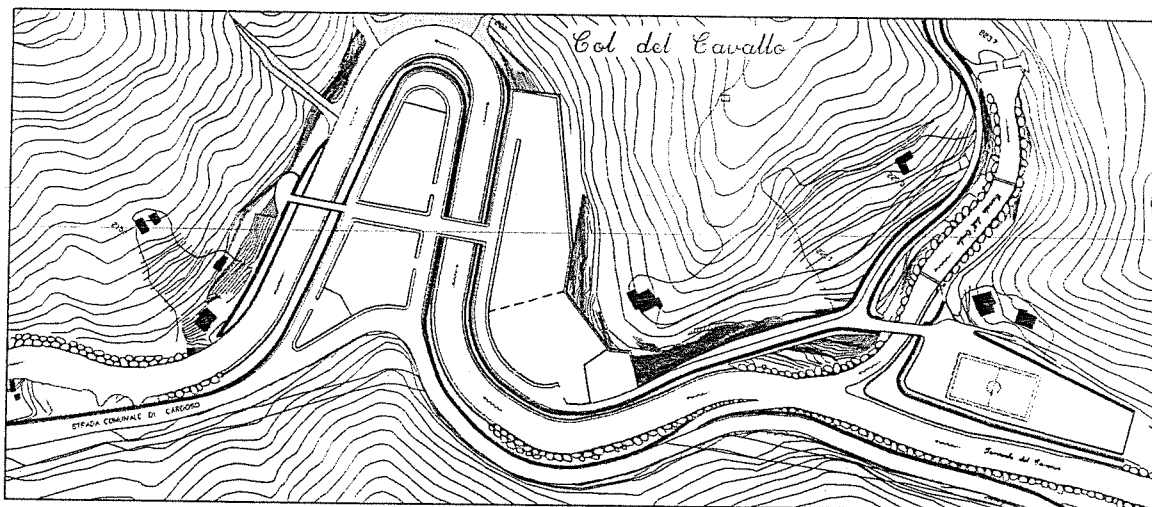


# COMUNE DI STAZZEMA

Piazza Europa - 55040 PONTESTAZZEMESE (LU)

OPERE PER LA MESSA IN SICUREZZA E  
SISTEMAZIONE FUNZIONALE DELLA ZONA INDUSTRIALE -  
ARTIGIANALE POSTA IN LOCALITA' COL DEL CAVALLO  
INT: 2401 SECONDA FASE

## PROGETTO ESECUTIVO



## RELAZIONE IDRAULICA

I PROGETTISTI:

Prof. Ing. Armando BRATH

Dott. Ing. Denis CERLINI

Prof. Ing. Ugo MAIONE

Dott. Ing. Riccardo GADDI

Dott. Arch. Mauro CIAMPA

Dott. Arch. Piero LAZZERONI

## **RELAZIONE IDRAULICA**

## 1. INTRODUZIONE

Per la verifica della sicurezza idraulica dell'intervento in progetto, sono stati ripresi gli studi idrologico-idraulici in precedenza eseguiti. La disponibilità di un più accurato rilievo topografico dell'alveo e delle zone contermini ha consentito di affinare le verifiche idrauliche, condotte in precedenza.

La base conoscitiva di partenza è costituita dalle risultanze degli "Studi di base a carattere idrologico, idraulico, geologico e geotecnico per la sistemazione del Torrente Cardoso", di seguito indicati come studi di base, svolti per conto dell'Ufficio del Commissario da due degli scriventi professionisti, e precisamente i Proff. Ingg. Armando Brath e Ugo Maione. Tali studi hanno costituito infatti la base di riferimento per la ricostruzione delle portate di piena verificatesi durante l'evento del 19 giugno 1996 nelle varie sezioni di interesse lungo quella parte del corso del T.Cardoso e lungo gli affluenti laterali che interessano la zona di previsto insediamento in località Colle del Cavallo, nonché per la valutazione su base statistica delle portate di progetto associabili, nelle medesime sezioni, a prefissati valori del tempo di ritorno.

## 2. CORSI D'ACQUA E BACINI IMBRIFERI INTERESSATI DALL'INTERVENTO IN PROGETTO

La zona di previsto insediamento si sviluppa in prossimità dell'ansa descritta dal Torrente Cardoso nella località Col del Cavallo; in tale zona il corso d'acqua, che mantiene altrove un percorso caratterizzato da limitate divagazioni planimetriche, piega in destra idrografica descrivendo un'ansa relativamente ampia in relazione alle caratteristiche morfologiche della vallata. Percorsa tale ansa, il corso d'acqua riassume il proprio andamento pressoché privo di divagazioni planimetriche significative.

I corsi d'acqua che presentano interferenze con la prevista area di insediamento industriale, visibili nella corografia riportata nell'allegata Tavola A, sono il Torrente Cardoso che la lambisce tutta, parte in destra e parte in sinistra idrografica, ed alcuni affluenti dello stesso torrente che vi confluiscono in destra idrografica, fra cui spicca per importanza il Torrente Oreto.

La prima porzione del previsto insediamento è posta in destra idrografica del Torrente Cardoso, immediatamente a monte della confluenza del Torrente Oreto nel Torrente Cardoso, ove la superficie del bacino idrografico di quest'ultimo torrente risulta pari a circa 10.67 kmq; la seconda parte, che è quella più estesa, si sviluppa sempre in destra idrografica a valle della predetta confluenza, ove la superficie del bacino imbrifero sotteso è pari a circa 12.25 kmq, per effetto dell'incremento dovuto all'apporto del bacino del T. Oreto, la cui superficie è pari a 1.575 kmq. La terza porzione si sviluppa invece sulla sinistra idrografica del Torrente Cardoso, all'interno dell'ansa che quest'ultimo descrive in località Colle del Cavallo. I principali affluenti ricevuti dal Torrente Cardoso lungo il percorso si sviluppano tutti in destra idrografica e, con l'eccezione del T. Oreto di cui si è detto in precedenza, sono corsi d'acqua di dimensioni molto modeste.

Nelle Figure 1, 2 e 3 sono riportate le curve ipsografiche rispettivamente del bacino del T. Cardoso chiuso immediatamente a monte della confluenza del Torrente Oreto, del bacino del T. Oreto chiuso alla confluenza col T. Cardoso e del bacino del T. Cardoso a valle della confluenza del T. Oreto, utili per la caratterizzazione morfologica dei bacini di interesse. Date le piccole dimensioni dei bacini dei rimanenti affluenti, quest'ultima curva ipsografica si può ritenere sufficientemente rappresentativa anche per il bacino complessivo, chiuso al termine del tratto di interesse. Date le modeste dimensioni dei bacini degli affluenti laterali, l'incremento della superficie del bacino idrografico del T. Cardoso tra la sezione posta immediatamente a valle della confluenza con il Torrente Oreto e quella finale

dell'insediamento previsto è alquanto ridotta, essendo l'estensione del bacino idrografico sotteso pari a 12.75 kmq all'estremità di valle del tratto di intervento.

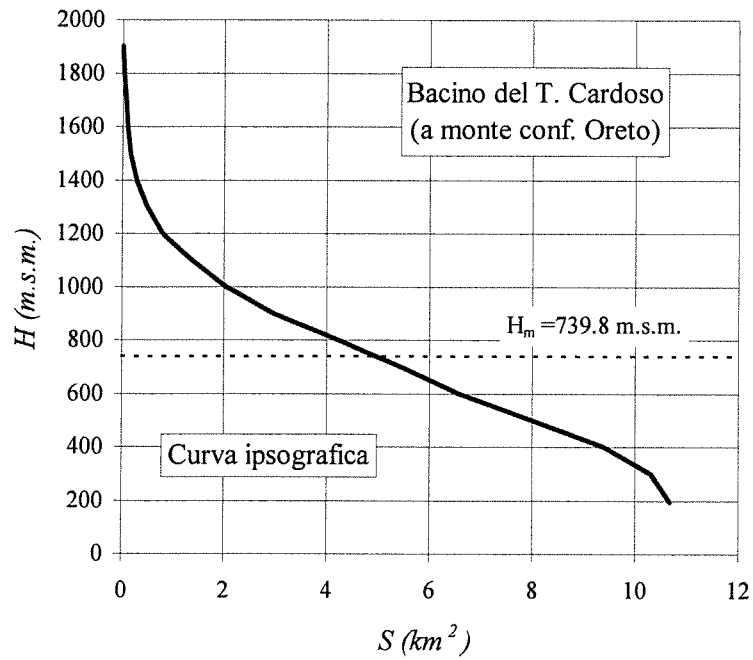


Figura 1- Curva ipsografica del Torrente Cardoso a monte della confluenza col T. Oreto.

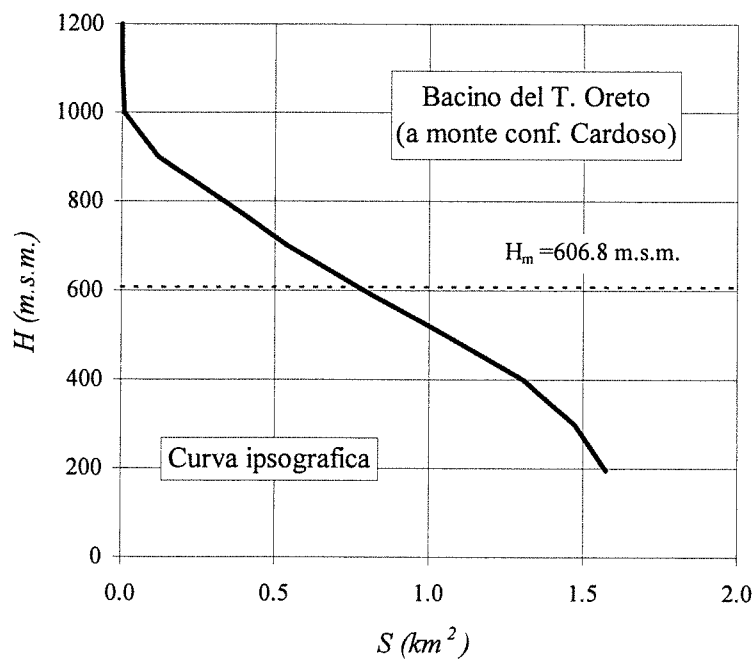


Figura 2 - Curva ipsografica del Torrente Oreto a monte della confluenza nel T. Cardoso.

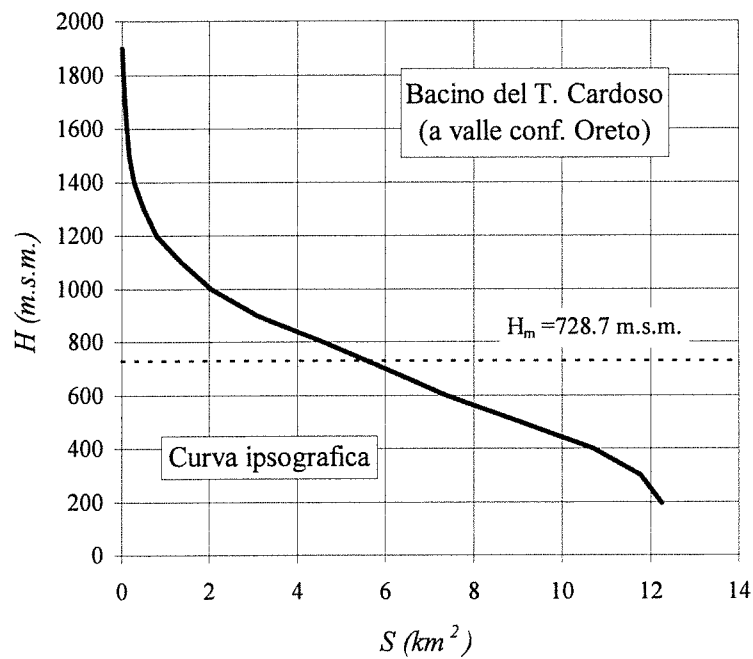


Figura 3 - Curva ipsografica del Torrente Cardoso a valle della confluenza col T. Oreto.

In conseguenza di quanto detto in precedenza, le valutazioni idrologiche di interesse per le finalità del presente studio riguardano la stima delle portate di massima piena del Torrente Cardoso lungo la parte di asta che lambisce l'area di insediamento, dalla sezione immediatamente a monte della confluenza del Torrente Oreto alla sezione posta immediatamente a valle dell'ansa del Col del Cavallo, nonché delle portate di massima piena dei corsi d'acqua minori affluenti in destra idrografica del corso d'acqua principale.

### 3. SCENARI DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE IDRAULICHE E PORTATE DI PROGETTO

Gli elementi necessari per i calcoli idrologici ed idraulici relativi al corso d'acqua principale ed a quelli minori di interesse per il presente studio scaturiscono dagli Studi di base, menzionati al paragrafo precedente.

Coerentemente con le indicazioni contenute nell'ordinanza 2449/96 del Ministero dell'Interno e per il Coordinamento della Protezione Civile, lo scenario cui fare riferimento per le verifiche idrauliche è quello del verificarsi nelle varie sezioni di interesse di una portata pari a quella massima stimata per l'evento del 19 giugno 1996. Per quanto riguarda l'asta del Torrente Cardoso, negli Studi di base sono state ricostruite queste ultime portate in alcune sezioni ritenute particolarmente significative; l'ubicazione di tali sezioni è desumibile dalla planimetria degli interventi di sistemazione idraulica in progetto riportata nell'allegata Tavola E1. I risultati di interesse per il presente studio vengono riassunti per maggiore comodità di lettura nella Tabella 1.

Tabella 1 - Stime delle portate al colmo transitate nelle sezioni di interesse del Torrente Cardoso durante l'evento del 19 giugno 1996

Corso d'acqua	Sezione	S (km <sup>2</sup> )	Q <sub>1996</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Cardoso	7 (a monte confluenza Oreto)	10.67	389
	9 (a valle confluenza Oreto)	12.25	438
	45 (termine tronco esaminato)	12.75	450

Oltre a tale scenario, per il presente progetto ne sono stati presi in considerazione altri due che prevedono il transito nelle varie sezioni delle portate di tempo di ritorno T=100 e 200 anni rispettivamente. Per quanto riguarda l'asta del Torrente Cardoso, i valori di tali portate possono essere direttamente desunti dalle stime effettuate negli Studi di base e sono riassunti in Tabella 2.

Tabella 2 - Stime delle portate di tempo di ritorno T=100 e 200 anni nelle sezioni di interesse del T.Cardoso

Corso d'acqua	Sezione	S (km <sup>2</sup> )	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Cardoso	7 (a monte confluenza Oreto)	10.67	197	246
	9 (a valle confluenza Oreto)	12.25	216	270
	45 (termine tronco esaminato)	12.75	217	271

Per quanto riguarda invece i corsi d'acqua affluenti del Torrente Cardoso nel tratto di interesse, vale a dire il Torrente Oreto ed i rimanenti affluenti minori, le stime delle relative portate al colmo transitate durante l'evento e di quelle di frequenza probabile assegnata (T=100 e 200 anni) nelle sezioni di confluenza col T. Cardoso non risultano direttamente disponibili negli Studi di base; esse sono state ottenute in questa sede, applicando alle sezioni di interesse le medesime metodologie delineate negli Studi di base. In particolare, per la stima delle portate di colmo dell'evento si è ritenuto applicabile un contributo unitario, indipendente dalla superficie sottesa, pari a 44 m<sup>3</sup>/(s km<sup>2</sup>), corrispondente al massimo valore stimato nei già citati Studi di base per l'evento del 1996, mentre per il calcolo delle stime delle portate al colmo di tempo di ritorno T=100 e 200 anni si è applicata la metodologia di regionalizzazione descritta anch'essa negli Studi di base. Nella Tabella 3 vengono riportate le stime della portata al colmo dell'evento ottenute per le sezioni di chiusura dei vari affluenti del T. Cardoso, mentre nella Tabella 4 vengono riportate le stime delle portate di 100 e 200 anni di tempo di ritorno per le medesime sezioni.

Tabella 3 - Stime delle portate al colmo transitate nelle sezioni di chiusura degli affluenti del Torrente Cardoso durante l'evento del 19 giugno 1996

Corso d'acqua	S (km <sup>2</sup> )	Q <sub>1996</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Oreto	1.575	69.3
Afluente tra sezione 26 e 27	0.024	1.1
Afluente tra sezione 27 e 29	0.130	5.7
Afluente tra sezione 29 e 30	0.090	4.0

L'ubicazione delle sezioni indicate nelle Tabelle 1, 2, 3 e 4 può essere desunta dalla planimetria generale degli interventi di sistemazione d'alveo in progetto, riportata nell'allegata Tavola E1.



Tabella 4 - Stime delle portate al colmo di tempo di ritorno T=100 e 200 anni nelle sezioni di chiusura degli affluenti del T. Cardoso

Corso d'acqua	S (km <sup>2</sup> )	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Oreto	1.575	55.5	67.7
Afluente tra sezioni 26 e 27	0.024	3.9	4.7
Afluente tra sezioni 27 e 29	0.130	11.3	13.8
Afluente tra sezioni 29 e 30	0.090	9.0	10.9

## 4. VERIFICHE IDRAULICHE

### 4.1 Impostazione delle verifiche idrauliche

Le verifiche idrauliche sono state condotte con riferimento all'alveo del T. Cardoso, ipotizzando condizioni di moto permanente con portata costante nei vari tronchi in cui può considerarsi suddivisibile l'alveo, variabile da tronco a tronco in ragione dell'apporto liquido fornito dagli affluenti che confluiscono nell'asta principale lungo il percorso.

I calcoli sono stati effettuati con modello apposito modello idraulico che, tramite la risoluzione delle equazioni differenziali di De Saint-Venant, consente di determinare i profili di corrente in condizione sia di moto vario che di moto permanente. Per maggiori dettagli sullo schema computazionale si rimanda alla Relazione idrologica ed idraulica (allegato VRSB 1) degli Studi di base più volte citati.

Per il calcolo delle resistenze idrauliche di tipo continuo si è fatto riferimento alla formula di Chezy:

$$Q = \chi A \cdot R^{1/2} \cdot J^{1/2}$$

dove  $J$  [-] è la pendenza del pelo libero e  $\chi$  [ $m^{1/2} \cdot s^{-1}$ ] il coefficiente di resistenza, che è stato valutato secondo l'espressione di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_S \cdot R^{1/6}$$

in cui  $k_S$  [ $m^{1/3} \cdot s^{-1}$ ] è il cosiddetto coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler.

Le verifiche idrauliche dell'asta principale, condotte con riferimento all'assetto finale del corso d'acqua previsto nella presente progettazione, sono state riferite sia allo scenario relativo all'evento alluvionale del giugno 1996 sia a scenari che prevedono il transito nelle varie sezioni delle portate di periodo di ritorno  $T$  pari a 100 e 200 anni.

### 4.2. Risultati delle verifiche idrauliche

Le verifiche idrauliche sono state condotte con riferimento ad una schematizzazione di moto permanente in alveo, considerando l'alveo stesso indeformabile ed uno scenario di assenza di trasporto solido. Tale scenario, per quanto ipotetico, corrisponde ad una schematizzazione usuale nella prassi progettuale, a causa delle note difficoltà di ottenere

valutazioni tecnicamente affidabili degli apporti solidi e di conseguenza della loro influenza sul deflusso idrico. La schematizzazione adottata si può peraltro ritenere accettabile anche in considerazione dei prevedibili effetti di trattenuta del trasporto solido esercitati dalle briglie selettive realizzate sull'asta e sugli affluenti principali, nonché di quelli degli interventi di tipo estensivo sul bacino montano.

Nell'impossibilità pratica di mettere adeguatamente in conto gli effetti dovuti alla presenza del trasporto solido e quelli causati dal modellamento del fondo, fenomeni che invece sono sicuramente attivi durante la piena ed il cui effetto è quello di aumentare, anche in misura considerevole, le resistenze al moto, si è comunque ritenuto ragionevole assumere valori cautelativi del coefficiente di resistenza  $k_s$  e del franco di sicurezza. Nelle verifiche si è infatti adottato un valore del franco minimo di 1.00 m con riferimento allo scenario dell'evento del giugno 1996, che corrisponde, per il tratto in esame, a franchi di sicurezza ancora maggiori nel caso degli scenari di 100 e 200 anni di tempo di ritorno. Tale indicazione progettuale consente di ottenere le quote minime da rispettare nell'intradosso delle opere di attraversamento e nella sommità delle sponde dell'alveo.

Va rilevato che il valore del franco di sicurezza adottato nel presente progetto risulta più elevato rispetto a quelli assunti nelle progettazioni di massima della sistemazione dell'alveo in precedenza citate, che prevedevano invece un franco minimo di 0.50 m con riferimento allo scenario dell'evento del giugno 1996 e di 1 m con riferimento alla portata di 100 anni di tempo di ritorno. Tale scelta, come già discusso nello Studio di fattibilità relativo alla sistemazione idraulica e funzionale del Colle del Cavallo, deriva essenzialmente dalla considerazione dell'opportunità di garantire all'area industriale un livello di sicurezza idraulica ancora maggiore di quello ritenuto accettabile in altre parti del corso d'acqua. Ciò appare ragionevole in considerazione del fatto che, a seguito dell'insediamento, nella zona si verrà a realizzare una concentrazione di attività produttive e di presenze antropiche ben maggiore di quella media della vallata. Di conseguenza, la vulnerabilità dell'area a seguito di un'eventuale esondazione del corso d'acqua potrebbe risultare, anche per la particolare conformazione topografica dell'area stessa, ben maggiore in termini di valore economico dei beni danneggiati e di presumibile danno alle persone di quella tipica delle altre zone della vallata.

Nelle verifiche idrauliche è stata posta particolare attenzione ai tratti in curva, controllando che il sovrizzo del pelo libero che si determina a seguito dell'inclinazione trasversale della superficie libera risulti inferiore al franco di sicurezza disponibile nella sezione stessa.

La Tabella 4 evidenzia i valori della quota del pelo libero della corrente relativi al transito di una portata pari a quella stimata per l'evento del giugno 1996, risultanti dal calcolo idraulico di moto permanente prescindendo dagli effetti esercitati dalla curvatura dell'alveo. Per i tratti in curva, i valori di altezza liquida riportati nella successiva Tabella 5 tengono invece conto di detti effetti.

Tabella 4 – Quote del pelo libero per evento di piena di portata pari a quella del 19 giugno 1996 (alveo rettificato)

Numero sezione	Progressiva [km]	Quota pelo libero (m.s.m.)
1	0.000	200.75
2	0.027	199.31
3	0.051	198.30
4	0.081	197.17
5	0.105	196.36
6	0.129	195.60
7	0.153	194.86
8	0.179	194.03
9	0.200	193.41
10	0.228	192.48
11	0.259	191.53
12	0.288	190.51
13	0.311	189.61
14	0.329	188.96
15	0.336	188.77
16	0.354	188.26
17	0.376	187.73
18	0.397	187.25
19	0.423	186.44
20	0.437	186.01
21	0.471	184.98
22	0.492	184.39
23	0.518	183.64
24	0.537	183.09
24bis	0.560	182.44
25	0.567	182.25
26	0.580	181.88
27	0.603	181.25
28	0.628	180.56
29	0.648	180.02
30	0.670	179.41
31	0.705	178.28
32	0.727	177.64
33	0.762	176.63
34	0.785	175.94
35	0.812	175.03
36	0.828	174.33
37	0.846	173.60
38	0.856	173.24
39	0.873	172.77
40	0.897	172.16
42	0.923	171.62
44	0.982	170.21
45	1.005	168.55

Nel tronco di alveo oggetto della presente progettazione esecutiva si riscontra infatti la presenza di numerose curve; le situazioni di interesse ai fini della suddetta verifica idraulica sono costituite dalla curva posta tra le sezioni 9 e 12, che presenta un raggio di curvatura  $R$  pari a 85.02 m, dalla quella compresa tra le sezioni 15 e 16, il cui raggio di curvatura è pari a 23.80 m, dalla curva compresa tra le sezioni 17 e 21, avente un raggio di curvatura di 59.74 m, da quella compresa tra le sezioni 24 bis e 29, che risulta composta da due archi di cerchio, il primo avente  $R=29.37$  m e il secondo  $R=41.11$  m, ed infine da quella compresa tra le sezioni 34 e 35, avente  $R=37.83$  m.

Applicando le formule empiriche disponibili per il calcolo del sovralzato in curva per correnti veloci, si sono ottenuti i seguenti valori del sopralzo in curva e dell'altezza idrica per le sezioni di interesse:

Tabella 5 – Quota del pelo libero nei tratti in curva  
per evento di piena di portata pari a quella del 19 giugno 1996

Numero sezione	Progressiva [m]	Quota fondo [m s.l.m.]	Quota liquida alveo rettilineo [m s.l.m.]	Altezza idrica [m]	Sovralzo [m]	Quota liquida [m s.l.m.]
9	199.86	190.20	193.41	3.21	3.94	194.14
10	228.26	189.31	192.48	3.17	3.94	193.25
11	259.09	188.33	191.53	3.20	3.94	192.27
12	287.84	187.48	190.51	3.03	3.94	191.42
15	335.55	185.92	188.77	2.85	4.89	190.81
16	353.57	185.34	188.26	2.92	4.89	190.23
17	376.16	184.62	187.73	3.11	4.23	188.85
18	396.94	183.96	187.25	3.29	4.23	188.19
19	423.36	183.12	186.44	3.32	4.23	187.35
20	436.93	182.69	186.01	3.32	4.23	186.92
21	471.33	181.59	184.98	3.39	4.23	185.82
24 bis	560.47	179.04	182.44	3.40	4.94	183.98
25	567.29	178.85	182.25	3.40	4.94	183.79
26	580.07	178.48	181.88	3.40	4.94	183.42
27	603.03	177.83	181.25	3.42	4.94	182.77
28	627.54	177.13	180.56	3.43	4.94	182.07
29	648.42	176.51	180.02	3.51	4.94	181.45
34	785.41	172.34	175.94	3.60	5.38	177.72
35	812.42	171.86	175.03	3.17	5.38	177.24

Si sono infine calcolati i franchi idraulici residui nei tratti in curva nel caso in cui vengano applicati i sopralzi precedentemente determinati. Nella Tabella 6 vengono

confrontate le quote liquide derivanti dall'applicazione dei predetti sopralzi con quelle delle sommità spondali destra e sinistra dei tratti in curva, al fine di verificare che la corrente sia contenuta all'interno dell'alveo anche in tale ipotesi di calcolo e di valutare i valori residui del franco di sicurezza.

Tabella 6 – Calcolo del franco di sicurezza residuo nei tratti in curva per evento di piena di portata pari a quella del 19 giugno 1996

Numero sezione	Progressiva [m]	Quota fondo [m s.l.m.]	Quota liquida [m s.l.m.]	Sommità sponda sx [m s.l.m.]	Sommità sponda dx [m s.l.m.]	Franco sponda sx [m]	Franco sponda dx [m]
9	199.86	190.20	194.14	194.41	196.90	0.27	2.76
10	228.26	189.31	193.25	193.48	195.88	0.23	2.63
11	259.09	188.33	192.27	192.53	194.83	0.26	2.56
12	287.84	187.48	191.42	192.01	193.92	0.59	2.50
15	335.55	185.92	190.81	191.27	192.25	0.46	1.44
16	353.57	185.34	190.23	190.76	191.60	0.53	1.37
17	376.16	184.62	188.85	189.11	190.84	0.26	1.99
18	396.94	183.96	188.19	188.45	190.11	0.26	1.92
19	423.36	183.12	187.35	187.62	189.30	0.27	1.95
20	436.93	182.69	186.92	187.19	189.00	0.27	2.08
21	471.33	181.59	185.82	186.49	188.19	0.67	2.37
25	567.29	178.85	183.79	185.75	roccia	1.96	-
26	580.07	178.48	183.42	185.48	"	2.06	-
27	603.03	177.83	182.77	185.13	"	2.36	-
28	627.54	177.13	182.07	183.88	"	1.81	-
29	648.42	176.51	181.45	184.01	"	2.56	-
34	785.41	172.34	177.72	178.34	178.34	0.62	0.62
35	812.42	171.86	177.24	177.63	177.90	0.39	0.66

Nel tratto in curva compreso tra le sezioni 25 e 30 la sponda è costituita da una parete rocciosa molto alta, che è previsto rimanga non rivestita; per tale ragione in Tabella 6 non viene indicato il valore della sommità spondale destra né quello del relativo franco, non essendovi possibilità di esondazione della corrente lungo tale sponda.

Come si può notare, la sistemazione in progetto garantisce ancora un certo margine di sicurezza residuo lungo tutti i tratti in curva previsti nel progetto. Vista la natura alquanto cautelativa delle ipotesi fatte (utilizzo di formulazioni di calcolo prudenziali per la stima del sopralzo in curva, applicazione dello stesso ad entrambe le sponde interna ed esterna, scenario di evento di portata pari a quella del 1996), i valori del franco residuo risultanti dal calcolo, seppur contenuti in qualche caso in poche decine di centimetri, appaiono accettabili.

Si può quindi concludere che anche nei tratti in curva la sistemazione idraulica in progetto garantisce adeguati margini di sicurezza nei confronti dei fenomeni di esondazione della corrente fluviale.