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 Donegani sul rio Mannu di Montevecchio

ALLEGATO

II.19

Relazione

Responsabile Scientifico per DICAAR

Prof. Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni

Ing. Riccardo Zucca

Ing. Pino Frau

Cagliari, Gennaio 2023

Indice

1 Premessa 3
2 La diga di Donegani sul rio Mannu di Montevecchio 6
2.1 Organi di scarico 8
2.2 Diga valliva di Zerbino 10
3 Regole operative per la gestione dell'invaso 11
4 Portate di riferimento ai sensi della Direttiva P.C.M. 08/07/2014 12
4.1 Considerazioni preliminari 12
4.2 QAmax per il bacino a valle dello sbarramento di Donegani 13
4.3 Qmin per il bacino a valle dello sbarramento di Donegani 14
5 Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla Diga di Donegani 15
5.1 Modello idraulico 15
5.2 Simulazione della portata QAmax 16
5.2.1 Tratto di monte 16
5.2.2 Tratto di Valle 28
5.3 Sintesi dei valori critici di portata 37
6 Considerazioni conclusive 39

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 Donegani sul rio Mannu di Montevecchio, con codice II.19**. 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 alla foce.

2 La diga di Donegani sul rio Mannu di Montevecchio

La diga di Donegani sbarra il rio Mannu di Montevecchio nel territorio del Comune di Arbus (SU). L'opera assolve ai compiti di regolazione ad uso potabile e di laminazione delle piene, ed è attualmente gestita dal Comune di Arbus.

La diga, ultimata nel 1950, è del tipo a gravità, in calcestruzzo, con tracciato planimetrico rettilineo. Lo sbarramento è suddiviso in 7 conci; il primo concio in sponda sinistra ospita lo scarico di superficie. La diga è alta 28 m ed ha uno sviluppo al coronamento di 120 m. Lo sbarramento determina un invaso con capacità totale di invaso di 0.32 milioni di metri cubi.

Figura 1 – Diga di Donegani, 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 Donegani (rio Mannu di Montevecchio). Direzione Generale per le Dighe, le Infrastrutture Idriche ed Elettriche. Ufficio Tecnico per le Dighe di Cagliari.

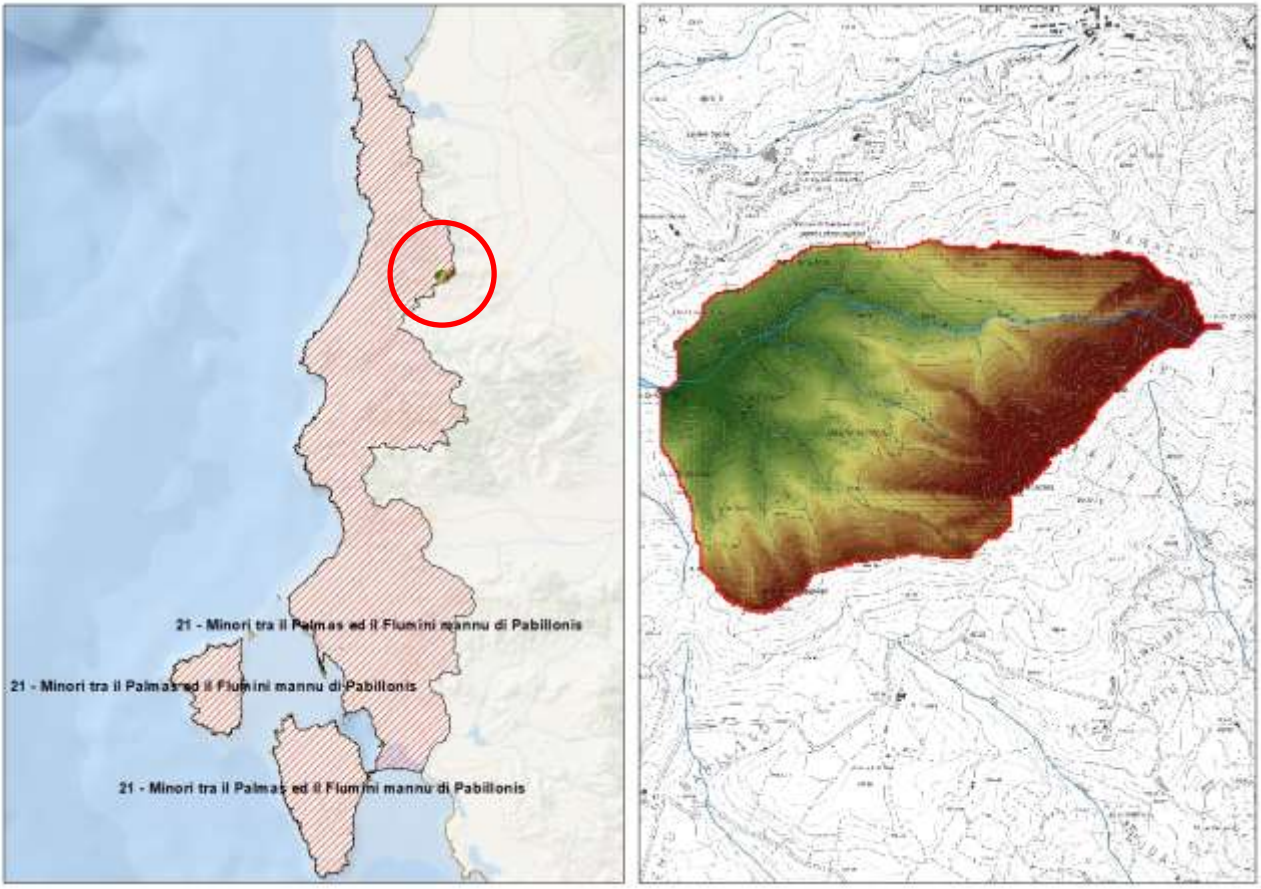

Figura 2 – Inquadramento bacino idrografico

Tabella 3 – Caratteristiche della Diga di Donegani e del relativo invaso

Tipologia diga	A gravità ordinaria in calcestruzzo
Gestore	Comune di Arbus
Altezza sbarramento	28 m
Quota di massimo invaso	309.9 m s.l.m.
Quota massima regolazione	308.9 m s.l.m.
Volume totale di invaso	0.32×10^6 m^3
Volume utile di regolazione	0.28×10^6 m^3
Superficie del bacino imbrifero sotteso	2.4 km^2
Organi di scarico	Scarico di superficie Scarico di fondo
Portata scaricata alla quota di massimo invaso	Totale: 34.2 m^3/s Scarico di superficie: 30.8 m^3/s Scarico di fondo: 3.4 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 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 309.90 m s.l.m. (quota massimo invaso) è pari a:

- dallo scarico di superficie 30.8 m^3/s;
- dallo scarico di fondo 3.4 m^3/s;

per un totale di 34.2 m^3/s.

Scarico di superficie

Lo scarico di superficie, realizzato nella spalla sinistra del corpo diga, è costituito da tre luci libere della lunghezza netta totale pari a 17.40 m (5.80 cadauna) e soglia pari a 308.90 m s.l.m. Le soglie di sfioro sono state sagomate con profilo Creager a vena aderente e ciascuna luce convoglia l'acqua in tre canali fugatori posti a quote differenti.

L'andamento delle portate scaricate in funzione della quota d'invaso è riportato nella seguente figura.

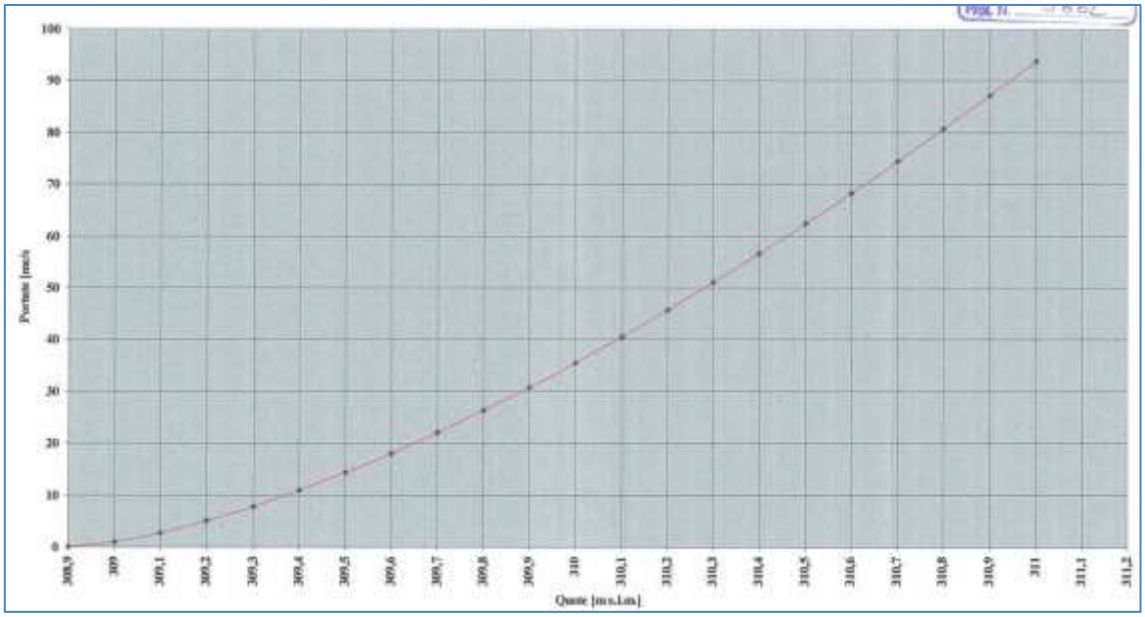

Figura 4 – Portate effluenti dallo scarico di superficie

Scarico di fondo

Lo scarico di fondo è costituito da una tubazione del diametro di 0.5 m e asse a quota 286.50 m s.l.m. Lo scarico è intercettato da due saracinesche.

Le portate scaricate al variare della quota d'invaso sono riportate di seguito.

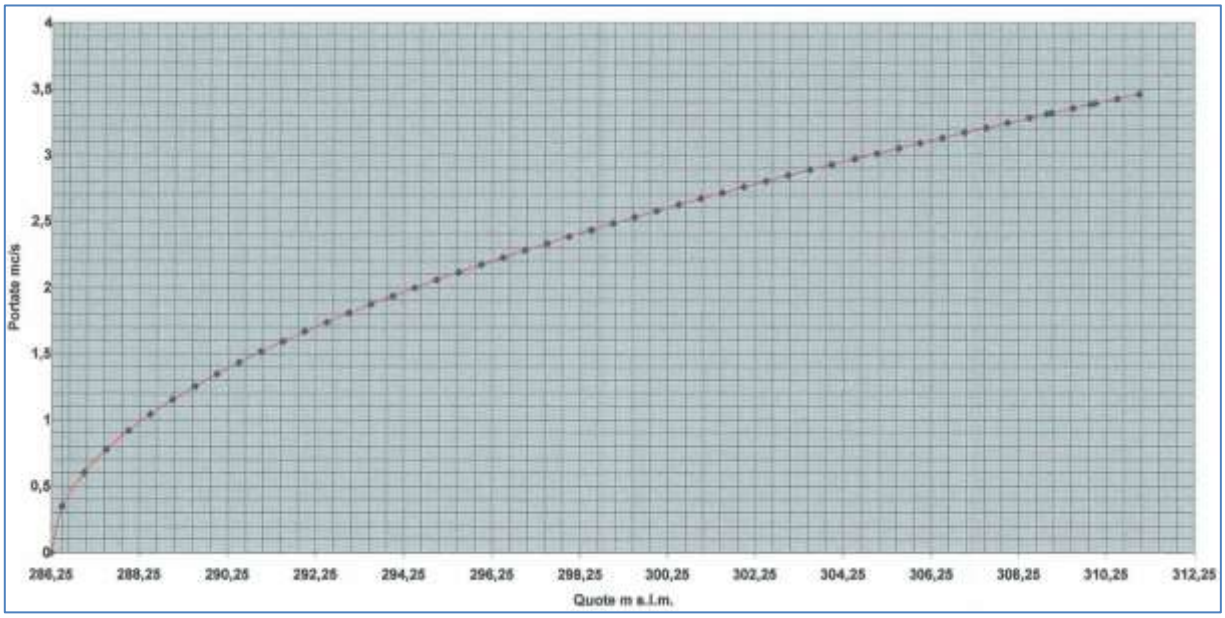

Figura 5 – Portate effluenti dallo scarico di fondo

2.2 DIGA VALLIVA DI ZERBINO

Subito a valle della diga di Donegani è situato il piccolo sbarramento di Zerbino, una diga di tipo misto a gravità massiccia con paramento rivestito in terra, della capacità di circa 54.000 m^3.

Figura 6 –Vista aerea dei due invasi

Figura 7 –Bacini afferenti alle due dighe

3 Regole operative per la gestione dell'invaso

La gestione attuale della diga di Donegani 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 308.90 m s.l.m.

Inoltre, non essendo lo sfioratore di superficie dotato di paratoie la gestione delle piene non prevede alcuna operazione di manovra dello scarico.

Nell'ambito della valutazione delle portate di riferimento ai sensi della Direttiva P.C.M. 08/07/2014 si considera il bacino di valle di Zerbino sempre in condizioni di massimo invaso e, data la limitata capacità dello stesso, si ipotizza trascurabile l'effetto di laminazione delle portate in arrivo. Sotto tali condizioni si può ritenere che la portata rilasciata dalla diga di Zerbino sia pari a quella in ingresso all'invaso scaricata dalla diga di Donegani.

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.

[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 DONEGANI

Si evidenzia che il rio Mannu di Montevecchio 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 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.

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, un metodo di stima indiretto basato sulla 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 vengono inoltre riportati i dati morfologici del bacino utilizzati per l'applicazione della Formula Razionale.

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

Superficie bacino	A_b	[km^2]	2.39
Lunghezza dell'asta principale	L_a	[km]	2.80
Quota media del bacino	z_m	[m.s.l.m.]	462.68
Quota della sezione di chiusura del bacino	z_0	[m.s.l.m.]	270.00
Curve Number (SCS)	CN III	[-]	88.96
Perdita Iniziale	Ia	[mm]	6.30
Massimo volume di ritenzione	S	[mm]	31.52
Coefficiente di riduzione areale	ARF	[-]	0.93
Pendenza media del bacino	i_b	[%]	43.00
Sottozona Omogenea	SZO		1.00
Tempo critico di Pioggia	τ	[h]	0.52
Pioggia indice giornaliera	μ_g	[mm]	55.00
Tempo di ritorno	T_R	[anni]	2.00
Coefficiente TCEV	$a(\mu_g,T_R)$	[-]	19.67
Esponente TCEV	$n(\mu_g,T_R)$	[-]	0.33
Altezza di precipitazione	$h(\tau)$	[mm]	15.87
Intensità media di precipitazione	$i(\tau)$	[mm/h]	30.34
Coefficiente di afflusso	φ	[-]	0.14
Portata al colmo Tr=2 anni	**Qc**	**[m^3/s]**	**3.00**

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

Ai fini della definizione della portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento, contenuta nella fascia di pertinenza idraulica, il Gestore non ha comunicato alcun valore.

Sulla base dei criteri generali adottati dal Tavolo Tecnico, in assenza di specifico studio sulla laminazione realizzabile dalla diga, si assume come QAmax la portata corrispondente al valore di piena atteso per Tr= 2 anni, pertanto si assume **QAmax = 3 m^3/s.**

In considerazione della assenza di paratoie sullo scarico di superficie la portata QAmax potrà essere scaricata solo tramite lo scarico di fondo.

Poiché nella situazione attuale si è in assenza di un sistema di monitoraggio degli apporti nel bacino residuo, vallivi alla diga, si è ritenuto cautelativo assumere QAmax costante nel bacino vallivo e pari alla portata in uscita dalla diga di 3 m^3/s fino alla foce.

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 che determini un incremento della portata procedendo verso valle.

4.3 QMIN PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI DONEGANI

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 **3 m^3/s.**

Come si evince dalla Figura 4 estrapolate dal FCEM, il valore di Qmin per la diga di Donegani è corrispondente alla portata che defluisce dallo scarico di superficie con livello di invaso pari a 309.1 m s.l.m., ovvero 20 cm al di sopra della quota di massima regolazione.

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.

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

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 e considera due tratti fluviali distinti:

- il primo, denominato tratto di monte, che analizza 1.3 km dell'alveo vallivo alla diga;
- il secondo, denominato tratto di valle, che studia gli ultimi 6.0 km del corso d'acqua fino alla foce a mare sull'arenile di Piscinas.

Tra i due tratti è presente una porzione del rio Mannu privo di modello digitale del terreno che, pertanto, non è stato possibile analizzare nella presente analisi. In tale area non sono comunque presenti attraversamenti sul corso d'acqua.

Nel tratto di monte il modello idraulico è basato su un rilievo LIDAR avente risoluzione di 0.2 m ed è caratterizzato da 38 sezioni trasversali, di cui tre in corrispondenza di altrettanti attraversamenti presenti.

Il modello idraulico del tratto di valle, invece, fa riferimento al modello digitale del terreno ottenuto con rilievi LIDAR con risoluzione spaziale minore, ovvero 1 m, ed è costituito da 334 sezioni trasversali senza la presenza di attraversamenti ma con numerosi guadi.

Le caratteristiche di deflusso delle portate simulate lungo l'asta del rio Mannu di Montevecchio sono descritte con riferimento al quadro di unione mostrato nella Figura 8 nella quale è riportata la planimetria del modello idraulico dove sono raffigurate:

- le sezioni trasversali;
- il modello digitale del terreno utilizzato;
- il quadro di unione che permette di effettuare uno zoom di dettaglio sull'area analizzata nel presente studio.

Figura 8 – Schema del modello idraulico del rio Mannu di Montevecchio

5.2 SIMULAZIONE DELLA PORTATA QAMAX

5.2.1 TRATTO DI MONTE

5.2.1.1 Simulazione della portata QAmax

Come già detto nei paragrafi 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 3 m^3/s. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, a monte è stata assunta la condizione di moto uniforme e a valle si è ipotizzata una condizione di corrente critica.

Il tratto omogeneo analizzato si sviluppa in un fondovalle inciso nel quale si evidenziano fenomeni franosi. 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 9 - Fenomeno deposito alluvionale in alveo- sez.900 tratto monte

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 10 in cui viene riportato il quadrante Q6 del quadro d'unione, scorre all'interno di una valle stretta e profondamente incisa. Il corso d'acqua è costeggiato in destra idraulica dalla SP66, la quale interseca il corso d'acqua nel ponte stradale ad arco avente identificativo ID_165. Come evidenziato dalle mappe relative alla QAmax, nel quadro di unione Q6 non si riscontrano esondazioni localizzate.

Nel tratto di monte la sezione trasversale della piena avente portata QAmax possiede una larghezza media di 4 m e una pendenza del fondo alveo di circa il 3%.

Figura 10 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q6

Nella Figura 11 è rappresentato il profilo di corrente relativo alla portata qui considerata e l'andamento altimetrico del fondo alveo. Tale tronco risulta idraulicamente omogeneo e presenta un comportamento montano. Il rio Mannu di Montevecchio, nel tronco analizzato, per il valore soglia pari a QAmax determina una profondità media delle altezze idriche pari a circa 0.38 m e un valore medio della velocità della corrente di 2.3 m/s.

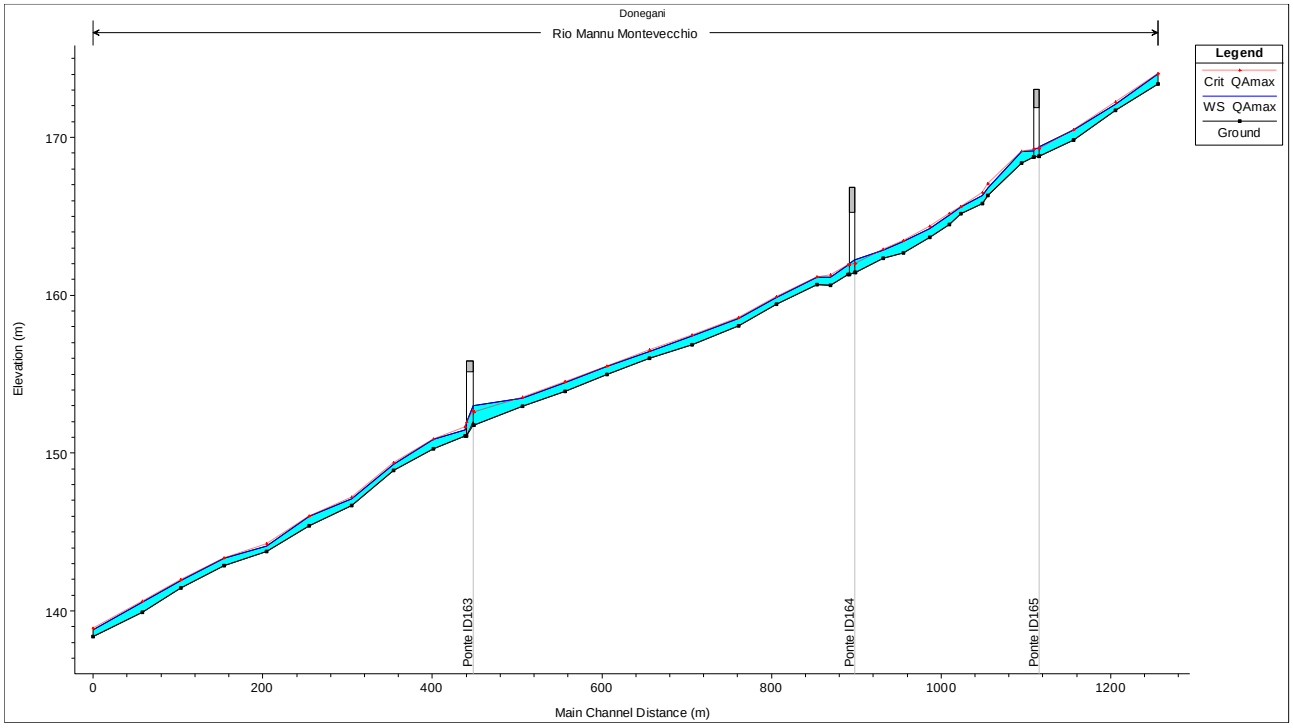

Figura 11 – Profilo di corrente QAmax del rio Mannu di Montevecchio relativo al tratto di monte

Nel tronco fluviale non sono presenti opere idrauliche di difesa longitudinali ma esclusivamente tre intersezioni con la Strada Provinciale 66:

- ponte ID_165,
- ponte ID_164;
- ponte ID_163.

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.

5.2.1.2 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 3 m^3/s.

Per tale porzione di corso d'acqua, non modificandosi le condizioni al contorno, la mappatura della portata Qmin risulta ovviamente essere identica a quella analizzata nel paragrafo 5.2.

5.2.1.3 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.

5.2.1.4 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 la condizione di verifica per 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_165

Il primo elemento di criticità presente a valle della Diga di Donegani è il ponte sulla SP66 visibile nella Figura 12, la cui sezione trasversale modellata su HEC-RAS è rappresentata nella Figura 13. Il ponte ha una geometria ad arco, con base d'imposta a quota 170.65 m s.l.m. e le verifiche dei franchi idraulici sono state effettuate in relazione a tale valore di quota.

Figura 12 – Ponte ad arco ID_165

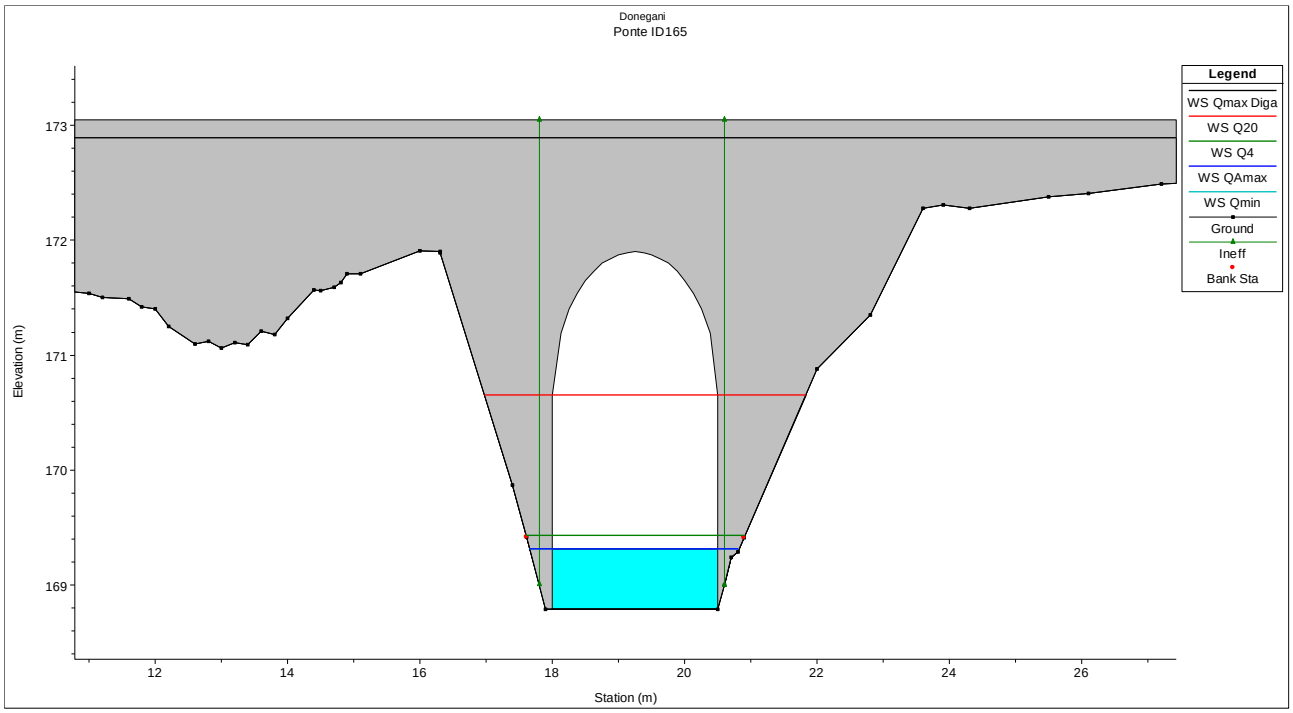

Figura 13 – Sezione Ponte ID_165

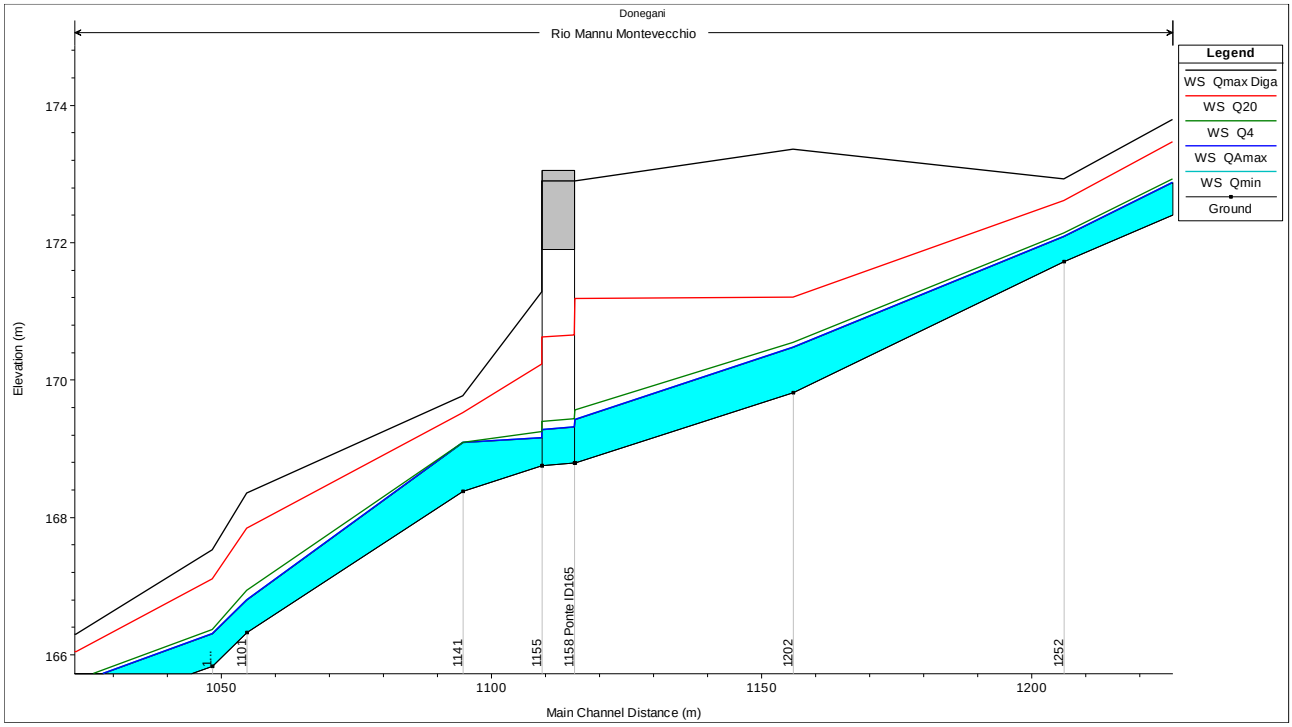

Figura 14 – Profilo di corrente Ponte ID_165

Tabella 5 - Portate critiche Ponte ID_165

	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	3	170.65	169.31	169.43	1.34	1.22
QAmax						
Q(f)	4		169.43	169.56	1.22	1.09
Q(f0)	20		170.65	171.18	0.00	-0.53
QMax Diga	34		172.89	172.89	-2.24	-2.24

In Tabella 5 sono riportati i parametri caratteristici del deflusso idrico in corrispondenza del ponte stradale ID_165. 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 1.09 m che determina una portata Q(f) pari a 4 m^3/s; il franco viene annullato in corrispondenza del ponte per una portata Q(f0) pari a 20 m^3/s; mentre il sormonto dell'attraversamento avviene per un valore di portata superiore a quella massima scaricabile dalla diga pari a 34 m^3/s.

II. Ponte Stradale ID_164

Proseguendo verso valle, a circa 0.2 km dal precedente attraversamento è presente il secondo elemento di criticità a valle della Diga di Donegani: il ponte ID_164 sulla SP66. L'opera è 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 163.7 m s.l.m. e le verifiche dei franchi idraulici sono state effettuate in relazione a tale valore di quota.

Figura 15 – Ponte Stradale ID_164

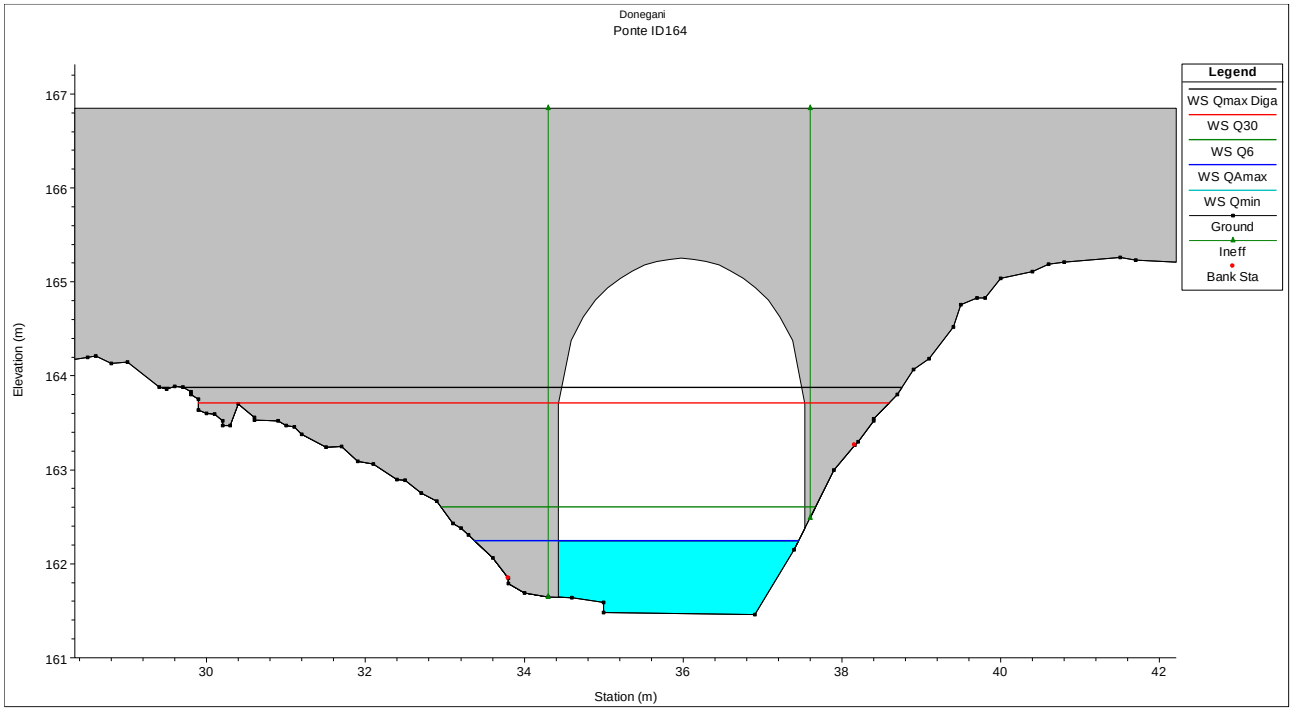

Figura 16 – Sezione Ponte ID_164

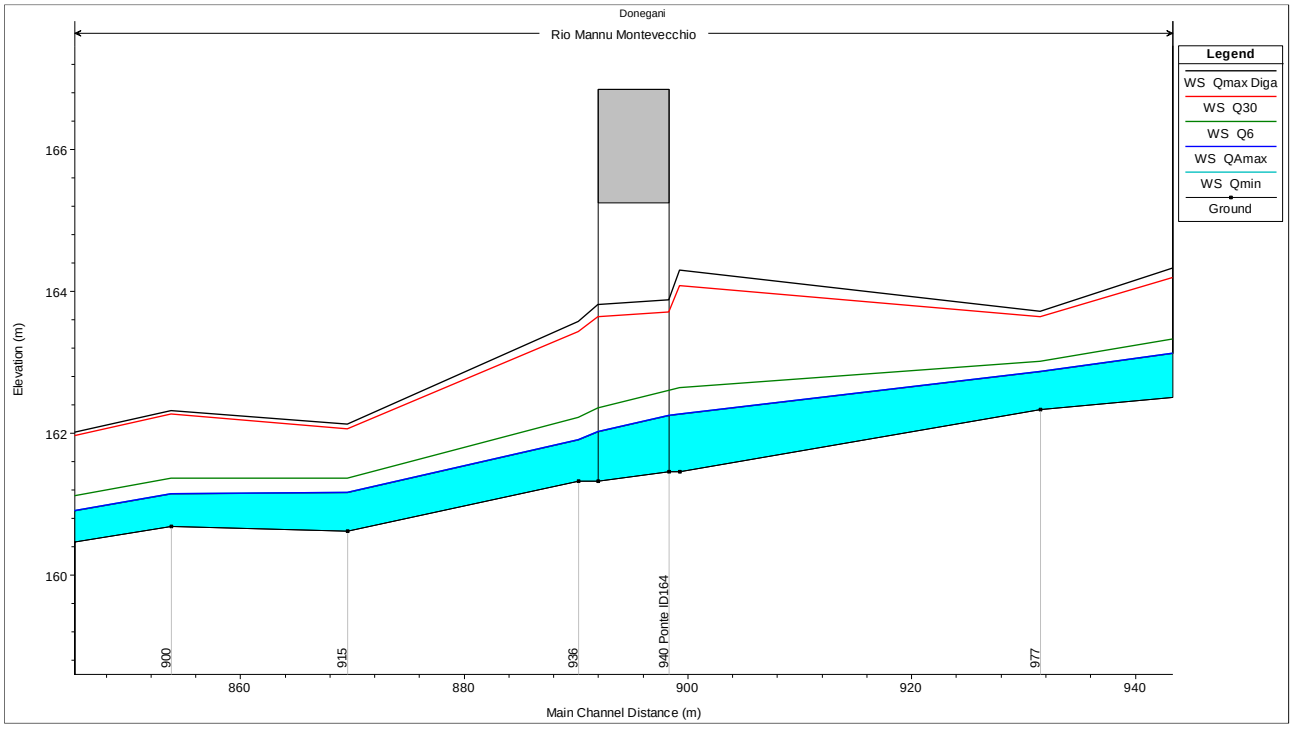

Figura 17 – Profilo di corrente Ponte ID_164

Tabella 6 - Portate critiche Ponte ID_164

	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	3	163.7	162.25	162.26	1.45	1.44
QAmax						
Q(f)	6		162.6	162.63	1.1	1.07
Q(f0)	30		163.71	164.08	-0.01	-0.38
Q Max Diga	34		163.87	164.3	-0.17	-0.6

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 1.07 m che determina una portata Q(f) pari a 6 m^3/s; il franco viene annullato per un valore di portata di soglia superiore a 30 m^3/s, mentre per una portata pari alla massima scaricabile dalla diga il ponte non viene sormontato ma potrebbe verificarsi una situazione di criticità per via dalla presenza dell'arco.

III. Ponte ID_163

Proseguendo verso valle, a circa 450 m a valle dal ponte precedente, si incontra il ponte avente ID_163 visibile nella Figura 18, la cui sezione trasversale modellata su HEC-RAS è rappresentata nella Figura 19. Il ponte possiede una luce libera rettangolare per il transito delle portate di piena. La quota dell'intradosso del ponte risulta essere pari a 155.15 m s.l.m. e le verifiche dei franchi idraulici sono state effettuate in relazione a tale valore di quota.

Figura 18 – Ponte strada sterrata ID_505 in località Badu Mannolere

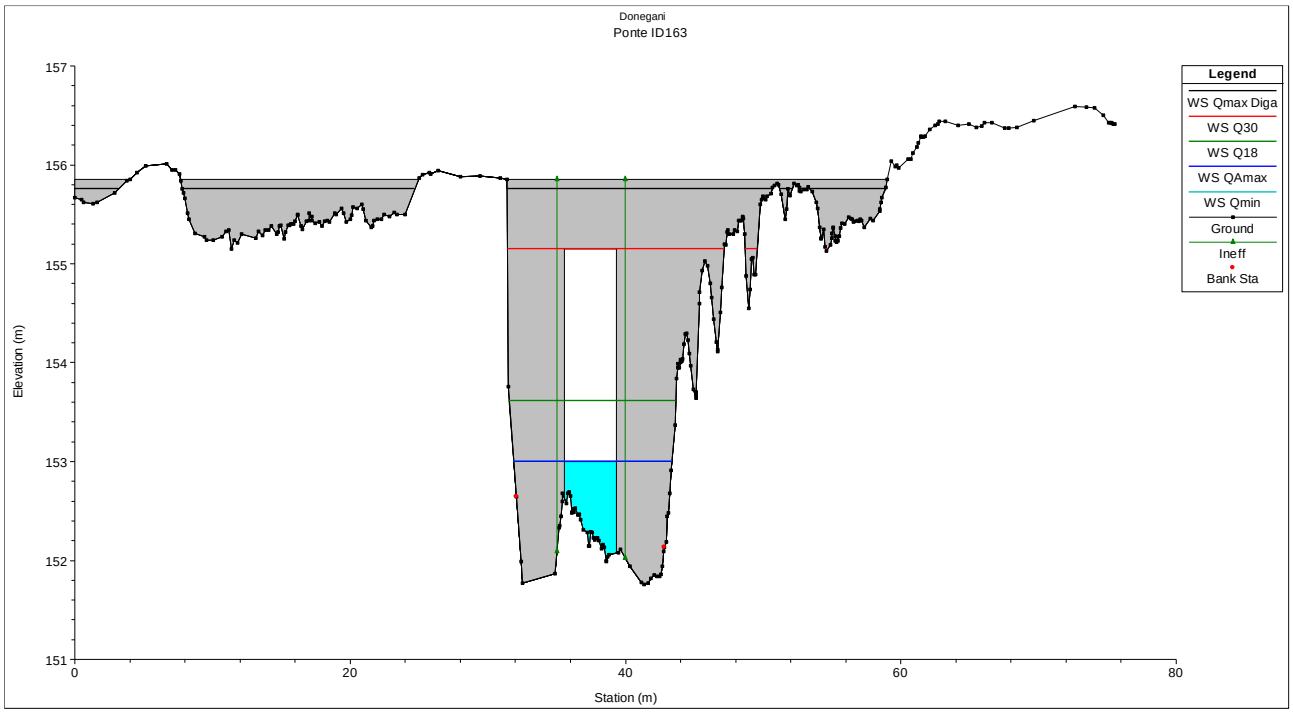

Figura 19 – Sezione del ponte ID_163

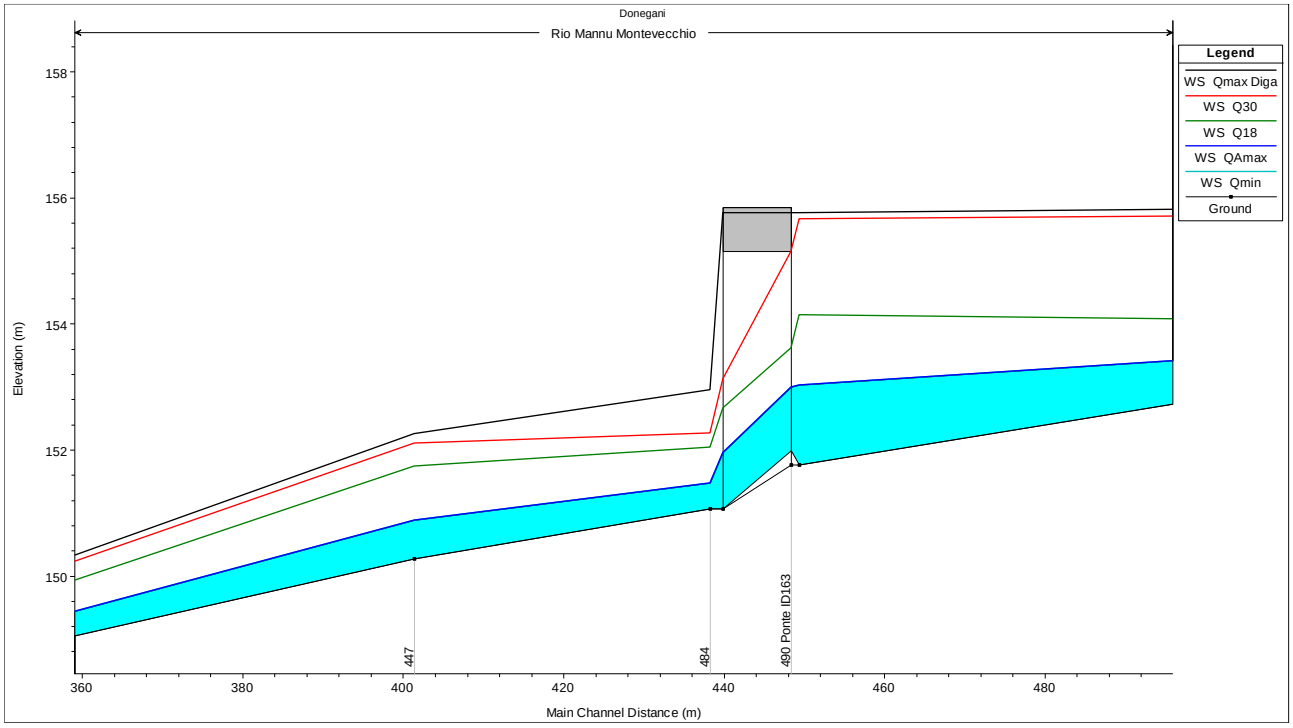

Figura 20 – Profilo di corrente Ponte ID_163

Tabella 7 - Portate critiche Ponte ID_163

	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	3	155.15	153	153.03	2.15	2.12
QAmax						
Q(f)	18		153.62	154.14	1.53	1.01
Q(f0)	30		155.15	155.67	0	-0.52
Q(s)	34		155.76	155.76	-0.61	-0.61

In Tabella 7 sono riportate le portate critiche ed i relativi parametri caratteristici del deflusso in corrispondenza del Ponte ID_163. 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 1.01 m per una portata Q(f) pari a 18 m^3/s; il franco viene annullato in corrispondenza del ponte per una portata Q(f0) pari a 30 m^3/s; mentre il sormonto dell'attraversamento avviene per una portata Q(s) di 34 m^3/s, pari alla massima portata scaricabile dalla diga.

IV. Strada Comunale

La strada comunale scorre parallelamente al corso d'acqua in destra idraulica e a circa 350 m a valle del ponte ID_163 inizia ad essere lambita dal deflusso per valori di portata pari a 4 m^3/s.

Figura 21 – Strada Comunale a 350 m dal ponte ID_163

5.2.2 TRATTO DI VALLE

5.2.2.1 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 3 m^3/s. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, a monte è stata assunta la condizione di moto uniforme e a valle, in base a quanto deliberato in situazioni analoghe dal Tavolo Tecnico, la restituzione a mare è stata assunta ad una quota di 0.80 m s.l.m. In merito si è quindi ritenuto che la quota di restituzione

a mare di 1.80 m s.l.m. adottata nel P.S.F.F. e nel P.G.R.A. non fosse compatibile con le ipotesi alla base della definizione della portata QAmax assunta in condizioni di gestione ordinaria della diga.

Il tratto analizzato si sviluppa per una lunghezza di circa 6 km in un fondovalle inciso nel quale si evidenziano fenomeni franosi localizzati. 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. Sono diversi i guadi che il corso d'acqua incontra lungo il suo corso, come diversi sono i rii minori che affluiscono sull'asta principale. Inoltre, a circa 2 km dalla foce si immette sul corso d'acqua principale il Rio Piscinas, affluente in destra idraulica.

Figura 22 - Fenomeno deposito alluvionale in alveo- sez.2244 tratto di valle confluenza DX rio Piscinas

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 evidenziato dalle mappe relative alla QAmax, nei quadri di unione Q5, Q4, Q3, Q2 e Q1 non determina esondazioni di particolare importanza.

Figura 23 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q5

Figura 24 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q4

Figura 25 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q3

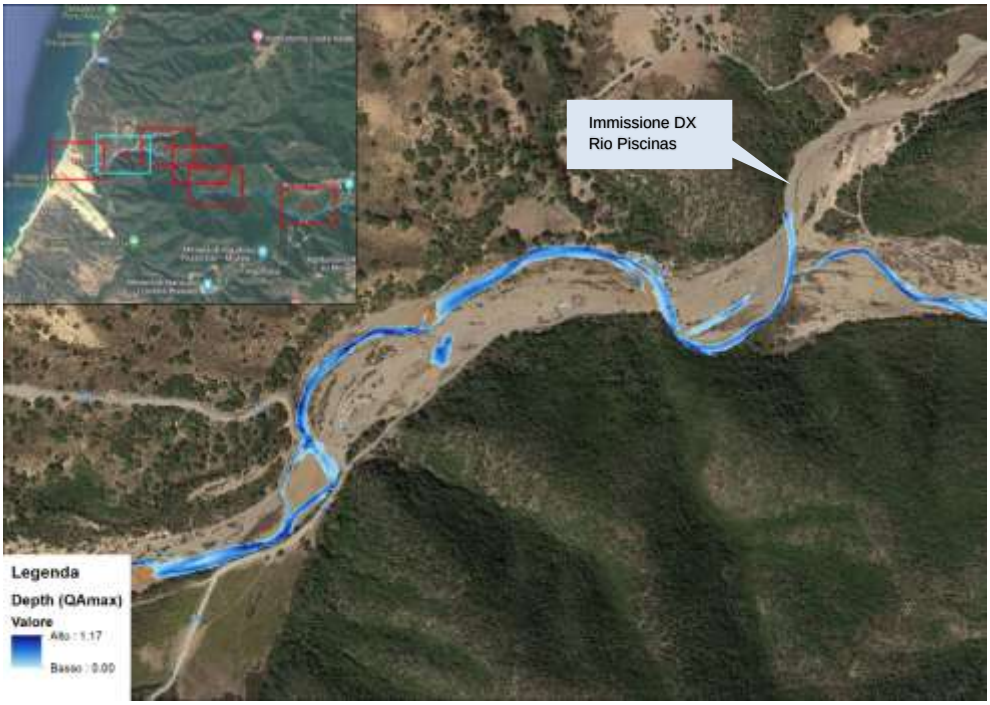

Figura 26 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q2

Figura 27 - Perimetrazione della portata QAmax – Quadrante Q1

Figura 28 – Conci verticali della diga di Piscinas sulla foce a mare del corso d'acqua.

Nel tratto di valle la sezione trasversale del deflusso per la portata QAmax possiede una larghezza media di 10 m e si rileva una pendenza del fondo alveo di circa l'1%.

Nella Figura 29 è rappresentato il profilo di corrente relativo alla soglia di portata qui considerata e l'andamento altimetrico del fondo alveo. Il rio Mannu di Montevecchio, nel tronco analizzato, per il valore di QAmax determina una profondità media delle altezze idriche pari a circa 0.29 m e un valore medio della velocità della corrente di 1.37 m/s.

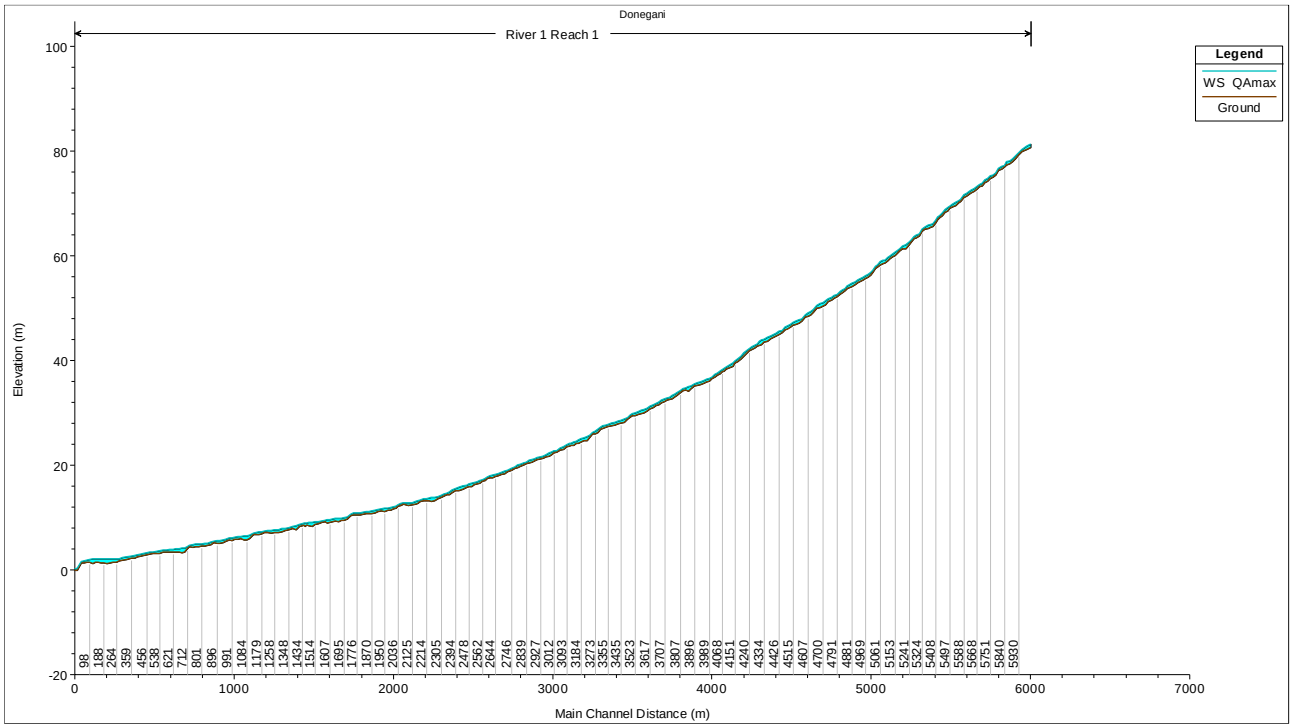

Figura 29 – Profilo di corrente QAmax del rio Mannu di Montevecchio relativo al tratto di valle

Nel tronco fluviale non sono presenti opere idrauliche di difesa longitudinali ed il corso d'acqua incontra diverse intersezioni a guado ad uso della viabilità locale, unicamente sterrata.

5.2.2.2 Simulazione della portata Qmin

Come già detto, la simulazione idraulica del deflusso della Qmin è stata realizzata associando a tale soglia il valore di portata pari a 3 m^3/s, e quindi uguale al valore della QAmax.

Tuttavia, per quanto riguarda le condizioni al contorno, pur mantenendo a monte la condizione di moto uniforme, a valle la restituzione a mare è stata assunta pari alla quota di 1.80 m s.l.m. come adottato anche nel P.S.F.F, nel P.G.R.A e in base a quanto considerato dal Tavolo Tecnico in situazioni analoghe per la verifica delle criticità.

Pertanto, la mappatura della portata Qmin è stata esaminata nel dettaglio solo per la parte più valliva del corso d'acqua ove le condizioni al contorno modificano i limiti di esondazione. La restante parte del corso

d'acqua risulta essere con caratteristiche identiche a quella analizzata nel paragrafo 5.2.2.1, essendo lo stesso il valore di portata modellata. Nella Figura 30, conseguentemente, si osserva una mappatura dell'area fociva simile alla mappatura della QAmax per via dell'importante duna litoranea presente nella spiaggia di Piscinas; la figura mostra come la condizione di restituzione a mare influenzi in maniera poco significativa l'area di esondazione in prossimità dello sbocco a mare del corso d'acqua.

Figura 30 - Perimetrazione della portata Qmin e QAmax – Quadrante Q1

5.2.2.3 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:

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

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

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

5.2.2.4 Valutazione delle portate critiche per viabilità e infrastrutture a rete

Il corso d'acqua, nel suo tratto di valle, scorre parallelamente ad una strada sterrata la quale viene interessata dalla portata del rio laddove questa determina dei guadi carrabili a filo. Uno, di maggior importanza ed interesse è situato nella parte fociva, visibile nella Figura 31, dove il rio Mannu di Montevecchio è alimentato anche dalla portata del rio di Piscinas. Questi non sono stati presi in considerazione per lo studio dei franchi idraulici, ma viene riportata una sezione trasversale in prossimità di esso al fine della valutazione del tirante idrico relativo alla QAmax e Qmin che sono rispettivamente pari a 0.24 m e 0.21 m con una velocità della corrente di 0.43 m/s e 0.61 m/s.

Figura 31 – Guado presente in prossimità delle dune di Piscinas

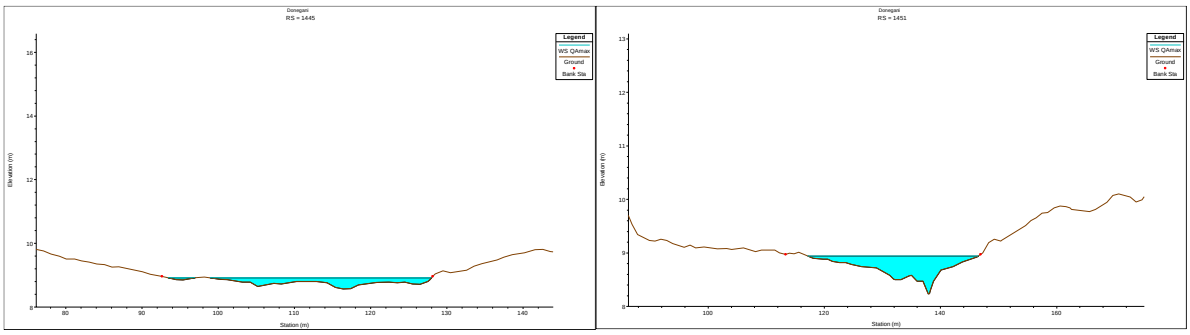

Figura 32 – Guado presente in prossimità delle dune di Piscinas- a sinistra la sezione n.1451, a destra la sezione n.1445

Figura 33 – Planimetria sezioni nell'intorno del Guado di Piscinas -QAmax

5.3 SINTESI DEI VALORI CRITICI DI PORTATA

Sulla base delle simulazioni idrauliche sopra illustrate, si riportano nelle seguenti figure e in Tabella 8 i principali valori di portata critica Q_c individuati sul rio Mannu di Montevecchio a valle della diga di Donegani.

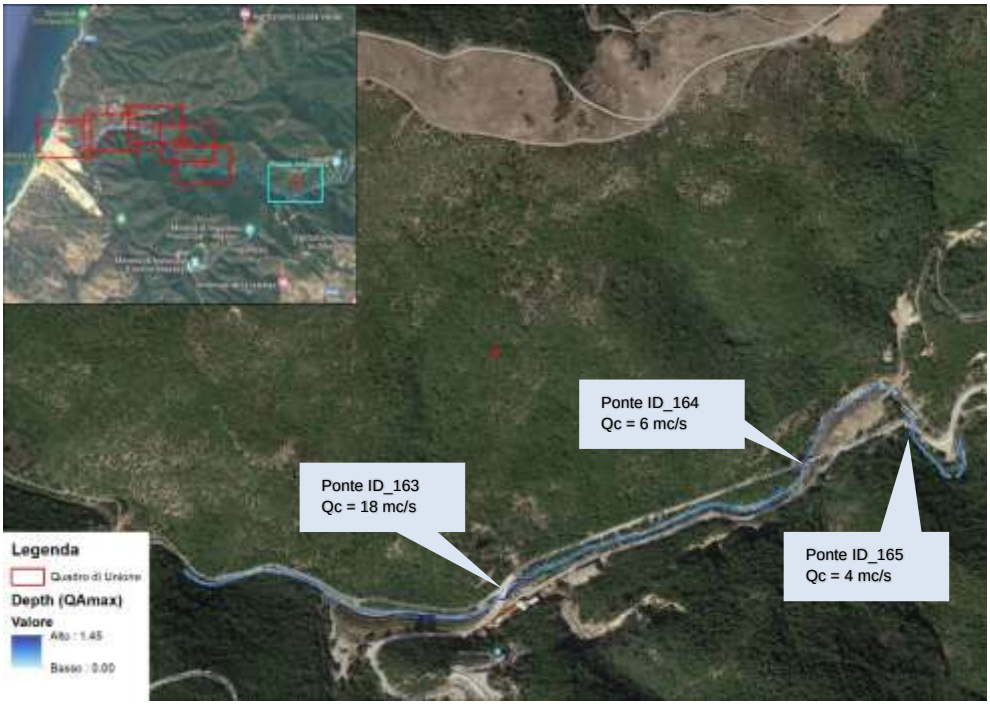

Figura 34 – Portate critiche – Quadrante Q6

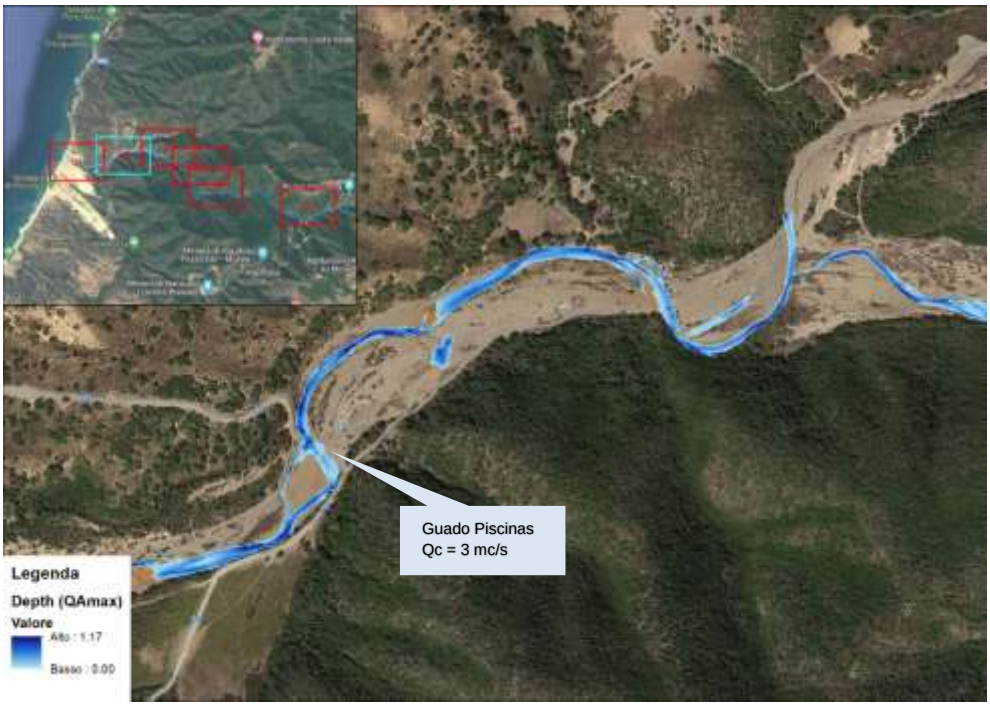

Figura 35 – Portate critiche– Quadrante Q2

Tabella 8 - Valori critici di portata

Portata (m^3/s)		Elemento	Criticità
Qc1	3	Guado Piscinas	Criticità nell'attraversamento
Qc2	4	Strada provinciale 66 a 350 m dal ponte ID_163	Interessamento viabilità
Qc9	4	Ponte ID 165 su SP66	Limite Franco Idraulico Verificato
Qc10	6	Ponte ID 164 su SP66	Limite Franco Idraulico Verificato
Qc11	18	Ponte ID 163 su SP66	Limite Franco Idraulico Verificato
Qc12	20	Ponte ID 165 su SP66	Franco Nullo
Qc13	30	Ponte ID 164 su SP66	Franco Nullo
Qc14	30	Ponte ID 163 su SP66	Franco Nullo
Qc15	34	Ponte ID 165 su SP66	Sormonto Ponte
Qc16	34	Ponte ID 164 su SP66	Sormonto Ponte
Qc17	34	Ponte ID 163 su SP66	Sormonto Ponte

6 Considerazioni conclusive

Nel presente documento sono state definite le portate di riferimento per la Diga di Donegani, ai sensi della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, prendendo in esame il corso del rio Mannu di Montevecchio compreso fra il suddetto sbarramento e la foce nell'arenile di Piscinas.

Poiché il tratto iniziale del rio Mannu di Montevecchio, 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 = 3 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 3 m^3/s**.

Per quanto riguarda le interazioni della corrente con le principali infrastrutture presenti lungo il corso del rio Mannu di Montevecchio , 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 ancor più esigue**, 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 Donegani, 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 Qsoglia 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 Donegani.

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 possa considerare il seguenti valore critico di portata scaricata dalla diga:

- **18 m^3/s: portata scaricata dallo scarico di superficie con livello d'invaso pari a circa 309.60 m s.l.m., ovvero 0.7 m sopra la quota di massima regolazione.**

Tali valori sono da intendersi come soglie incrementali, comprensivi della portata Qmin e, quindi, come valori complessivi di portata scaricata dalla diga al fine evidenziare ulteriori criticità vallive.

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 rio Mannu di Montevecchio qui considerato.