ACCORDO DI COLLABORAZIONE TECNICO-SCIENTIFICA

Tra

Direzione Generale Assessorato dei Lavori Pubblici (DGLLPP)
della Regione Autonoma della Sardegna
e
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR)
dell'Università degli Studi di Cagliari

Finalizzato allo sviluppo di attività di ricerca per l'implementazione di un supporto tecnico specialistico per l'individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014

Bacino vallivo della diga di Cucchinadorza sul fiume Taloro

ALLEGATO
I.16

Relazione

Responsabile Scientifico per DICAAR

Prof. Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni

Ing. Riccardo Zucca

Ing. Pino Frau

Cagliari, Luglio 2022

Indice

1 Premessa 3

2 La diga di Cucchinadorza sul fiume Taloro 6

2.1 Organi di scarico 8

3 Regole operative per la gestione dell'invaso 10

4 Portate di riferimento ai sensi della Direttiva P.C.M. 08/07/2014 11

4.1 Considerazioni preliminari 11

4.2 QAmax per il bacino a valle dello sbarramento di Cucchinadorza 12

4.3 Qmin per il bacino a valle dello sbarramento di Cucchinadorza 12

5 Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla diga di Cucchinadorza 13

5.1 Modello idraulico 13

5.2 Simulazione della portata QAmax 13

5.2.1 Tratto di monte 14

5.2.2 Tratto di valle 15

5.3 Simulazione della portata Qmin 15

5.4 Individuazione dei valori critici di portata 18

5.4.1 Valutazione delle portate critiche per viabilità e infrastrutture a rete 18

5.4.2 Valutazione delle portate critiche per le opere di difesa longitudinali 20

5.4.3 Valutazione delle portate critiche per elementi antropici 21

5.4.4 Sintesi dei valori critici di portata 23

6 Considerazioni conclusive 24

1 Premessa

La Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, “Indirizzi operativi inerenti all’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe”, costituisce atto di indirizzo e coordinamento per la definizione del “Documento di Protezione civile” e per i provvedimenti che le regioni devono adottare nei territori a valle delle grandi dighe. La Direttiva individua, pertanto, gli indirizzi operativi che il Documento di Protezione Civile deve contenere per stabilire le condizioni di attivazione delle fasi di allerta per le finalità di sicurezza degli sbarramenti e di gestione del rischio idraulico nei territori a valle.

In particolare, al punto 2 della Direttiva è detto che ai fini dell’obiettivo di riduzione e gestione del rischio idraulico a valle della diga, il Documento di Protezione Civile deve contenere:

- le portate massime scaricabili dagli organi di scarico alla quota di massimo invaso e la portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica (denominata QAmax) di cui al punto B) della circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806;

- i valori della/e portata/e di «attenzione scarico diga» Qmin e delle soglie incrementali ΔQ di cui al successivo punto 2.4 nella Direttiva, funzionali agli ulteriori obblighi di comunicazione del Gestore.

Si ricorda, inoltre, che con Delibera N. 33/31 del 10/06/2016, la Giunta regionale della RAS, ha evidenziato la necessità della approvazione del Documento di Protezione Civile, previsto nella sopra citata Direttiva, per le c.d. **“grandi dighe" ricadenti nella fascia di priorità 1.** Pertanto, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell’Università degli Studi di Cagliari, sulla base di un Accordo di collaborazione firmato nel novembre 2016 con la Direzione Generale Assessorato Lavori Pubblici (DGLLPP) della RAS, ha fornito supporto tecnico specialistico per l’individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe di prima fascia, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, precedentemente richiamata.

Successivamente, nel maggio 2019, è stato firmato un nuovo Accordo di Collaborazione tecnico-scientifica tra la DGLLPP - Servizio opere idriche ed idrogeologiche (SOI) e il DICAAR per l’implementazione della medesima attività di supporto tecnico specialistico per l’individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, con specifico riferimento alle **dighe di 2° Fascia**.

Come già evidenziato nella Relazioni predisposta dal DICAAR nei mese di luglio e novembre 2019, per quanto riguarda gli studi relativi alle dighe di 2° fascia si è previsto che le attività si sviluppino secondo una specifica articolazione: nella **Prima Fase**, già conclusa, sono state predisposte le Relazioni preliminari che hanno illustrato sinteticamente per le dighe di 2° fascia: 1) le caratteristiche degli sbarramenti e relativi invasi; 2) la validazione preliminare della massima portata QAmax comunicata dal Gestore della diga, transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza fluviale; 3) la valutazione preliminare della portata di attenzione Qmin.

È quindi prevista una **Seconda Fase** per la definizione conclusiva da parte del Tavolo Tecnico delle portate QAmax, Qmin e delle soglie incrementali ΔQ sulla base di **Relazioni monografiche,** come la presente**,** per ciascuna diga contenente le prescrizioni per la riduzione del rischio idraulico a valle sulla base di specifiche modellazioni idrauliche.

Si ricorda, inoltre, che le dighe di 2° fascia sono state suddivise in una **Prima Parte** e in una **Seconda Parte,** come evidenziato di seguito in Tabella 1 e in Tabella 2. Tale suddivisione è stata determinata dalla difficoltà nel reperimento e disponibilità dei dati che non ha reso possibile completare in parallelo le schede per tutte le dighe.

In definitiva, nella **Prima Parte** di studio rientrano le 19 dighe analizzate nella Relazione preliminare predisposta dal DICAAR nel mese di luglio 2019, per le quali il DICAAR disponeva già in tale data il FCEM e il valore di QAmax indicato dal gestore. La **Seconda Parte** comprende, invece, le rimanenti 21 dighe per alcune delle quali è stato possibile, peraltro, acquisire le informazioni mancanti.

Tabella 1 – Dighe di 2° fascia – I parte

Cod.	Diga	Corso d'acqua	Gestore
I.1	Monte Pranu	Rio Palmas	Enas
I.2	Bau Pressiu	Rio Mannu di Narcao	Enas
I.3	Punta Gennarta	Rio Canonica	Enas
I.4	Medau Zirimilis	Rio Casteddu	Enas
I.5	Rio Leni (Monte Arbus)	Rio Leni e rio Bidda Scema	Enas
I.6	Santa Vittoria	Fiume Taloro	Enas
I.7	Cuga	Rio Cuga	Enas
I.8	Surigheddu	Rio Quidongias	Enas
I.9	Simbirizzi	Stagno Simbirizzi	Enas
I.10	Liscia (Calamaiu)	Fiume Liscia	Enas
I.11	Santa Lucia	Rio Sa Teula	Enas
I.12	Flumineddu (Capanna Silicheri)	Rio Flumineddu	Enas
I.13	Monte su Rei	Rio Mulargia	Enas
I.14	Sa Forada	Rio Sa Forada	Enas
I.15	Benzone	Fiume Taloro	Enel Green Power S.p.A.
I.16	Cucchinadorza	Fiume Taloro	Enel Green Power S.p.A.
I.17	Gusana	Fiume Taloro	Enel Green Power S.p.A.
I.18	Olai	Rio Olai	Abbanoa S.p.A.
I.19	Sinnai (Cuili is Coccus)	Rio Santu Barzolu	Comune di Sinnai

Tabella 2 – Dighe 2° fascia – II parte

Cod.	Diga	Corso d'acqua	Gestore
II.1	Bidighinzu	Rio Bidighinzu	Enas
II.2	Monteponi	Rio Bellicai	Enas
II.3	Coxinas	Rio Coxinas	Enas
II.4	Monti di Deu	Rio Pagghiolu	Enas
II.5	Torrei	Rio Torrei	Enas
II.6	Sos Canales	Fiume Taloro	Enas
II.7	Mogoro	Rio Mogoro	Enas
II.8	Bau Muggeris	Fiume Flumendosa	Enel Green Power S.p.A.
II.9	Sa Teula	Rio Sa Teula	Enel Green Power S.p.A.

Cod.	Diga	Corso d'acqua	Gestore
II.10	Bau Mela	Rio Bau Mela	Enel Green Power S.p.A.
II.11	Bau Mandara	Rio Bau Mandara	Enel Green Power S.p.A.
II.12	Corongiu 2	Rio Bau Filixi e Rio Corr'e Cerbu	Abbanoa S.p.A.
II.13	Corongiu 3	Rio Bau Filixi	Abbanoa S.p.A.
II.14	La Maddalena (Puzzoni)	Fosso Vena Lunga e Fosso Gambino	Abbanoa S.p.A.
II.15	Caprera (Fosso Stefano)	Fosso Stefano	Sezione del Genio Militare per la Marina di Cagliari
II.16	Minghetti	Rio Istitti	Consorzio Bonifica Sardegna Centrale
II.17	Bunnari Alta	Rio Bunnari	Comune di Sassari
II.18	Perdu Mulas	Rio Bacch'e Linna	Azienda Agricola Manca di Villahermosa
II.19	Donegani	Rio Mannu di Montevecchio	Comune di Arbus
II.20	Gutturu Mannu	Rio Gutturu Mannu	Regione Autonoma della Sardegna
II.21	Rio Perdosu	Rio Perdosu	Società Progetto Esmeralda s.r.l.

Nella presente relazione sono illustrate le analisi ed i risultati della modellazione realizzata dal DICAAR per il bacino vallivo alla **diga di Cucchinadorza sul fiume Taloro, con codice I.16**. Si forniscono preliminarmente alcuni elementi descrittivi dello sbarramento e dell'invaso; quindi, si indicano le portate di riferimento, valutate ai sensi della Direttiva P.C.M. del 8 luglio 2014 e si illustrano le simulazioni idrauliche del deflusso nel tratto d'alveo a valle dell'invaso fino all'immissione nell'invaso di Benzone.

2 La diga di Cucchinadorza sul fiume Taloro

La diga di Cucchinadorza sbarra il fiume Taloro nel territorio dei Comuni di Teti e Ollolai (NU). L'opera, oltre a consentire la laminazione delle piene, assolve principalmente ai compiti di regolazione stagionale delle portate del corso d'acqua per la produzione di energia elettrica nelle centrali idroelettriche di valle. Attualmente è gestita da Enel Green Power S.p.A.

La diga, ultimata nel 1961, è del tipo a gravità in cls, è alta 51.5 m ed ha uno sviluppo al coronamento di 162 m. Lo sbarramento determina un invaso con capacità totale di invaso di 20 milioni di metri cubi.

Figura 1 – Diga di Cucchinadorza, vista da monte

Di seguito si riportano:

- l'inquadramento del bacino idrografico (Figura 2);
- le caratteristiche dello sbarramento e dell'invaso (Tabella 3);
- la curva d'invaso, fonte F.C.E.M[1]. (Figura 3).

[1] Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione (F.C.E.M.) della diga di Cucchinadorza (fiume Taloro). Direzione Generale per le Dighe, le Infrastrutture Idriche ed Elettriche. Ufficio Tecnico per le Dighe di Cagliari.

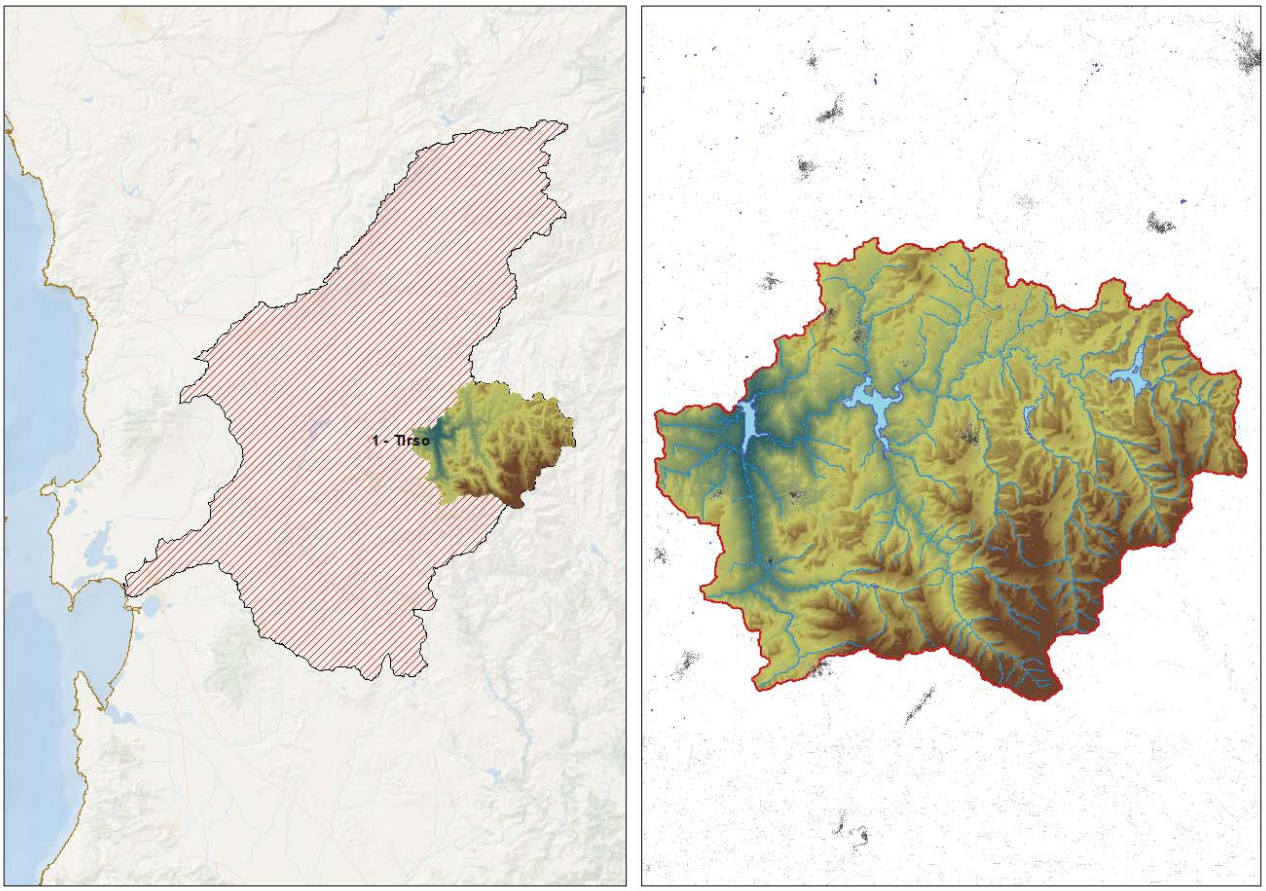

Figura 2 – Inquadramento bacino idrografico

Tabella 3 – Caratteristiche della diga di Cucchionadorza e del relativo invaso

Tipologia diga	A gravità ordinaria in calcestruzzo
Gestore	Enel Green Power S.p.A.
Altezza sbarramento	51.5 m
Quota di massimo invaso	349 m s.l.m.
Quota massima regolazione	348 m s.l.m.
Volume totale di invaso	20 x 10^6 m^3
Volume utile di regolazione	16.45 x 10^6 m^3
Superficie del bacino imbrifero sotteso	360 km^2
Organi di scarico	Scarico di superficie Scarico di fondo
Portata scaricata alla quota di massimo invaso	Totale: 2'047 m^3/s Scarico di superficie: 1'940 m^3/s Scarico di fondo: 107 m^3/s
Stato dell'autorizzazione all'invaso	Autorizzata la quota di massima regolazione

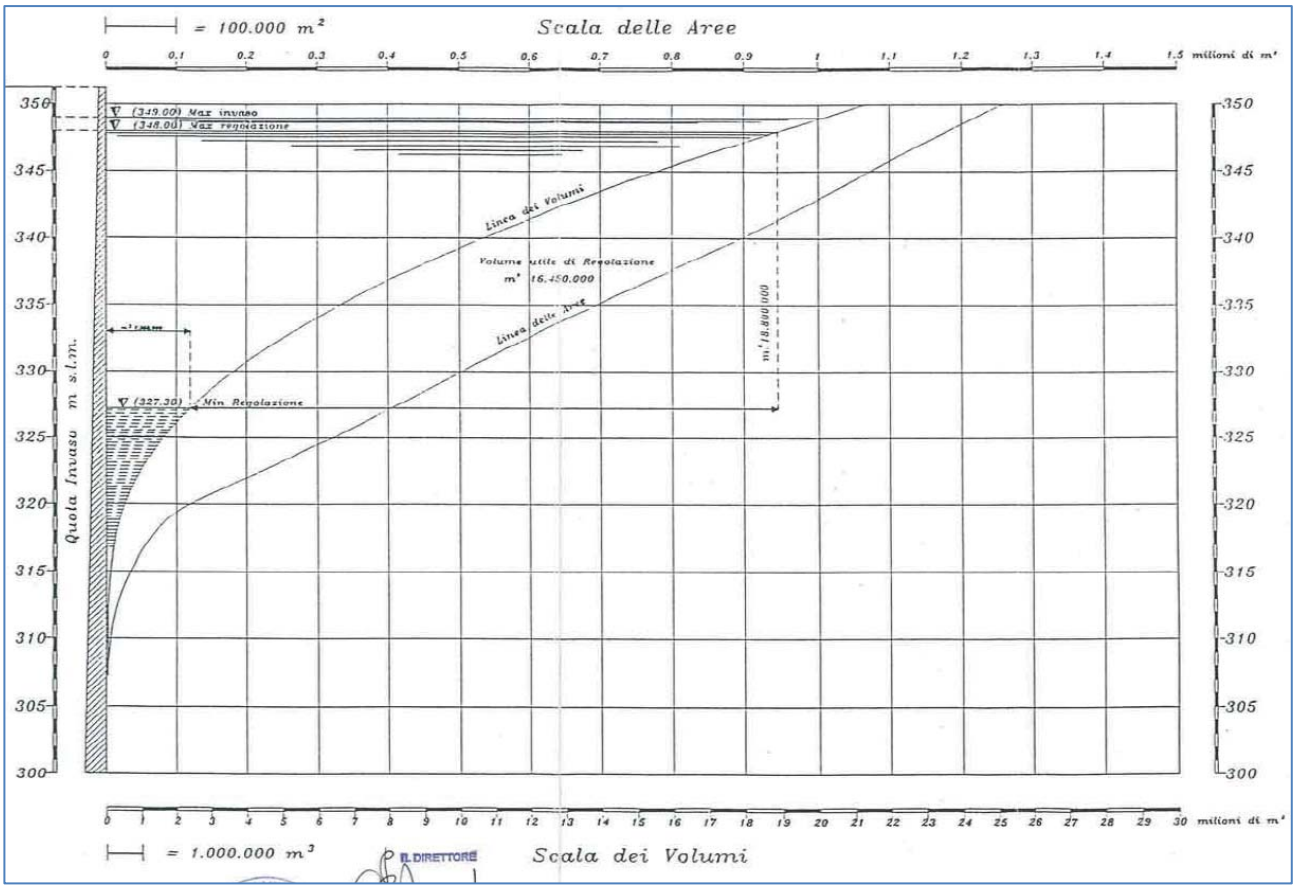

Figura 3 – Curva di invaso

2.1 ORGANI DI SCARICO

La diga è dotata di uno scarico di superficie con paratoie e di uno scarico di fondo.

Di seguito se ne riportano le descrizioni, come riportato nel F.C.E.M.

La portata scaricata con livello d'invaso a quota 349.00 m s.l.m. (quota massimo invaso) è pari a:

- dallo scarico di superficie 1'940 m^3/s;
- dallo scarico di fondo 107 m^3/s;

per un totale di 2'047 m^3/s.

Scarico di superficie

Lo scarico di superficie è costituito da 3 luci sfioranti, ricavate nella parte centrale della diga, con soglia a quota 340.00 m s.l.m. dello sviluppo complessivo di m. 36.00 m s.l.m., sormontate da paratoie autolivellanti a settore di m 12.00 x 8.00.

Di seguito si riporta la tabella, estrapolata dal F.C.E.M, delle portate effluenti da una paratoia in funzione del grado di apertura della stessa alle diverse quote d'invaso.

APERTURA PARATOIA m.	QUOTE INVASO 341.00 mc/sec	341.50 mc/sec	342.00 mc/sec	342.50 mc/sec	343.00 mc/sec	343.50 mc/sec	344.00 mc/sec	344.50 mc/sec	345.00 mc/sec	345.50 mc/sec	346.00 mc/sec	346.50 mc/sec	347.00 mc/sec	347.50 mc/sec	348.00 mc/sec
0.02	0,633	0,776	0,897	1,003	1,099	1,188	1,270	1,347	1,420	1,490	1,556	1,620	1,682	1,741	1,800
0.04	1,260	1,548	1,791	2,003	2,195	2,372	2,537	2,692	2,838	2,977	3,110	3,237	3,360	3,481	3,601
0.06	1,879	2,313	2,678	2,998	3,288	3,554	3,801	4,033	4,253	4,462	4,661	4,853	5,037	5,214	5,386
0.08	2,492	3,073	3,561	3,990	4,376	4,732	5,062	5,372	5,665	5,944	6,210	6,465	6,711	6,948	7,177
0.10	3,111	3,843	4,457	4,996	5,482	5,928	6,343	6,733	7,101	7,451	7,785	8,106	8,414	8,712	8,999
0.20	6,044	7,560	8,785	9,871	10,850	11,749	12,583	13,366	14,104	14,806	15,476	16,119	16,737	17,333	17,909
0.30	8,817	11,112	13,007	14,661	16,144	17,504	18,765	19,947	21,061	22,121	23,132	24,100	25,030	25,928	26,795
0.40	11,409	14,544	17,115	19,345	21,344	23,172	24,865	26,451	27,945	29,366	30,720	32,016	33,262	34,464	35,624
0.50	13,811	17,830	21,096	23,922	26,446	28,750	30,881	32,877	34,757	36,541	38,242	39,870	41,434	42,941	44,396
0.60	16,003	20,952	24,939	28,371	31,429	34,217	36,792	39,200	41,467	43,618	45,666	47,626	49,510	51,324	53,076
0.70	18,014	23,961	28,700	32,762	36,371	39,656	42,976	45,518	48,160	50,706	53,111	55,411	57,619	59,746	61,800
0.80	19,761	26,760	32,270	36,970	41,135	44,918	48,403	51,657	54,715	57,614	60,371	63,009	65,540	67,976	70,331
0.90	21,303	29,437	35,763	41,132	45,872	50,171	54,126	57,815	62,276	64,558	67,677	70,661	73,523	76,278	78,900
1.00	22,553	31,896	39,072	45,107	50,430	55,247	59,671	63,792	67,660	71,322	74,802	78,129	81,318	84,390	87,350
1.10															

Figura 4 - Portate effluenti da una paratoia dello scarico di superficie

Scarico di fondo

Lo scarico di fondo è costituito da due condotti in pressione ricavati nel corpo diga, ciascuno del diametro di 2.00 m e soglia di imbocco a quota 307.30 m s.l.m. i condotti sono intercettati da paratoia piana di m 1.75 x 2.25.

Presa idroelettrica

In sponda sinistra è presente l'opera di presa che alimenta la centrale idroelettrica Badu Ozzana ubicata a valle diga ubicate a valle diga, poco a monte dell'invaso di Benzone.

L'impianto ha una portata massima turbinabile di 15 m^3/s e la risorsa turbinata viene rilasciata direttamente nell'invaso di valle.

3 Regole operative per la gestione dell’invaso

La gestione attuale della diga di Cucchinadorza non prevede limitazioni di invaso, né di tipo autorizzativo né da parte del gestore.

Lo stato dell’autorizzazione all’invaso consente infatti il raggiungimento della quota di massima regolazione, pari a 348 m s.l.m.

4 Portate di riferimento ai sensi della Direttiva P.C.M. 08/07/2014

4.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Con riferimento a quanto richiesto dalla Direttiva P.C.M. del 8 luglio 2014, il Tavolo Tecnico, con verbale del 08/09/2016 e in successive riunioni, ha condiviso la definizione delle seguenti portate di riferimento:

- **QAmax** è la massima portata transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica in assenza di argini o all'interno degli argini per i fiumi arginati fino alla foce; la QAmax è riferita alla gestione ordinaria dello sbarramento;
- **Qmin** è la portata che indica il valore di attenzione del gestore della diga in fase di evento di piena;
- **ΔQ** sono i livelli incrementali rispetto a Qmin che mettono in crisi aree coltivate, edifici, cave, ecc. in fase di piena.

Il Tavolo Tecnico ha altresì convenuto che:

- il valore di **QAmax** in assenza di arginature si possa ipotizzare pari alla portata indicata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)[2] riferita alla piena ordinaria con tempo di ritorno di 2 anni e scaricata a valle in condizioni di gestione ordinaria della diga. Inoltre, procedendo verso la foce il valore di QAmax potrà essere incrementato per tener conto dei contributi idrologici dei bacini residui a valle diga. Nel caso di alveo arginato fino alla foce, la portata **QAmax** può essere determinata pari alla capacità di deflusso nella sezione idraulica definita dagli argini.
- il valore di **Qmin** è da valutarsi con riferimento ai livelli di criticità presenti lungo il corso d'acqua. Tale valore è quindi da valutare in relazione alle caratteristiche dell'opera di sbarramento analizzata e delle peculiarità dell'asta e del bacino idrografico di valle. In prima istanza, poiché il gestore attiva la fase di «allerta per rischio idraulico» quando le portate complessivamente scaricate dalla diga per mantenere le soglie di invaso previste nel piano di laminazione, inclusi gli scarichi a soglia libera e le portate turbinate (se rilevanti per entità e luogo di restituzione), superano un valore critico, si è in genere considerato un criterio di definizione del **Qmin** che fa riferimento al valore massimo scaricato in corrispondenza delle soglie di invaso previste nel piano di laminazione. Qualora il piano di laminazione non sia ancora stato redatto, si è convenuto di far riferimento alle soglie di invaso assunte come riferimento dal gestore.
- Ugualmente, i valori di **ΔQ** oltre che con riferimento a valori incrementali rispetto a Qmin che mettono in condizioni di criticità le infrastrutture presenti a valle, aree coltivate, cave, ecc. potranno essere valutati in relazione a valori di scarico dalla diga in corrispondenza di soglie predefinite di invaso e della capacità di efflusso dagli organi di scarico.

Il Tavolo Tecnico ha convenuto che, in assenza di un adeguato sistema di monitoraggio sui deflussi provenienti dal bacino residuo vallivo, la valutazione del **Qmin** e degli eventuali **ΔQ** debba necessariamente essere definito sulla base di considerazioni cautelative e debbano essere posti in relazione alle portate scaricate al superamento dei valori di soglia ammessi nell'invaso.

[2] Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello Studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.). Regione Autonoma della Sardegna

4.2 QAMAX PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI CUCCHINADORZA

Si precisa che il fiume Taloro non è stato analizzato nel PSFF e pertanto non risultano attualmente definite le limitazioni delle fasce fluviali per tale bacino ai differenti tempi di ritorno. Di conseguenza non è possibile definire la portata QAmax sulla base della piena laminata valutata nel PSFF, avente tempo di ritorno 2 anni scaricata dalla diga, criterio usualmente adottato dal Tavolo Tecnico nell'esaminare dighe e invasi già studiati in PSFF.

Preliminarmente, in questo caso, in assenza delle valutazioni di PSFF, si è ritenuto di associare alla QAmax la portata naturale, non laminata dal serbatoio, avente tempo di ritorno 2 anni. La relativa valutazione è stata fatta utilizzando la stessa metodologia di stima considerata nel PSFF, ovvero il metodo diretto basato sulla distribuzione probabilistica TCEV regionalizzata[3] alla sezione della diga, i cui parametri sono riportati in Tabella 4.

Sulla base della metodologia utilizzata in PSFF, la portata Q_{Tr2}, non laminata con tempo di ritorno 2 anni è stata stimata pari a 107 m^3/s.

Tabella 4 - Parametri TCEV e portata al colmo Tr 2 anni

Superficie bacino	A_b	[km^2]	360
Piena media annua	μ_g	[m^3/s]	165.3
Tempo di ritorno	T_R	[anni]	2
Coefficiente TCEV	K(T)	[-]	0.65
Portata al colmo Tr=2 anni	**Qc**	**[m^3/s]**	**107**

Si evidenzia che il Gestore, a riscontro della nota della DG dell'Assessorato LLPP n. 23761 del 06/07/2018, ha comunicato un valore pari a 850 m^3/s come portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica.

Tuttavia, sulla base dei criteri generali adottati dal Tavolo Tecnico ed in considerazione del valore di portata massima attesa con Tr 2 anni, anche in assenza di laminazione, si assume **QAmax = 107 m^3/s.**

4.3 QMIN PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI CUCCHINADORZA

In considerazione del valore limitato di **QAmax**, rispetto al valore indicato dal Gestore ed alla assenza di criticità vallive che richiedano limitazioni nel valore della Qmin, come sarà illustrato nel seguito, si propone al Tavolo Tecnico che per il tratto vallivo in esame si possa considerare per **Qmin** lo stesso valore di **QAmax**, pari quindi a **107 m^3/s.**

Di seguito, tramite modellazione idraulica, sarà verificata la congruità di tali assunzioni sui valori delle portate **QAmax e Qmin** in relazione ai livelli di criticità che il modello idraulico evidenzia lungo il corso d'acqua vallivo e saranno ulteriormente fornite indicazioni sui livelli raggiunti nei manufatti di attraversamento in corrispondenza dei valori di portata critica, al fine di valutare eventuali **ΔQ**, livelli incrementali rispetto a **Qmin** in fase di piena.

[3] Cao C., Sechi G.M., Becciu G. (1988). Analisi regionale per la valutazione probabilistica delle piene in Sardegna. XXI Convegno di Idraulica e costruzioni idrauliche. L'Aquila.

5 Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla diga di Cucchinadorza

Sulla base delle portate determinate nei paragrafi precedenti, si è proceduto con la simulazione idraulica al fine di valutare le aree interessate dal deflusso ed individuare eventuali ulteriori criticità.

La simulazione idraulica è stata quindi sviluppata considerando tre differenti scenari di deflusso:

- simulazione con la portata QAmax;
- simulazione con la portata Qmin;
- simulazione con incrementi ΔQ nei valori di portata al fine di individuare gli elementi a rischio nel tratto del corso d'acqua a valle della diga.

5.1 MODELLO IDRAULICO

Il modello idraulico utilizzato per la simulazione è basato sull'utilizzo del software HEC-RAS. Il modello considera un tratto fluviale di lunghezza pari a circa 17 km misurata in asse all'alveo di magra attualmente individuabile dalle orto-foto, tra la sezione iniziale, posta a valle della diga di Cucchinadorza e l'immissione sul lago di Benzone. Il corso d'acqua analizzato è stato suddiviso in 8 quadri d'unione, riportati nel dettaglio nell'allegato alla presente relazione.

Sono state inserite 389 sezioni trasversali originate dal modello digitale del terreno ottenuto con rilievi LIDAR con risoluzione spaziale di 1 m. Le infrastrutture inserite sono costituite da 1 ponte stradale.

L'asta valliva alla diga di Cucchinadorza rappresenta la parte intermedia del fiume Taloro. Dal punto di vista geomorfologico presenta per quasi tutto il tratto d'interesse un tipo di alveo monocursale, con caratteristiche differenti tra la parte di monte e la parte di valle. Le caratteristiche di deflusso delle portate simulate lungo l'asta del fiume Taloro sono descritte con riferimento alla suddivisione dell'asta in due tratti omogenei:

- tratto di monte, dalla sezione 17252 alla sezione 9334 (quadri d'unione da 5 a 8);
- tratto di valle, dalla sezione 9288 alla sezione inserita in prossimità della immissione del corso d'acqua nel Lago di Benzone (quadri d'unione da 1 a 4).

Nella Figura 5 e Figura 6 sono riportate le planimetrie del modello idraulico relativi ai tre tronchi critici omogenei dove sono raffigurate:

- le sezioni trasversali;
- il modello digitale del terreno utilizzato, il quale si estende per tutta l'area valliva alla diga con risoluzione spaziale di 1 m;
- i quadri di unione afferenti al tronco analizzato.

5.2 SIMULAZIONE DELLA PORTATA QAMAX

Come già detto nei capitoli precedenti, lo scenario di simulazione della portata QAmax è relativo alla portata laminata con tempo di ritorno biennale, considerata al fine di individuare la fascia di pertinenza fluviale. La simulazione descritta nel seguente paragrafo assume come portata tale soglia di deflusso con valore di 107 m^3/s.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, a monte è stata assunta la condizione di moto uniforme calcolata in funzione della pendenza del fondo locale del corso d'acqua assunta pari a 2.5%. La condizione al contorno di valle è posta in corrispondenza dell'immissione del corso d'acqua nel lago di Benzone ipotizzando il livello di invaso del lago pari a 151.50 m s.l.m., ovvero pari alla quota di massima regolazione

Nelle figure seguenti verranno messe in evidenza le principali differenze evidenziate lungo il corso d'acqua dove, campiti in gradazione di blu sono rappresentati i risultati della simulazione della portata QAmax.

5.2.1 TRATTO DI MONTE

Il tratto di monte si estende dalla sezione in cui è localizzata la diga di Cucchinadorza fino alla sezione n.9334 in località Utturu e Porcu. Lungo il suo corso il fiume Taloro incontra diversi affluenti, i principali sono il rio Litturi e il rio Traghinu in destra idraulica circa 3 km a valle dalla diga, mentre in prossimità dell'inizio del tratto di valle è presente il rio Dulargu affluente sinistro del corso d'acqua principale. Nelle figure seguenti sono rappresentati i quadri di unione in scala 1:5000 necessari per avere uno zoom di maggior dettaglio sull'area in studio.

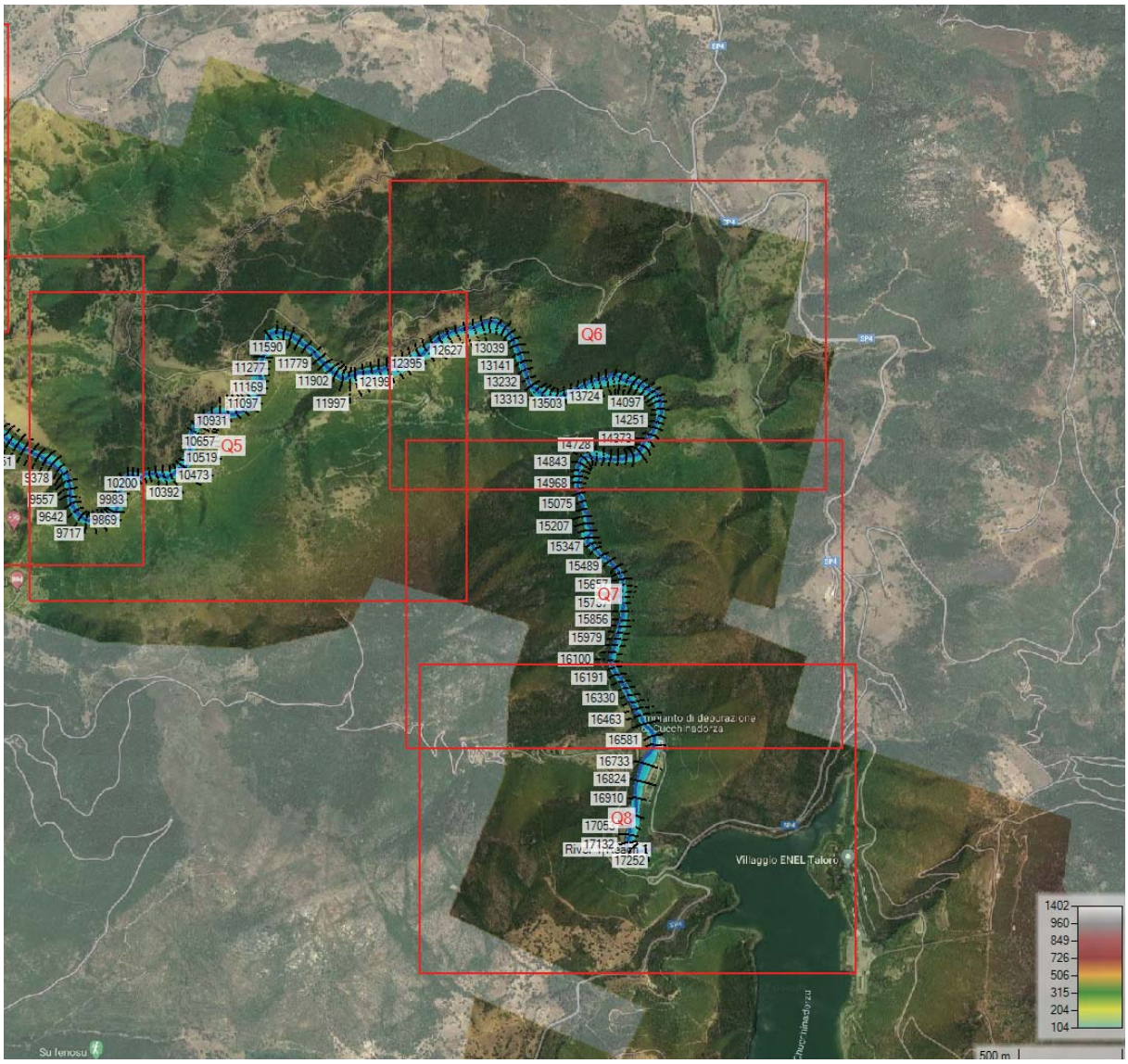

Figura 5 - Schema del modello idraulico del fiume Taloro relativo al tratto di monte

Il corso d'acqua scorre all'interno di valli strette ed incassate, in cui il fondovalle presenta limitata estensione e spesso coincide con il letto del fiume, i versanti si presentano acclivi con vegetazione abbondante ed elevata naturalità.

A circa 0.2 km dalla diga di Cucchinardorza, in destra idraulica, è presente un impianto di depurazione delle acque. Oltre a tale elemento che potrebbe essere interessato dalla piena, nel tratto di monte, il corso d'acqua non presenta ulteriori elementi di criticità.

5.2.2 TRATTO DI VALLE

Il tratto vallivo del corso d'acqua si sviluppa in un fondovalle avente una pendenza inferiore rispetto al tratto di monte, con delle piane dove il corso d'acqua si espande durante la piena. Non sono presenti insediamenti abitativi, se non alcune case sparse ad uso agro-pastorale e strade sterrate comunali che in certi punti lambiscono il corso d'acqua. Nel tratto di valle è presente un attraversamento stradale localizzato in prossimità dell'immissione del fiume Taloro nell'invaso di Benzone identificato con ID_135.

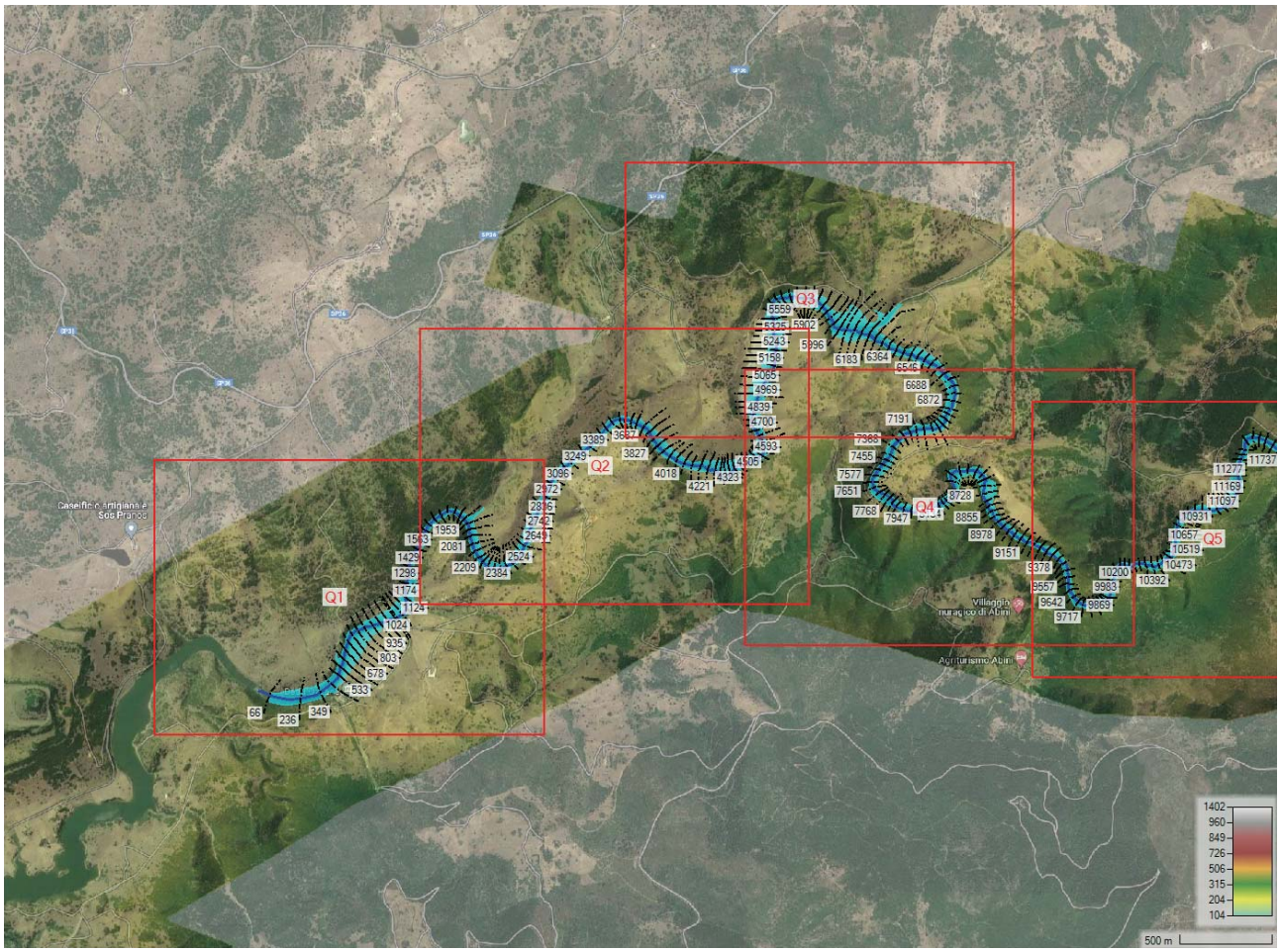

Figura 6 - Schema del modello idraulico del fiume Taloro relativo al tratto di valle

5.3 SIMULAZIONE DELLA PORTATA QMIN

La simulazione idraulica del deflusso della Qmin è stata realizzata associando a tale soglia il valore di portata pari a 107 m^3/s, ovvero lo stesso valore associato alla QAmax. Tuttavia, ai fini della verifica delle criticità nel territorio in condizioni di piena, per quanto riguarda le condizioni al contorno rispetto alla QAmax è stata

mantenuta la condizione di monte di moto uniforme, mentre a valle la restituzione sul lago di Benzone è stata considerata a quota 152.5 m s.l.m., pari alla quota di massimo invaso raggiungibile in condizioni di piena.

La mappatura della portata Qmin risulta ovviamente essere identica a quella analizzata per la QAmax nel paragrafo 5.2, fatto salvo l'aumento della sezione di deflusso a partire dalla sezione n°1700 posta a circa 1.7 km a monte dell'immissione del fiume Taloro sul lago di Benzone.

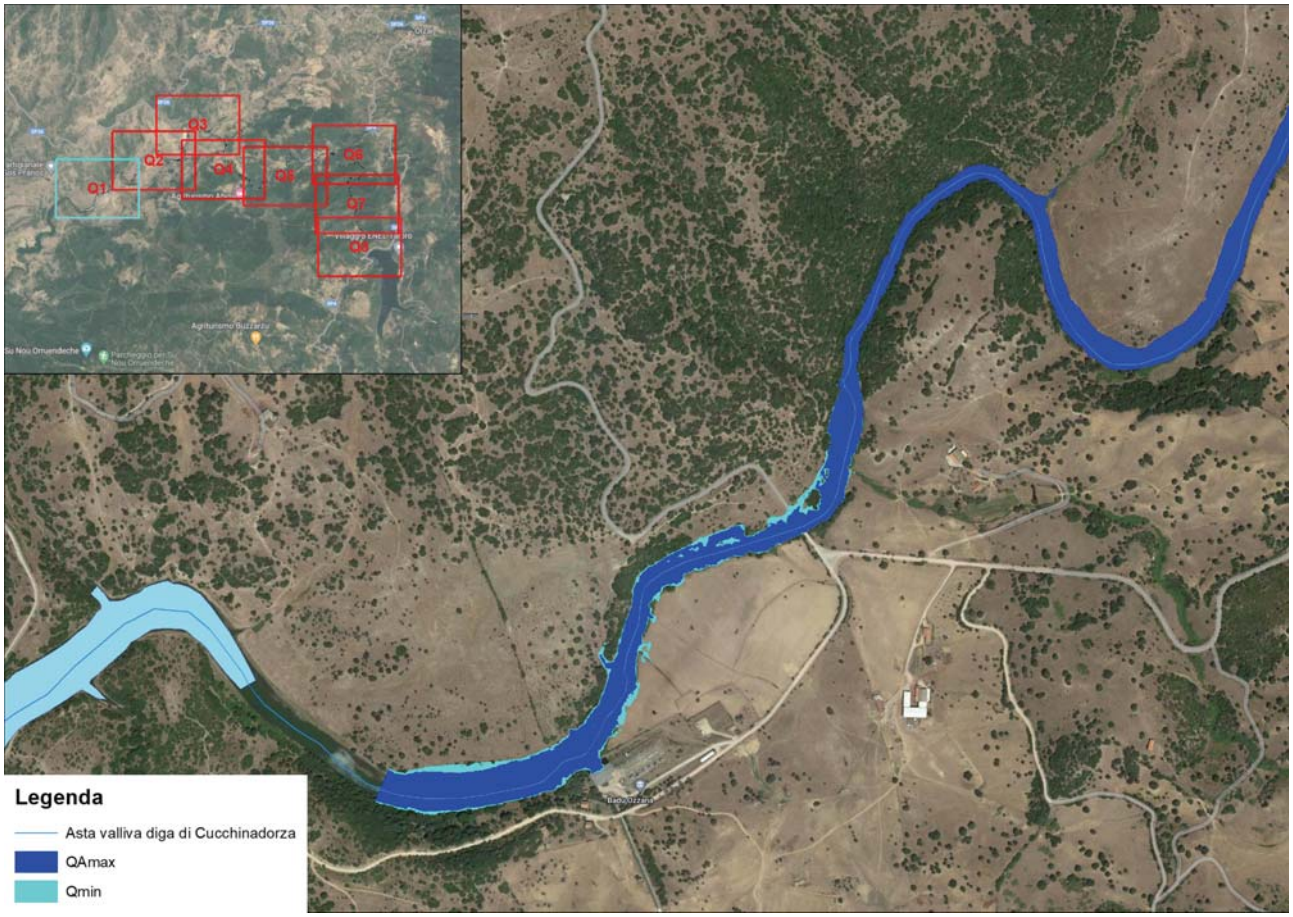

Figura 7 - Perimetrazione della portata QAmax e Qmin – Quadrante Q1

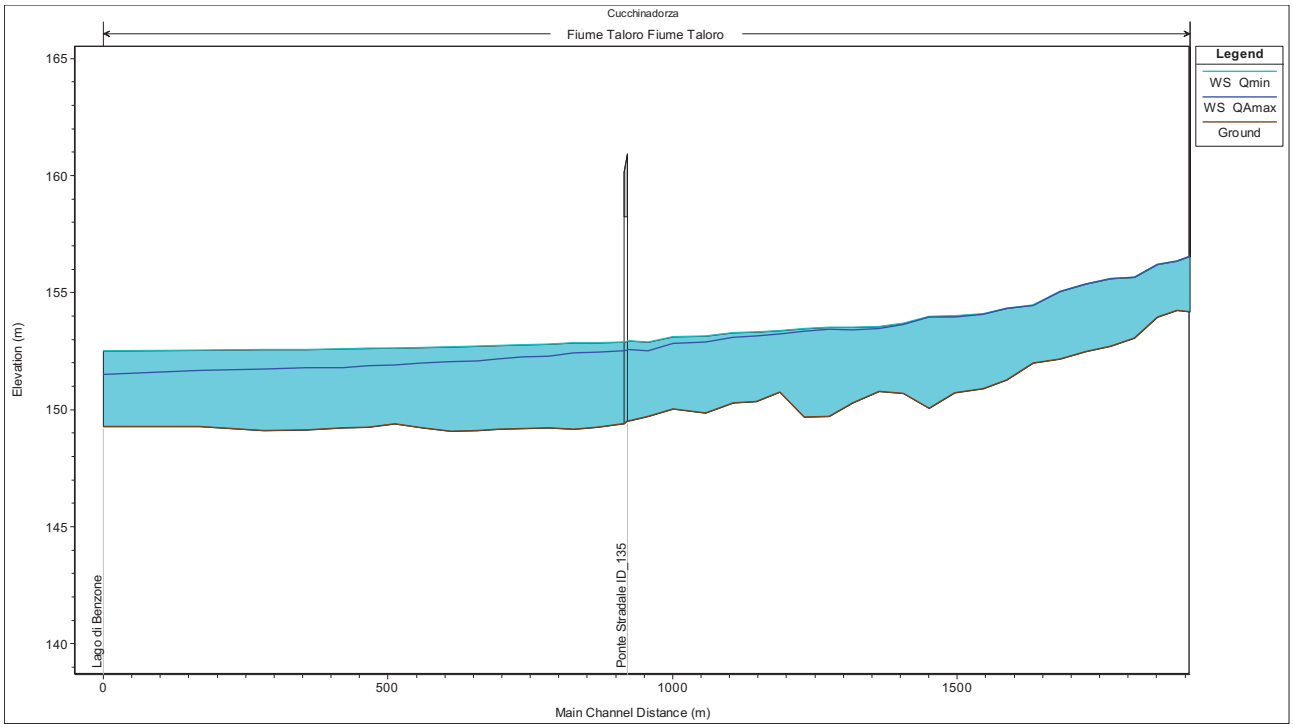

Figura 8 – Confronto profilo longitudinale relativo alla QAmax e Qmin

5.4 INDIVIDUAZIONE DEI VALORI CRITICI DI PORTATA

La simulazione idraulica per la stima delle portate critiche ha avuto come obiettivo quello di individuare gli elementi esposti al rischio idraulico al crescere della portata di deflusso, partendo dal valore di attenzione Qmin.

Gli elementi critici individuati per il corso d'acqua in esame sono stati raggruppati in tre macro insiemi:

a) attraversamenti per viabilità e infrastrutture a rete (ponti tubo);

b) opere di difesa longitudinali;

c) elementi antropici: case sparse, fabbricati rurali, cave, luoghi di culto, ecc…

Di seguito sono illustrate nel dettaglio le criticità degli elementi sopra definiti.

5.4.1 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER VIABILITÀ E INFRASTRUTTURE A RETE

Nel presente studio la valutazione della potenzialità del deflusso idrico negli attraversamenti della rete viaria è stata valutata tenendo conto di quanto prescritto dall'articolo 21 delle Norme di Attuazione del P.A.I., il quale indica i criteri da tener conto per la stima del franco idraulico affinché la portata transiti in sicurezza attraverso la luce libera dell'attraversamento.

Per ogni attraversamento vengono identificati tre valori di portata:

- Q(f) portata con franco idraulico di sicurezza;
- Q(f0) portata a franco annullato;
- Q(s) portata di sormonto dell'infrastruttura.

Di seguito, per ogni elemento analizzato si fornisce la sezione ed il profilo con indicazione dei livelli idrici delle tre portate sopra citate, oltre a quelli riferiti alle portate Qmin e QAmax.

Inoltre, per ogni attraversamento si riporta in tabella per ciascun valore di portata analizzato:

- il livello idrico in corrispondenza del ponte e della sezione di monte;
- il franco idraulico in corrispondenza del ponte e della sezione di monte.

I. Ponte ID_135 sulla strada interpoderale Teti-Benzone

Il primo e unico ponte stradale che si incontra analizzando l'asta valliva alla diga di Cucchinadorza, a circa 900 m dall'immissione del fiume Taloro nel lago di Benzone, è il ponte avente ID_135 sulla strada interpoderale Teti-Benzone visibile nella Figura 9, la cui sezione trasversale modellata su HEC-RAS è rappresentata nella Figura 10. Il ponte è stato rilevato con modalità GPS, ha una pila in alveo e due luci libere per il transito delle portate di piena. Va precisato che il modello digitale del terreno restituisce una quota diversa dell'alveo rispetto a quella rilevata con modalità GPS. Tale differenza di quota è stata gestita nel modello idraulico in modo da rendere coerente la quota attribuita alla struttura del ponte con quella del terreno e per poter garantire l'effettiva luce libera. La nuova quota dell'intradosso del ponte risulta essere pari a 158.23 m s.l.m. e le verifiche dei franchi idraulici sono state effettuate in relazione a tale valore di quota.

Figura 9 – Ponte strada sterrata ID_135 sulla strada interpoderale Teti-Benzone

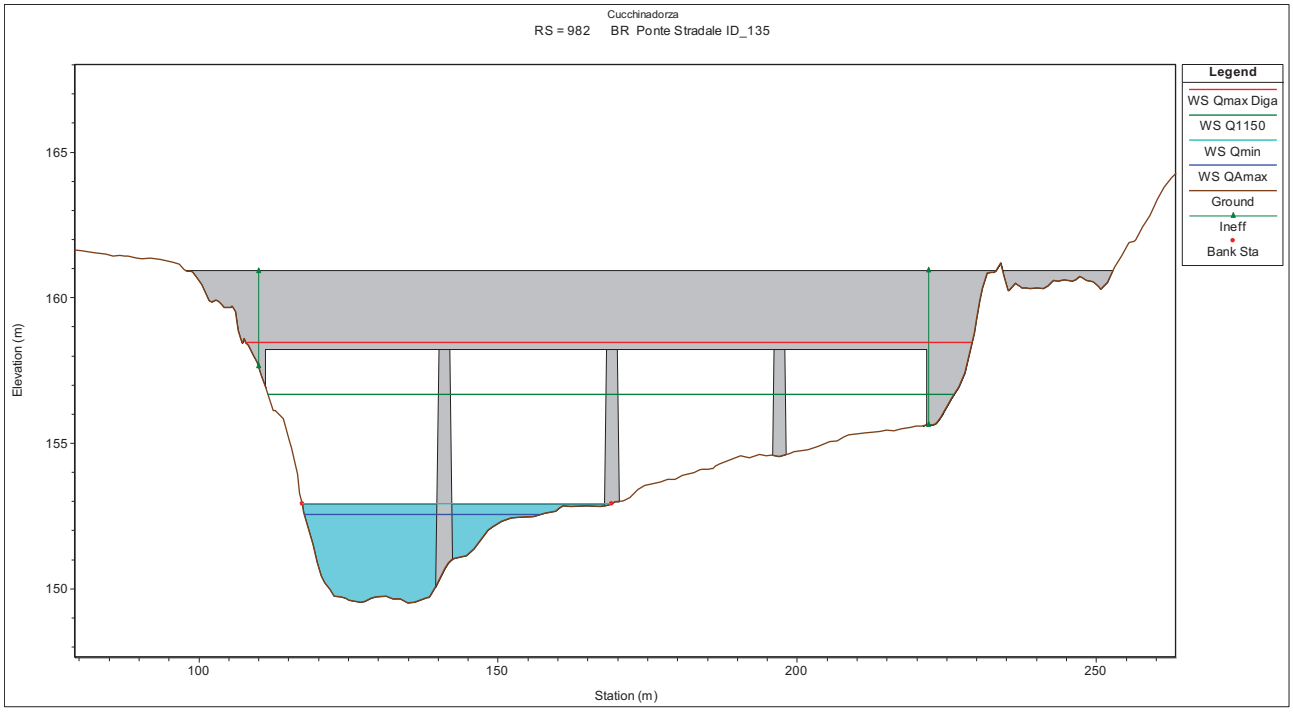

Figura 10 – Sezione del ponte su strada sterrata ID_135 sulla strada interpoderale Teti-Benzone

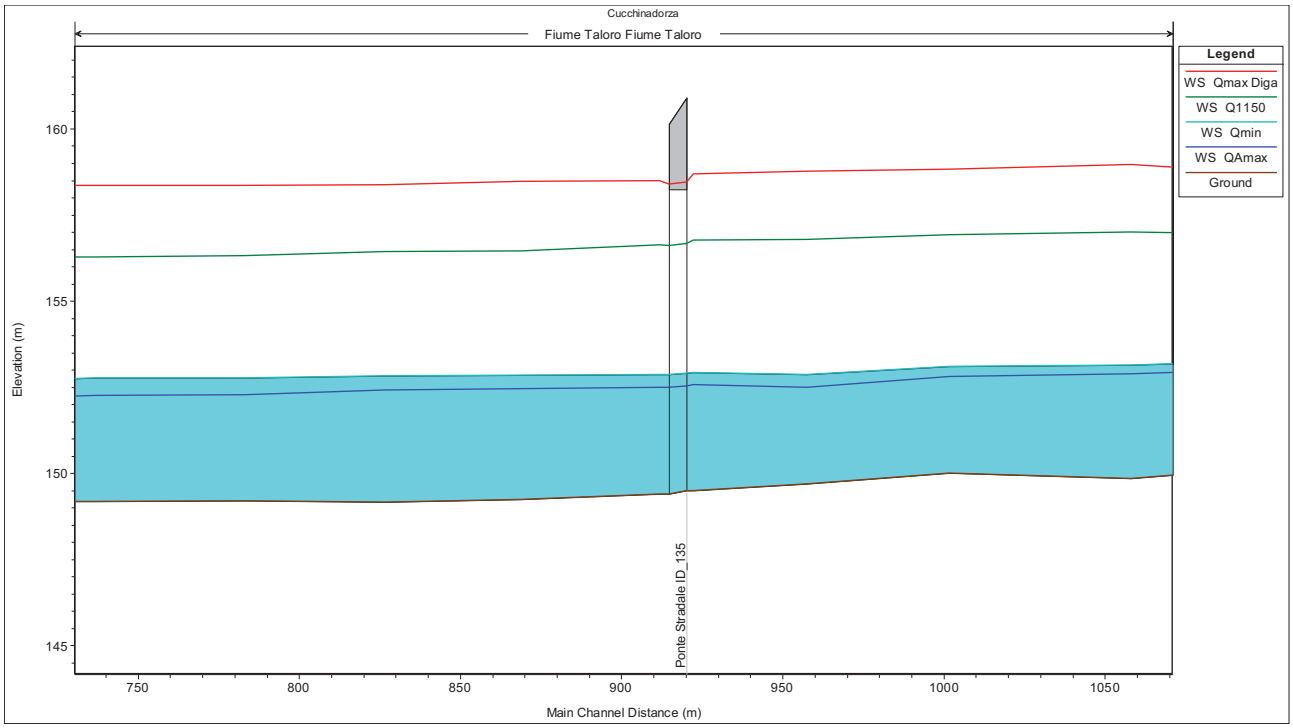

Figura 11 – Profilo di corrente Ponte su strada sterrata ID_135

Tabella 5 - Portate critiche Ponte su strada sterrata ID_135

	Portata	Quota Intradosso	Livello Idrico Ponte	Livello idrico Sezione Monte	Franco Idraulico Ponte	Franco Idraulico Sezione Monte
	(m^3/s)	(m slm)	(m slm)	(m slm)	(m)	(m)
Qmin	107	158.23	152.48	152.51	5.75	5.72
QAmax						
Q(f)	1’150		156.58	156.69	1.65	1.54
Q(f0)	2’047		157.95	158.13	0.28	0.10

In Tabella 5 sono riportate le portate critiche ed i relativi parametri caratteristici del deflusso in corrispondenza del Ponte su strada sterrata ID_135. Considerando la sezione immediatamente a monte del ponte, per via dell’elevato valore della profondità media della corrente, il valore del franco idraulico da considerare è pari a 1.54 m per una portata Q(f) pari a 1’150 m^3/s; il franco viene annullato in corrispondenza del ponte per una portata Q(f0) pari alla portata massima scaricabile dalla diga di 2’047 m^3/s.

5.4.2 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER LE OPERE DI DIFESA LONGITUDINALI

Nella valutazione delle criticità associate alla presenza di opere di difesa longitudinali (arginature) si osserva che il fiume Taloro nel suo tratto non presenta opere di difesa rilevanti.

5.4.3 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER ELEMENTI ANTROPICI

Dall'analisi del territorio interessato dal deflusso idrico tenendo conto dell'ubicazione delle case sparse o elementi antropici lungo il corso d'acqua, il primo elemento che presenta criticità è l'impianto di depurazione ubicato a valle della diga visibile nella Figura 12. Sulla base della modellazione, la portata che determina un interessamento dell'area occupata dal sedime delle vasche di trattamento è pari a 1'310 m^3/s.

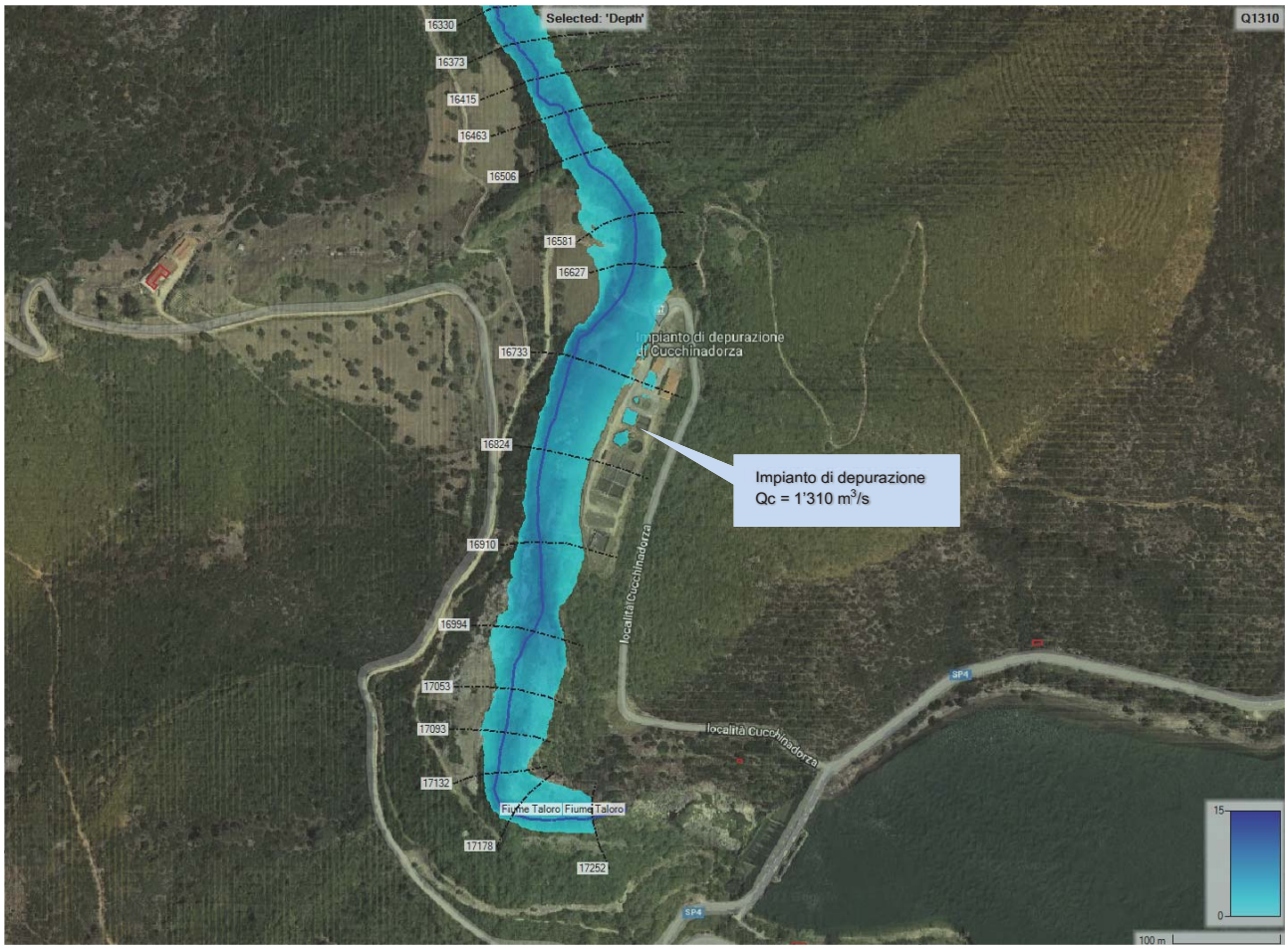

Figura 12 – Impianto di depurazione delle acque – Qc = 1'310 m^3/s

Il secondo elemento di criticità è situato quasi nell'immissione del corso d'acqua del lago di Benzone dove, in sinistra idraulica è localizzata la centrale elettrica di Badu Ozzana. Essa viene lambita dalla portata massima scaricabile dalla diga pari a 2'047 m^3/s.

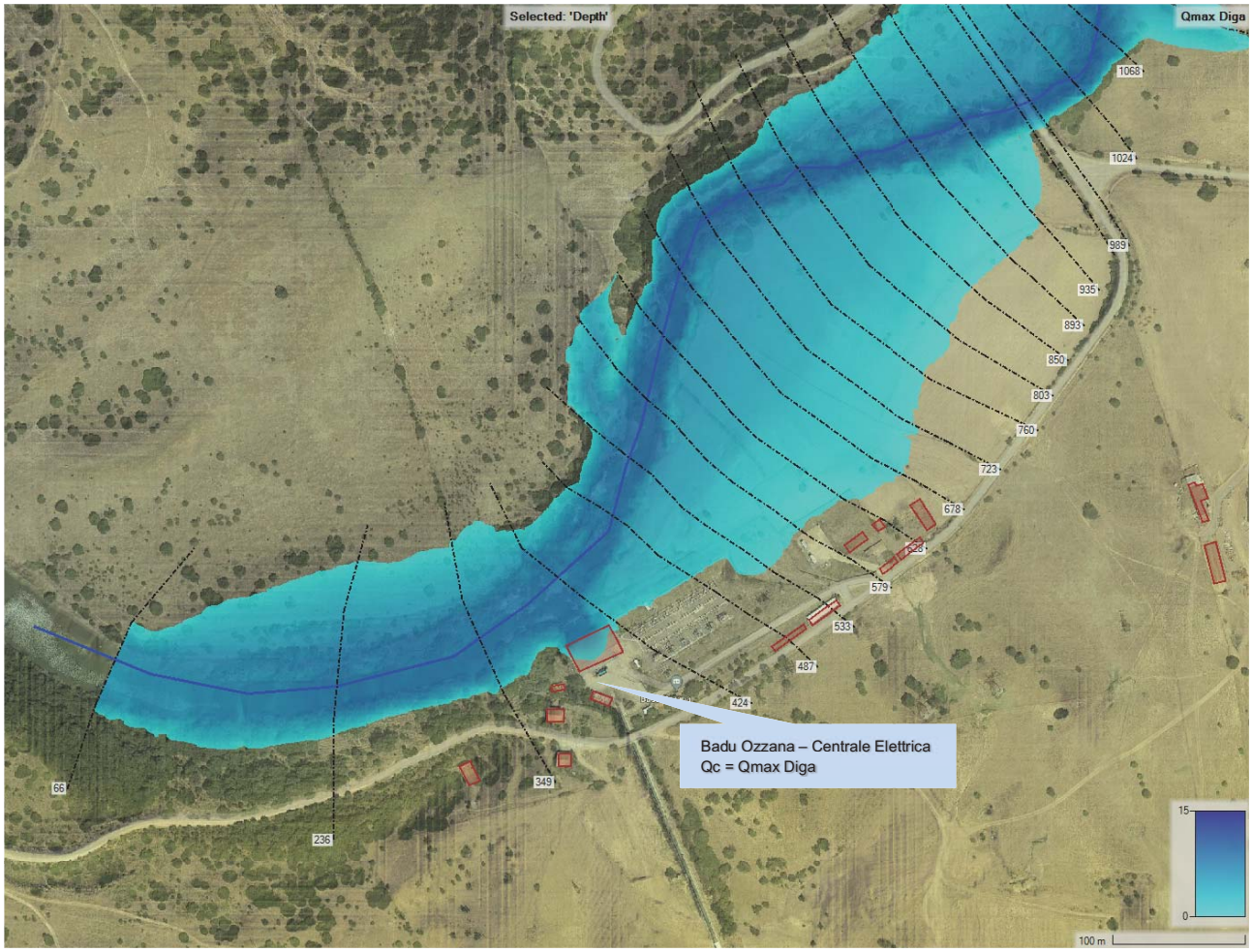

Figura 13 – Badu Ozzana – Centrale Elettrica – Qc = Qmax Diga 2'047 m³/s.

5.4.4 SINTESI DEI VALORI CRITICI DI PORTATA

Nella seguente tabella si riportano in ordine crescente i valori critici di portata descritti in precedenza.

Tabella 6 - Valori critici di portata

Portata (m^3/s)		Elemento	Criticità
Qc1	1’150	Ponte ID 135 sulla strada interpoderale Teti-Benzone	Limite Franco Idraulico Verificato
Qc2	1’310	Impianto depurazione acqua Cucchinadorza	Interessamento vasche
Qc3	2’047	Ponte ID 135 sulla strada interpoderale Teti-Benzone	Franco Nullo
Qc4	2’047	Centrale Badu Ozzana	Interessamento centrale

6 Considerazioni conclusive

Nel presente documento sono state definite le portate di riferimento per la diga di Cucchinadorza, ai sensi della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, prendendo in esame il corso del fiume Taloro compreso fra il suddetto sbarramento e la sua immissione nel lago di Benzone.

Poiché il fiume Taloro non è stato oggetto di valutazioni nel PSFF non risultano definite le limitazioni delle fasce fluviali e non è possibile associare alla portata QAmax il valore riferito alla piena laminata avente tempo di ritorno 2 anni scaricata dalla diga. È stata quindi associata alla QAmax la portata naturale QTr2, non laminata, avente tempo di ritorno 2 anni, stimata pari a **QAmax = 107 m^3/s.**

Per l'attività preventiva di Protezione Civile, con riferimento di attenzione che deve svolgere il Gestore della diga in fase di evento di piena, si ritiene che per il tratto vallivo alla diga in esame fino all'immissione nel lago di valle si possa considerare per **Qmin** lo stesso valore di QAmax, e quindi **assumere per la Qmin ugualmente la portata di 107 m^3/s**.

Per quanto riguarda le interazioni della corrente con le principali infrastrutture presenti lungo il corso del fiume Taloro, a valle della diga di Cucchinadorza fino all'immissione nel lago di Benzone, si può affermare che risultano tutte compatibili con il transito della QAmax = Qmin, ad eccezione dei guadi su strade secondarie presenti lungo il corso del fiume, potenzialmente in crisi già per portate di pochi metri cubi al secondo, per i quali occorre definire opportune procedure di messa in sicurezza nei Piani di Protezione Civile Comunali in funzione delle allerte meteo diramate dal CFD.

Per la diga di Cucchinadorza, sulla base delle analisi di modellazione idraulica riportate nella presente relazione, si propone al Tavolo Tecnico che il valore di Qmin possa essere assunto anche come valore di Qsoglia di allerta scarico. Al di sotto di tale valore non è previsto l'obbligo di comunicazione da parte del Gestore anche in caso di assenza di eventi di piena previsti o in atto, come richiesto al punto 2.5 della sopracitata Direttiva.

Si evidenzia, tuttavia, la necessità di una verifica su questo aspetto da parte degli Enti che compongono il Tavolo Tecnico, valutandone le conseguenti implicazioni non unicamente riportabili alle criticità idrauliche sopra evidenziate.

Sulla base della modellazione idraulica del corso d'acqua, si sono inoltre individuati gli incrementi di portata che mettono in crisi alcuni elementi antropici lungo il fiume in esame, a valle della diga di Cucchinadorza fino all'immissione nel lago di Benzone.

Pertanto, in relazione alla opportunità di inserire **soglie incrementali ΔQ** nei valori di portata scaricata dalla diga, al fine evidenziare la possibilità di ulteriori criticità vallive, sulla base di quanto sopra evidenziato e operando in termini cautelativi, si ritiene che si possa considerare anche il valore di portata scaricato dalla diga pari a **1'000 m^3/s**.

Si precisa che la possibilità di definire soglie incrementali **ΔQ** che tengano anche conto del contributo del bacino residuo potrà essere presa in esame solo in presenza di un adeguato sistema di previsione e monitoraggio dei deflussi, purtroppo ancor oggi non disponibile nel bacino vallivo del fiume Taloro.