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 Sa Teula sul rio Sa Teula

ALLEGATO
II.10

Relazione

Responsabile Scientifico per DICAAR

Prof. Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni

Ing. Riccardo Zucca

Ing. Pino Frau

Cagliari, Marzo 2022

Indice

1 Premessa 3
2 La Diga di Sa Teula sul rio di Sa Teula 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 Sa Teula 12
4.3 Qmin per il bacino a valle dello sbarramento di Sa Teula 13
5 Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla Diga di Sa Teula 14
5.1 Modello idraulico 14
5.2 Simulazione della portata QAmax 15
5.3 Simulazione della portata Qmin 21
5.4 Individuazione dei valori critici di portata 22
5.4.1 Valutazione delle portate critiche per viabilità e infrastrutture a rete 22
5.4.2 Valutazione delle portate critiche per elementi antropici 30
5.4.3 Sintesi dei valori critici di portata 31
6 Considerazioni conclusive 34

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 Tirso	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 Tirso	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.
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 Sa Teula sul rio Sa Teula, con codice II.9**. 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 dello sbarramento.

2 La Diga di Sa Teula sul rio di Sa Teula

La diga di Sa Teula sbarra il rio Sa Teula nel territorio del Comune di Villagrande Strisaili (NU). L'opera assolve ai compiti di regolazione giornaliera a scopo idroelettrico ed è attualmente gestita da Enel Green Power.

La diga, ultimata nel 1949, è del tipo muraria a gravità ordinaria. È alta 26.20 m ed ha uno sviluppo al coronamento di 104 m. Lo sbarramento determina un invaso con capacità totale di invaso di 140'000 metri cubi.

Figura 1 – Diga di Sa Teula, vista da valle

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 Sa Teula (rio Sa Teula). Direzione Generale per le Dighe, le Infrastrutture Idriche ed Elettriche. Ufficio Tecnico per le Dighe di Cagliari.

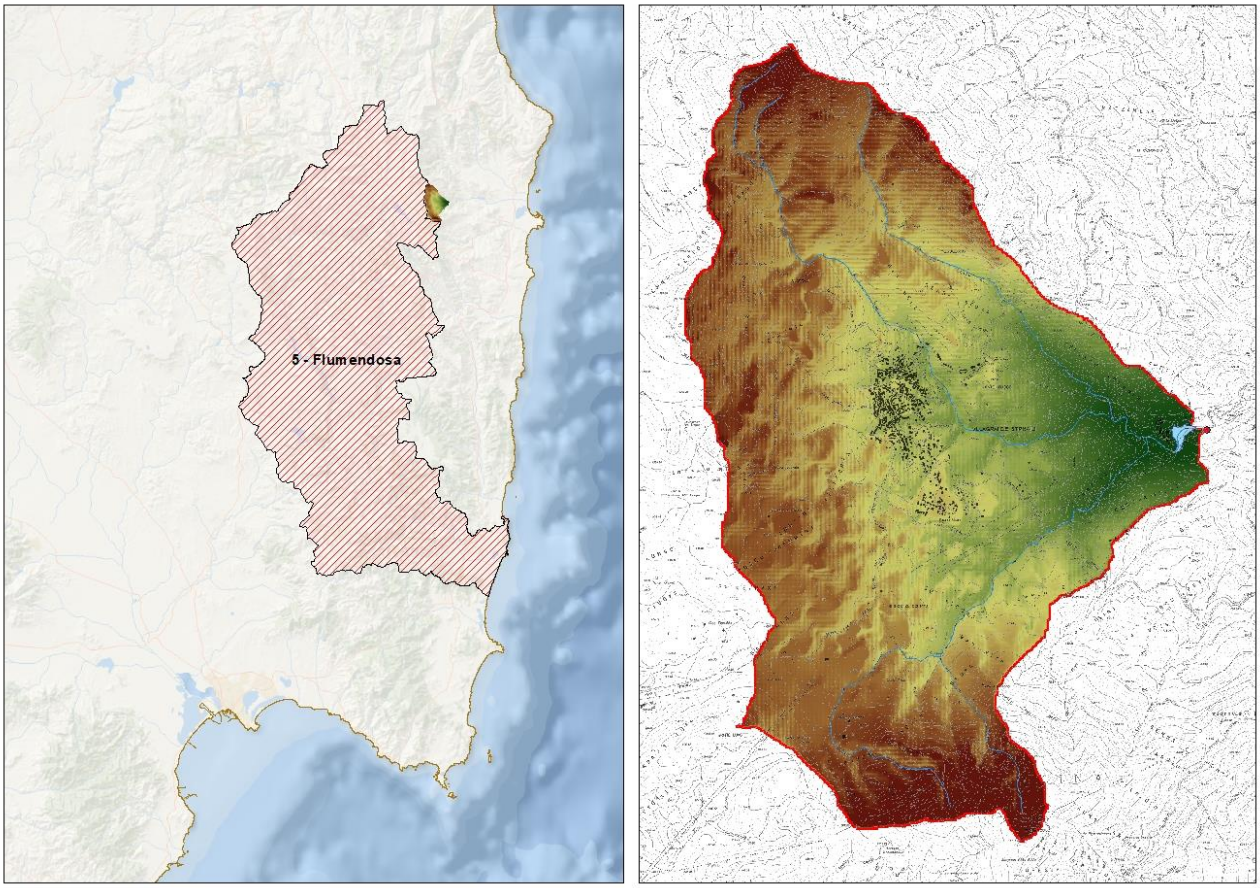

Figura 2 – Inquadramento del bacino idrografico

Tabella 3 – Caratteristiche principali della Diga di Sa Teula e relativo invaso

Tipologia diga	A gravità ordinaria in calcestruzzo
Gestore	Enel Green Power S.p.A.
Altezza sbarramento	21.7 m
Quota di massimo invaso	240.9 m s.l.m.
Quota massima regolazione	239.5 m s.l.m.
Volume totale di invaso	0.14 x 10^6 m^3
Volume utile di regolazione	0.08 x 10^6 m^3
Superficie del bacino imbrifero sotteso	15.2 km^2
Organi di scarico	Scarico di superficie libero e con paratoia Scarico di fondo
Portata scaricata alla quota di massimo invaso	Totale: 432 m^3/s Scarico di superficie libero: 154 m^3/s Scarico di superficie con paratoia: 220 m^3/s Scarico di fondo: 58 m^3/s
Stato dell'autorizzazione all'invaso	Autorizzata la quota di massima regolazione

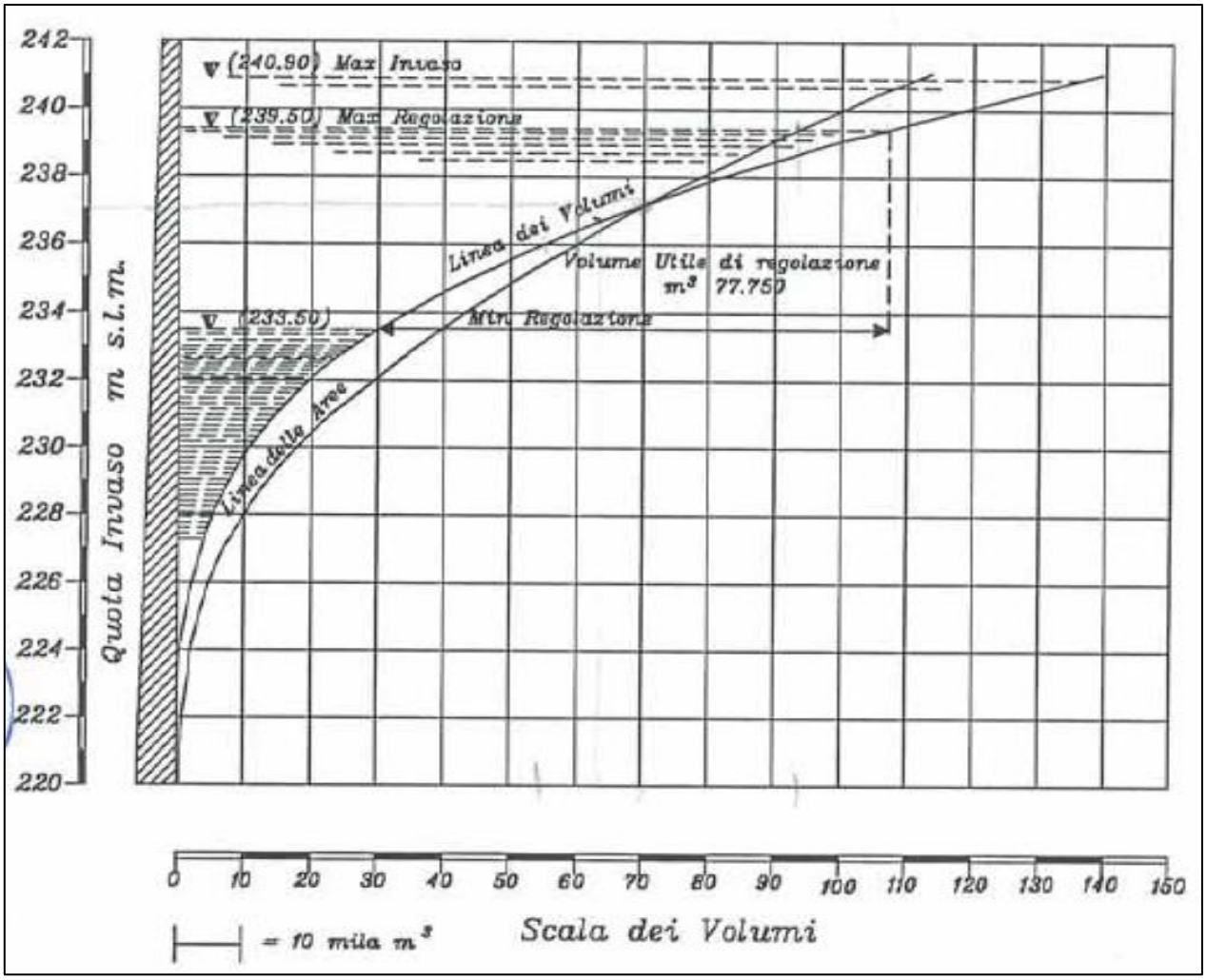

Figura 3 – Curva di invaso

2.1 ORGANI DI SCARICO

La diga è dotata di uno scarico di superficie sia libero che con paratoia 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 240.90 m s.l.m. (quota massimo invaso) è pari a:

- dallo scarico di superficie libero 154 m^3/s;
- dallo scarico di superficie con paratoia 220 m^3/s;
- dallo scarico di fondo 58 m^3/s;

per un totale di 432 m^3/s.

Scarico di superficie

Lo scarico di superficie è costituito da una luce ampia 12 m, con soglia a quota 236.50 m, ricavata nella parte centrale della diga e chiusa da una paratoia autolivellatrice a settore di altezza 3 m. Ad essa sono affiancate 3 luci libere in destra e 12 in sinistra, ciascuna dell'ampiezza di 3 m con soglia a quota 239.50 m s.l.m.

La paratoia, oltre che automaticamente, si può sollevare tramite catena ed argano elettrico.

L'andamento delle portate scaricate dallo scarico di superficie, ipotizzando la paratoia completamente sollevata, in funzione della quota d'invaso è riportato nella seguente figura. Nel F.C.E.M. non è invece riportato l'andamento delle portate scaricate in funzione del grado di apertura della paratoia.

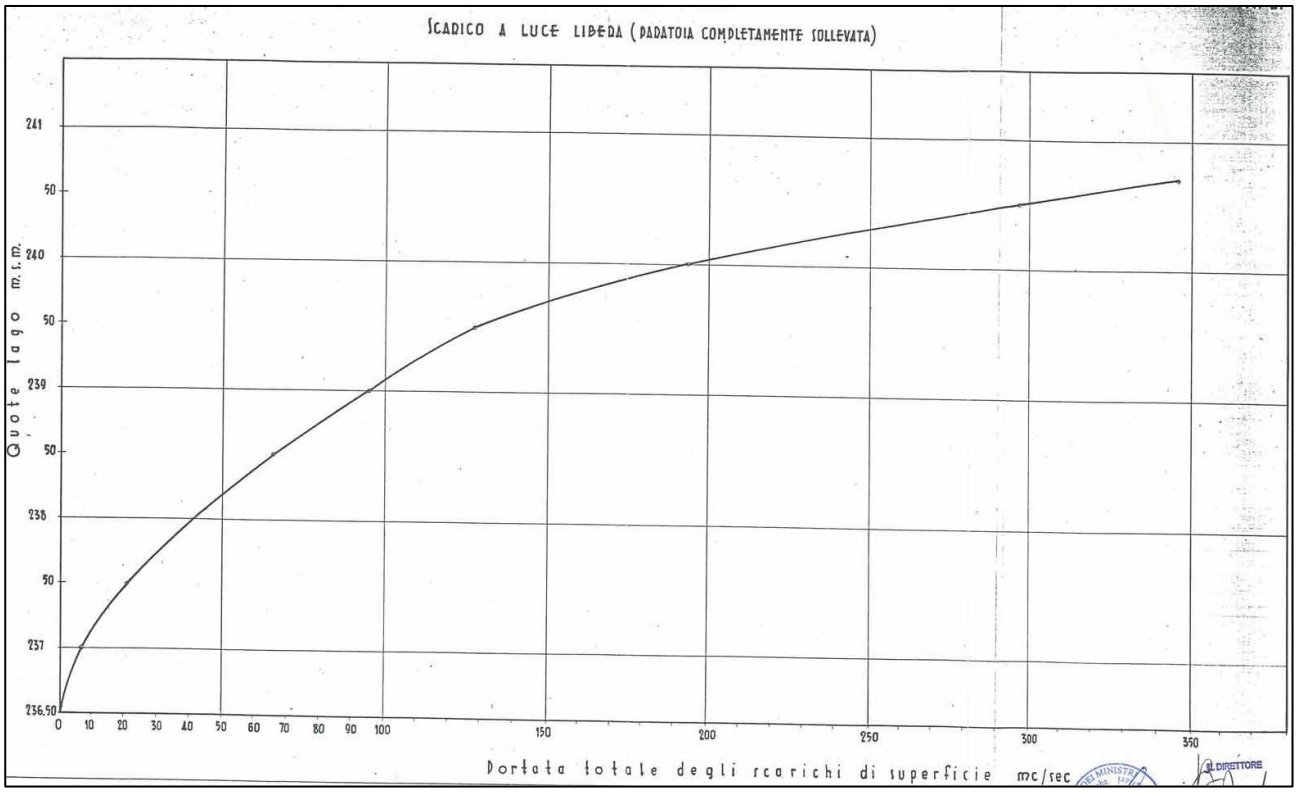

Figura 4 – Portate effluenti dallo scarico di superficie

Scarico di fondo

Lo scarico di fondo è costituito da una galleria ricavata nella sponda destra con sezione di m 2.5 x 2.5 e con soglia di imbocco a quota 232.50 m s.l.m., intercettata a monte da una paratoia piana a strisciamento.

Non si dispone di informazioni sulle portate scaricate in funzione della quota di invaso.

3 Regole operative per la gestione dell'invaso

La gestione attuale della diga di Sa Teula 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 239.50 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 verbali 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.

[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

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.

4.2 QAMAX PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI SA TEULA

Si evidenzia che il tratto iniziale del rio Sa Teula, dove è localizzata l'omonima diga, non è stato analizzato nel PSFF e pertanto non risultano attualmente definite le limitazioni delle fasce fluviali per tale porzione di bacino ai differenti tempi di ritorno. Di conseguenza, non è possibile definire la portata QAmax sulla base della piena laminata scaricata dalla diga valutata nel PSFF, avente tempo di ritorno 2 anni, criterio usualmente adottato dal Tavolo Tecnico nell'esaminare le dighe e gli invasi già studiati in PSFF.

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 per i bacini di piccole dimensioni, il metodo di stima indiretto basato sulla stima delle piogge critiche e l'applicazione della Formula Razionale per la stima della portata al colmo di piena alla sezione della diga con approccio SCS- CN per la stima delle perdite.

In Tabella 4 sono riportati i dati morfologici del bacino utilizzati per l'applicazione del metodo indiretto.

Tabella 4 - Dati morfologici del bacino idrografico e stima della portata al colmo con Tr 2 anni

Superficie bacino	A_b	[km^2]	15.15
Lunghezza dell'asta principale	L_a	[km]	6.20
Quota media del bacino	z_m	[m.s.l.m.]	815.33
Quota della sezione di chiusura del bacino	z_0	[m.s.l.m.]	220.00
Curve Number (SCS)	CN III	[-]	84.92
Perdita Iniziale	Ia	[mm]	9.02
Massimo volume di ritenzione	S	[mm]	45.11
Coefficiente di riduzione areale	ARF	[-]	0.91
Pendenza media del bacino	i_b	[%]	34.15
Sottozona Omogenea	SZO		3.00
Tempo critico di Pioggia	τ	[h]	1.29
Pioggia indice giornaliera	μ_g	[mm]	135.00
Tempo di ritorno	T_R	[anni]	2.00
Coefficiente TCEV	$a(\mu_g,T_R)$	[-]	26.49
Esponente TCEV	$n(\mu_g,T_R)$	[-]	0.51
Altezza di precipitazione	$h(\tau)$	[mm]	30.14
Intensità media di precipitazione	$i(\tau)$	[mm/h]	23.41
Coefficiente di afflusso	φ	[-]	0.22
Portata al colmo Tr=2 anni	**Qc**	**[m^3/s]**	**20.00**

La portata naturale Q_{Tr2}, non laminata e con tempo di ritorno 2 anni, è stata quindi stimata pari a 20 m^3/s.

Si evidenzia che il Gestore Enel Green Power, con nota Prot. 24499 del 30/09/2019 inviata via PEC a riscontro della nota della DG dell'Assessorato LLPP n. 23843 del 24/07/2019, ha comunicato un valore pari a 50 m^3/s come portata massima transitabile in alveo senza esondazione a valle dello sbarramento.

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 = 20 m^3/s.**

Poiché nella situazione attuale si è in assenza di un sistema di monitoraggio degli apporti nel bacino residuo, vallivo alla diga, si è ritenuto cautelativo assumere QAmax costante nell'asta valliva e pari alla portata in uscita dalla diga di 20 m^3/s fino all'invaso di Santa Lucia, ubicato a valle dello sbarramento in esame.

Tale assunzione è giustificata anche in considerazione del fatto che la portata QAmax è riferita alla gestione ordinaria della diga, ai soli fini della definizione della pertinenza idraulica, e quindi in assenza di un evento di piena eccezionale che determini un significativo incremento della portata a valle.

4.3 QMIN PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI SA TEULA

In considerazione del valore limitato di **QAmax** 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 **20 m^3/s.**

Di seguito, tramite modellazione idraulica, sarà verificata la congruità di tali assunzioni sui valori delle portate **QAmax = Qmin** in relazione ai livelli di criticità che il modello idraulico evidenzia lungo il corso d'acqua vallivo.

Con la modellazione idraulica si valuteranno, inoltre, i valori incrementali **ΔQ,** rispetto a Qmin, che mettono in condizioni di criticità le infrastrutture presenti a valle.

5 Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla Diga di Sa Teula

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 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 6.3 km misurata in asse all'alveo di magra attualmente individuabile dalle orto-foto, tra la sezione iniziale, posta circa 50 metri a valle della diga di Sa Teula e l'immissione sull'invaso determinato dalla diga di Santa Lucia. Sono state inserite 393 sezioni trasversali originate dal modello digitale del terreno ottenuto con rilievi LIDAR con risoluzione spaziale di 1 m. Le infrastrutture inserite sono costituite da due ponti stradali.

Le caratteristiche di deflusso delle portate simulate lungo l'asta del rio Sa Teula sono descritte con riferimento al quadro di unione mostrato nella Figura 5 nella quale è riportata la planimetria del modello idraulico dove sono raffigurate:

- le sezioni trasversali;
- il modello digitale del terreno utilizzato, il quale si estende per tutta l'area valliva alla diga di Sa Teula con risoluzione spaziale di 1 m;
- il quadro di unione il quale permette di effettuare uno zoom di dettaglio sull'area analizzata nel presente studio;

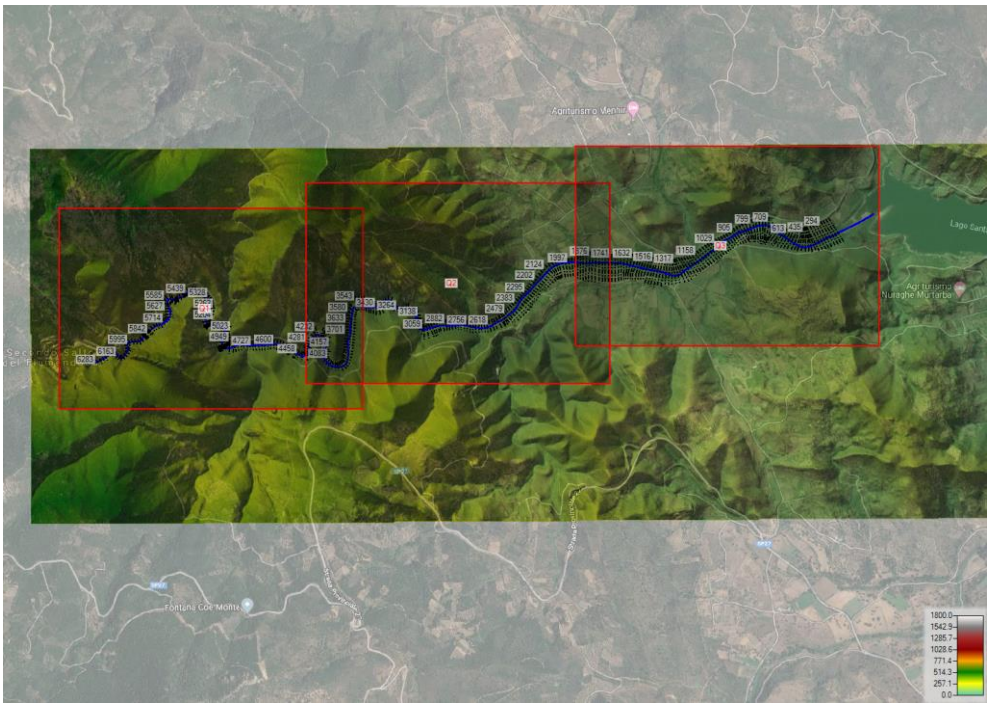

Figura 5 – Schema del modello idraulico del rio Sa Teula

5.2 SIMULAZIONE DELLA PORTATA QAMAX

Come già detto nei capitoli precedenti, lo scenario di simulazione della portata QAmax è relativo alla portata naturale stimata con tempo di ritorno biennale, considerata al fine di individuare la fascia di pertinenza fluviale. La simulazione descritta nel paragrafo seguente assume come input di portata per tale soglia il valore di 20 m^3/s. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, a monte è stata assunta la condizione di moto uniforme e a valle la condizione al contorno è posta in corrispondenza dell'immissione del corso d'acqua nel lago di Santa Lucia ipotizzando il livello di invaso del lago pari a 59.4 m s.l.m., quota attualmente autorizzata in condizioni ordinarie la quale corrisponde alla quota di massima regolazione.

Il corso d'acqua viene suddiviso in due tronchi omogenei:

- tratto di monte (sez. 6295 - sez.2946);
- tratto di valle (sez.2935 – immissione sul lago Santa Lucia);

A partire dalla sezione 6295 posta a circa 50 m a valle dalla Diga di Sa Teula fino alla sezione 2946 l'alveo del corso d'acqua si sviluppa in un fondovalle inciso nel quale si evidenziano fenomeni franosi localizzati in sponda sinistra. In tale tronco omogeneo il corso d'acqua, per una portata pari a QAmax, scorre su un letto di sedimenti alluvionali, con elementi anche di notevoli dimensioni, in condizione di corrente veloce.

Figura 6 - Fenomeno franoso localizzato in sponda sinistra - sez.5589

Figura 7 - Alveo in corrispondenza della sez.4513 a monte del ponte sulla strada Enel Bacu Suiles

Nelle figure seguenti, campiti in gradazione di blu, sono rappresentati gli ambiti territoriali interessati dal deflusso risultanti della simulazione della portata QAmax. Il corso d'acqua, come mostra la Figura 8 in cui viene riportato il quadrante Q1 del quadro d'unione, scorre all'interno di una valle stretta e profondamente incisa. Fino alla sezione 4513 il corso d'acqua è costeggiato in sinistra idraulica dalla strada Enel Bacu Suiles, la quale interseca il corso d'acqua nel ponte stradale ad arco avente identificativo ID_127. Come evidenziato

dalle mappe relative alla QAmax, nel quadro di unione Q1 non si riscontrano esondazioni localizzate se non in prossimità delle immissioni dei piccoli e brevi corsi d'acqua che si attivano durante le maggiori precipitazioni.

Nel tratto di monte la sezione trasversale della piena avente portata QAmax possiede una larghezza media di 14.6 m e una pendenza del fondo alveo dello 4.7%. Una volta giunti nella sezione n°2946 la valle nella quale scorre il rio Sa Teula inizia ad aprirsi giungendo fino all'invaso di Santa Lucia. La larghezza della sezione trasversale media del deflusso idrico aumenta diventando pari a 22 m con una pendenza media del fondo alveo pari al 1.4%.

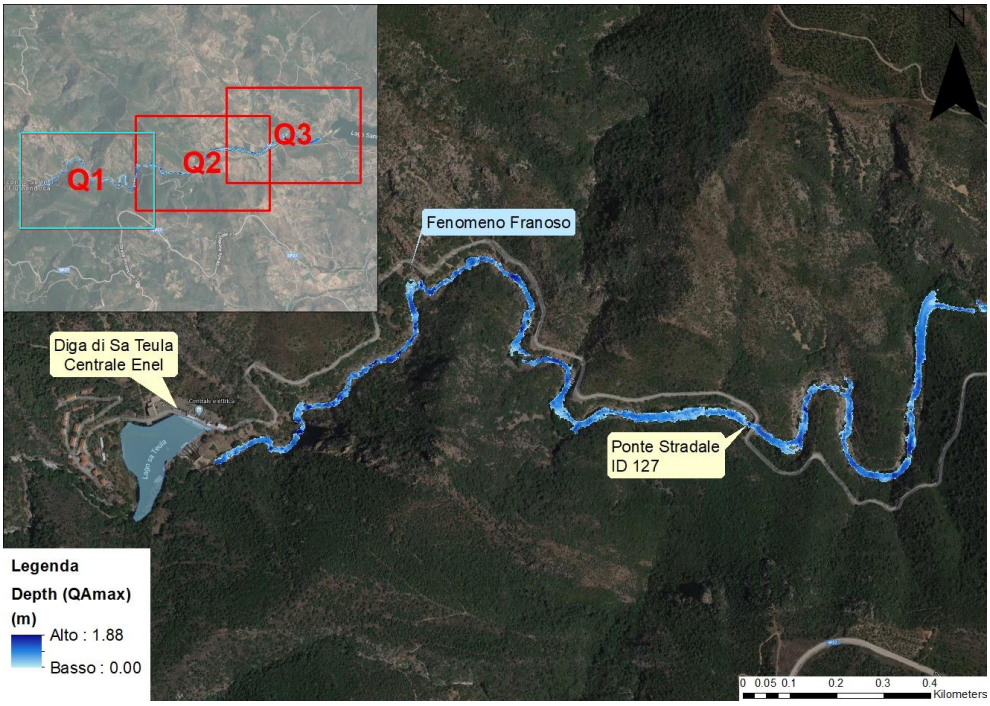

Figura 8 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q1

Nella Figura 9 è rappresentato il profilo di corrente relativo alla soglia di portata qui considerata e l'andamento altimetrico del fondo alveo. Tale tronco risulta idraulicamente omogeneo e presenta un comportamento montano. Il rio Sa Teula, nel tronco analizzato, per il valore soglia pari a QAmax determina una profondità media delle altezze idriche pari a circa 0.58 m e un valore medio della velocità della corrente di 3 m/s.

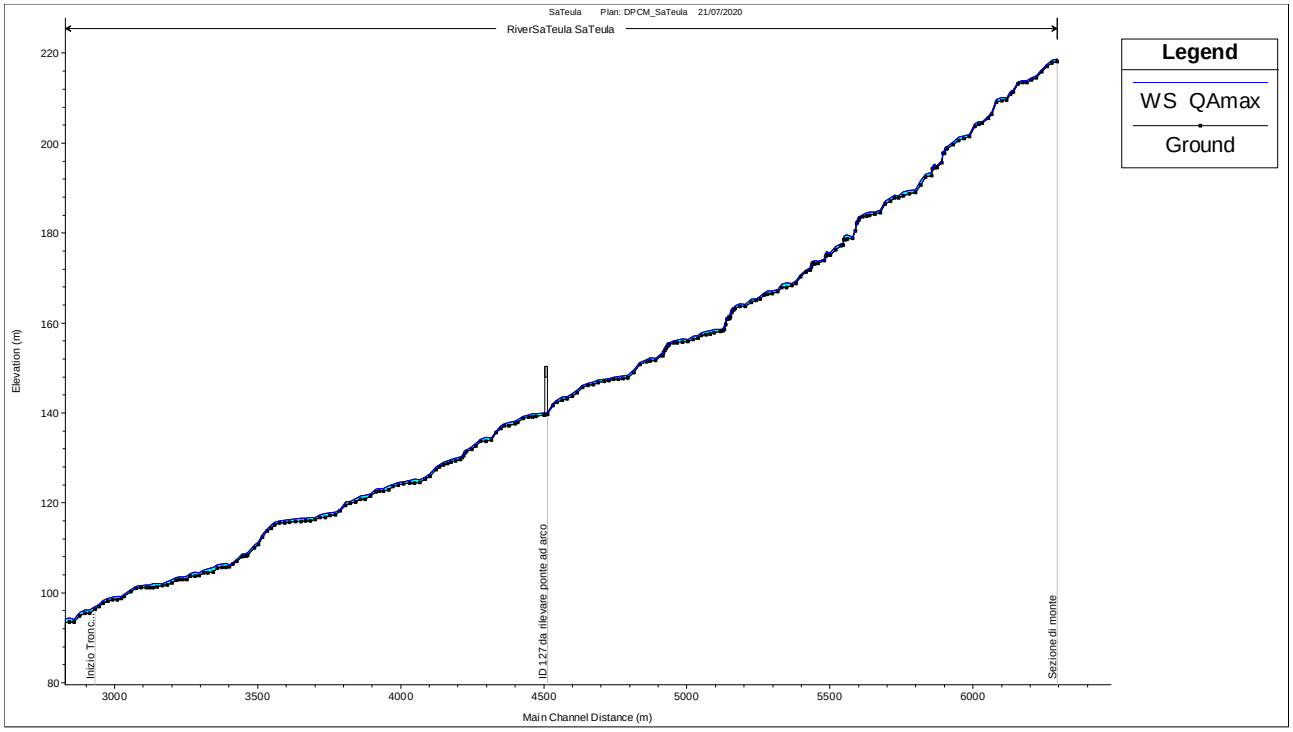

Figura 9 – Profilo di corrente QAmax del rio Sa Teula relativo al tratto di monte

Nel tronco fluviale non sono presenti opere idrauliche di difesa longitudinali. Il corso d'acqua incontra due intersezioni, entrambe con la Strada Enel Bacu Suiles:

- ponte ID_127,
- ponte ID_120;

Dallo studio dei profili di corrente le due infrastrutture, per via della loro geometria e grazie alla elevata luce libera, garantiscono un elevato franco idraulico e pertanto il deflusso avviene in sicurezza per il valore di portata QAmax.

Giunti alla sezione 2946 il corso d'acqua assume un carattere più pianeggiante e il flusso idrico transita fino all'immissione sul lago di Santa Lucia in corrente lenta. Nella Figura 10 e Figura 11 sono riportati rispettivamente il profilo di corrente QAmax relativo al tratto di valle e il fondo alveo del rio Sa Teula a valle del ponte ID 120.

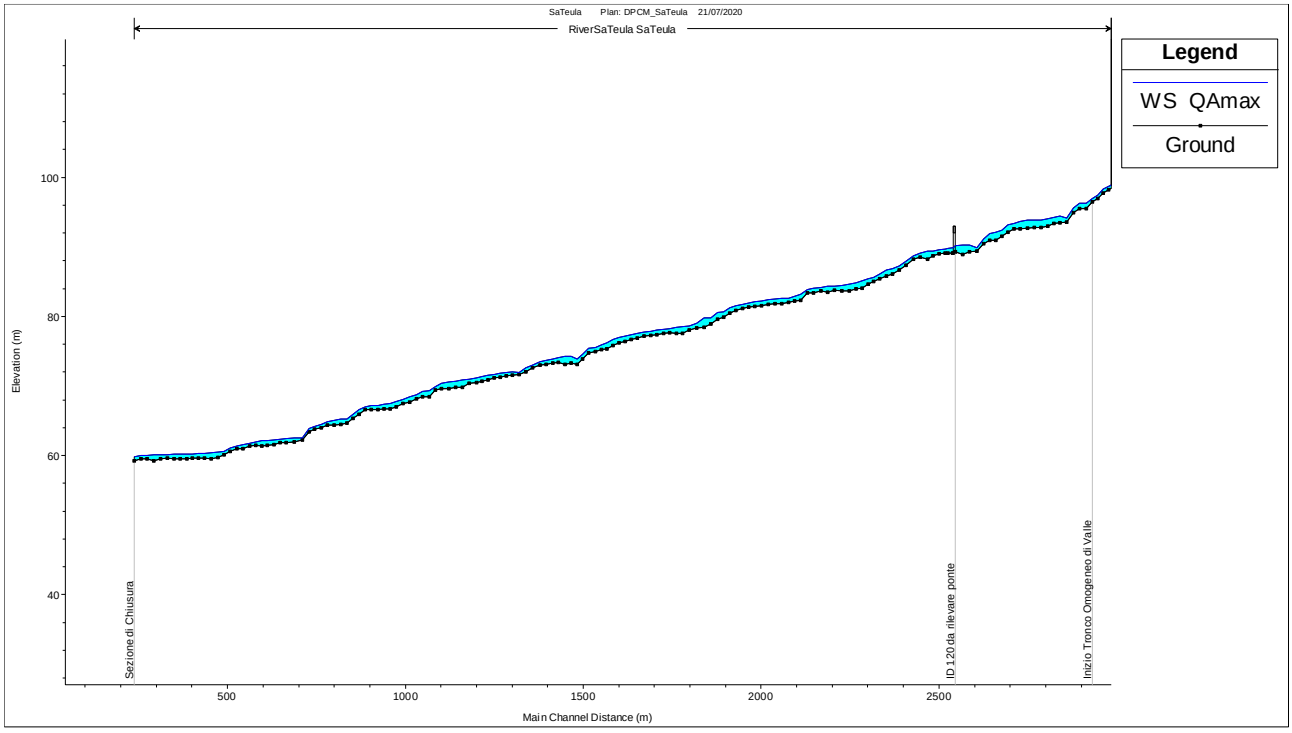

Figura 10 – Profilo di corrente QAmax del rio Sa Teula relativo al tratto di valle

Figura 11 - Alveo del rio Sa Teula a valle del ponte ID 120

A partire da tale sezione è presente la fascia A_2 studiata dal PSFF la quale ci permette di effettuare un confronto cartografico sulla estensione planimetrica della fascia identificata con la QAmax. Occorre precisare che la portata di PSFF avente tempo di ritorno pari a 2 anni stimata in queste sezioni vallive assume valore

notevolmente maggiore rispetto alla QAmax sopra valutata alla diga. Il valore di portata considerato dal PSFF è infatti pari a 95m^3/s.

Nelle figure seguenti, campiti in gradazione di blu, sono rappresentati battenti idrici della corrente risultanti della simulazione della portata QAmax, mentre il dominio rosso riporta la fascia di esondazione A_2 della portata di piena biennale data nel PSFF, la quale è stata valutata a partire da circa 2.9 km dalla immissione del rio sul lago di Santa Lucia.

Per quanto riguarda il confronto con la fascia A_2 del PSFF, nel tronco omogeneo non si riscontrano importanti differenze, infatti, il deflusso idrico della portata QAmax è in genere sempre contenuto all'interno della fascia A_2 di PSFF.

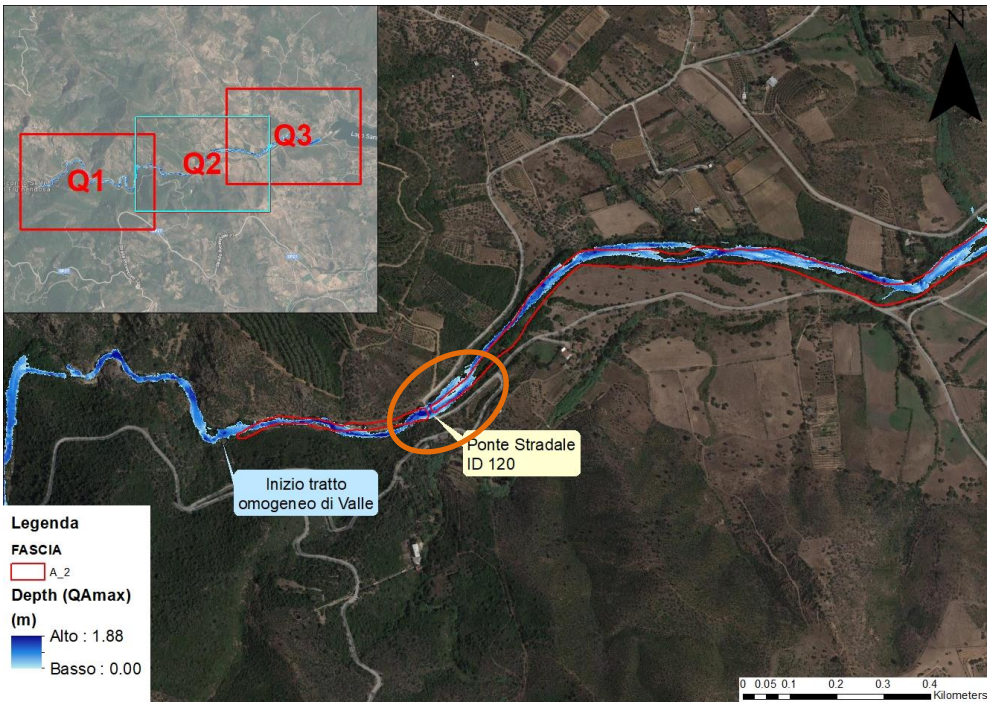

Figura 12 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q2

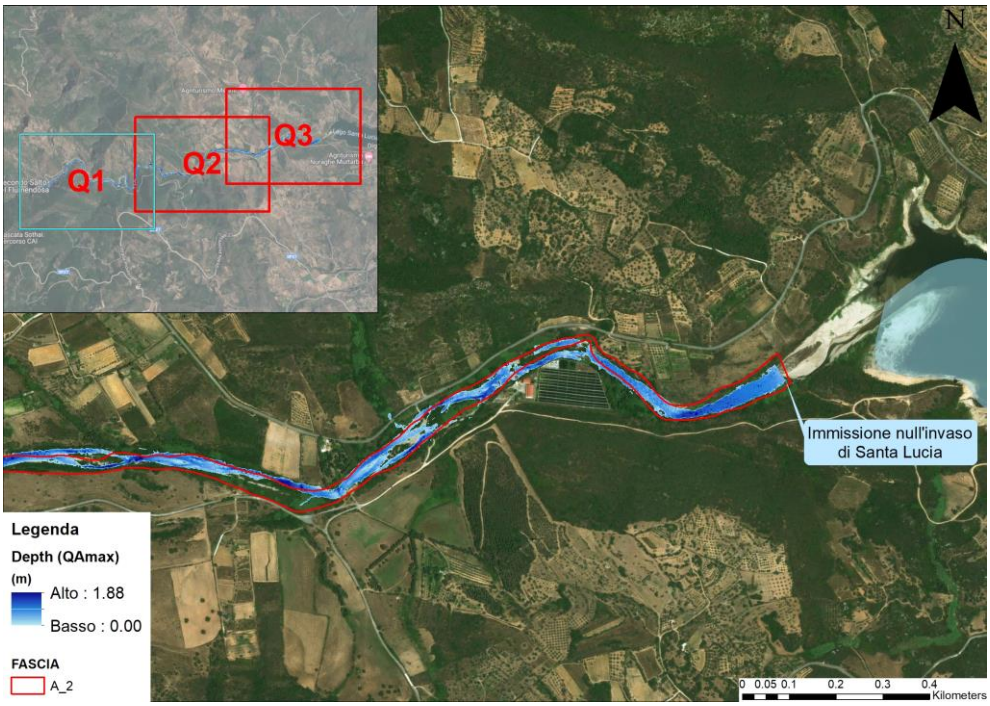

Figura 13 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q3

Si riscontrano lievi differenze nel tratto del corso d'acqua raffigurato nel quadrante Q2, dove i risultati della simulazione idraulica che hanno portato alla mappatura della QAmax sono rappresentati nella Figura 12. È presente qualche differenza localizzata a valle del ponte avente ID 120 rispetto alla fascia A_2 del PSFF pur essendo il valore di portata considerato dal PSFF pari a 95m^3/s, valore notevolmente superiore alla portata QAmax.

Tale differenza nella mappatura dei tiranti idrici è da attribuirsi principalmente all'orografia del territorio in corrispondenza dell'alveo del corso d'acqua, che grazie al rilievo digitale del terreno è possibile descrivere con miglior accuratezza rispetto al modello del terreno utilizzato nel PSFF.

5.3 SIMULAZIONE DELLA PORTATA QMIN

La simulazione idraulica del deflusso della Qmin è stata realizzata associando a tale soglia lo stesso valore della portata QAmax, ovvero 20 m^3/s.

Tuttavia, ai fini della verifica delle criticità nel territorio in condizioni di piena, per quanto riguarda le condizioni al contorno, pur mantenendo a monte la condizione di moto uniforme, a valle la restituzione sul lago di Santa Lucia è stata considerata a quota 62 m s.l.m., livello massimo autorizzato all'invaso in condizioni di piena, che corrisponde alla quota di massimo invaso.

La mappatura della portata Qmin risulta ovviamente essere identica a quella analizzata nel paragrafo 5.2, fatto salvo l'aumento della sezione di deflusso a partire dalla sezione n°580 posta a circa 0.58 km a monte

dell'immissione del fiume sul lago di Santa Lucia. Infatti, la sezione bagnata di deflusso, in tale tronco del corso d'acqua, passa dal valore medio di 29.25 m nel caso della QAmax al valore di 55 m nel caso della Qmin.

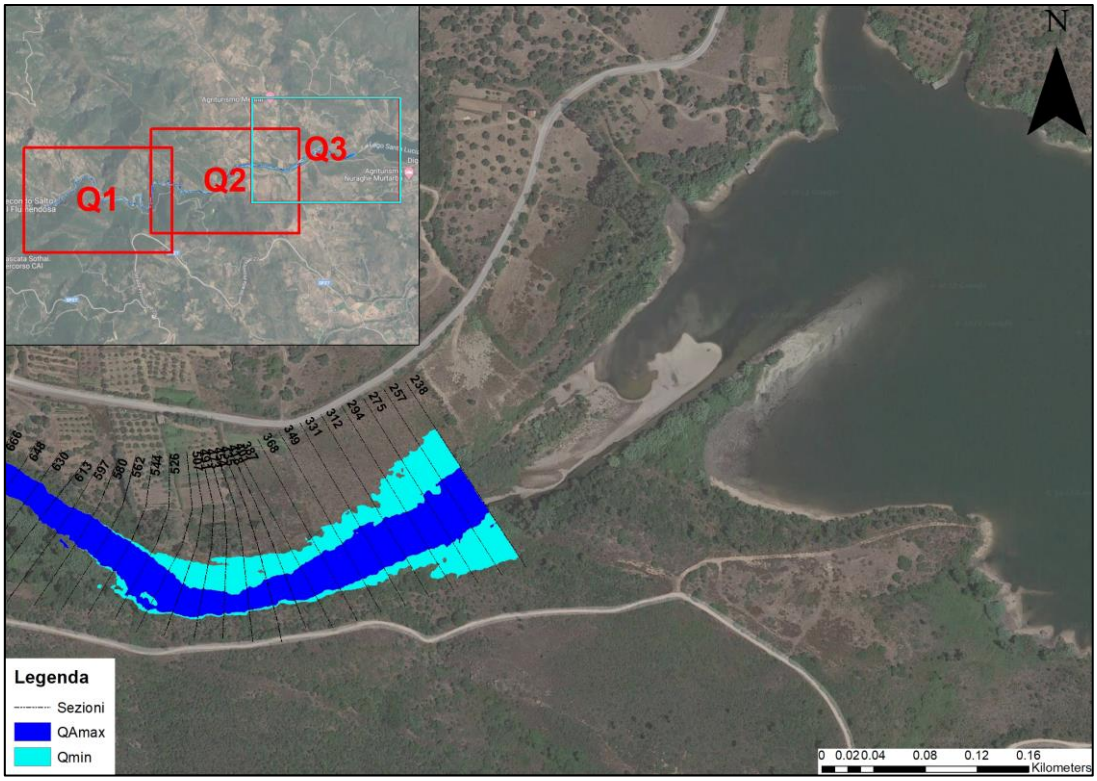

Figura 14 - Perimetrazione della portata Qmin vs QAmax in prossimità del lago Santa Lucia – Zoom Quadrante Q3

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 due macro insiemi:

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

b) 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 sono stati 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.

Si ribadisce che, ai fini della verifica del franco idraulico, per ogni ponte è soddisfatta considerando i valori di portata Qmin, QAmax e Q(f).

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

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

I. Ponte Stradale ID_127

Il primo elemento di criticità presente a valle della Diga di Sa Teula è il ponte sulla strada Enel Bacu Suiles visibile nella Figura 15, la cui sezione trasversale modellata su HEC-RAS è rappresentata nella Figura 16. Il ponte ha una geometria ad arco, con base d'imposta a quota 143.08 m s.l.m. Va precisato che il modello digitale del terreno restituisce una quota maggiore dell'alveo rispetto a quella rilevata con modalità GPS. Tale differenza di quota è stata utilizzata nel modello idraulico per innalzare la struttura del ponte per poter garantire l'effettiva luce libera. La nuova quota della base d'imposta dell'arco risulta essere pari a 145.14 m s.l.m. e le verifiche dei franchi idraulici sono state effettuate in relazione a tale valore di quota.

Figura 15 – Ponte ad arco ID_127

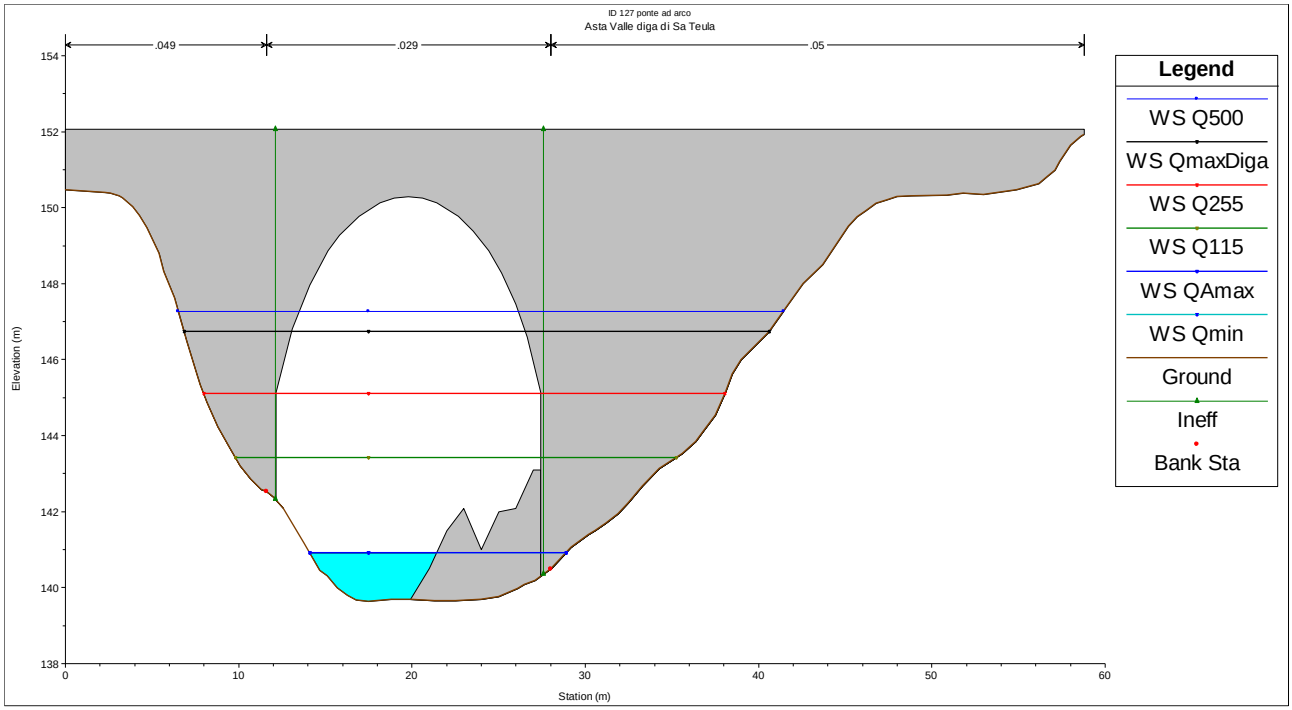

Figura 16 – Sezione Ponte ID_127

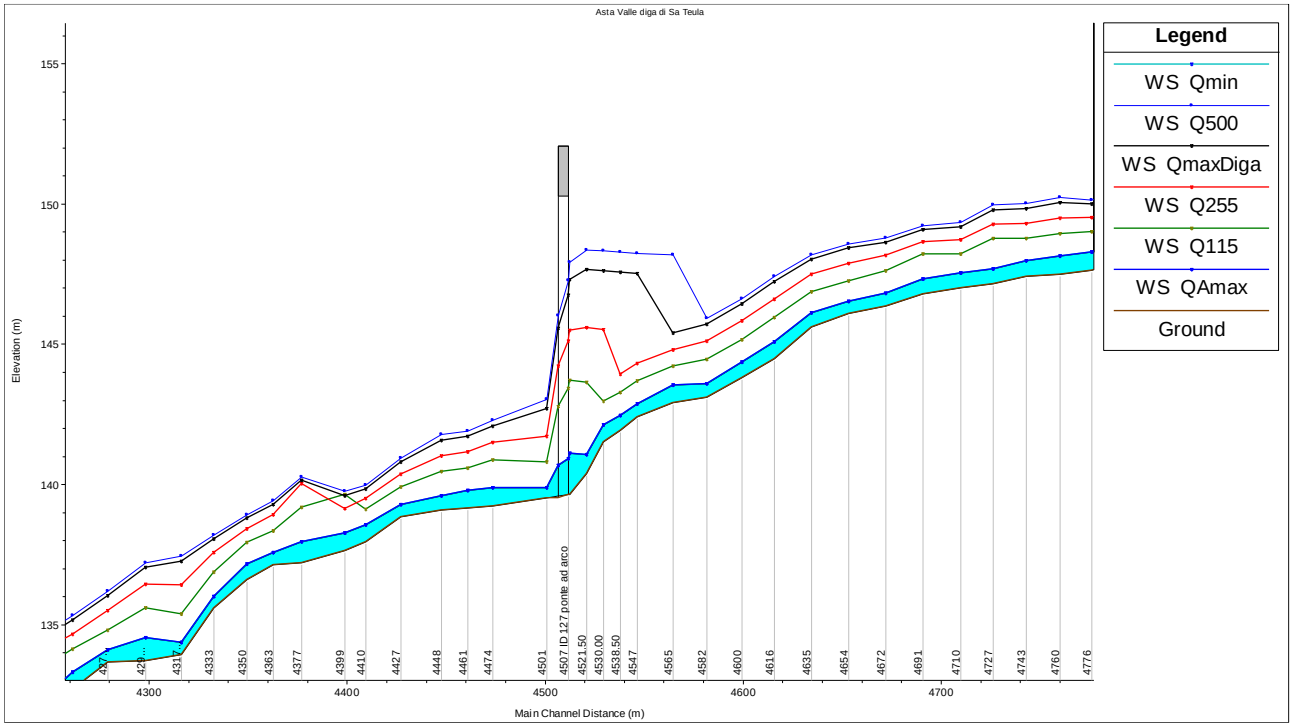

Figura 17 – Profilo di corrente Ponte ID_127

Tabella 5 - Portate critiche Ponte ID_127

	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	20	145.17	140.91	141.11	4.26	4.06
QAmax	20		140.91	141.11	4.26	4.06
Q(f)	115		143.42	143.71	1.75	1.46
Q(f0)	255		145.11	145.5	0.06	-0.33

In Tabella 5 sono riportati i parametri caratteristici del deflusso idrico in corrispondenza del ponte stradale ID_127. 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 1.37 m che determina una portata Q(f) pari a 115 m^3/s; il franco viene annullato in corrispondenza del ponte per una portata Q(f0) pari a 255 m^3/s; mentre il sormonto dell'attraversamento non avviene nè per il valore soglia della portata massima scaricabile dalla diga pari a 432 m^3/s.

II. Ponte Stradale ID_120

Proseguendo verso valle, a circa 2.5 km dall'immissione sul lago di Santa Lucia è presente il secondo elemento di criticità presente a valle della Diga di Sa Teula: il ponte ID_120 sulla strada comunale sa Murta. L'opera è visibile nella Figura 18 la cui sezione trasversale modellata su HEC-RAS è rappresentata nella Figura 19. Il ponte possiede quattro pile interne al corso d'acqua le quali conferiscono al ponte 5 luci libere di deflusso a forma rettangolare. La quota dell'intradosso dell'impalcato stradale è pari a 91.86 m s.l.m. Va precisato che, anche in questo caso, il modello digitale del terreno restituisce una quota dell'alveo maggiore rispetto a quella rilevata in situ con modalità GPS. Tale differenza di quota è stata utilizzata nel modello idraulico per innalzare la struttura del ponte per poter garantire l'effettiva luce libera. La nuova quota dell'intradosso del ponte risulta essere pari a 92.55 m s.l.m. e le verifiche dei franchi idraulici sono state effettuati in relazione a tale valore di quota.

Figura 18 – Ponte Stradale ID_120

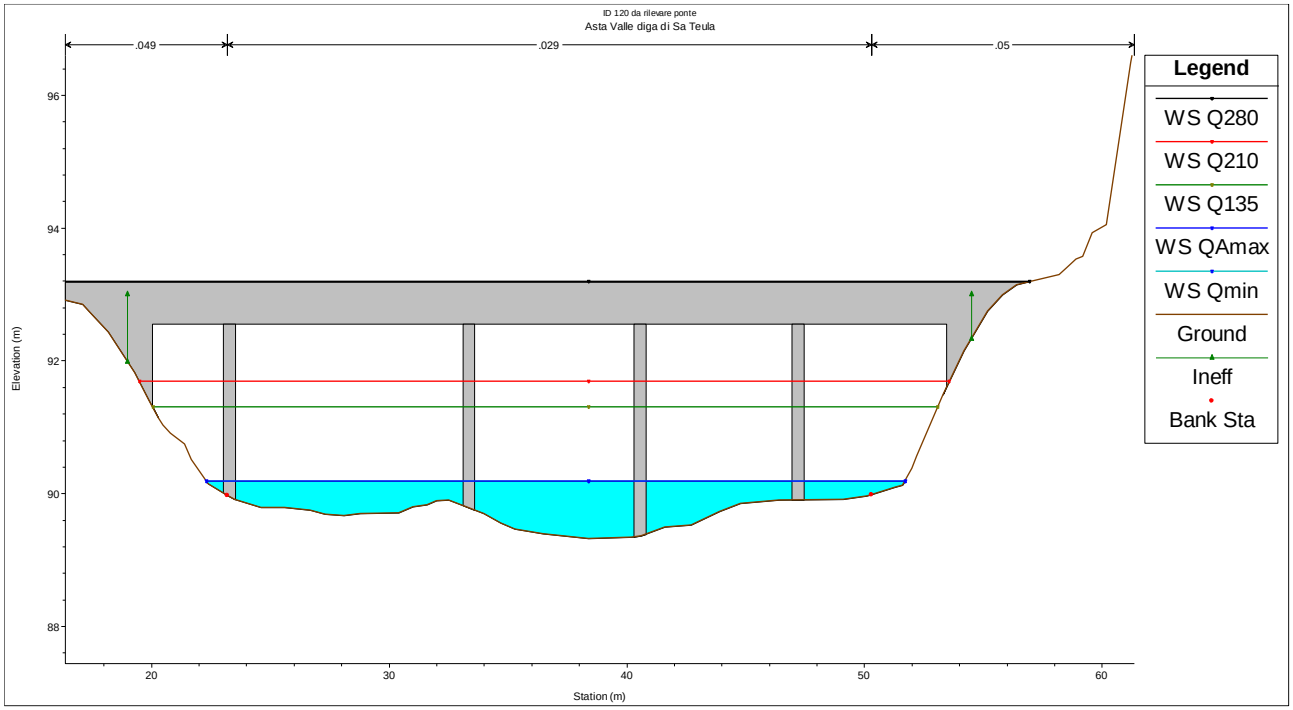

Figura 19 – Sezione Ponte ID_120

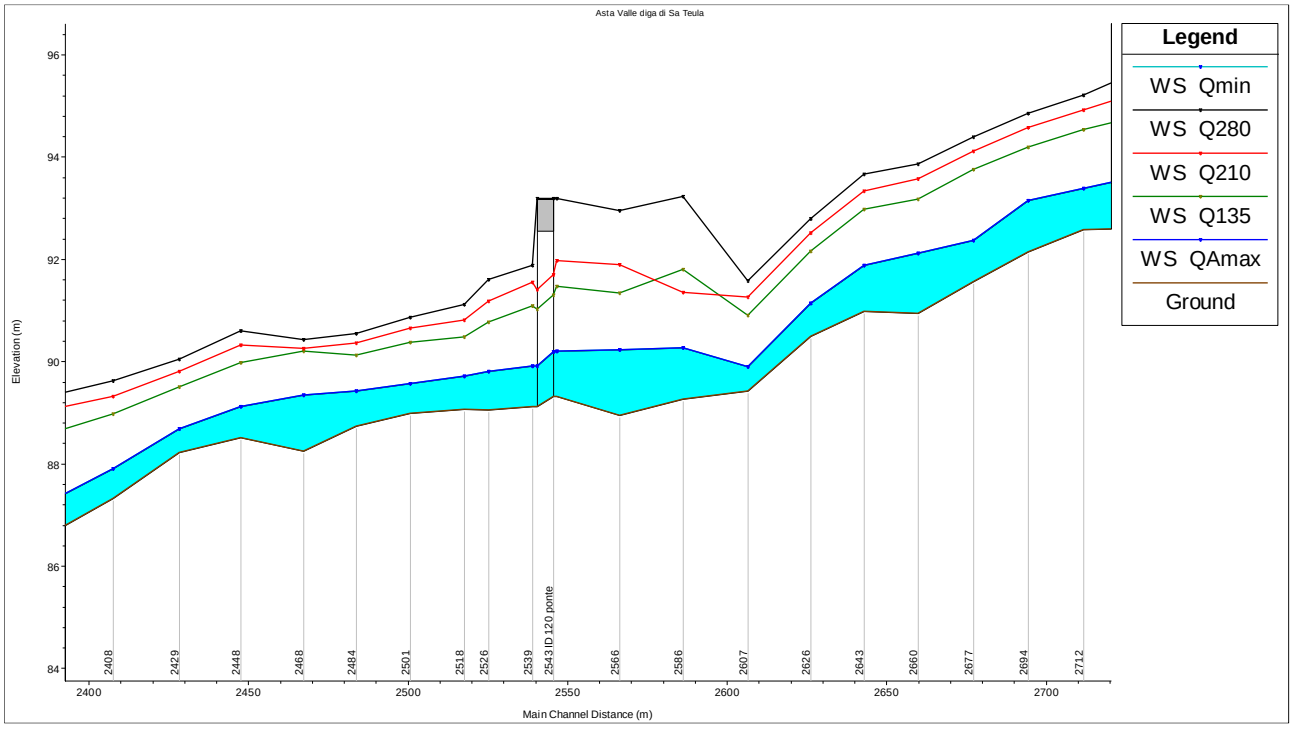

Figura 20 – Profilo di corrente Ponte ID_120

Tabella 6 - Portate critiche Ponte ID_120

	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	20	92.55	90.19	90.21	2.36	2.34
QAmax	20		90.19	90.21	2.36	2.34
Q(f)	135		91.3	91.47	1.25	1.08
Q(f0)	210		91.69	91.97	0.86	0.58
Q(s)	280		93.19	93.19	-0.64	-0.64

In Tabella 6 sono riportati i parametri caratteristici del deflusso idrico in corrispondenza del ponte stradale ID_120. 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 1.06 m che determina una portata Q(f) pari a 135 m^3/s; il franco viene annullato per un valore di portata di soglia superiore a 210 m^3/s, mentre il ponte viene sormontato per una Q(s) pari a 280 m^3/s.

III. Strada strada comunale Sa Murta

Localizzata in sinistra idraulica, a circa 300 m a valle dal ponte ID_120, scorre parallelamente al corso d'acqua la strada comunale Sa Murta la quale viene interessata dalla piena per valori di portata pari o superiori a 270 m^3/s.

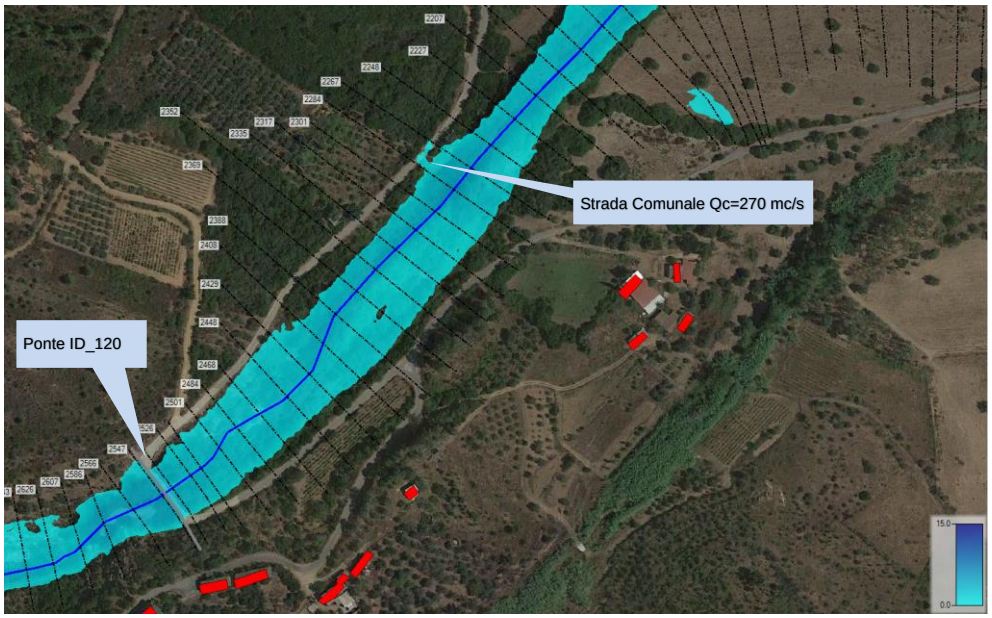

Figura 21 – Strada Comunale Sa Murta a 300 m dal ponte ID_120 e a 2.2 km dall'immissione nell'invaso di Santa Lucia

IV. Strade comunali in località Musuleu

Localizzato in destra idraulica l'incrocio tra le strade comunali di Su Spineddu, Musuleu e Ucheddu è interessato dal deflusso di piena per valori di portata pari o superiori a 320 m^3/s. Mentre in sinistra idraulica è presente un guado la cui rampa d'accesso dalla strada comunale è interessato da una piena con portata pari o superiore a 140 m^3/s.

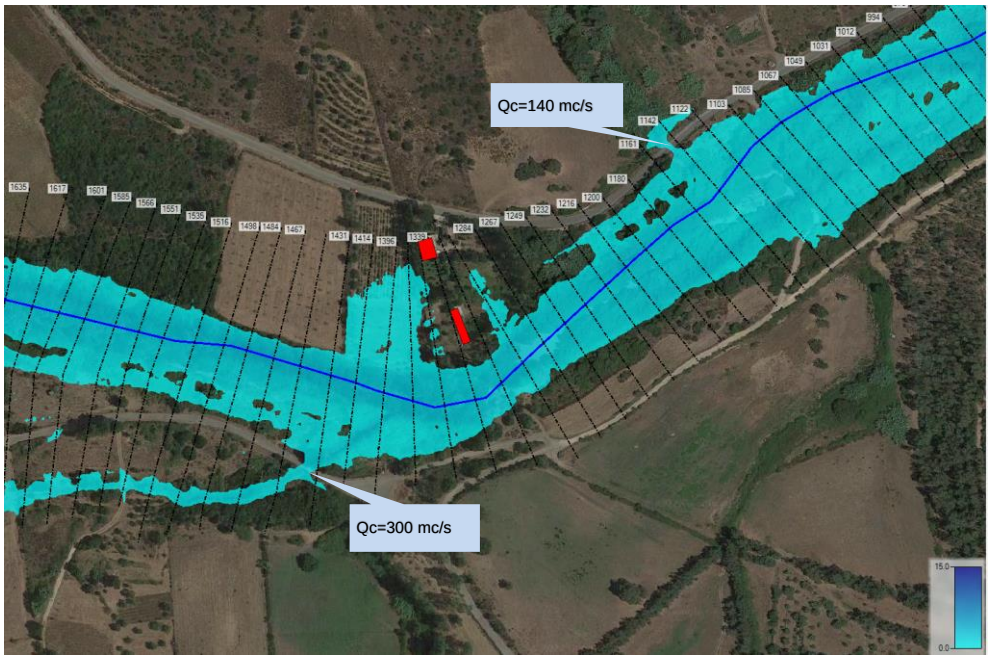

Figura 22 – Incrocio tra le strade comunali di Su Spineddu, Musuleu e Ucheddu

5.4.2 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER ELEMENTI ANTROPICI

Dall'analisi del deflusso idrico e tenendo conto delle case sparse lungo il corso d'acqua sono state identificate, nel tratto vallivo, a circa 1200 m dalla immissione del corso d'acqua nell'invaso di Santa Lucia, due abitazioni rurali/residenziali che possono essere interessate dalla piena del corso d'acqua per valori di portata superiori a 400 m^3/s, visibili nella Figura 23. Inoltre, a circa 780m dalla immissione del rio sull'invasa di Santa Lucia è presente un ex allevamento di trote la cui base del muro di cinta a protezione dello stesso viene lambito da una portata critica pari e superiore a 250 m^3/s visibile nella Figura 24.

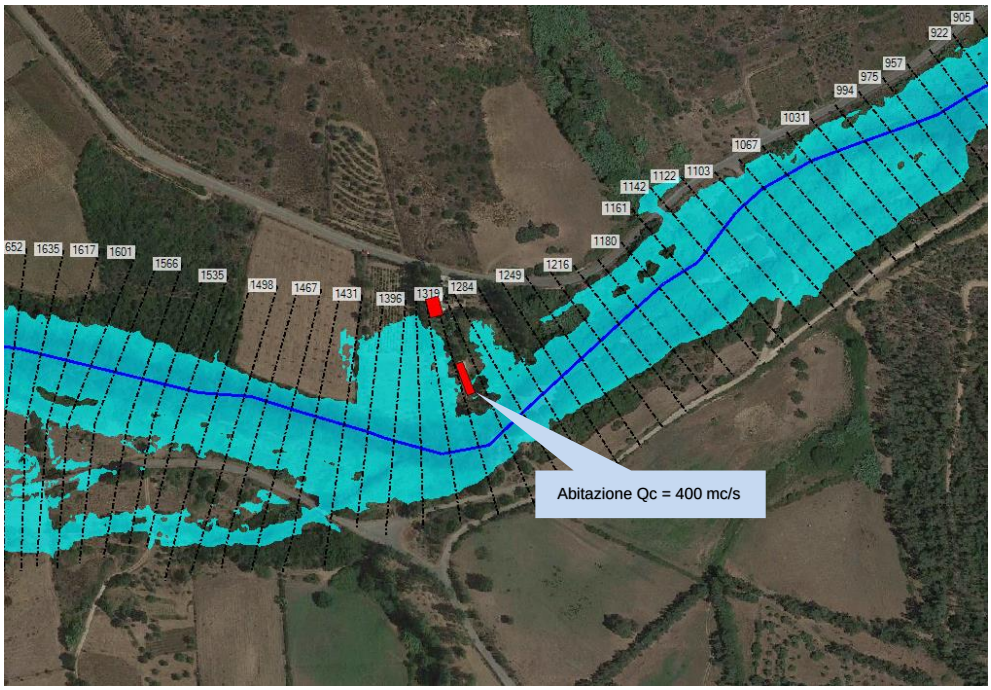

Figura 23 – Edifici in sinistra idraulica a 1.2 km dalla immissione del rio sull'invaso di Santa Lucia

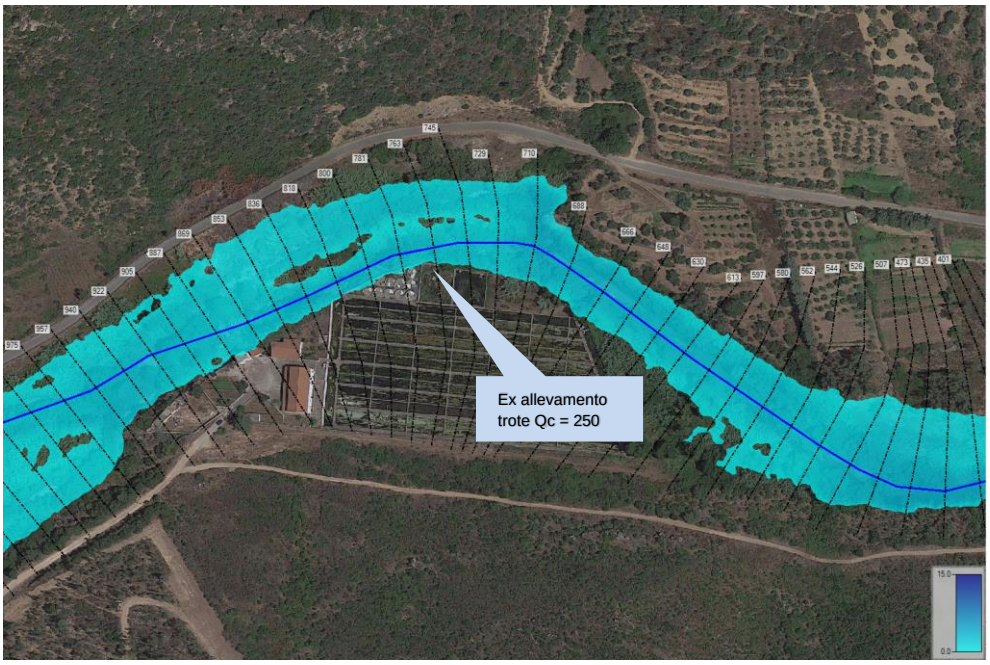

Figura 24 – Ex allevamento trote a 780m dalla immissione del rio sull'invaso di Santa Lucia

5.4.3 SINTESI DEI VALORI CRITICI DI PORTATA

Sulla base delle simulazioni idrauliche sopra illustrate, si riportano nelle seguenti figure e in Tabella 7 i principali valori di portata critica Q_c individuati sul rio Sa Teula a valle della diga omonima.

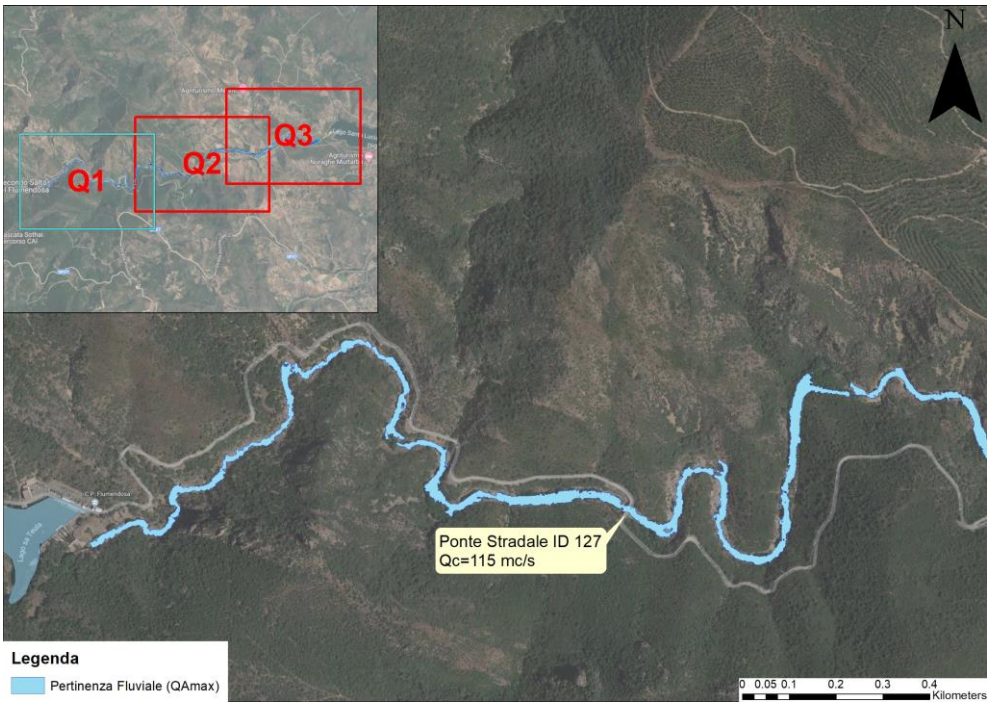

Figura 25 – Portate critiche – Quadrante Q1

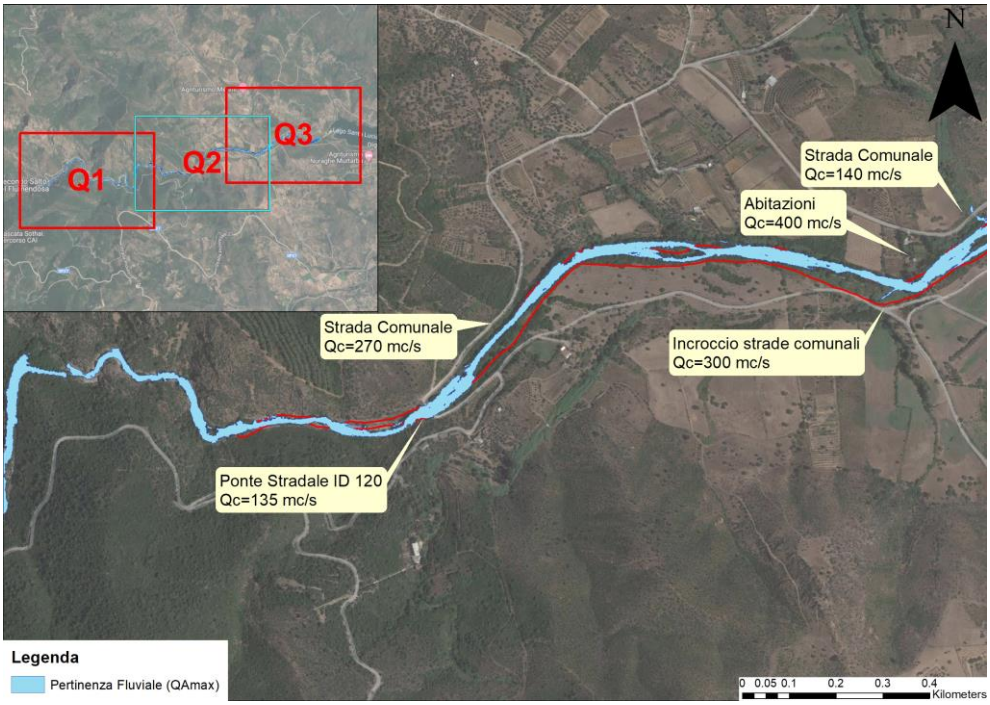

Figura 26 – Portate critiche– Quadrante Q2

Tabella 7 - Valori critici di portata

Portata (m^3/s)		Criticità
Qc1	115	Ponte Stradale ID_127 – limite franco idraulico verificato
Qc2	135	Ponte Stradale ID_120 – limite franco idraulico verificato
Qc3	140	Criticità SX idraulica - Sormonto Strada Comunale
Qc4	210	Ponte Stradale ID_120 - franco nullo
Qc5	255	Ponte Stradale ID_127 - franco nullo
Qc6	250	Criticità in DX idraulica – Ex allevamento trote
Qc7	270	Criticità SX idraulica - Sormonto Strada Comunale Sa Murta a 300m dal ponte ID_120
Qc8	300	Criticità DX idraulica - Sormonto incrocio tra le strade comunali di Su Spineddu, Musuleu e Ucheddu
Qc9	400	Criticità SX idraulica - Abitazioni

6 Considerazioni conclusive

Nel presente documento sono state definite le portate di riferimento per la Diga di Sa Teula, ai sensi della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, prendendo in esame il corso del rio Sa Teula compreso fra il suddetto sbarramento e l'immissione del corso d'acqua nel lago di Santa Lucia.

Poiché il tratto iniziale del rio Sa Teula, dove è localizzata l'omonima diga, non è stato oggetto di valutazioni nel PSFF 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 = 20 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 propone al Tavolo Tecnico che per il tratto vallivo alla diga in esame si possa considerare per **Qmin** lo stesso valore di QAmax, e quindi **assumere per la Qmin ugualmente la portata di 20 m^3/s**.

Per quanto riguarda le interazioni della corrente con le principali infrastrutture presenti lungo il corso del rio Sa Teula, a valle rispetto allo sbarramento, si può affermare che risultano tutte compatibili con il transito della **Qmin** e **QAmax, 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 Sa Teula, sulla base delle analisi di modellazione idraulica riportate nella presente relazione, si ritiene che il valore Qmin possa essere assunto anche come soglia di portata al sotto della quale non è previsto l'obbligo di comunicazione da parte del Gestore 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. È infatti previsto dall'Accordo tra il DICAAR e la DGLLPP che sia verificata dal Tavolo Tecnico la congruenza dei risultati provenienti dal modello idraulico predisposto dal DICAAR con eventuali ulteriori criticità a valle delle dighe nel definire le Relazioni previste dalla Delibera RAS 33/31 del 10/06/2016.

Sulla base della modellazione idraulica del corso d'acqua, si sono inoltre individuati ulteriori incrementi di portata che mettono in crisi alcuni elementi antropici lungo il fiume in esame, a valle della Diga di Sa Teula.

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 operando in termini cautelativi, e considerando modesto l'incremento di portata dal bacino residuo, si ritiene che si possano considerare i seguenti valori critici di portata scaricata dalla diga:

- **100 m^3/s**;
- **200 m^3/s**.

La possibilità di definire le 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 rio Sa Teula qui considerato.