed espansione sono desumibili dalla seguente Tabella C 1 (i valori standard sono evidenziati in corsivo)

La determinazione della capacità di convogliamento totale della sezione richiede che la sezione trasversale sia suddivisa in settori ove la corrente defluisca con velocità uniformemente distribuita. I settori sono individuati mediante linee di separazione verticali, come illustrato nella Figura C 2, in corrispondenza dei punti della sezione dove si pone la variazione di scabrezza in funzione delle caratteristiche della superficie.

Tabella C 1. Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni.

	Contrazione	Espansione
Nessuna variazione	0.0	0.0
<i>Variazione graduale</i>	<i>0.1</i>	<i>0.3</i>
Tipica situazione in corrispondenza di un ponte	0.3	0.5
Brusca variazione	0.6	0.8

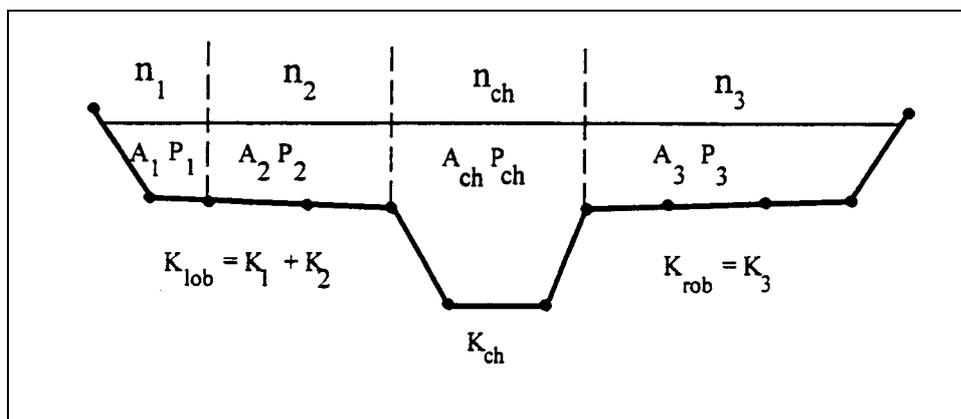


Figura C 2. Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da HEC, 1997)

La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula

$$Q = K S_f^{0.5} m^3/s$$

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K capacità di convogliamento di ciascun settore (m^3/s)

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

A area bagnata del settore di area (m^2)

R raggio idraulico del settore (m)

Il programma provvede a sommare le portate parziali per ciascun settore e determina la portata dell'area golenale sinistra e destra di ciascuna sezione. La portata totale della sezione è data dalla somma di queste due portate e della portata relativa al canale principale, di norma considerato come unico settore. Qualora si desideri prendere in esame eventuali differenze di scabrezza nel canale principale, il programma ne deriva la scabrezza equivalente quale unico valore, se la pendenza delle scarpate è maggiore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale) con la formula

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1/5})}{P} \right]^{2/3}$$

con:

n_c coefficiente di scabrezza equivalente

P contorno bagnato dell'intero canale principale

P_i contorno bagnato della i -esima suddivisione

n_i scabrezza della i -esima suddivisione

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene.

Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

che può essere espressa in termini delle capacità di convogliamento di ciascuno dei tre settori della sezione. la relazione allora diventa

$$\alpha = \frac{(A_{tot})^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_{tot})^3}$$

con il significato dei simboli precisato sopra.

Infine, la pendenza della linea dell'energia media fra due sezioni viene determinata nel codice di calcolo, salvo diversa richiesta, con la relazione

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

AIPo – Ufficio di Torino
Completamento opere arginali del Fiume Dora Riparia a protezione
dell'area industriale di Rosta (TO) – PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDRAULICA

APPENDICE - D. RISULTATI TABULARI DELLA VERIFICA IN MOTO PERMANENTE.

Al fine della decodifica delle abbreviazioni utilizzate nelle tabelle seguenti, si ricorda che:

River Sta : numero sezione (crescente da valle verso monte)
 Q total : portata di riferimento
 Min Ch El : quota minima del fondo
 W.S. Elev. : quota del pelo libero
 Crit- W.S. : quota del pelo libero allo stato critico
 E.G. Elev. : quota della linea dell'energia
 E.G. Slope : pendenza "motrice"
 Vel Chnl : velocità media nell'alveo principale
 Flow Area : area bagnata
 Froude : numero di Froude per l'alveo principale (la corrente è "veloce" per numero di Froude > 1)

Tabella D - 1. Tabulato di uscita del codice di calcolo hec-ras, attivato in moto permanente, relativo al Fiume Dora Riparia nel tronco oggetto di interesse. La numerazione delle sezioni segue quella del PAI.

HEC-RAS River: Dora Riparia											
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	# Chl
52	Tr 200	680	321.65	328.01		328.4	0.00243	2.92	331.04	444.19	0.5
51	Tr 200	680	322.06	327.32		327.7	0.00291	2.79	290.89	340.76	0.54
50	Tr 200	680	321.42	326.88		327.27	0.00217	2.82	261.69	110.75	0.48
49	Tr 200	680	320.15	326.38		326.53	0.00095	2.11	622.15	806.33	0.32
48	Tr 200	680	319.31	325.79		325.91	0.00134	1.81	647.96	879.89	0.36
47	Tr 200	680	319.24	325.62	324.04	325.69	0.00063	1.62	842.69	790.96	0.26
46	Tr 200	680	319.76	324.87	324.71	325.17	0.00223	2.89	413.08	418.8	0.48
45	Tr 200	680	319.05	324.08		324.28	0.00137	2.24	445.83	344.87	0.38
44	Tr 200	680	318.23	322.96	322.28	323.78	0.00503	4.1	198.74	245.82	0.72
43	Tr 200	680	316.51	322.43	321.84	322.52	0.00092	1.65	720.13	698.46	0.3
42	Tr 200	680	316.4	321.81	321.42	322.02	0.00228	2.36	417.28	541.89	0.47
41	Tr 200	680	315.95	321.03	320.79	321.32	0.00219	2.71	400.13	391.51	0.47
40	Tr 200	680	315.61	320.59		320.61	0.00023	0.88	1355.66	904.31	0.15
39	Tr 200	680	314.51	319.09		319.41	0.00306	3.29	451.52	637.61	0.57
38	Tr 200	680	313.92	318.1	316.98	318.14	0.00054	1.35	953.75	773.79	0.24
37	Tr 200	680	312.7	317.13		317.27	0.00129	2.13	500.93	313.71	0.37
36	Tr 200	680	312.9	316.36	316.15	316.83	0.00404	3.42	269.46	191.56	0.64