

CSG Energia S.r.l.

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO PER L'APPROFONDIMENTO
DELL'ASPETTO RELATIVO ALL'APPLICAZIONE DEL PGRA PER
L'AREA IN ESAME E LE EFFETTIVE INTERFERENZE CON LE FASCE
DI SALVAGUARDIA DEI CORPI IDRICI INTERESSATI RIO
BARDONEGGIA E RIO CAROGNA

RELAZIONE TECNICA

Voghera, Dicembre 2022



Ing. Giuseppe Barbero Ph.D.

Ordine degli Ingegneri di Pavia n.1340

Via Kennedy, 70 – 27058 Voghera

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'AREA IN ESAME.....	4
2.1	INQUADRAMENTO DEL BACINO E DELL'AREA DI PROPRIETÀ	4
2.2	BACINO IMBRIFERO DEL T. CAROGNA.....	6
3	VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO DEL T. CAROGNA	8
3.1	GENERALITÀ	8
3.2	CALCOLO DELLA PORTATA IDROLOGICA CON $T=100$ ANNI E $T=200$ ANNI.....	8
3.2.1	<i>Calcolo del tempo di corrivazione T_c</i>	8
3.2.2	<i>Curva di possibilità pluviometrica</i>	9
3.2.3	<i>Coefficiente d'afflusso</i>	10
3.2.4	<i>Portate di piena per 100 e 200 anni di tempo di ritorno</i>	10
4	CALCOLO DEL PROFILO DI PIENA IN MOTO PERMANENTE	11
4.1	GEOMETRIA DELL'ALVEO DEL TRATTO DEL TORRENTE CAROGNA	11
4.2	PORTATE DI CALCOLO	11
4.3	COEFFICIENTI DI SCABREZZA.....	11
4.4	COEFFICIENTI DI ESPANSIONE E DI CONTRAZIONE.....	11
4.5	CONDIZIONI AL CONTORNO	12
4.6	RISULTATI DEL CALCOLO	12
5	CONCLUSIONI	14
6	APPENDICE – SEZIONI DI CALCOLO	18

1 PREMESSA

La società CSG Energia S.r.l. ha incaricato il sottoscritto Prof. Barbero di eseguire uno studio idrologico e idraulico per l'approfondimento dell'aspetto relativo all'applicazione del PGRA e le effettive interferenze con le fasce di salvaguardia dei corpi idrici interessati Rio Bardoneggia e Rio Carogna dell'area in cui è prevista la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra, comprensivo delle opere di connessione, proposto da CSG Energia Srl nel Comune di Castel San Giovanni(PC).

La verifica è stata eseguita per valutare solo l'interferenza del Rio Carogna sull'area di installazione dell'impianto fotovoltaico in quanto quest'ultima non ha alcuna connessione con le fasce di salvaguardia del Rio Bardoneggia.

Il calcolo è stato sviluppato determinando il livello idrico per le piene di riferimento attraverso la simulazione del deflusso in condizioni di moto stazionario monodimensionale.

Le portate naturali nel torrente Carogna di assegnato tempo di ritorno sono state calcolate per mezzo di un modello di piena per la trasformazione afflussi-deflussi, dal momento che non sono disponibili misure dirette di portata nella sezione d'interesse. Le portate di verifica utilizzate sono caratterizzate dai tempi di ritorno T pari a 100 anni e 200 anni.

La presente relazione idraulica illustra, quindi, i risultati dei modelli idrologiche e idraulici predisposti per verificare le effettive interferenze con le fasce di salvaguardia del rio Carogna.

2 DESCRIZIONE DELL'AREA IN ESAME

2.1 INQUADRAMENTO DEL BACINO E DELL'AREA DI PROPRIETÀ

Il sito oggetto di studio è costituito e nelle figure seguenti si mostrano un inquadramento corografico del bacino imbrifero del t. Carogna chiuso alla sezione dell'attraversamento della autostrada A21 (figura 2.1).

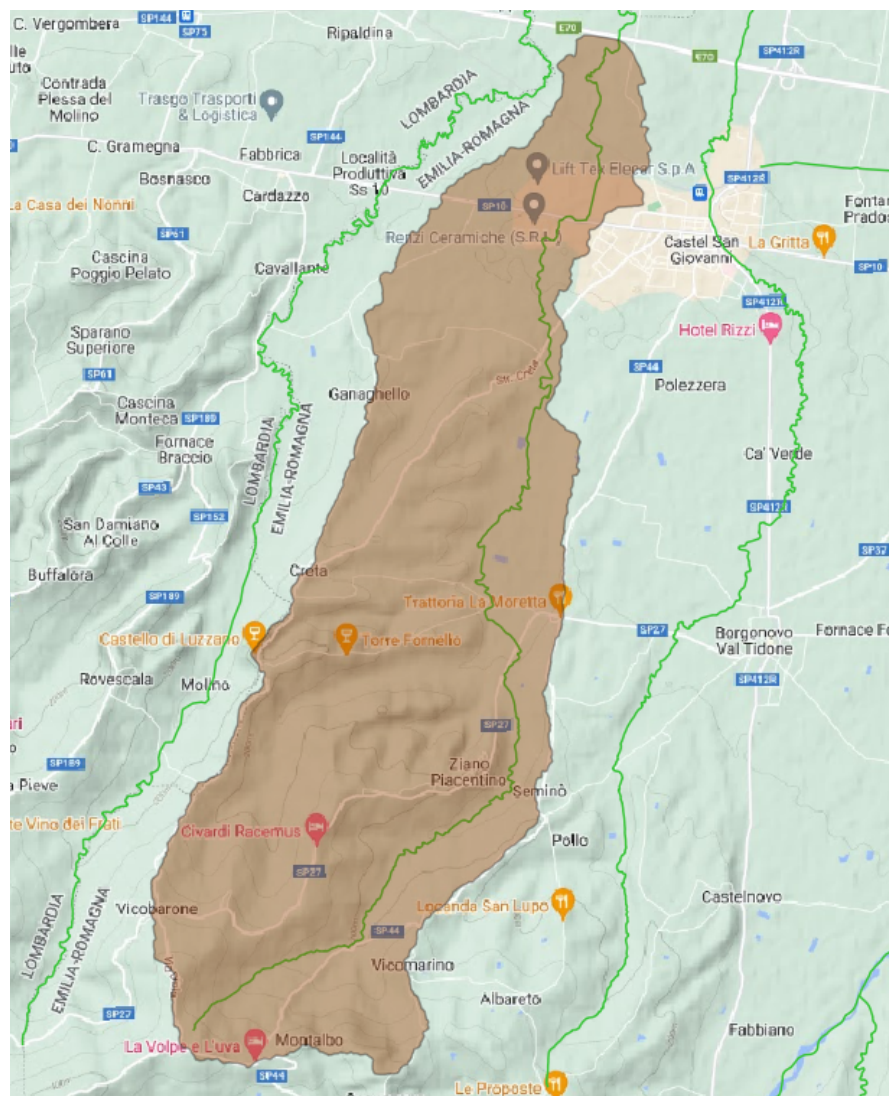


Figura 2.1 - Inquadramento del bacino imbrifero chiuso alla sezione di attraversamento della A21

Nella figura 2.2 è riportata la vista dell'area in esame per la quale è stata predisposto lo studio di compatibilità idraulica.



Figura 2.2 - Inquadramento dell'area in esame [da Google Earth]

Nella figura 2.3 è riportato, su base CTR RER, il rilievo plani-altimetrico del sito eseguito appositamente per questo studio nel quale è individuata l'area sulla quale è prevista la realizzazione del campo fotovoltaico e le quote dell'area e di un certo intorno.

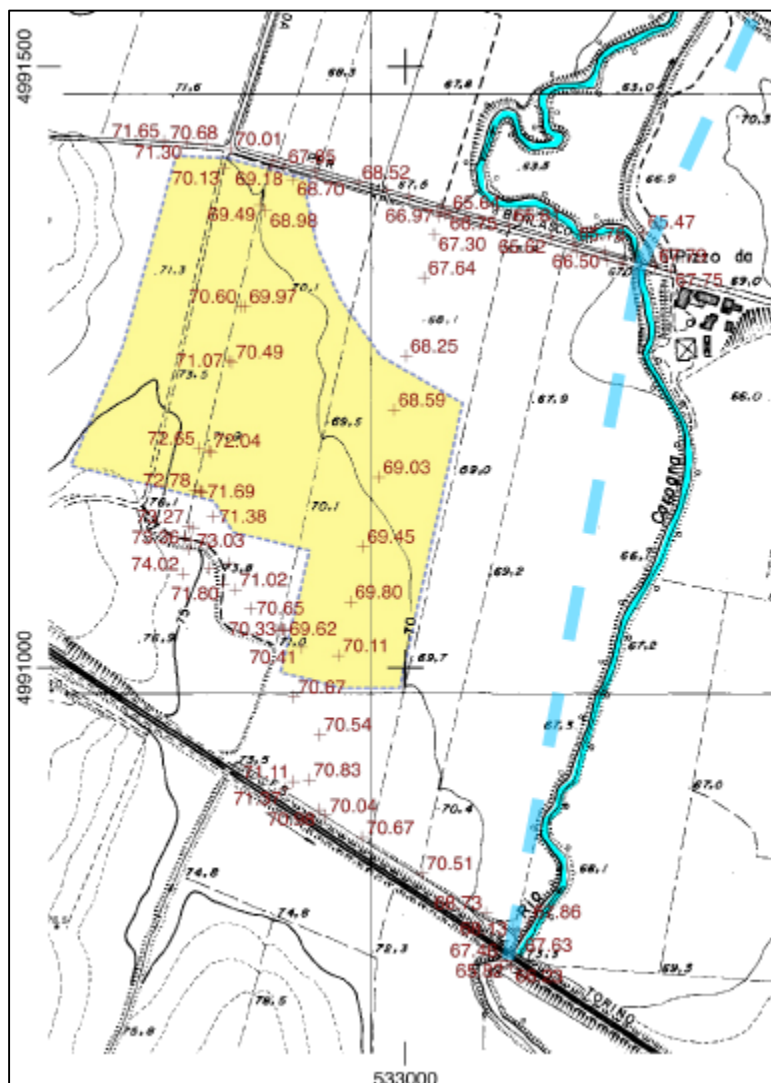


Figura 2.3 - Rilievo plani-altimetrico del sito

2.2 BACINO IMBRIFERO DEL T. CAROGNA

Il torrente Carogna, fino alla sezione posta in corrispondenza del ponte sulla A21, ha andamento circa N-NE ed è abbastanza regolare, tipico di un ambiente collinare, salvo per l'ultimo tratto che presenta una maggiore sinuosità. Il bacino è quasi totalmente coperto da superfici agricole con modeste porzioni di bosco e di incolti.

Le caratteristiche morfometriche del bacino chiuso nella sezione in prossimità della A21 sono:

- superficie $S = 32.73 \text{ km}^2$,
- lunghezza asta principale $L = 18.83 \text{ km}$,
- altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura $h_m = 108.1 \text{ m}$,
- quota massima del bacino in $h_{\max} = 406 \text{ m slm}$,
- quota della sezione di chiusura in m slm $h_0 = 62.2 \text{ m slm}$.

L'altezza media è stata calcolata dalla curva ipsografica del bacino, il cui andamento è riportato nella seguente figura 2.3.

CSG Energia S.r.l.

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO PER L'APPROFONDIMENTO DELL'ASPETTO RELATIVO ALL'APPLICAZIONE DEL PGRA PER L'AREA IN ESAME E LE EFFETTIVE INTERFERENZE CON LE FASCE DI SALVAGUARDIA DEI CORPI IDRICI INTERESSATI RIO BARDONEGGIA E RIO CAROGNA.
RELAZIONE TECNICA

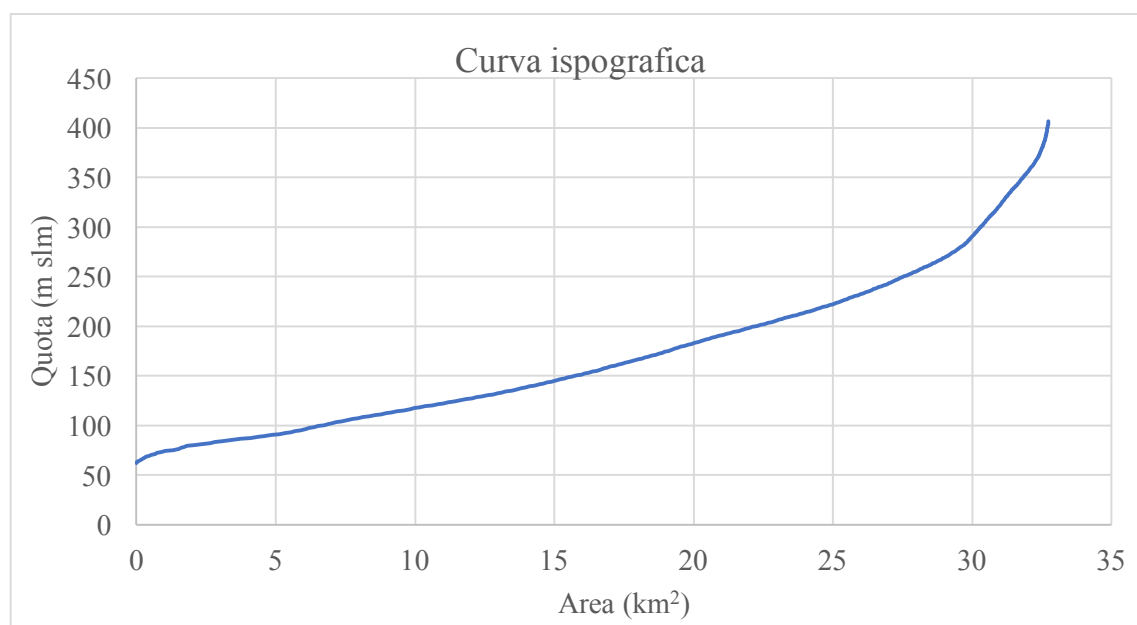


Figura 2.3 – Curva ipsografica del bacino del T. Carogna

3 VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO DEL T. CAROGNA

3.1 GENERALITÀ

La verifica è stata eseguita considerando la capacità di portata del torrente Carogna nelle sezioni prossime all'area in oggetto di analisi e valutando le eventuali quote del pelo libero nel caso di esondazione del torrente.

Le portate di verifica utilizzate sono caratterizzate dai tempi di ritorno T pari a 100 anni e 200 anni.

3.2 CALCOLO DELLA PORTATA IDROLOGICA CON $T=100$ ANNI E $T=200$ ANNI

La portata al colmo per il tempo di ritorno fissato è stata stimata applicando un modello di trasformazione afflussi-deflussi semplificato per il quale la portata è calcolata a partire dalla conoscenza della precipitazione che l'ha generata; si fa l'ipotesi che la pioggia e la portata abbiano lo stesso tempo di ritorno. Il calcolo della portata massima è stato qui condotto utilizzando il semplice "metodo razionale" per il quale la portata per assegnato tempo di ritorno T in una fissata sezione di chiusura del bacino è data dall'espressione:

$$(3.1) \quad Q(T, T_c) = \frac{\varphi \times i_R \times A}{3.6},$$

dove:

- φ = coefficiente di deflusso;
- i = intensità media ragguagliata della precipitazione (mm/h) per durata pari al tempo di corrivazione all'interno del bacino;
- S = superficie del bacino (km²);
- T_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

3.2.1 Calcolo del tempo di corrivazione T_c

La portata è funzione della precipitazione associata a una durata pari al tempo di corrivazione e del bacino imbrifero chiuso alla sezione d'interesse che, nel caso in esame, coincide con la sezione in prossimità dell'attraversamento dell'autostrada A21. Il tempo di corrivazione può essere stimato con diverse formule empiriche e, tra queste, è stata scelta la classica formula di Giandotti:

$$(3.2) \quad T_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{h_m}},$$

dove:

- T_c tempo di corrivazione in ore,
- L lunghezza dell'asta principale in km, per la formula 2.4 L espressa in m,
- S superficie del bacino in km²,

- h_m altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura in m,

Inserendo i valori riportati nel capitolo 2 della relazione, si ottiene un tempo di corrivazione pari a 6.15 ore.

3.2.2 Curva di possibilità pluviometrica

Il calcolo della portata massima con il metodo razionale richiede di conoscere la curva di possibilità pluviometrica per i prefissati tempi di ritorno. Dal sito dell'Arpa Lombardia si ricavano i parametri della curva di possibilità pluviometrica relativa all'area in esame. L'altezza di pioggia h , data dalla seguente relazione:

L'altezza di pioggia h , data dalla seguente relazione:

$$(3.3) \quad h(Tc, T) = a_1 \times W_T \times Tc^n$$

Considerando il ragguaglio della pioggia sull'area la curva diventa:

$$(3.4) \quad h_R(Tc, T) = R \times a_1 \times W_T \times Tc^n$$

dove:

- a_1 è pari a 24.76 mm;
- W_T dipende dal tempo di ritorno: $W_T = 2.381$ per $T = 100$ anni e $W_T = 2.678$ per $T = 200$ anni;
- n è uguale a 0.3015 ed è valido per durate di pioggia superiori a 1 ora,
- Tc è il tempo di corrivazione calcolato con l'equazione (3.2) e vale 6.15 ore;
- R è il coefficiente di ragguaglio della pioggia all'area il cui valore può essere minore o uguale a 1 e dipende dall'estensione del bacino e dalla durata della pioggia ed è considerato indipendente da tempo di ritorno T .

Il coefficiente di ragguaglio R è stato calcolato con la formula del National Water Council del Regno Unito:

$$(3.5) \quad R(t, A) = 1 - at^b$$

In cui i parametri a e b sono stati stimati con la formula ricavata da Barbero et al. sulla base di dati di precipitazione dell'area milanese; il valore di R per la durata t pari al tempo di corrivazione Tc è uguale a 0.871.

3.2.3 Coefficiente d'afflusso

Il bacino del t. Carogna è essenzialmente costituito da superfici coltivate e da terreni di natura poco permeabili. Il valore del coefficiente d'afflusso φ è stato stimato con il metodo del numero di curva del Soil Conservation Service degli Stati Uniti (SCS).

$$(3.6) \quad \varphi = \frac{h_{Rn}}{h_R}$$

dove h_R è la pioggia lorda ragguagliata e h_{Rn} è la pioggia netta ragguagliata per la durata pari al tempo di corrivazione T_c . Si definisce, mediante apposite tabelle dell'USSCS il numero di curva CN , in funzione dell'uso del suolo, del tipo di drenaggio, delle condizioni idrologiche e del tipo di terreno. Si ricava quindi la capacità di ricarica del terreno S , che rappresenta l'altezza di pioggia immagazzinabile nel terreno:

$$(3.7) \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Il metodo del numero di curva ipotizza che il deflusso diretto abbia inizio solo dopo che si è verificata una perdita iniziale:

$$(3.8) \quad I_a = 0.2S$$

La pioggia netta ragguagliata è data dalla relazione:

$$(3.9) \quad h_{Rn} = \frac{(h_n - 0.2S)^2}{h_n + 0.8S}$$

Nel caso in esame il valore di CN è stato fissato pari a 85, per terreni di classe C (tasso d'infiltrazione basso) e utilizzo del suolo a vigneto. Il coefficiente d'afflusso per il tempo di ritorno 100 anni risulta uguale a 0.55 e il coefficiente d'afflusso per il tempo di ritorno 200 anni risulta uguale a 0.58.

3.2.4 Portate di piena per 100 e 200 anni di tempo di ritorno

I valori della portata per i due tempi di fissati sono riportati nella tabella 3.1 seguente.

T (anni)	Q (m ³ /s)
100	75.63
200	90.09

Tab. 3.1 – Portate di piena calcolate alla sezione di attraversamento della A21.

4 CALCOLO DEL PROFILO DI PIENA IN MOTO PERMANENTE

Per l'approfondimento dell'aspetto relativo all'applicazione del PGRA per l'area in esame e le effettive interferenze con le fasce di salvaguardia del corpo idrico interessato rio Carogna sono state effettuate le simulazioni numeriche in moto stazionario (steady flow) e in condizioni di piena mediante la modellizzazione con il codice di calcolo HEC-RAS vers. 4.1. del US ARMY CORPS OF ENGINEERS.

4.1 GEOMETRIA DELL'ALVEO DEL TRATTO DEL TORRENTE CAROGNA

Il tratto esaminato è quello compreso tra il ponte ferroviario e il ponte stradale di strada Berlasco. La geometria dell'alveo nella zona interessata dallo studio è stata rilevata direttamente e integrata tramite sezioni trasversali ricavate dal DTM della Regione Emilia Romagna con definizione 5x5 metri. La definizione delle aree potenzialmente allagate è stata fatta sulla base del DTM della RER che coincide all'incirca con il rilievo in sito eseguito appositamente per questo studio la cui planimetria quotata è riportata nella figura 2.3.

La pendenza media del fondo alveo nel tratto in esame è pari a circa 0.004 m/m (0.4 %).

4.2 PORTATE DI CALCOLO

Le portate di calcolo sono state determinate con le modalità illustrate nel capitolo 3 della relazione; i valori sono di 75.63 m³/s per tempo di ritorno 100 anni e di 90.09 m³/s per tempo di ritorno 200 anni.

4.3 COEFFICIENTI DI SCABREZZA

La scabrezza dell'alveo, come viene fatto usualmente, è stata definita attraverso il coefficiente di resistenza di Manning n . Il coefficiente di scabrezza pari a 0.03 m^{-1/3}s, sulla scorta dei valori della *tabella 2 – Valori dei coefficienti di scabrezza per i corsi d'acqua naturali* della citata Direttiva 4 dell'AdBPo; tale valore è riportato nella parte di tabella che riguarda i corsi d'acqua minori di pianura ed è valido nel caso di alvei regolari con vegetazione erbacea.

4.4 COEFFICIENTI DI ESPANSIONE E DI CONTRAZIONE

I coefficienti di espansione e di contrazione sono utilizzati dal codice di calcolo per simulare gli effetti della corrente in prossimità di bruschi restringimenti della sezione trasversale.

I valori dei coefficienti sono stati definiti sulla base delle indicazioni contenute nei manuali di utilizzo di HEC-RAS.

Per tutte le sezioni di calcolo sono stati adottati i seguenti valori (valori di default del codice HEC-RAS):

- Coefficiente di contrazione: 0.1;
- Coefficiente di espansione: 0.3.

4.5 CONDIZIONI AL CONTORNO

Il codice di calcolo utilizzato permette di calcolare il profilo di moto permanente in condizioni di corrente subcritica, supercritica o mista.

Nel caso in esame si è deciso di effettuare il calcolo in condizioni di corrente mista. Ciò richiede la definizione di una condizione al contorno a monte e di una a valle. Quali condizioni di monte e di valle si è considerata la condizione di moto uniforme locale definita tramite la pendenza locale del fondo pari a 0.0048m/m a monte e 0.026 m/m a valle.

4.6 RISULTATI DEL CALCOLO

Nella tabella 4.1a sono riassunti i risultati della simulazione idraulica con il codice di calcolo HEC-RAS per la piena con tempo di ritorno pari a 100 anni e nella tabella 4.1b i risultati per la piena con $T = 200$ anni.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
T. Carogna	10	Tr = 100 anni	75.63	67.17	68.08	68.01	68.28	0.007900	2.00	37.76	67.92	0.86
T. Carogna	9	Tr = 100 anni	75.63	66.73	67.48		67.60	0.005936	1.51	49.98	110.50	0.72
T. Carogna	8	Tr = 100 anni	75.63	66.16	67.10		67.16	0.002280	1.10	68.78	119.77	0.46
T. Carogna	7	Tr = 100 anni	75.63	65.87	66.89		66.96	0.002466	1.18	64.03	106.17	0.49
T. Carogna	6	Tr = 100 anni	75.63	65.46	66.11	66.11	66.33	0.011721	2.07	36.52	84.01	1.00
T. Carogna	5	Tr = 100 anni	75.63	65.10	65.82	65.58	65.88	0.002375	1.09	69.65	127.43	0.47
T. Carogna	4	Tr = 100 anni	75.63	64.95	65.69	65.48	65.74	0.002463	1.02	74.10	152.87	0.47
T. Carogna	3	Tr = 100 anni	75.63	64.87	65.67	65.60	65.70	0.000871	0.74	102.86	158.38	0.29

Tab. 4.1a – Risultati del calcolo per la piena con $T = 100$ anni.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
T. Carogna	10	Tr = 200 anni	90.09	67.17	68.14	68.08	68.37	0.008596	2.16	41.75	71.54	0.90
T. Carogna	9	Tr = 200 anni	90.09	66.73	67.55		67.67	0.005655	1.57	57.47	116.18	0.71
T. Carogna	8	Tr = 200 anni	90.09	66.16	67.18		67.24	0.002276	1.15	78.08	126.30	0.47
T. Carogna	7	Tr = 200 anni	90.09	65.87	66.96		67.04	0.002496	1.25	71.81	109.78	0.50
T. Carogna	6	Tr = 200 anni	90.09	65.46	66.17	66.17	66.41	0.011469	2.16	41.64	88.23	1.01
T. Carogna	5	Tr = 200 anni	90.09	65.10	65.89	65.62	65.95	0.002323	1.15	78.65	130.64	0.47
T. Carogna	4	Tr = 200 anni	90.09	64.95	65.77	65.52	65.83	0.002165	1.03	87.35	161.01	0.45
T. Carogna	3	Tr = 200 anni	90.09	64.87	65.76	65.60	65.79	0.000825	0.77	116.39	159.24	0.29

Tab. 4.1b – Risultati del calcolo nello stato di fatto per la piena con $T = 200$ anni.

Nella figura 4.2 è riportato il profilo di moto permanente nello stato di fatto per $T = 100$ anni e $T = 200$ anni.

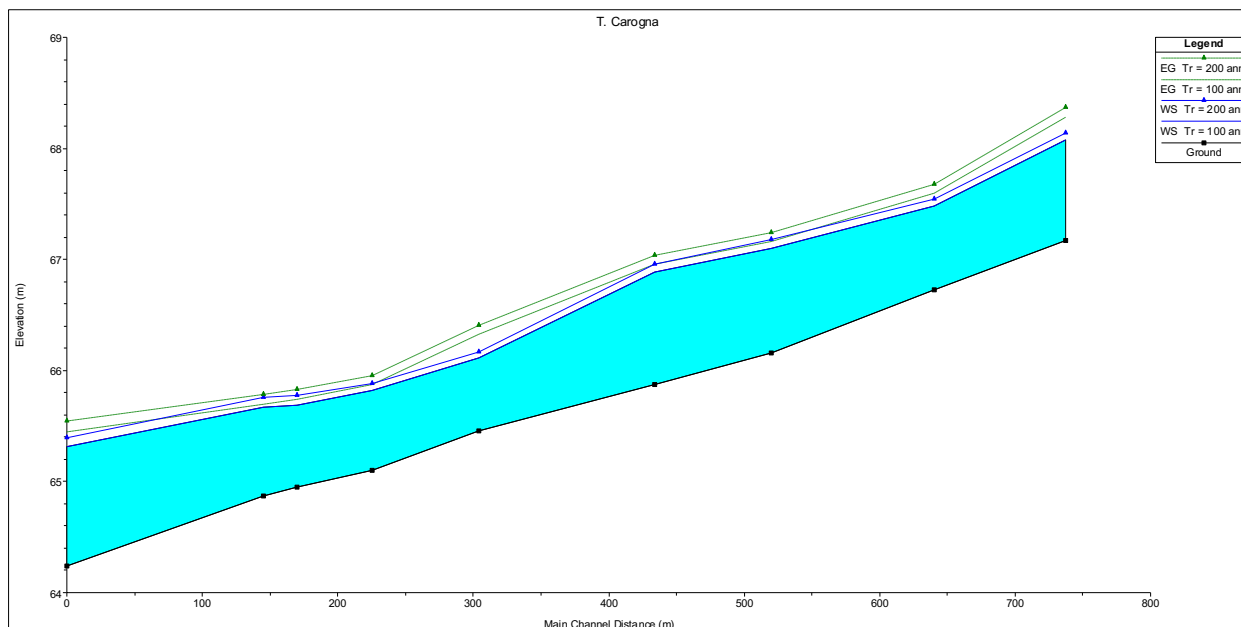


Fig. 4.2 – Profilo di moto permanente per la portata con $T = 100$ anni e $T = 200$ anni.

Nell'appendice sono riportate le sezioni trasversali del torrente Carogna con il livello calcolato nelle condizioni di moto permanente per la piena con $T = 100$ anni e per la piena con $T = 200$ anni.

5 CONCLUSIONI

Le simulazioni dei profili nelle condizioni di moto permanente mostrano che per le piene con i due valori del tempo di ritorno, i livelli idrici raggiungono approssimativamente il bordo esterno dell'area P3 secondo quanto si deduce dalla mappa di pericolosità per il reticolo secondario di pianura di cui nella figura 5.1

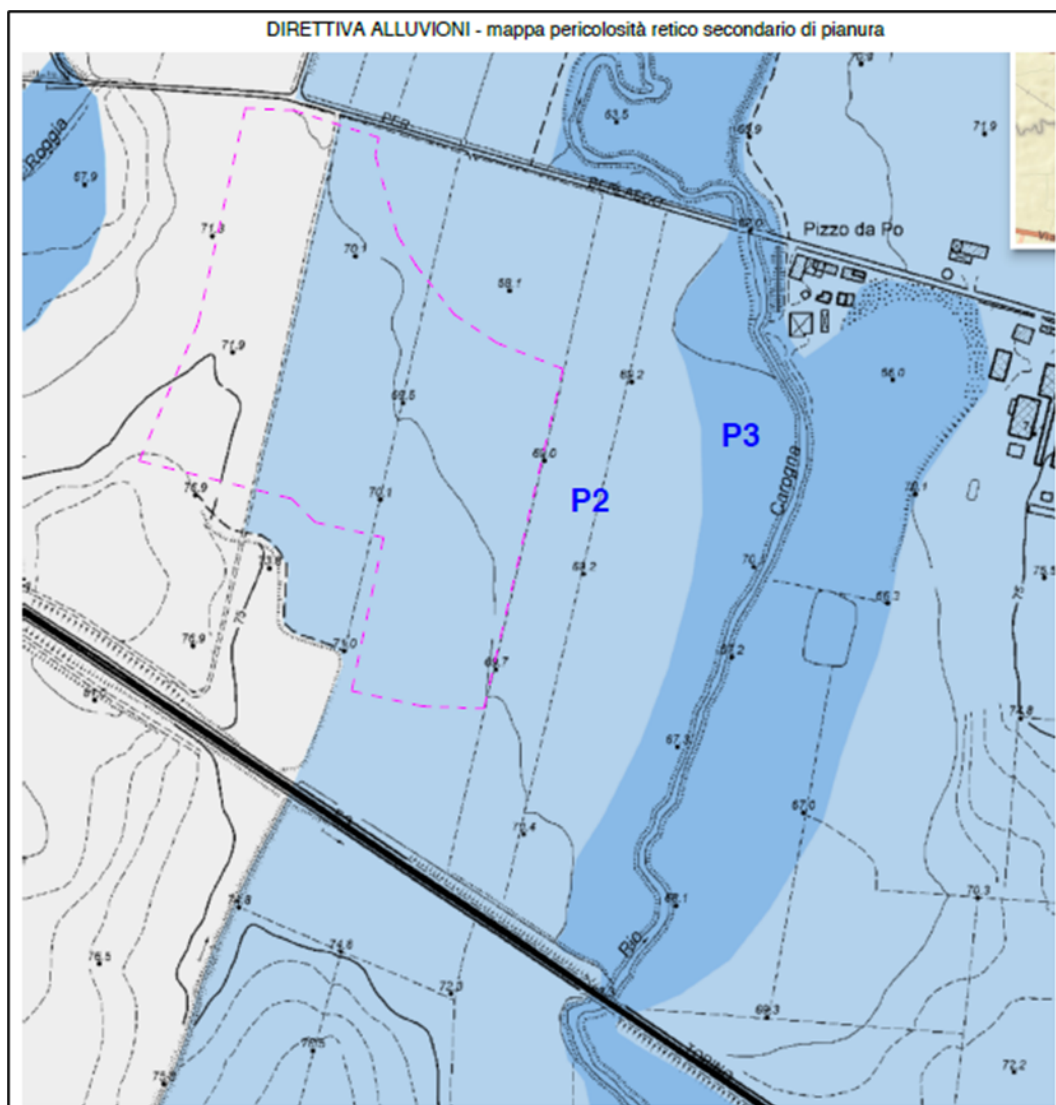


Fig 5.1 - Mappa di pericolosità per il reticolo secondario di pianura

Nella figura 5.2 è raffigurata la sovrapposizione tra la mappa di pericolosità e il limite dell'area allagata ricavata dal presente studio idraulico.



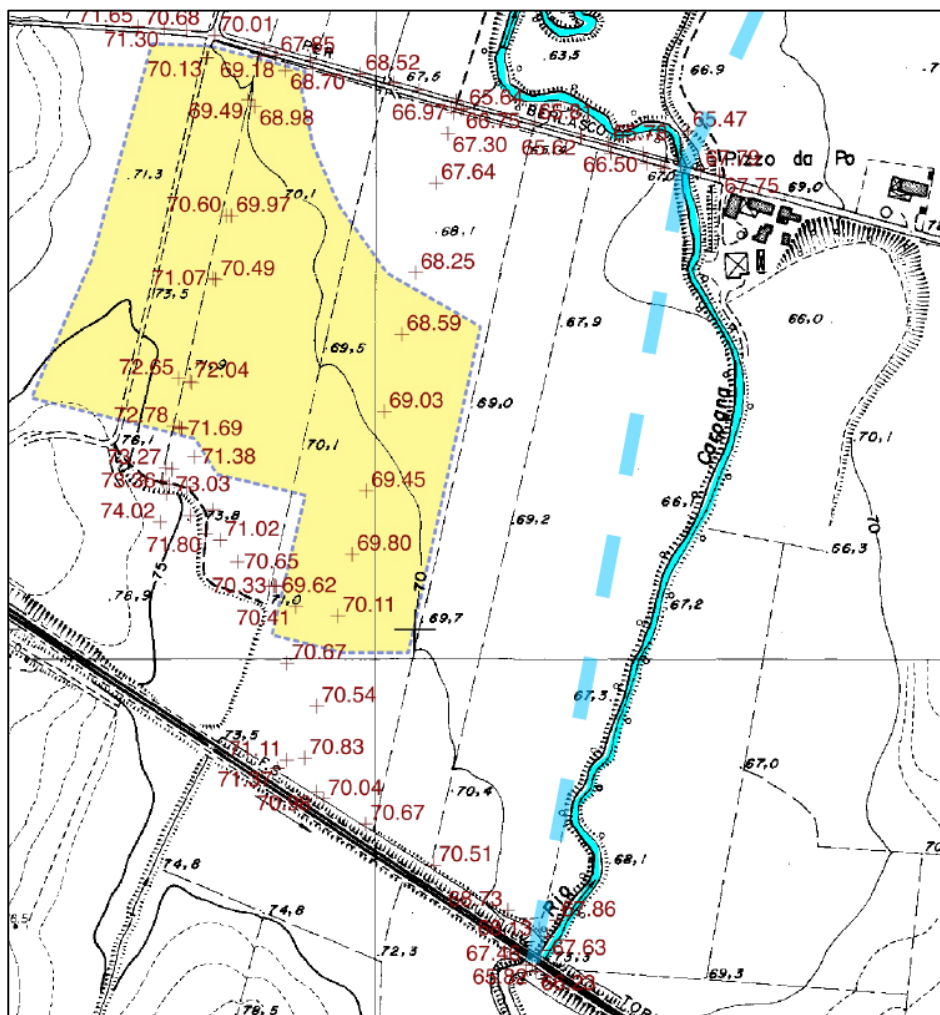
Fig 5.2 – Sovrapposizione tra la mappa di pericolosità per il reticolo secondario di pianura e il limite dell'area allagata calcolata dal presente studio idraulico

Nella figura 5.3 sono riportate le sezioni di calcolo, il confine dell'area allagata per le piene adottate e il perimetro dell'area su cui è prevista la realizzazione dell'impianto fotovoltaico.



Fig 5.3 – Individuazione della linea di confine dell’area allagata in sponda sinistra (linea gialla tratteggiata) risultante dalle simulazioni delle piene con $T = 100$ anni e $T = 200$ anni (la sezione di monte è la n. 10 e quella di valle è la n. 3. La linea dell’alveo è derivata dallo shapefile della Regione Emilia-Romagna. Foto aerea da Google)

Infine, si evidenzia che, anche rispetto al rilievo plani-altimetro della zona eseguito espressamente e riportato nella figura 5.4, le piene esaminate non raggiungono l’area sulla quale è prevista l’installazione dell’impianto fotovoltaico.



Da tutte queste evidenze e nelle condizioni rappresentate nella relazione, l'area risulta non soggetta all'allagamento per effetto dell'esondazione della piena e può essere considerata in sicurezza.

Voghera, dicembre 2022

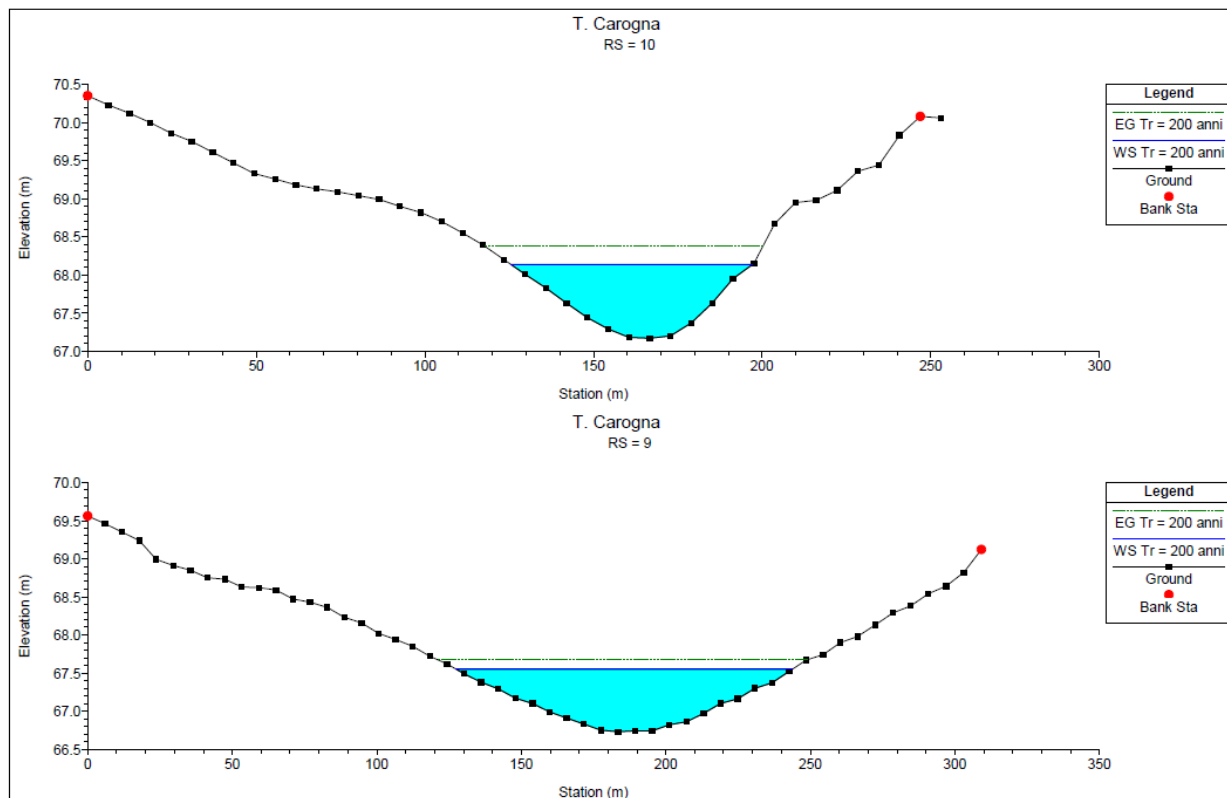
Ing. Giuseppe Barbero Ph.D.

Ordine degli Ingegneri di Pavia n.1340

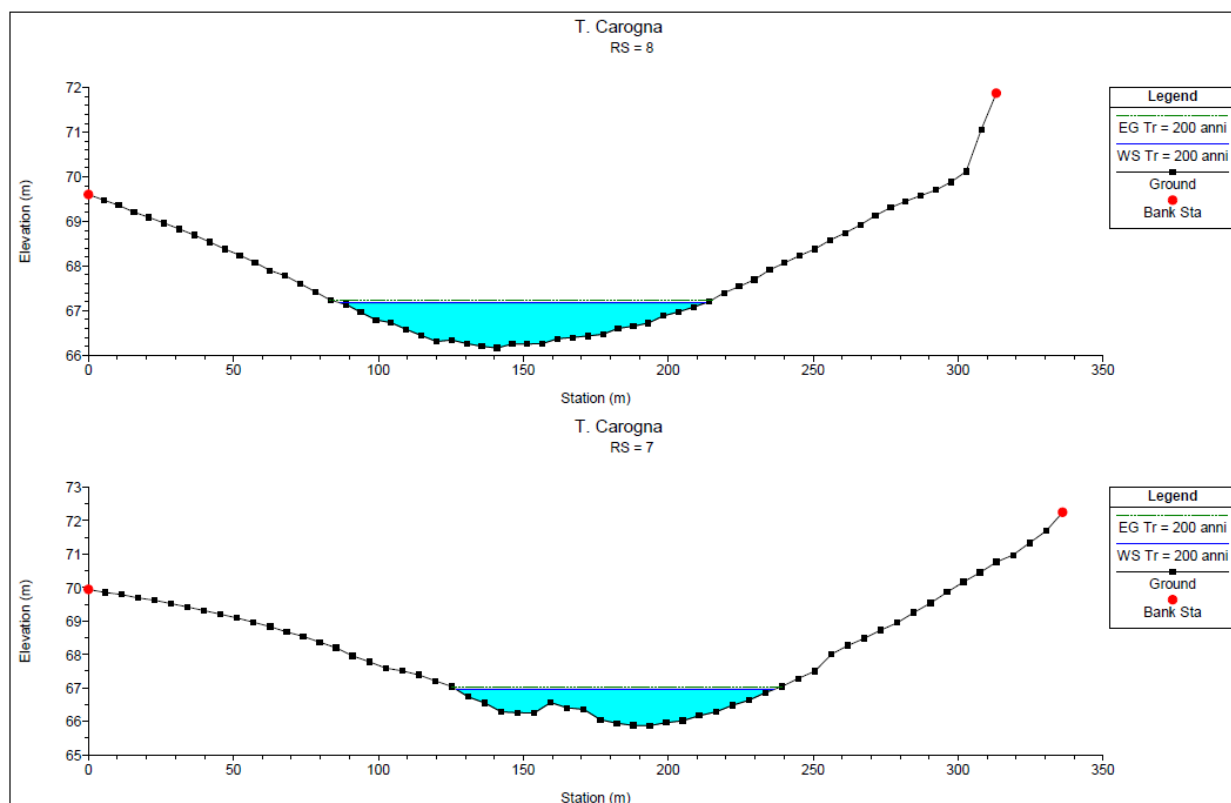
Via Kennedy, 70 – 27058 Voghera

za Kennedy, 70 – 270.

6 APPENDICE – SEZIONI DI CALCOLO



Sezioni 10 e 9

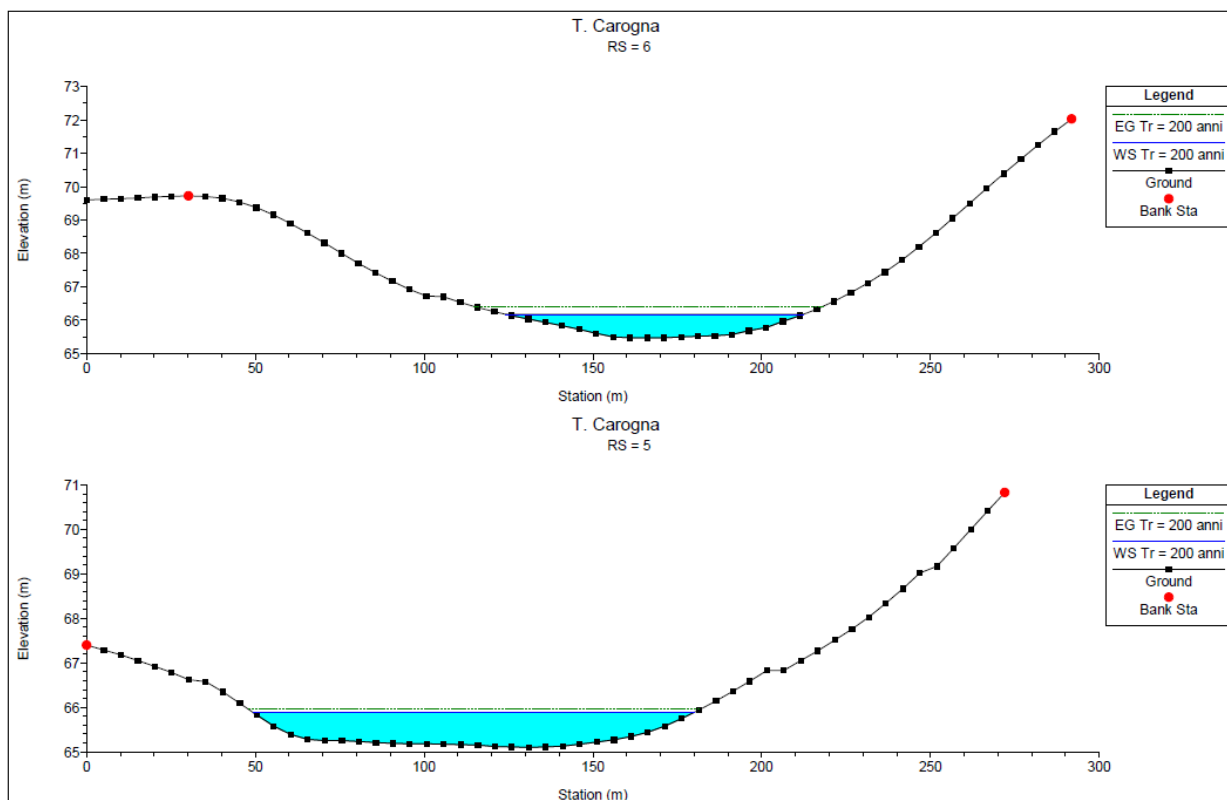


Sezioni 8 e 7

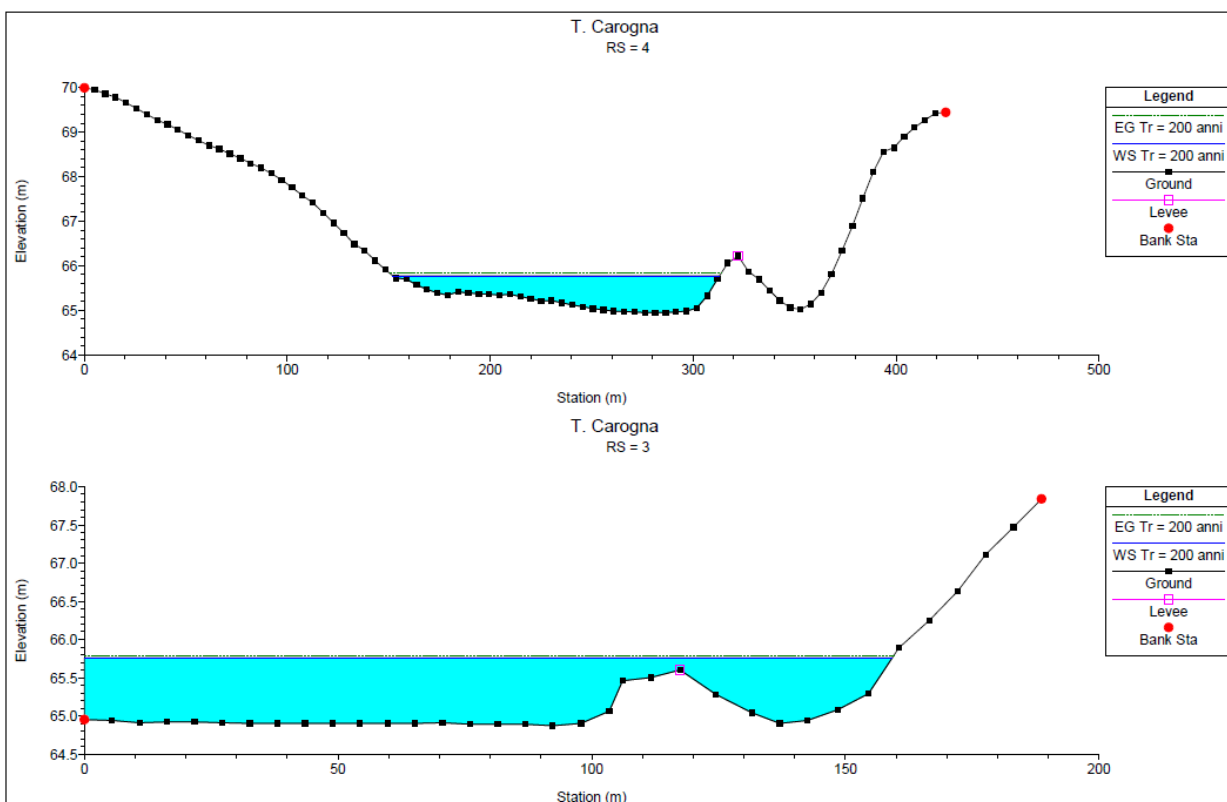
CSG Energia S.r.l.

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO PER L'APPROFONDIMENTO DELL'ASPETTO RELATIVO ALL'APPLICAZIONE DEL PGRA PER L'AREA IN ESAME E LE EFFETTIVE INTERFERENZE CON LE FASCE DI SALVAGUARDIA DEI CORPI IDRICI INTERESSATI RIO BARDONEGGIA E RIO CAROGNA.

RELAZIONE TECNICA



Sezioni 6 e 5



Sezioni 4 e 3

CSG Energia S.r.l.

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO PER L'APPROFONDIMENTO DELL'ASPETTO RELATIVO ALL'APPLICAZIONE DEL PGRA PER L'AREA IN ESAME E LE EFFETTIVE INTERFERENZE CON LE FASCE DI SALVAGUARDIA DEI CORPI IDRICI INTERESSATI RIO BARDONEGGIA E RIO CAROGNA.

RELAZIONE TECNICA