



<b>Committente:</b> <b>PV Helios S.R.L.</b>  Via Roma, 44  94019 Valguarnera Caropepe (EN)  P.Iva.: 01290230869	<b>Comune</b> Butera (CL)
	<b>Indirizzo</b>  C.da Pozzillo

**PROGETTO DI UN IMPIANTO A TERRA ECO-AGRO-FOTOVOLTAICO DI 113,59 MW<sub>p</sub> INTEGRATO DA UN SISTEMA DI ACCUMULO DA 3 MW, COMPRENSIVO DELLE OPERE DI RETE, DA REALIZZARSI IN TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL) 93011 IN CONTRADA POZZILLO, SUI TERRENI AGRICOLI IDENTIFICATI SUI FOGLI 171, 173, 174, 175, 176, 200, 203, 204.**

<b>PROGETTAZIONE</b> AMBIENS SRL SOCIO UNICO SOCIETÀ' D'INGEGNERIA VIA ROMA 44, 94019 VALGUARNERA CAROPEPE (EN), ITALY TEL-FAX: 0935/958856 CELL. 0039 333 6903787 P.IVA: 01108850866	<b>TIMBRI</b> 
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Studio Idraulico-Idrologico</b>	<b>Elaborato: S2</b>
Rev. Ambiens Finale	23.10.2021

# INDICE

<b>1. GENERALITÀ</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1</b> Dati del proponente.....	<b>3</b>
<b>1.2</b> Premessa .....	<b>3</b>
<b>2. VERIFICA IDROLOGICO-IDRAULICA DI UN TRATTO DEL TORRENTE SERPENTE</b> .....	<b>4</b>
<b>3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	<b>21</b>

# **1. Generalità**

## **1.1 Dati del proponente**

La Società PV Helios s.r.l., con sede in Valguarnera Caropepe (EN) in via Roma n.44, p.i. 01290230869, Iscr. R.E.A. Palermo-Enna n. EN426832 qui rappresentata dall'Amministratore unico Ing. Guido Sciuto, nato a Enna il 01/07/1978, CF SCTGDU78L01C342E, residente in Nideggen (Germania) alla via AbendenderStr. n. 34, telefono/fax: 0935958856 - cell. 3336903787

Pec: [pv-helios@pec.it](mailto:pv-helios@pec.it); mail: pv.helios2021@gmail.com

## **1.2 Premessa**

Il presente studio è finalizzato all'analisi idrologica ed idraulica a supporto del progetto di realizzazione di un impianto Eco-Agro-fotovoltaico a terra della potenza nominale di 103,59 MW abbinato ad uno storage di 3 MWh, su un'area agricola di estensione totale di circa 150 ha, in località Pozzillo in territorio del Comune di Butera (CL) (Figura 1.1), nei pressi del torrente Serpente.

In particolare, lo studio è finalizzato a verificare che, per elevati tempi di ritorno, le aree eventualmente inondate in prossimità del torrente non interferiscano con l'impianto fotovoltaico in questione.

Allo scopo, il presente studio viene sviluppato nei seguenti punti:

- Delimitazione e caratterizzazione morfometrica del bacino imbrifero in prossimità dell'impianto fotovoltaico;
- Analisi delle piogge intense e derivazione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP);
- Calcolo delle portate per tempi di ritorno assegnati con metodo razionale;
- Verifica idraulica in regime di moto permanente dell'asta fluviale.

Con riguardo allo studio idraulico ed idrologico si segnala la partecipazione al gruppo di lavoro di:

Ing. David J. Peres, Ph.D., Ing. Giuseppe Longo, ing. Gaetano Buonacera

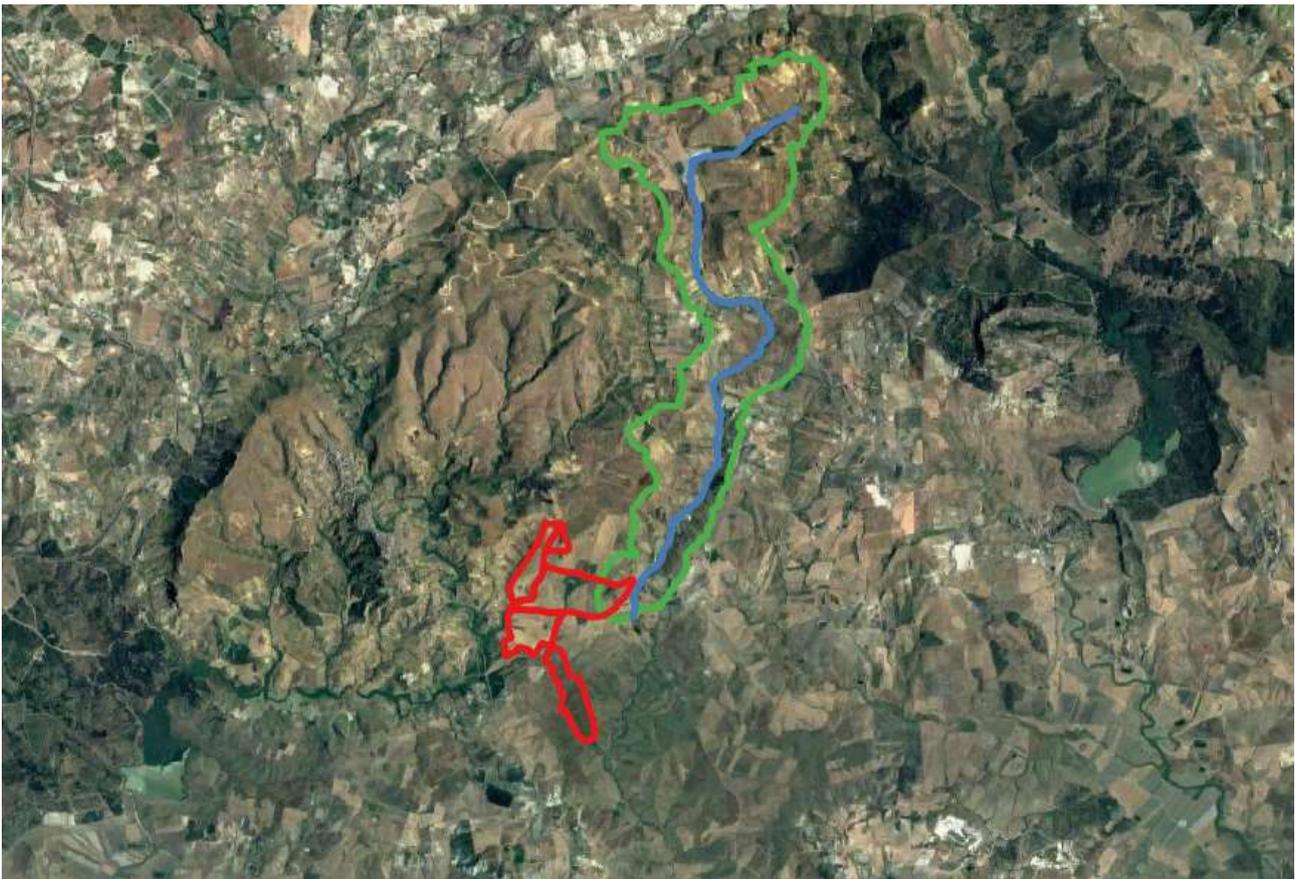


Figura 1.1- Ubicazione aree in disponibilità del proponente (rosso), bacino (verde) e asta fluviale (blu)

## ***2. Verifica idrologico-idraulica di un tratto del Torrente Serpente***

### **Bacino d'interesse**

Il bacino è stato ricavato, a monte della sezione individuata, in maniera semi-automatica, tramite software GIS, a partire dal modello digitale del terreno con una risoluzione di 2x2 m; la figura 1.2 riporta la delimitazione del bacino oggetto di studio.



Figura 1.2- Delimitazione del bacino di interesse

Nella tabella 1.1 a seguire sono riportate le caratteristiche morfometriche principali del bacino di interesse.

Caratteristica [u.d.m]	Valore
Area [km <sup>2</sup> ]	9,278
Quota max del bacino [m s.m.m.]	450,73
Quota min del bacino [m s.m.m.]	156,80
Quota med del bacino [m s.m.m.]	332,37
Lunghezza dell'asta principale [km]	10,08
Quota max dell'asta principale [m s.m.m.]	387,17
Quota min dell'asta principale [m s.m.m.]	156,62
Pendenza media dell'asta principale [%]	2,28

Tabella 1.1 - Caratteristiche morfometriche bacino

### Stima curve di probabilità pluviometrica

Le curve di probabilità pluviometriche sono state elaborate analizzando i dati relativi alla stazione pluviometrica di Butera (tabella 1.2), è stata utilizzata l'ipotesi di invarianza di scala per il numero relativamente basso di dati a disposizione. La procedura, in particolare, è stata effettuata per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

anno	1h	3h	6h	12h	24h
1978	16,0	20,8	22,0	22,4	32,2
1980	9,2	12,4	14,8	22,8	25,4
1981	20,8	23,8	31,2	32,6	32,6
1987	14,8	18,2	19,2	20,0	30,8
1988	26,0	26,8	39,4	53,8	59,4
1989	25,8	25,8	25,8	25,8	31,6
1992	21,4	24,1	31,2	45,0	53,4
1994	25,8	38,0	43,4	47,6	48,2
1995	21,0	21,0	21,0	33,6	37,2
1996	31,4	58,0	110,6	136,8	139,2
1997	28,2	30,4	33,2	33,6	37,6
2002	21,6	37,0	44,0	51,6	57,0
2004	25,0	28,6	28,6	37,6	59,6
2006	20,2	24,8	34,6	44,8	70,4
2008	51,2	69,2	90,6	92,0	95,6
2011	36,6	38,0	39,6	47,0	48,8
2012	17,0	17,2	19,6	29,0	45,6
2013	27,6	30,0	37,2	40,0	40,0
2014	27,4	48,2	50,0	58,2	58,6
2015	49,8	87,0	95,2	95,2	104,2

Tabella 1.2 - Serie delle piogge intense per brevi durate registrate al pluviografo di Butera (fonte: Annali idrologici)

Il metodo prevede che per ogni durata  $t$ , si dividano i valori per le rispettive medie  $m(t)$  al fine di costruire un'unica serie adimensionalizzata. Se la serie assegnata aveva lunghezza  $n$ , la nuova serie avrà quindi lunghezza  $m = 5M$ .

Alla serie adimensionalizzata si sono adattate due diverse distribuzioni di probabilità: Gumbel e log-Normale. Per verificare la bontà di adattamento dei dati sono state riportate su un grafico, detto "probability plot", le coppie di punti  $(x_i, x(F_i))$ , dove  $x(F_i)$  è il quantile corrispondente ad una probabilità  $P_i=F_i$  in funzione della distribuzione. Un'ulteriore verifica sulle distribuzioni di probabilità alla serie di data è stata effettuata attraverso l'applicazione del test di Lilliefors (modifica di Kolmogorov-Smirnov).

Sia graficamente che dal test di Lilliefors si è visto come la distribuzione Log Normale sia quella che meglio si adatta alla serie in esame; si può a questo punto procedere con il calcolo delle curve di probabilità pluviometriche per i tempi di ritorno di 50,100 e 200 anni.

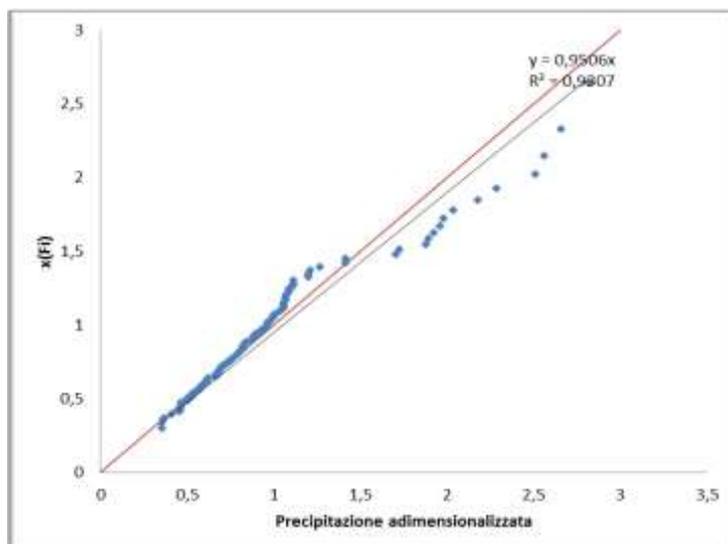


Figura 1.3- Probability Plot distribuzione log-Normale

Considerando i tempi di ritorno assegnati e la distribuzione log-Normale si sono ottenute le altezze di precipitazione  $h$  relative alla serie adimensionalizzata (cioè i quantili di precipitazione); i risultati sono riportati nella tabella 1.3.

Tempo di Ritorno	$P=(Tr-1)/Tr$	$h^*$ (quantili)
50 anni	0,980	2,021
100 anni	0,990	2,328
200 anni	0,995	2,643

Tabella 1.3 - Quantili di precipitazione adimensionalizzati calcolati per i diversi tempi di ritorno

A questo punto, per poter tracciare le curve di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno assegnati, si procede con la regolarizzazione delle medie  $m(t)$  attraverso una curva del tipo  $m(t)=btk$ .

Per ricavare i parametri  $b$  e  $k$  è opportuno operare una trasformazione logaritmica del tipo:

$$\ln(m)=\ln(b)+k \ln(t)$$

in modo da poter ricorrere al metodo della retta dei minimi quadrati.

Per poter ottenere i valori "b" e "k" bisogna fare un grafico (Figura 1.4) dove in ascissa si inseriscono le durate mentre in ordinata le medie delle serie di precipitazione.

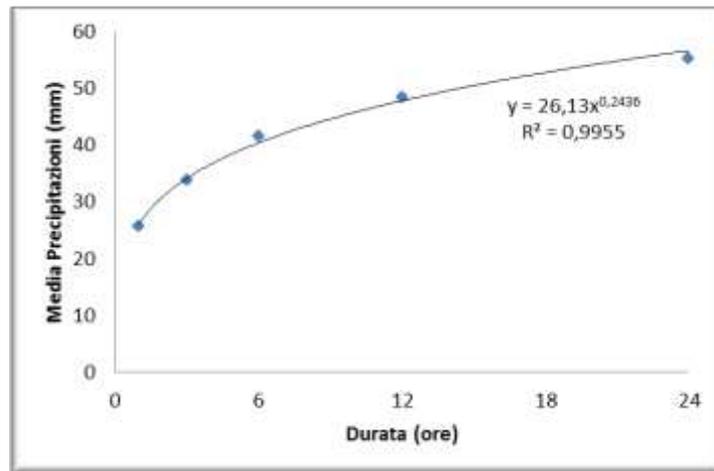


Figura 1.4 - Interpolazione per trovare i parametri b e k

In particolare, i parametri richiesti non sono altro che quelli che compaiono nell'equazione del grafico cioè  $y=26,13x^{0,2436}$ , dove il primo termine rappresenta b e il secondo termine k.

Una volta determinati i suddetti parametri della curva che interpola le medie corrispondenti alle diverse durate t, l'espressione della corrispondente curva di probabilità pluviometrica sarà:

$$h(t)=h*b t^k$$

A questo punto si hanno tutte gli elementi per tracciare le curve di probabilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno (Figura 1.5).

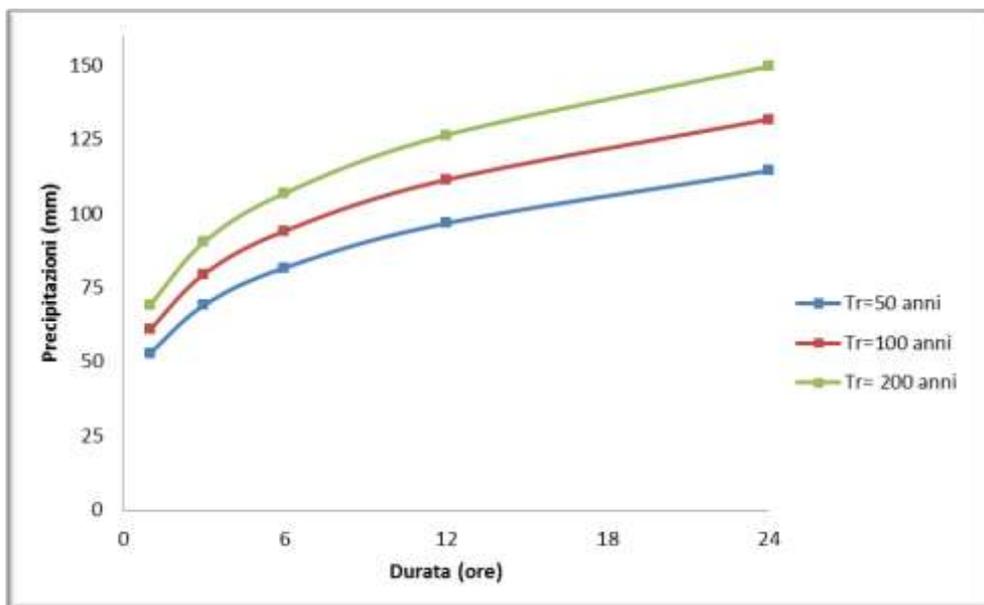


Figura 1.5 - Curve di probabilità pluviometrica al variare del tempo di ritorno

### Stima portata al colmo nella sezione di chiusura

La portata al colmo è stimata attraverso la formula di Turazza:

$$Q_c = 0.277 * \frac{C * h * A}{t_c}$$

dove:

C = coefficiente di deflusso;

h= altezza di precipitazione (mm/h);

A = area del bacino (km<sup>2</sup>);

t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione (ore).

Per applicare questa metodologia è necessaria la valutazione del tempo di corrivazione del bacino alla sezione analizzata. Nel caso in analisi, sono state considerate le formule di Kirpich, Giandotti, Pezzoli e della velocità fittizia.

La velocità fittizia si valuta in funzione della pendenza dell'asta principale attraverso l'utilizzo della tabella 1.4, mentre per la valutazione del coefficiente di deflusso C si è utilizzata la tabella 1.5, secondo Frevert. Nel caso in esame è stata scelta una velocità fittizia di 0,9 m/s. Il coefficiente di deflusso viene posto pari a 0,5 in via cautelativa, per tenere conto della presenza di una piccola porzione del campo solare ricadente nel bacino d'interesse.

i(%)	Velocità fittizia (m/s)
1 - 2	0,6
2 - 4	0,9
4 - 6	1,2
6 - 10	1,5

Tabella 1.4 - Velocità fittizia in funzione della pendenza

Caratteristiche del bacino			Coefficiente di deflusso C		
Manto vegetale	Morfologia del suolo	Pendenza dell'asta principale della rete idrografica [%]	Terreno con sabbia grossa	Terreno con argilla e limo	Terreno con argilla compatta
<i>Bosco</i>	pianeggiante	0÷5	0.10	0.30	0.40
	ondulato	5÷10	0.25	0.35	0.50
	montuoso	10÷30	0.30	0.50	0.60
<i>Pascolo</i>	pianeggiante	0÷5	0.10	0.30	0.40
	ondulato	5÷10	0.16	0.36	0.55
	montuoso	10÷30	0.22	0.42	0.60
<i>Coltivato</i>	pianeggiante	0÷5	0.30	0.50	0.60
	ondulato	5÷10	0.40	0.60	0.70
	montuoso	10÷30	0.52	0.72	0.82

Tabella 1.5 - Coefficiente di deflusso secondo Frevert

Nella tabella 1.6 sono riportati i risultati dell'applicazione delle suddette formule.

Tempo di corrivazione $t_c$ (ore)	
Giandotti	2,58
Kirpich	1,67
Pezzoli	3,67
Velocità fittizia	3,11

Tabella 1.6 - Calcolo del tempo di corrivazione

Utilizzando il tempo di corrivazione medio ed un coef. di deflusso pari a 0,5, si valuta la portata al colmo con la formula di Turazza, per valori del tempo di ritorno pari a 50 100 e 200 anni. Per ricavare le altezze di pioggia nella formula di Turazza sono indispensabili i parametri delle curve di probabilità pluviometriche ricavati con il metodo della scala invariante; nella tabella 1.7 a seguire sono riportati i valori delle portate al colmo relativi ai diversi tempi di ritorno.

Tempo di ritorno	Portata ( $m^3/s$ )
50 anni	28,76
100 anni	33,17
200 anni	37,59

Tabella 1.7 - Calcolo della portata al colmo con la formula di Turazza

## **Verifica idraulica della sezione**

Al fine di verificare idraulicamente il torrente che raccoglie le acque del bacino definito in precedenza, è stata effettuata la costruzione di un modello idraulico del torrente mediante l'utilizzo del Software Hec-Ras. Il software Hec-Ras è basato su un modello di calcolo sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Esso permette lo studio del moto permanente calcolando sezione per sezione l'altezza idrica in funzione della portata immessa e morfologia dell'asta idrica.

Sono state effettuate tre simulazioni in moto permanente per le tre portate al colmo con tempi di ritorno  $T_r$  di 50, 100 e 200 anni. Le sezioni sono state ricostruite utilizzando il DTM disponibile sul SITR della Regione Sicilia. In figura 1.6 si riporta una planimetria schematica delle sezioni all'interno del software Hec-Ras.

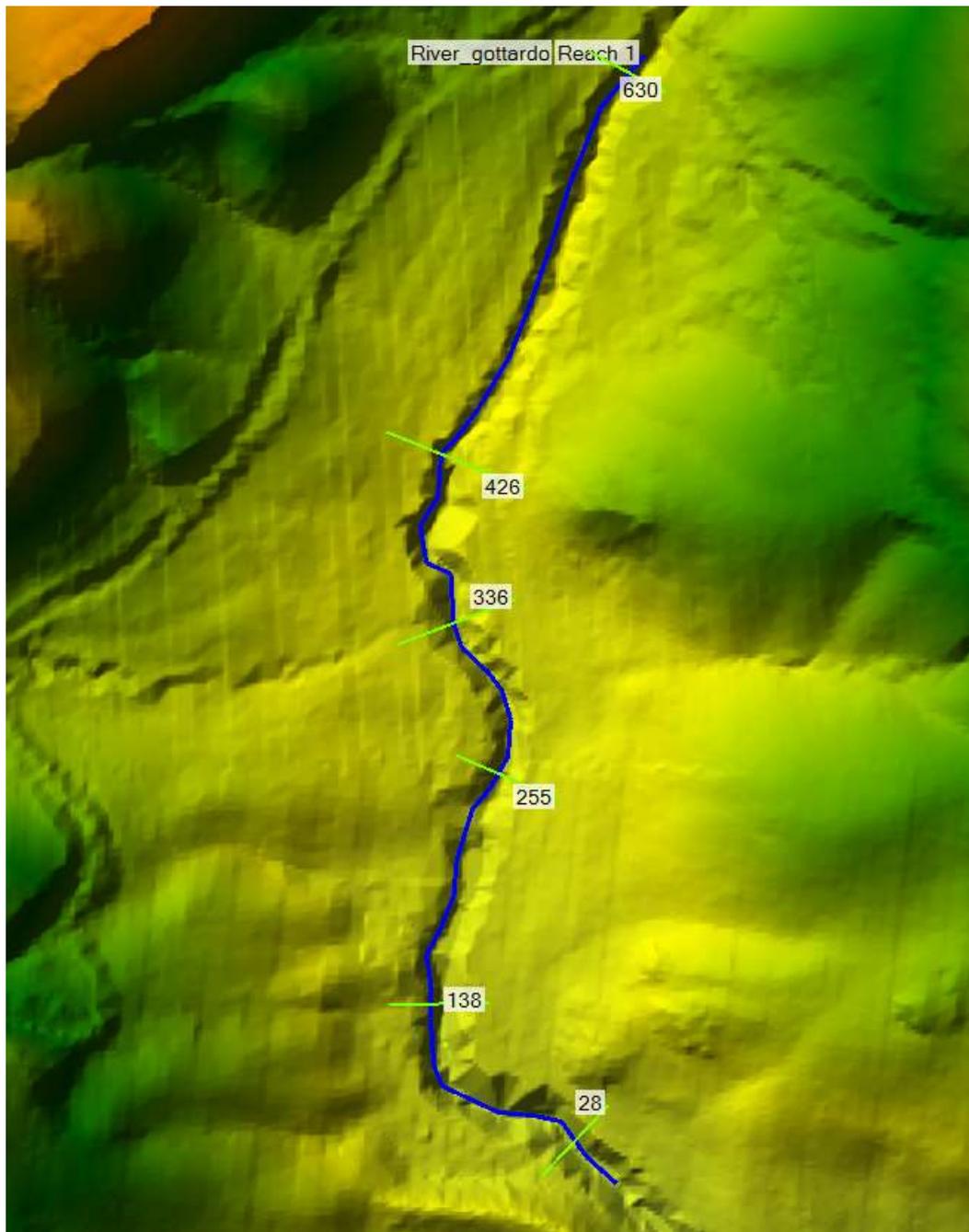


Figura 1.6 - Schema sezioni torrente su DTM 2x2 Hec-Ras

Nella seguente figura 1.7 si riportano i tre profili per i tre tempi di ritorno delle simulazioni di moto permanente effettuate con il software Hec-Ras. Il profilo PF1 è il profilo di moto permanente per portate con  $Tr=50$  anni, PF2 il profilo per  $Tr=100$  anni e PF3 il profilo con  $Tr=200$  anni.

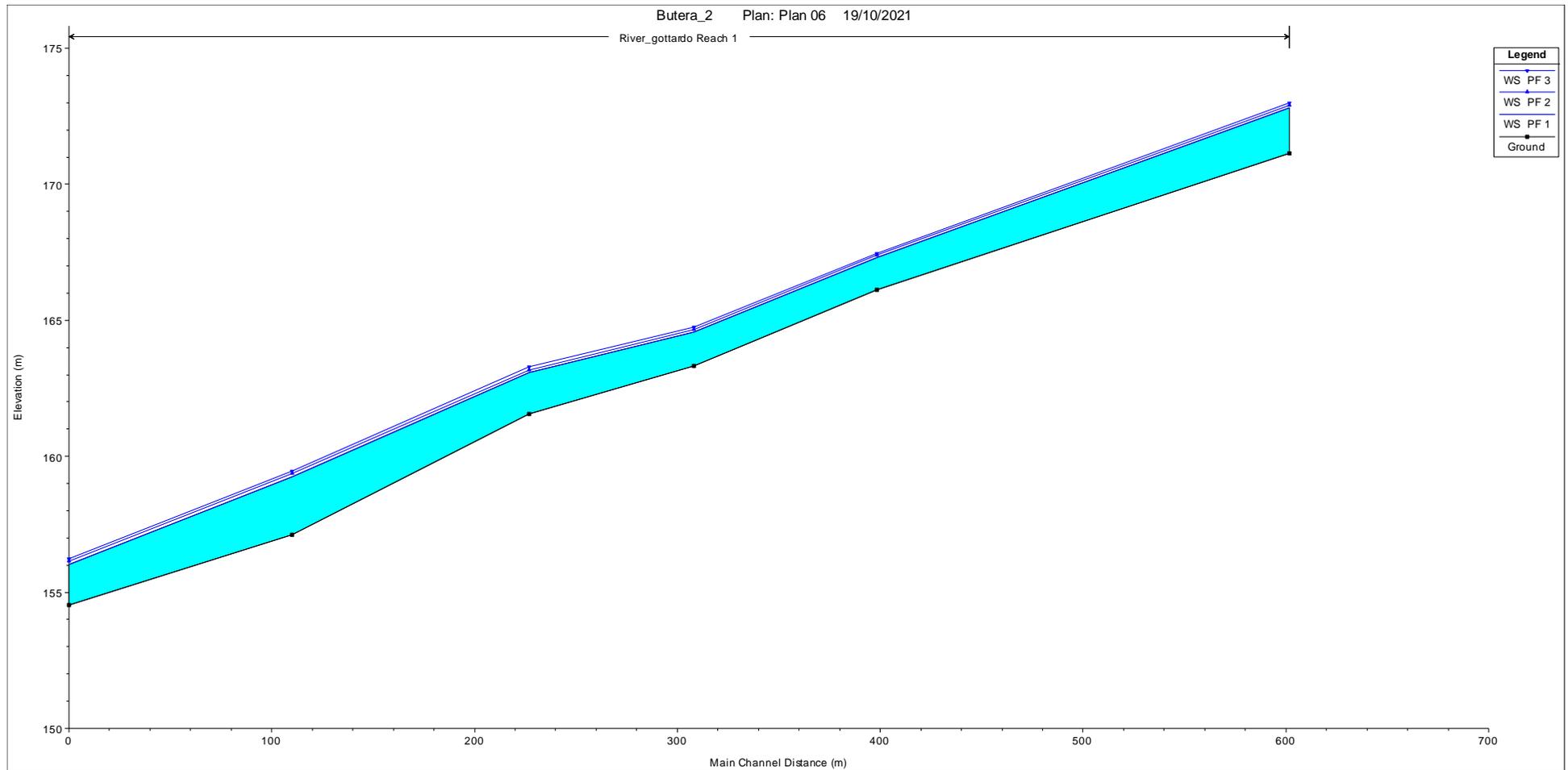


Figura 1.7 - Profili moto permanente Tr 50 anni (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

Di seguito si riportano le sezioni del torrente da monte verso valle per tutti e tre i profili di corrente.

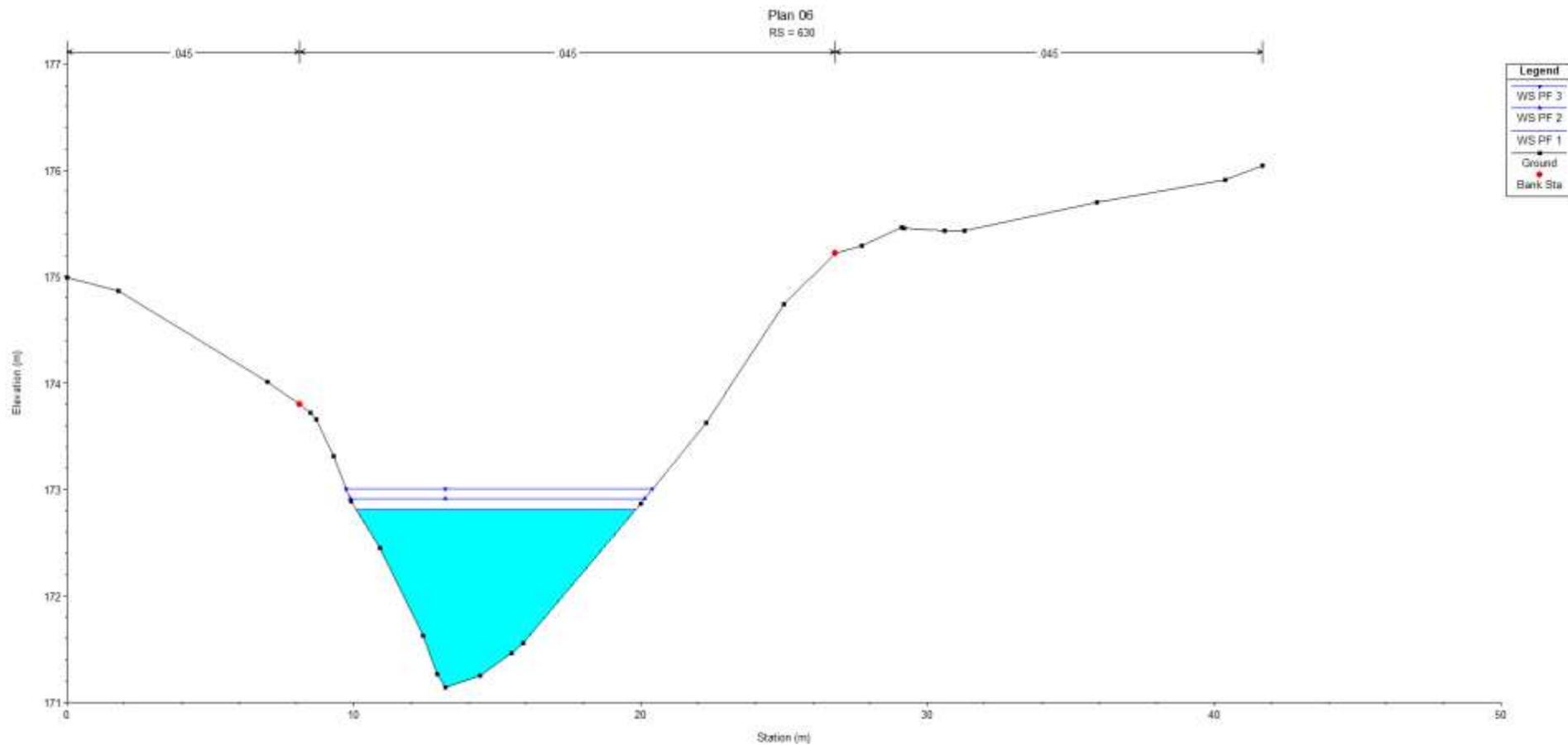


Figura 1.8 - Sezione n° 630 e altezze idriche per Tr 50 anni (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

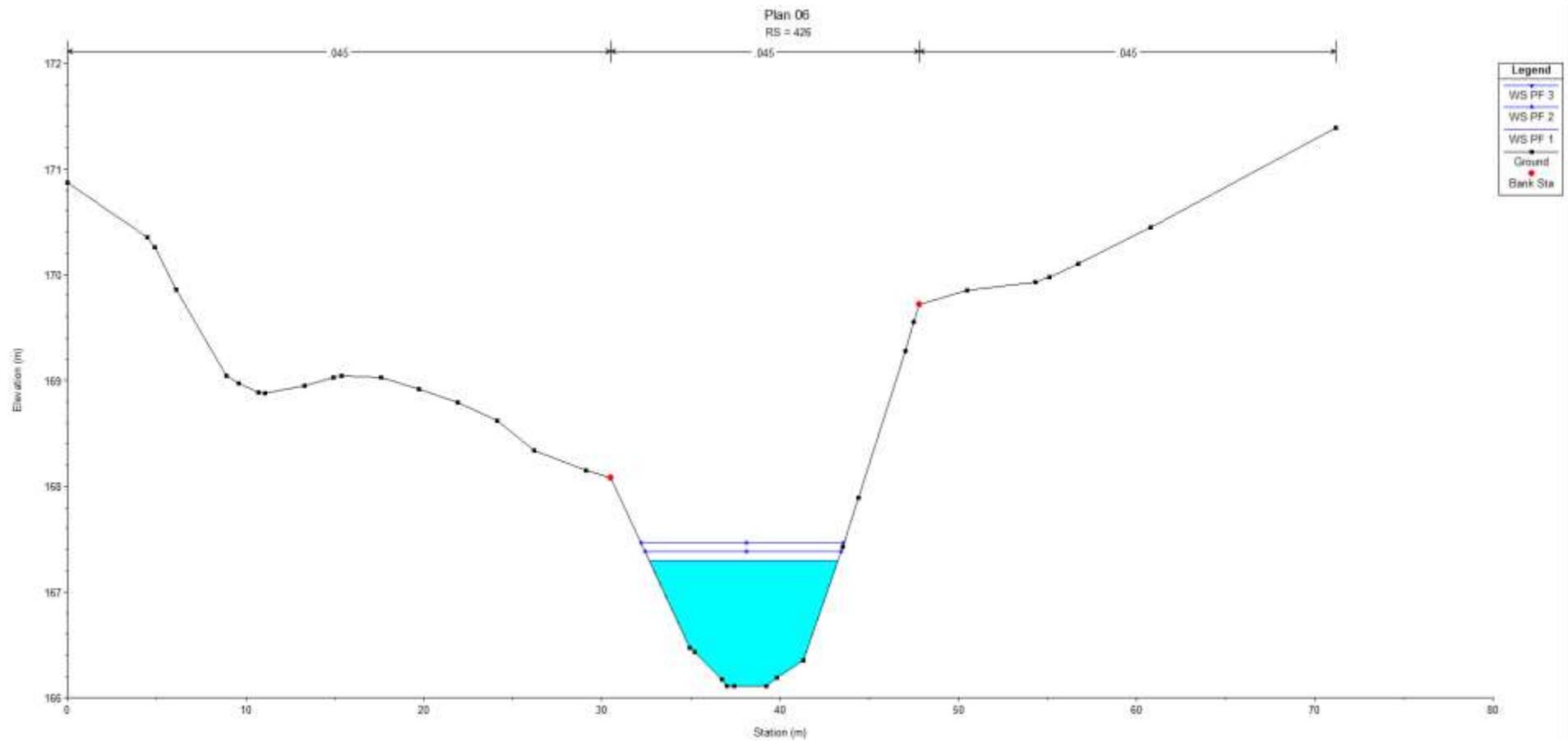


Figura 1.9 - Sezione n° 426 e altezze idriche Tr 50 (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

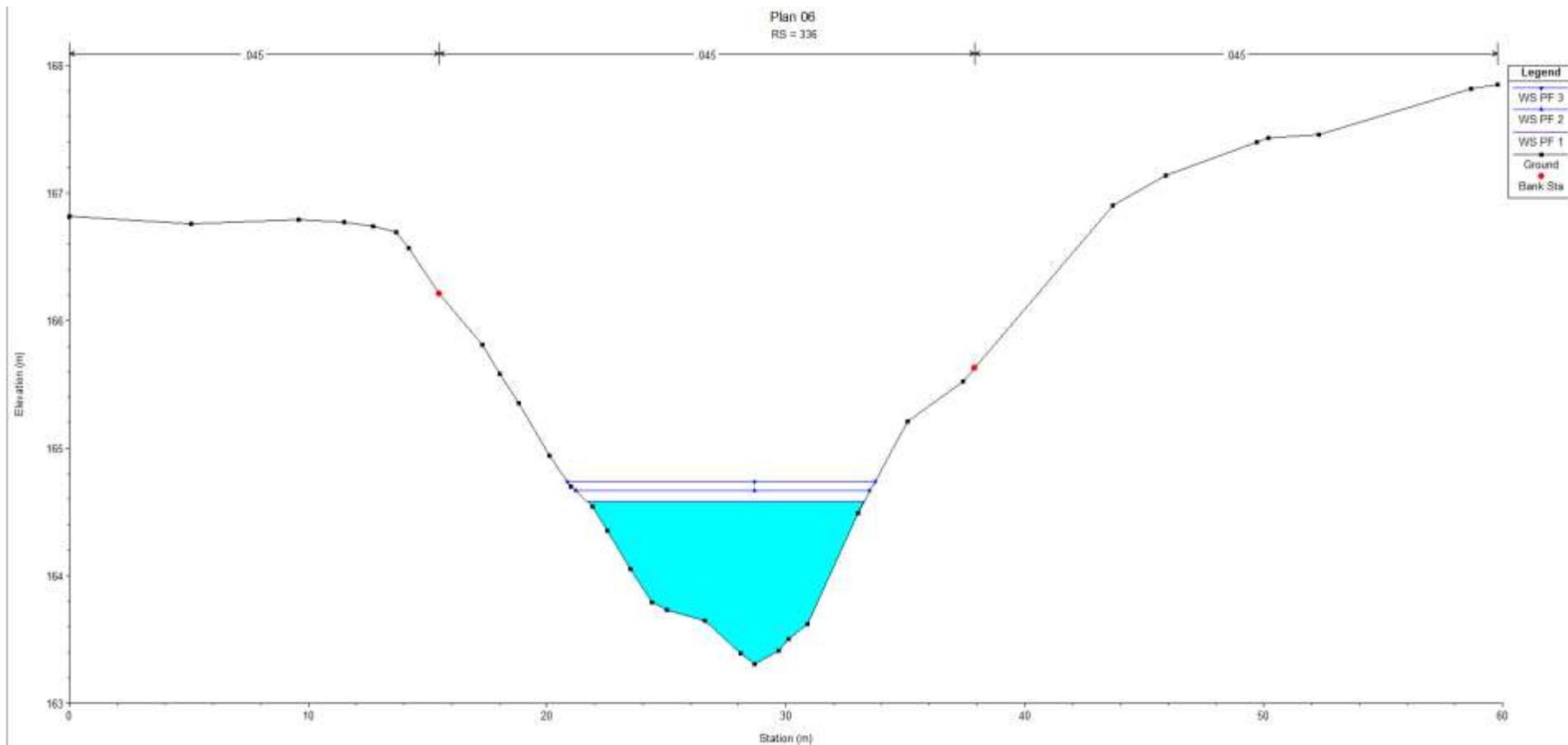


Figura 1.10 - Sezione n° 336 e altezze idriche Tr 50 (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

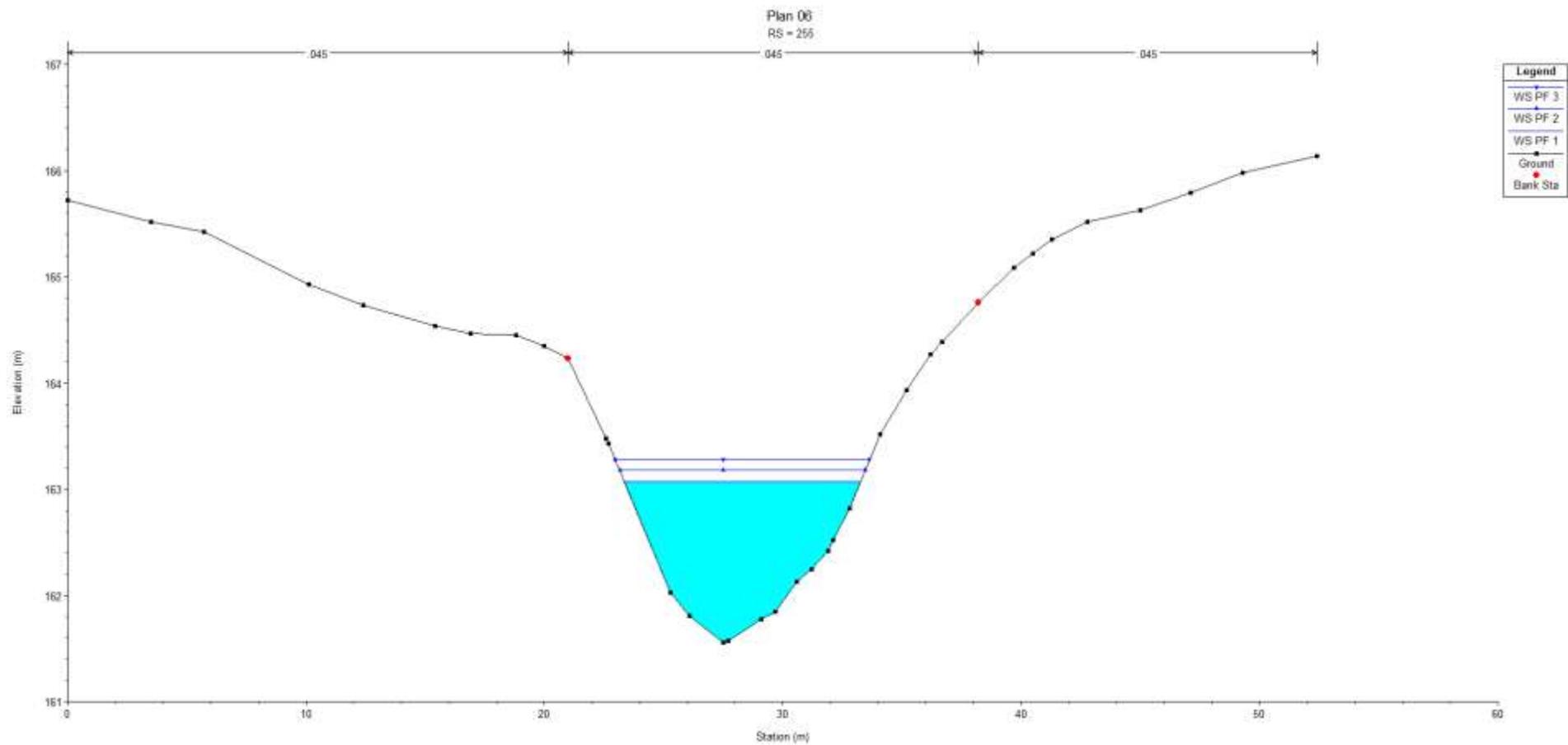


Figura 1.11 - Sezione n° 225 e altezze idriche Tr 50 (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

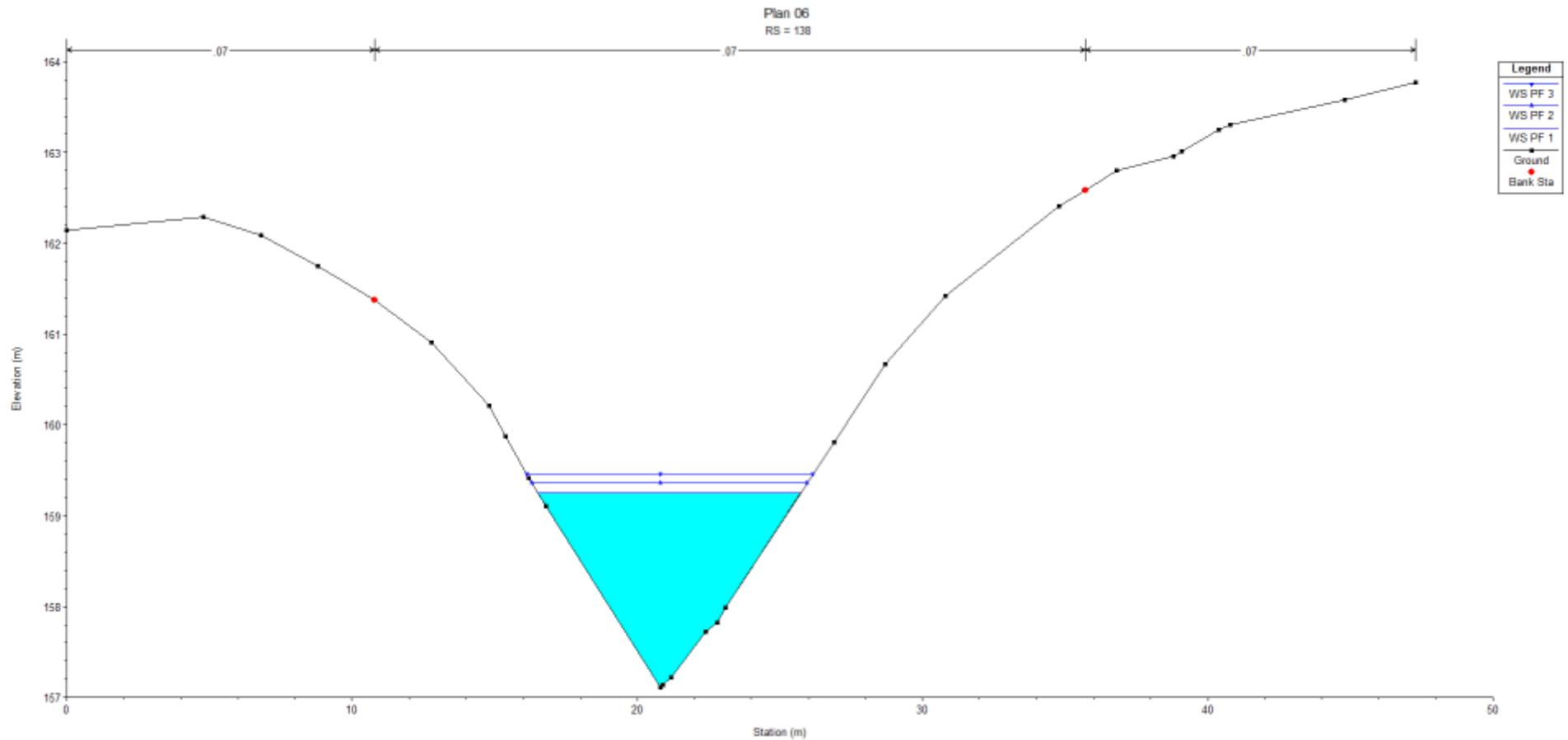


Figura 1.12 - Sezione n° 138 e altezze idriche Tr 50 (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

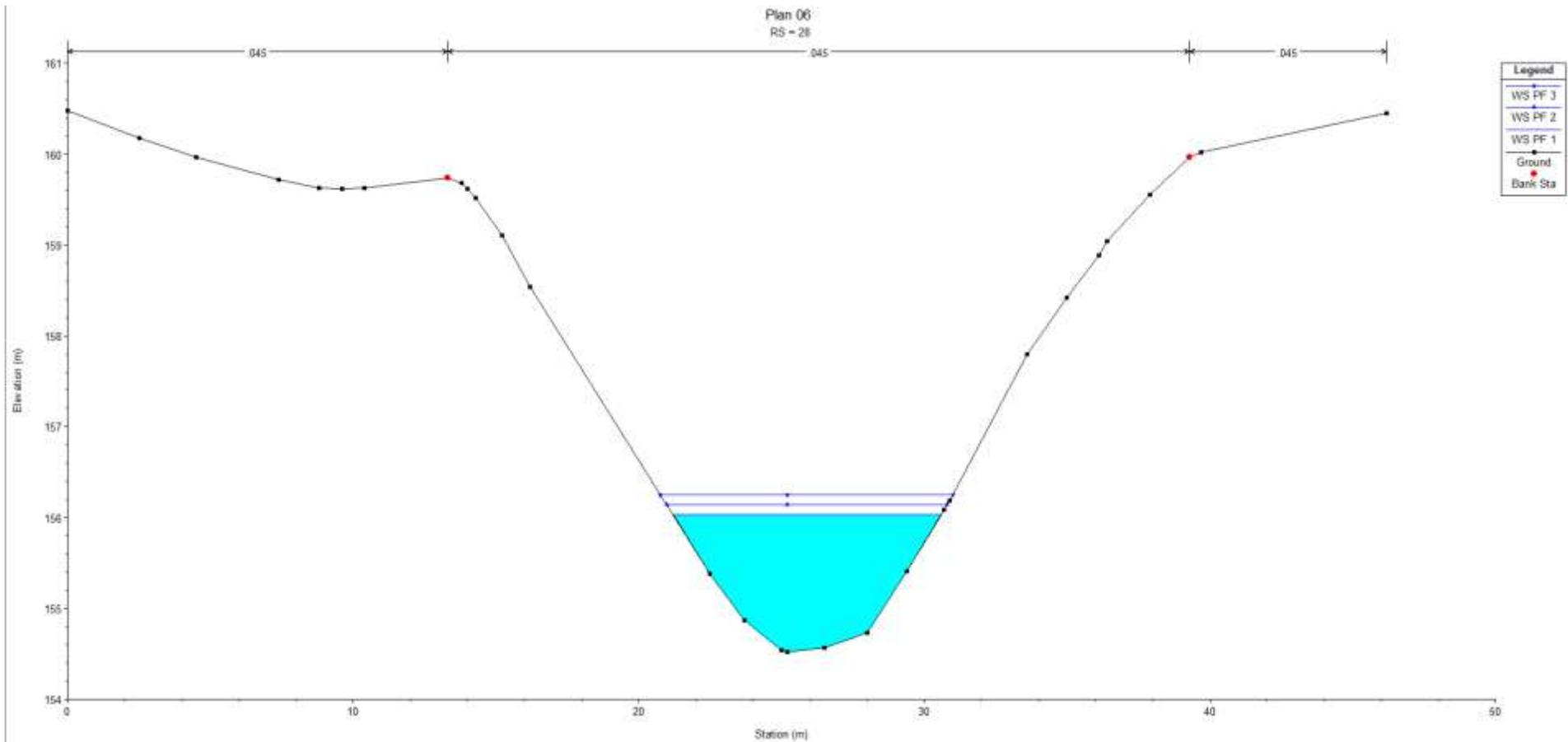


Figura 1.13 - Sezione n° 28 e altezze idriche Tr 50 (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	630	PF 1	28.76	171.14	172.81	172.85	173.33	0.025008	3.19	9.01	9.76	1.06
Reach 1	630	PF 2	33.17	171.14	172.92	172.96	173.47	0.025012	3.31	10.03	10.28	1.07
Reach 1	630	PF 3	37.59	171.14	173.01	173.06	173.60	0.025015	3.42	10.98	10.68	1.08
Reach 1	426	PF 1	28.76	166.11	167.30	167.38	167.84	0.029256	3.27	8.79	10.59	1.15
Reach 1	426	PF 2	33.17	166.11	167.38	167.49	167.98	0.029308	3.41	9.72	11.00	1.16
Reach 1	426	PF 3	37.59	166.11	167.46	167.58	168.10	0.029357	3.54	10.63	11.39	1.17
Reach 1	336	PF 1	28.76	163.31	164.58	164.68	165.11	0.031284	3.23	8.90	11.59	1.18
Reach 1	336	PF 2	33.17	163.31	164.67	164.78	165.24	0.031415	3.34	9.93	12.32	1.19
Reach 1	336	PF 3	37.59	163.31	164.74	164.87	165.35	0.031537	3.45	10.88	12.89	1.20
Reach 1	255	PF 1	28.76	161.56	163.07	163.07	163.55	0.022069	3.07	9.38	9.91	1.01
Reach 1	255	PF 2	33.17	161.56	163.18	163.18	163.69	0.021719	3.18	10.43	10.30	1.01
Reach 1	255	PF 3	37.59	161.56	163.28	163.28	163.82	0.021271	3.27	11.49	10.67	1.01
Reach 1	138	PF 1	28.76	157.11	159.25	159.11	159.65	0.038435	2.81	10.23	9.22	0.85
Reach 1	138	PF 2	33.17	157.11	159.36	159.23	159.80	0.039760	2.95	11.24	9.64	0.87
Reach 1	138	PF 3	37.59	157.11	159.46	159.34	159.94	0.040806	3.08	12.21	10.03	0.89
Reach 1	28	PF 1	28.76	154.52	156.03	156.03	156.52	0.021848	3.11	9.23	9.38	1.00
Reach 1	28	PF 2	33.17	154.52	156.14	156.14	156.67	0.021341	3.21	10.33	9.83	1.00
Reach 1	28	PF 3	37.59	154.52	156.25	156.25	156.80	0.021003	3.30	11.38	10.23	1.00

Tabella 1.8 - Output Simulazione moto permanente per Tr 50 anni (PF1), 100 anni (PF2), 200 anni (PF3)

### ***3. Considerazioni conclusive***

I risultati delle tre simulazioni di moto permanente per le portate al colmo di piena con tempi di ritorno  $T_r$  50, 100 e 200 anni mettono in evidenza che, per i tre profili di corrente, le portate al colmo di piena sono contenute all'interno del torrente e non si rilevano esondazioni che possano interferire con l'impianto solare adiacente al torrente stesso. Nella figura 1.14 si riporta la planimetria schematica in termini di aree occupate dal deflusso per il tempo di ritorno di 200 anni, dove in rosso è riportato il limite dell'impianto solare e in azzurro l'area inondata per un tempo di ritorno di 200 anni.



Figura 1.14- Area Inondata (deflusso) per  $T_r$  200 anni