



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO DEL GENIO CIVILE DI ORISTANO



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE

Via Cagliari n. 170 – Oristano

Prosecuzione degli interventi di
rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle
sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio),
ricalibratura della sezione
(Servizio di Piena 2022)

C.A.T. P0223

C.U.P.: G52B23001690002

C.I.G.:

PROGETTO ESECUTIVO

Progettista
Ing. Gian Luca Zuddas

Responsabile del Procedimento
Dott. Serafino Angelo Meloni

Collaboratori
Dott.ssa Ing. Eleonora Trudu
Ing. Giovanni Manca

Committente
Consorzio di Bonifica dell'Oristanese
Il Presidente
Dott. Carlo Corrias

Titolo

Allegato

RELAZIONE IDRAULICA

B

Rev.	Data	Nome file	Redattore	Verificatore
00	01/12/2023	1503P0223relidraulicET	Ing. Gian Luca Zuddas	Ing. Francesco Castagna

INDICE

1. PREMESSA	1
2. STUDIO DEL CONTESTO	3
2.1 <i>Inserimento territoriale</i>	3
2.2 <i>Geologia, pedologia, zonizzazione sismica</i>	4
2.3 <i>Vincoli idrogeologici</i>	5
2.3.1 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)	6
2.3.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	9
2.3.3 Ciclone Cleopatra	11
2.3.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	11
2.3.5 Sintesi dei vincoli	13
2.4 <i>Inquadramento bio-naturalistico</i>	13
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI.....	17
4. INTERVENTI IN PROGETTO	19
4.1 <i>Descrizione degli interventi</i>	19
4.2 <i>Effetti degli interventi</i>	20
4.2.1 Idrologia	20
4.2.2 Analisi idraulica	34

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo “Prosecuzione degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione (Servizio di Piena 2022)”.

A partire dal 2010 sono stati programmati diversi interventi sul Rio Mogoro inerenti alla rimodellazione e la stabilizzazione dell'alveo e delle sponde nel tronco intermedio, in considerazione della tendenza all'erosione che in alcuni tratti ha originato delle criticità con cedimenti localizzati delle sponde e conseguente avvicinamento dell'alveo verso gli argini.

Nell'approvazione di tali interventi si è tenuto conto dei contenuti del Piano Gestione Rischio Alluvioni e in particolare dello studio denominato “Scenari di intervento strategico e coordinato: Rio Mogoro” approvato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino regionale n. 1 del 11.12.2018. Da tale studio emerge l'esigenza di realizzare degli interventi mirati a migliorare la sicurezza idraulica del Rio Mogoro.

Con il Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n.3/1563 del 30/05/2019 è stato approvato il programma degli interventi sul “Servizio di piena e Intervento idraulico” predisposto dal Servizio Genio Civile di Oristano, e tra questi ricade l'intervento (lavori) denominato “*Ricalibratura della sezione e adeguamento delle arginature del rio Mogoro - Prosecuzione degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione*” che costituisce uno stralcio per la realizzazione delle opere previste nella progettazione sopra richiamata per un importo di € 1.400.000,00. Tale intervento deriva dal progetto di fattibilità tecnica ed economica denominato “Servizio tecnico per il completamento dei relativi interventi di ricalibratura della sezione e adeguamento della arginature” redatto dalla società ART Ambiente Risorse Territorio s.r.l. affidato dal Servizio Genio Civile.

Come premesso, gli interventi progettuali si inseriscono nel quadro più ampio definito attraverso il documento di “Predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di alluvioni sui principali corsi d'acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 – Bacino del rio Mogoro” e riguardano i seguenti aspetti principali:

1. il rimodellamento delle sezioni d'alveo, attraverso la riconfigurazione del fondo per ottenere una larghezza minima di 10 m, la regolarizzazione della pendenza longitudinale secondo una livelletta con pendenza pari al 2‰ e la sistemazione della parte golenale di sezione esterna all'alveo di magra, con una livellazione per permetterne la carrabilità dei mezzi;
2. la riprofilatura delle scarpate arginali e ricalibratura a regolarizzare il coronamento sommitale. È previsto l'allargamento arginale, con ringrosso lato campagna, per la realizzazione di una pista sommitale carrabile e di piazzole di scambio al fine di consentirne la percorribilità con mezzi;
3. la predisposizione di rampe di accesso al sistema arginale e all'alveo inciso;
4. la demolizione dei guadi esistenti.

Tali sistemazioni, di riordino e controllo del sistema difensivo del corso d'acqua, sono conformi a quanto stabilito all'intervento "B" dal succitato Piano di Gestione Rischio Alluvioni per il tratto intermedio del rio Mogoro.

La progettazione degli interventi di seguito descritti è finalizzata a garantire la funzionalità idraulica del corso d'acqua in relazione soprattutto alla vicinanza ad aree antropizzate. Nella predisposizione del presente studio idraulico si è fatto riferimento agli aspetti di modellazione idrologica approfonditi dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) e degli studi ARDIS-DICAAR svolti in merito al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni.

2. STUDIO DEL CONTESTO

2.1 Inserimento territoriale

Il Rio Mogoro, facente parte del bacino del Rio Mogoro, si origina dalla confluenza tra il Rio Mannu e il Rio Flumineddu, in località Narboni Mannu, dirigendosi poi verso la pianura del Campidano. Nel tratto relativo al territorio del Comune di Uras, in particolare a partire da valle in prossimità della confluenza del Canale delle Acque Alte sino a un tratto di 885 m verso monte, si svilupperà il progetto di Ricalibratura della sezione dell'alveo centrale del corso d'acqua oggetto di studio. Nella figura seguente si riporta la sovrapposizione del reticolo idrografico su immagine satellitare in cui è possibile localizzare l'area di intervento.

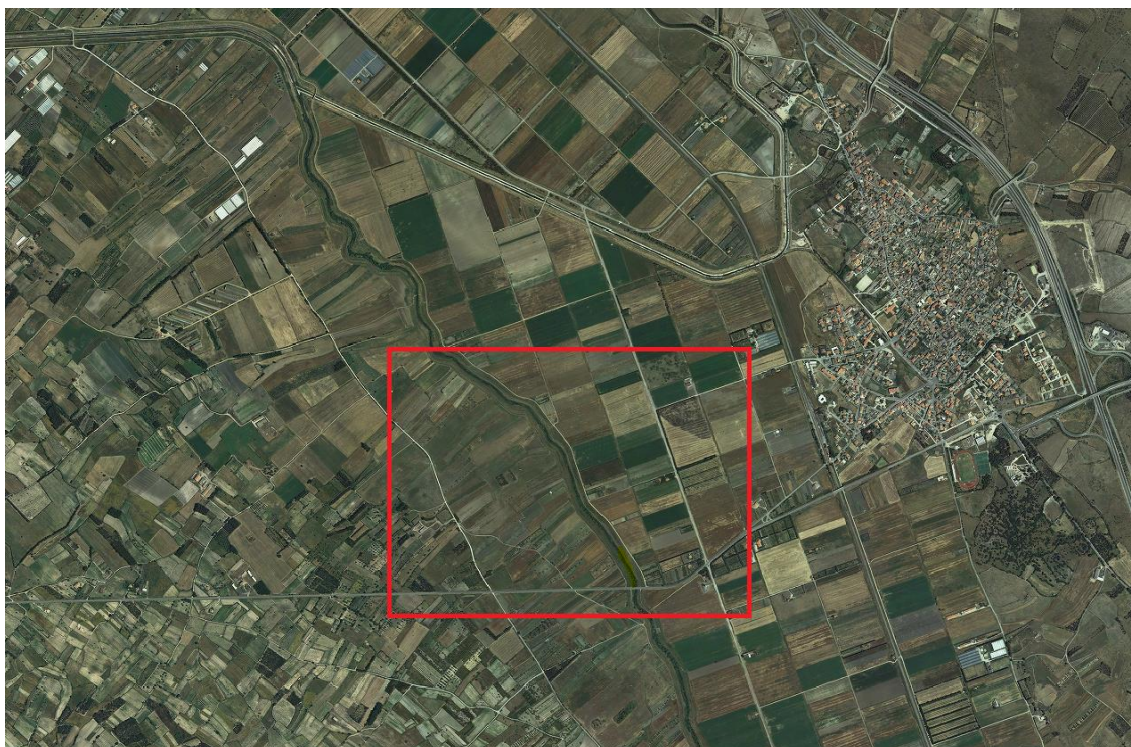


Figura 1 – Inquadramento del tratto del rio Mogoro su cui si vuole intervenire

Cartograficamente l'area del rio Mogoro ricade interamente nel foglio 539 sezione III "Mogoro" della cartografia IGM 1:25'000 e nei fogli 539050 "Uras nord" della Carta Tecnica Regionale 1:10'000.

2.2 Geologia, pedologia, zonizzazione sismica

Dal punto di vista geologico generale le due aree, seppur distanti, mostrano una conformazione geologica molto simile.

Il settore in esame ricade nel Graben campidanese Plio-Quaternario, compreso tra i complessi montuosi del Monte Funesu a Sud-Ovest e del Monte Arci a Nord-Est. Le formazioni metamorfiche del Monte Funesu sono da ricondurre alla fase collisionale dell'orogenesi ercinica, mentre, le vulcaniti del Monte Arci appartengono al ciclo vulcanico Plio-Quaternario.

Dal punto di vista morfologico la vasta pianura campidanese e i rilievi circostanti rappresentano un complesso sistema ad horst e graben, i cui bordi sono delimitati da evidenti famiglie di faglie orientate prevalentemente in direzione NW-SE o N-S.

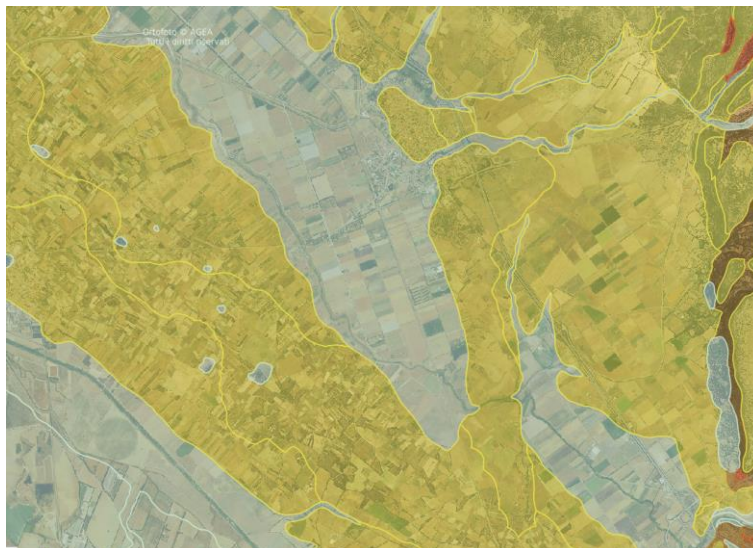


Figura 2 – Stralcio della carta geologica della Regione Sardegna nell'area del rio Mogoro: in giallo i depositi pleistocenici dell'area continentale, e in ciano i sedimenti alluvionali

L'area è pertanto caratterizzata da un settore centrale sub-pianeggiante che si protende in direzione NW-SE in cui scorrono il Rio Mogoro e il Fluminimannu; il raccordo con i rilievi del Monte Arci e del Monte Funesu che si ergono in netto contrasto con la pianura centrale avviene attraverso ampie conoidi di deiezione e depositi di frana ai margini dei rilievi.

La rete idrografica sviluppatasi in funzione delle caratteristiche strutturali e litologiche dei terreni affioranti appare assai diversificata. Sulle vulcaniti del Monte Arci presenti nel settore nord-

occidentale e sulle formazioni metamorfiche del Monte Funesu affioranti nel settore sud-orientale il reticolo idrografico appare ben sviluppato con caratteri variabili dal dendritico al radiale centrifugo. Nel settore centrale il reticolo impostato sui depositi alluvionali appare prevalentemente lineare, poco sviluppato e con grado di gerarchizzazione basso; nell'intera area è presente un complesso sistema di canalizzazioni con numerosi canali adduttori connessi al Rio Mogoro.

Sulla base della caratterizzazione geologica è possibile valutare la permeabilità del suolo. Infatti, in corrispondenza dei depositi pleistocenici si ha una permeabilità medio alta, mentre in corrispondenza dei sedimenti la permeabilità varia in alta, essenzialmente per via della elevata porosità.

2.3 Vincoli idrogeologici

Il rio Mogoro è un corso d'acqua naturale che negli anni ha subito diversi interventi di riprofilatura e regimazione. In particolare, nel tratto compreso tra la linea ferroviaria e la foce nello Stagno di San Giovanni, sono presenti argini su entrambi i lati con dimensioni e altezze variabili, anche in funzione delle immissioni.

Il vincolo idrogeologico è istituito e normato con il Regio Decreto n.3627 del 30.12.1923 e il successivo regolamento di attuazione R.D. 1126/1926. Esso rivolge particolare attenzione alla protezione dal dissesto idrogeologico ed istituisce tale vincolo come strumento di prevenzione e difesa del suolo, limitando il territorio ad un uso conservativo.

Sulla base della perimetrazione vigente del vincolo idrogeologico, è disponibile per ogni Servizio Territoriale dell'Ispettorato Ripartimentale (STIR) la relativa documentazione di approvazione del vincolo nonché la cartografia e l'elenco catastale.

Nella fattispecie, non sono presenti nell'area di interesse vincoli di natura idrogeologica ai sensi del R.D.L. 3267/23.

Negli ultimi decenni sono nati nuovi strumenti di pianificazione di natura idrogeologica riconducibili fondamentalmente ai seguenti piani:

- Piano di Assetto Idrogeologico, PAI;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, PSFF;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, PGRA;
- Ex art.8 delle Norme di Attuazione del PAI;

- Altri (Ciclone Cleopatra, Scenari di intervento, etc).

2.3.1 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Ai fini della difesa, della salvaguardia e del corretto sfruttamento del territorio, il Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale, costituisce il documento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale vengono pianificate e programmate le azioni promulgate dalla Pubblica Amministrazione (ai diversi livelli) e dagli Enti competenti nell'ambito della prevenzione del rischio idrogeologico. Il PAI è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici che permettono di definire i diversi livelli di pericolosità idraulica e rischio sulle zone potenzialmente critiche al verificarsi di eventi idrogeologici.

Nelle aree di pericolosità idraulica e di pericolosità da frana il PAI ha le finalità di garantire adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni.

Inoltre, il PAI è lo strumento attraverso il quale si deve:

- inibire le attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico e contrastare l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti;
- costituire le condizioni di base per avviare azioni di riqualificazione degli ambienti fluviali e di riqualificazione naturalistica o strutturale dei versanti in dissesto;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate.

Il PAI considera quattro classi di pericolosità, associando ad esse tempi di ritorno crescenti come da tabella:

Tabella 1 - PAI: classi di pericolosità idraulica (Hi).

Pericolosità		Frequenza (1/T)	Periodo di ritorno (T anni)
Hi 1	Bassa	0,002	500
Hi 2	Moderata	0,005	200
Hi 3	Alta	0,010	100
Hi 4	Molto alta	0,020	50

Associando a tali punti di criticità un valore degli elementi a rischio idrogeologico (E) secondo le seguenti classi:

Tabella 2 - PAI: classi degli elementi a rischio (E).

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree escluse dalle definizioni E2, E3 ed E4. Zona boschiva. Zone di protezione ambientale con vincolo estensivo (p.e. vincolo Galasso). Zone falesie costiere con possibilità di frequentazione.	0,25
E2	Zona agricola generica. Infrastrutture puntuali per le telecomunicazioni. Zone di protezione ambientale con vincolo specifico ma non puntuale (p.e. parchi, riserve...).	0,50
E3	Infrastrutture pubbliche (altre infrastrutture viarie e fondo artificiale, ferrovie, oleodotti, elettrodotti, acquedotti, bacini artificiali). Zone per impianti tecnologici e discariche di R.S.U. ed assimilabili, zone di cava e zone minerarie attive e non, discariche minerarie di residui di trattamento, zona discarica per inerti. Beni naturali protetti e non, beni archeologici. Zona agricola irrigua o ad alta produttività, colture strategiche e colture protette. Specchi d'acqua con aree d'acquacoltura intensiva ed estensiva. Zona di protezione ambientale puntuale (monumenti naturali e assimilabili).	0,75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità; nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane poco abitate; edifici sparsi; nuclei urbani non densamente popolati; aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori);	

E considerando, per maggior cautela, la Vulnerabilità pari a 1, si definiscono le varie classi di rischio secondo questa relazione:

$$R_i = H_i \cdot E \cdot V$$

Tabella 3 - PAI: classi di rischio idraulico (Ri).

Rischio idraulico			Descrizione degli effetti
Classi	Intensità	Valore	
Ri 1	Moderato	$\leq 0,002$	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
Ri 2	Medio	$\leq 0,005$	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
Ri 3	Elevato	$\leq 0,01$	Sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
Ri 4	Molto elevato	$\leq 0,02$	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socioeconomiche

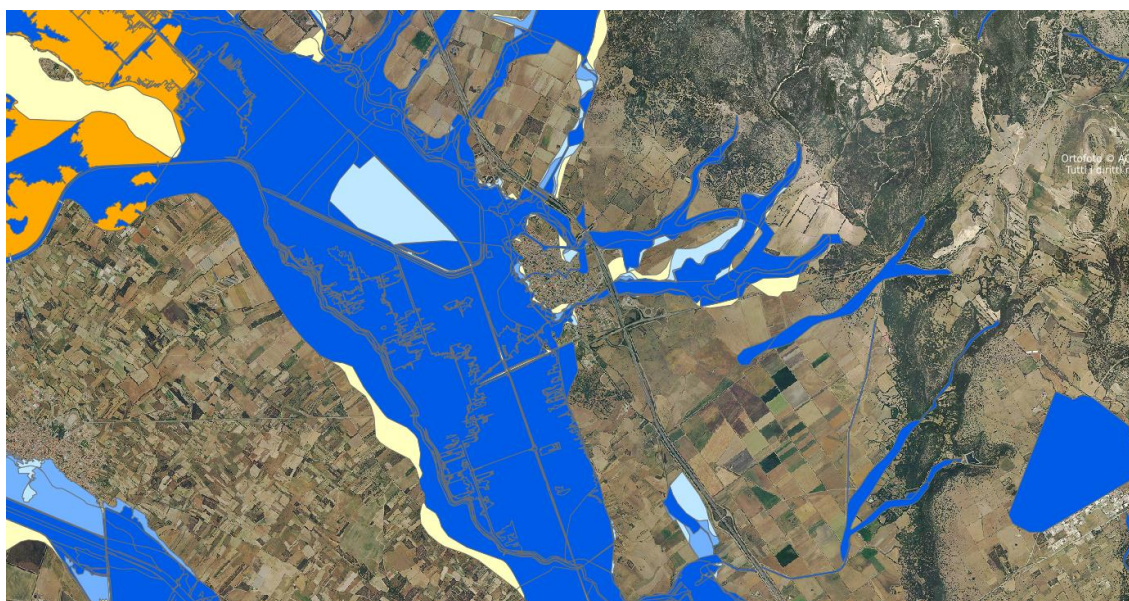


Figura 3 - Estratto cartografico delle aree di pericolosità idraulica individuate nel PAI, fonte Geoportale Regione Autonoma Sardegna.

2.3.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) è stato redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale. Il PSFF trova specificazione nella direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni e nel Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 che recepisce tale direttiva. Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, adottato in via definitiva nel 2015, ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Inoltre, costituisce un approfondimento ed un'integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionali a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

L'approccio metodologico all'attività di delimitazione delle Fasce Fluviali ha seguito le indicazioni delle Linee Guida per la Redazione del PSFF; il differente livello di approfondimento del quadro conoscitivo definito per i corsi d'acqua principali, dove sono state condotte analisi geomorfologiche, idrologiche e idrauliche di dettaglio, rispetto a quello gli affluenti secondari (dove non sono state condotte verifiche idrauliche delle modalità di deflusso in corso di piena) ha suggerito due differenti criteri di tracciamento delle fasce fluviali.

Sui corsi d'acqua principali sono state individuate cinque fasce:

- **fascia A_2** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- **fascia A_50** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- **fascia B_100** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al

verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;

- **fascia B_200** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;
- **fascia C** o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'involuppo esterno della fascia C geomorfologica (involuppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

Per il tratto fluviale in esame, il sistema arginale risulta tracimabile su entrambe le sponde per piene con tempo di ritorno di 50 anni. La morfologia pianeggiante del territorio è tale che le esondazioni, dovute a eventi con tempo di ritorno uguale o superiore a 50 anni, possano raggiungere in sinistra la strada per Terralba, mentre in destra il rilevato della ferrovia Cagliari-Oristano e il Canale delle Acque Alte.

Il corso d'acqua oggetto di intervento ricade all'interno del sub-bacino 02 Tirso. Più precisamente, il rio Mogoro si trova nel sottobacino 23-Minori tra il Flumini Mannu di Pabillonis ed il Tirso.



Figura 4 - Sovrapposizione delle aree di pericolosità PSFF con evidenza del rio Mogoro che inquadra la zona interessata all'intervento

2.3.3 Ciclone Cleopatra

L'evento alluvionale del novembre 2013 noto come Ciclone Cleopatra ha colpito, anche con gravi conseguenze di vite umane, l'intero territorio regionale, tra cui il comune di Uras.

Con deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n.2 del 29.07.2014 sono state approvate le aree di perimetrazione del comune di Uras su cui vengono contestualmente applicate le misure di salvaguardia di cui agli art. 4, 8, 23, 24 e 27 delle Norme di Attuazione del PAI.

2.3.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni è redatto in recepimento della direttiva 2007/60/CE e del relativo decreto di recepimento nazionale, D.lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni".

Il Piano coinvolge tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni con riferimento alla realizzazione di opere infrastrutturali di mitigazione del rischio, ma anche con riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure sono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del sottobacino di riferimento. Il PGRA individua, quindi, strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali. In particolare, il

PGRA si colloca nell'ampio quadro di pianificazione regionale già esistente in materia di pericolosità idrogeologica ed è orientato al coordinamento delle politiche relative agli usi idrici e territoriali, che possono avere importanti conseguenze sui rischi di alluvioni e sulla gestione dei medesimi.

Coerentemente a quanto richiesto dalla Direttiva Alluvioni, dal D.lgs.49/2010, dagli indirizzi operativi predisposti dal MATTM, le mappe di pericolosità da alluvione devono essere redatte secondo tre scenari rispettivamente di bassa, media ed elevata probabilità di accadimento.

Pertanto, nel PGRA, le quattro classi di pericolosità definite dagli strumenti di pianificazione adottati dalla Regione Sardegna (PAI, PSFF, studi ex Art. 8 comma 2 delle NA del PAI), nonché i perimetri delle aree interessate dall'evento alluvionale del 18.11.2013 denominato "Cleopatra", sono state accorpate secondo le tre classi di seguito riportate:

- **P3**, ovvero aree a pericolosità elevata, con elevata probabilità di accadimento ($Tr \leq 50$);
- **P2**, ovvero aree a pericolosità media, con media probabilità di accadimento ($100 \leq Tr \leq 200$);
- **P1**, ovvero aree a pericolosità bassa, con bassa probabilità di accadimento ($200 < Tr \leq 500$).

Le maggiori differenze rispetto alla pianificazione precedente sono invece presenti nei pressi degli abitati di Uras e Terralba. In particolare, nell'abitato di Uras vengono recepite le pericolosità relative all'evento "Cleopatra", mentre nel territorio comunale di Terralba le pericolosità sono state integrate con i risultati delle simulazioni effettuate nell'ambito del PGRA con la modellazione idraulica monodimensionale che ha utilizzato il modello digitale del terreno con maglia di 1 metro.

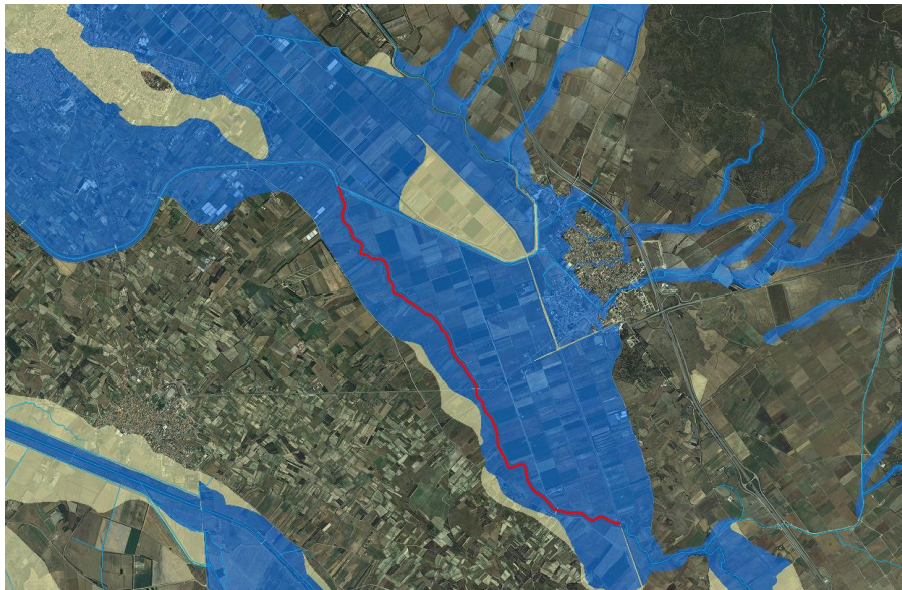


Figura 5 - Perimetrazione P.G.R.A. su base ortofoto con evidenza del rio Mogoro

2.3.5 Sintesi dei vincoli

Nei paragrafi precedenti si sono analizzati i vari studi condotti ai fini della pianificazione nei confronti della pericolosità idraulica.

Appare evidente che gli interventi previsti in progetto ricadono totalmente all'interno delle fasce di pericolosità Hi4, ovvero con tempo di ritorno di 50 anni. Quanto sopra è reso ulteriormente evidente dal fatto che trattasi di lavori da eseguirsi nelle sponde dell'alveo di magra, per cui frequentemente interessato dalle piene anche ordinarie.

Un altro aspetto che si vuole mettere in evidenza è l'estensione delle aree di pericolosità idraulica. Infatti, la sezione arginata del rio Mogoro si mostra assolutamente inadatta per contenere le piene già con tempi di ritorno di 50 anni.

2.4 Inquadramento bio-naturalistico

I tratti fluviali interessati dall'intervento sono posizionati in aree fortemente antropizzate nelle quali non si riscontrano zone con elevato grado di naturalità, caratterizzati da specie erbacee alternate a canneti e ad arbusti tipici delle zone ripariali.

All'interno dell'alveo fluviale la vegetazione è rappresentata da specie erbacee con strutture caratterizzate da elevata resistenza al flusso idrico alternate a radi arbusti di tamerici e giovani

salici. Le specie censite sono rappresentate per lo più da radicate emergenti alle quali si associa, in alcuni tratti, la presenza della radicata sommersa *Ceratophyllum demersum*. Caratterizzanti quest'area risultano le associazioni a *Phragmites australis* e *Typha latifolia* spesso accompagnate da *Sparganium* sp. e altre specie riconducibili alla classe Phragmito-Magnocaricetea.

La fascia ripariale, individuata come "l'insieme delle cenosi ristrette o prossime al solo letto del fiume, in cui si può osservare una diretta influenza dell'acqua" (Graf, 1985), può essere definita come un ecotono fra l'ecosistema terrestre e quello acquatico; questa zona di transizione è caratterizzata da un gradiente di umidità dei suoli ove si sviluppa una vegetazione in genere definita anche "azonale" in quanto relativamente indipendente dal clima del territorio circostante.

In particolare, nelle zone con climi secchi o semiaridi ed in quelle con clima mediterraneo, la vegetazione riparia si estende come una formazione lineare che segue il corso del fiume contrastando fortemente con il paesaggio circostante; tra le più importanti funzioni svolte da quest'ultima si può senz'altro indicare il consolidamento della zona spondale, il ruolo di fascia tampone svolto nei confronti degli apporti di fertilizzanti a base di azoto e fosforo provenienti dalle coltivazioni, il controllo dei fenomeni di esondazione e della velocità dell'acqua e la creazione di habitat particolari nei quali la fauna trova rifugio e possibile sito di nidificazione.

Nel contesto delle sponde in esame si riconoscono comunità di specie annuali anche in questo caso alternate a formazioni a *Phragmites australis*, *Arundo donax* e ad altri popolamenti igro-nitrofili, nei quali risultano dominanti organismi delle specie *Onopordum illiricum*, *Chenopodium album*, *Xanthium italicum*.

L'area del rio Mogoro ricade all'interno della IBA, Important Bird Areas, numero 178 "Campidano centrale", definita all'interno di Natura2000. Dalle ricerche bibliografiche effettuate, inoltre, risulta che la fauna tipica del luogo è composta da organismi quali la lucertola campestre (*Podarcis* sp.) e la raganella d'acqua (*Hyla sarda*); le testimonianze raccolte segnalano la presenza del biacco (*Coluber viridiflavus*) e di specie dell'avifauna quali il cardellino (*Carduelis carduelis*), la quaglia (*Coturnix coturnix*), l'allodola (*Alauda arvensis*) e l'upupa (*Upupa epops*).

Per alcune delle specie citate la vegetazione dell'alveo e riparia riveste ruolo di rifugio e sito di nidificazione.



Figura 6 - Formazioni arbustive delle sponde del rio Mogoro



Figura 7 - Alveo e sponde del rio Mogoro

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

Il rio Mogoro è uno dei principali corsi d'acqua presenti nella provincia di Oristano, attraversando diversi comuni, tra cui Mogoro, Uras, Terralba e Arborea.

I tratti di maggiore interesse sono quello intermedio che va dalla linea ferroviaria alla confluenza con il Canale delle Acque Alte e quello vallivo compreso tra la suddetta confluenza e la foce nello stagno di San Giovanni.

Originariamente, dopo lo sbocco nella piana costiera, il percorso del rio Mogoro procedeva verso nord-ovest, attraversando gli abitati di Terralba e Marrubiu, per sfociare nello stagno di Sassu, oggi non più presente in quanto completamente bonificato. Gli interventi di bonifica, realizzati negli anni '20 del secolo scorso, hanno deviato il percorso del rio verso ovest dove, attraverso un lungo tratto canalizzato, sfocia nello stagno di San Giovanni / Marceddì, circa 1 km a nord della foce del Flumini Mannu di Pabillonis.

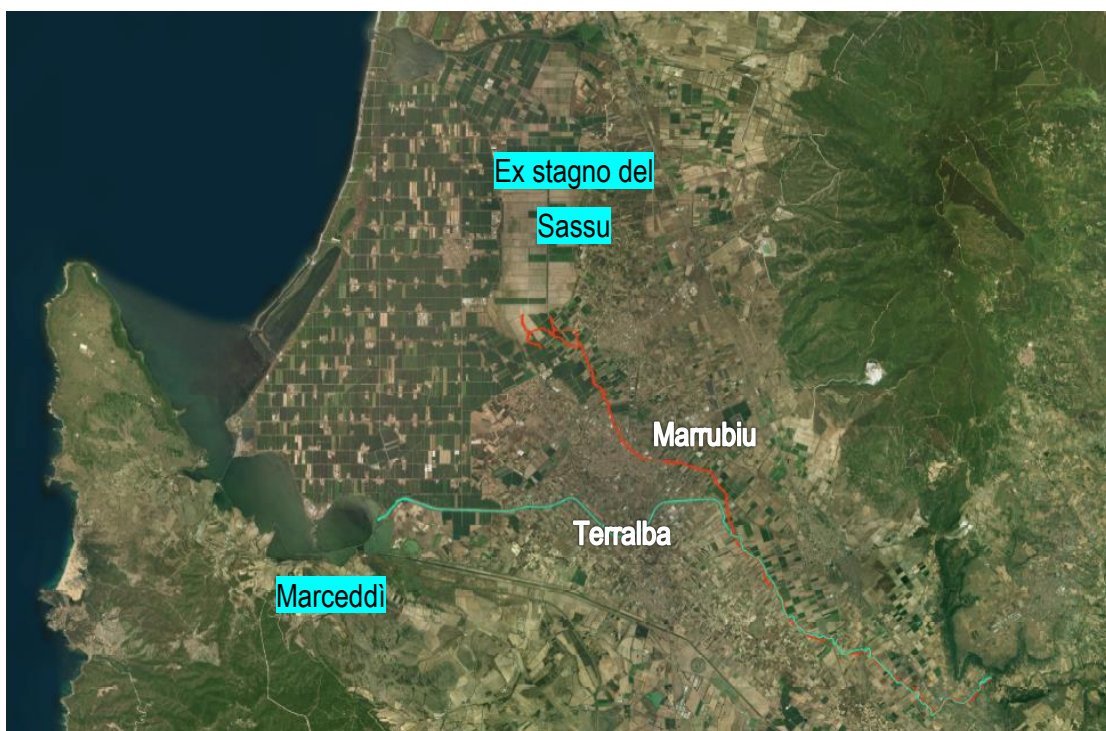


Figura 8 – Rappresentazione storica del tracciato del Riu Mogoro a valle della Diga Santa Vittoria: in verde il tracciato attuale mentre in rosso il tracciato al 1907.

I due tronchi citati fanno parte degli interventi di bonifica degli anni '20 del secolo passato: furono, infatti, realizzati degli argini, in continuità sia in destra che in sinistra idraulica, atti a convogliare l'acqua verso il nuovo diversivo di Marceddì, evitando e controllando così allagamenti sul territorio oggetto di bonifica. In passato, infatti, il rio Mogoro scorreva verso nord.

Mentre il tratto vallivo è interamente rivestito in cls risultando pulito e regolare, quello intermedio è così costituito:

- una sezione di deflusso d'alveo simil trapezia, in terra, vegetata, con sponde irregolari spesso erose;
- un sistema arginale su entrambi i lati costituito da rilevati in terra attualmente irregolari per profilo (numerosi corde molli) e larghezza di coronamento. Spesso gli argini risultano in frodo, ovvero in continuità con la sponda dell'alveo attivo (coincidente con l'alveo di magra).
- una larghezza sommitale del coronamento arginale molto stretta che non permette la percorribilità con mezzi di controllo;
- delle golene tra sponde ed argini a larghezza variabile, ma non transitabili in continuità.

Come detto in precedenza, l'area di interesse è quella a monte della confluenza del Canale Acque Alte con il rio Mogoro.

Escluso il tratto del rio Mogoro in cui si immette il Canale, rivestito in cls, il resto dell'alveo risulta fortemente vegetato lungo le sponde. Si osservano diversi nuclei di arundo donax sparsi lungo il tracciato, nonché vegetazione erbacea e qualche esemplare di albero a medio fusto.



Figura 9 - Estensione da immagine satellitare del bacino del rio Mogoro.

Si rimanda alle planimetrie di progetto per una migliore definizione dei tratti.

4. INTERVENTI IN PROGETTO

4.1 Descrizione degli interventi

Il Servizio del Genio Civile è il soggetto incaricato di gestire, mantenere e sorvegliare le opere idrauliche di seconda categoria, a cui appartengono le opere lungo i fiumi arginati.

Alcune attività sono state demandate al Consorzio di Bonifica dell'Oristanese mediante apposite convenzioni, quali ad esempio quelle connesse al Servizio di Piena o alla progettazione ed esecuzione di lavori volti al miglioramento del funzionamento idraulico. In quest'ottica si colloca il progetto per cui si redige la presente relazione.

In linea con quanto proposto dal quadro di interventi definiti dalla "Predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni sui principali corsi d'acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna", lo scenario di progetto prevede degli interventi di ricalibratura dell'alveo fluviale con sezioni più ampie.

In particolare, l'intervento progettuale consiste principalmente nel rimodellamento delle sezioni d'alveo a forma simil trapezia (come già peraltro attuato, sempre come intervento di manutenzione straordinaria, in un tratto del rio), riconfigurandone il fondo per ottenere una larghezza minima di 10 m e regolarizzandone la pendenza longitudinale secondo una livelletta con pendenza pari al 2‰. A seguire, l'intervento di stabilizzazione che consiste nell'inserimento di gabbioni metallici a doppia torsione con maglia esagonale riempiti con materiale lapideo posizionati sia al piede della sponda sia sulla golena.

La sponda verrà rivestita e rinforzata con il posizionamento di Materassi tipo Reno come rivestimento anti-erosivo nei confronti dell'azione della corrente. Inoltre, a monte e a valle dell'intervento verranno inserire delle gabbionate di testata per dare maggiore continuità alla struttura e inoltre verranno inserite anche nei tratti di discontinuità, ove l'intervento si riduce alla sola riprofilatura e successivamente riprende poi con il tratto stabilizzato.



Figura 10 - Sezione tipo di riprofilatura Rio Mogoro

4.2 Effetti degli interventi

4.2.1 Idrologia

Le assunzioni idrologiche e di stima delle portate di piena da applicare nel modello idraulico sono in completa aderenza con quanto determinato attraverso le elaborazioni del PSFF, di cui si riprendono nel seguito alcuni aspetti dalla relazione idrologica.

Stima delle portate al colmo sul rio Mogoro

La procedura seguita ha comportato la valutazione preliminare delle portate di piena, sia tramite l'impiego del metodo diretto, (in tutte le sezioni idrologiche del corso d'acqua e senza tenere in considerazione l'effetto di laminazione dovuto allo sbarramento di Flumini Vinca), sia attraverso il metodo indiretto (per i sottobacini con superficie inferiore ai 60 km²).

Successivamente è stato preso in conto l'effetto di laminazione della diga di Flumini Vinca, tramite l'applicazione dell'equazione di continuità sul lago, considerando l'idrogramma di ingresso per ciascuna portata di piena e le caratteristiche del lago e degli organi di scarico.

Identificazione delle sezioni di calcolo delle portate

Il bacino del rio Mogoro è stato suddiviso in otto sottobacini, perimetrando la superficie imbriferà sottesa alla relativa sezione di chiusura. Per ogni sottobacino sono poi state determinate le principali grandezze morfometriche, necessarie all'analisi idrologica.

Tabella 4 - Caratteristiche morfologiche, fisiografiche e altimetriche dei sottobacini in esame.

Sottobacino	Descrizione	S [km ²]	H _{min} [m s.m.]	H _{max} [m s.m.]	H _{media} [m s.m.]	L [km]	i [m/m]
A	Bacino di testata rio Mogoro	41,7	76	803	292	13,8	0,04
B	Monte confluenza rio Mannu	47,0	70	803	273	14,7	0,04
C	Valle confluenza rio Mannu	244,9	68	803	279	15,2	0,04
D	Diga di Flumini Vinca	258,4	46	803	271	23,2	0,04
E	--	292,3	28	803	254	28,1	0,03
F	Monte confluenza Canale Acque Alte	310,9	11	803	240	33,7	0,03
G	Valle confluenza Canale Acque Alte	355,5	9	803	231	34,0	0,03
H	Foce	397,1	0	803	208	43,8	0,02

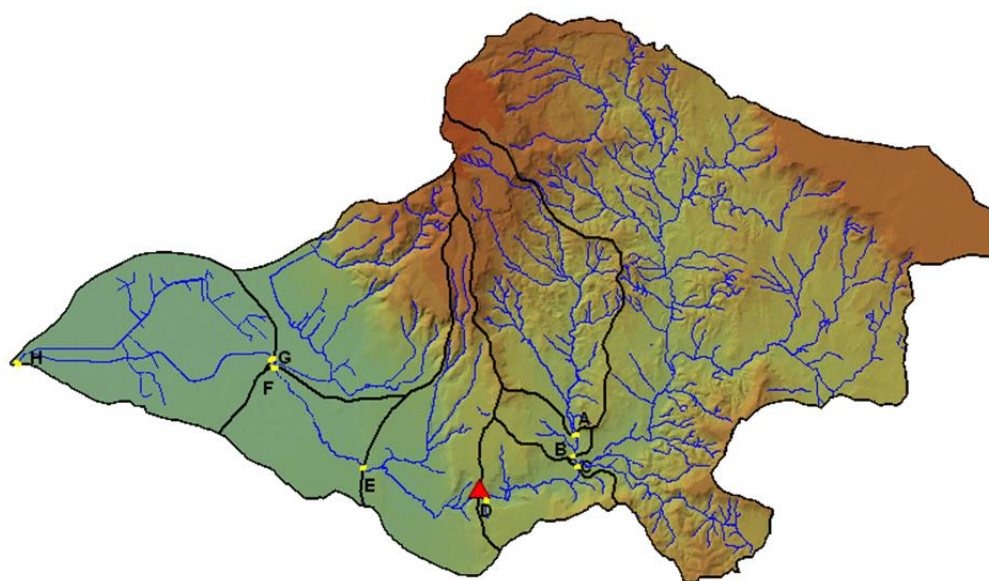


Figura 11 - Suddivisione in sottobacini del rio Mogoro effettuata nello studio idrologico del PSFF;
le lettere indicano la codifica e l'ubicazione delle sezioni di chiusura

Metodo diretto

La prima procedura di calcolo per la definizione delle portate di riferimento si basa sul metodo diretto, appoggiato sulla distribuzione TCEV (Two Components Extreme Values).

Considerata la posizione del bacino in esame, sul versante occidentale, i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Sardegna risultano:

$\theta^* = 5,8866$	$\Lambda^* = 0,3938$	
Bacini occidentali	$\Lambda 1 = 6,286$	$\eta = 4,377$

mentre i valori di KT, coefficiente probabilistico di crescita, per i tempi di ritorno di interesse allo studio in corso, sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT.

T [anni]	KT
2	0,65
50	4,41
100	5,35
200	6,29
500	7,52

Valutato il parametro modale $\varepsilon 1$ secondo la seguente espressione:

$$\text{Bacini occidentali} \quad \ln \varepsilon 1 = 1,1954 + 0,9235 \ln S$$

Si ottengono i valori ripostati in tabella 6:

Tabella 6 - Portate al colmo rio Mogoro per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo diretto, senza effetto di laminazione della diga di Flumini Vinca.

Sottobacino	Area [km ²]	Q(T2) [m ³ /s]	Q(T50) [m ³ /s]	Q(T100) [m ³ /s]	Q(T200) [m ³ /s]	Q(T500) [m ³ /s]
A	41,7	15	104	126	148	177
B	47,0	16	111	135	159	190
C	244,9	75	511	620	729	871
D	258,4	79	537	651	766	915
E	292,3	89	601	730	858	1.030
F	310,9	94	637	773	908	1.090
G	355,5	106	721	874	1.030	1.230
H	397,1	118	798	968	1.140	1.360

Metodo indiretto

La procedura seguita fa riferimento all'applicazione della Formula razionale, per i sottobacini A e B, del rio Mogoro, gli unici con superficie inferiore ai 60 km².

La portata di piena è espressa come prodotto tra l'intensità di precipitazione (i), di assegnata durata (d) e periodo di ritorno (Tr), il coefficiente di assorbimento (Φ), la superficie del bacino (A), il coefficiente di laminazione ε(t):

$$Q = i [\Theta, Tr, r(\Theta, A)] \cdot \Phi \cdot A \cdot \varepsilon(\Theta)$$

dove con Θ si è indicato il valore di durata critica, mentre r (Θ, A), rappresenta il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata Θ e della superficie del bacino A. In Tabella 7 vengono riportati i parametri a(T) e n(T) della curva normalizzata per la SZO1 a cui appartengono i sottobacini in esame, definiti sulla base dei tempi di ritorno di interesse.

Tabella 7 - Parametri a(T) e n(T) della curva normalizzata per la SZO1 per i sottobacini in esame e i tempi di ritorno di interesse.

Area	T 50		T 100		T 200		T 500	
	a	n	a	n	a	n	a	n
SZO 1	2,23	-0,024	2,54	-0,026	2,85	-0,029	3,27	-0,032

Attraverso l'incrocio con la carta dei CN della Regione Sardegna, si sono ottenuti i seguenti valori di CN di Tabella 8.

Tabella 8 - CN (condizioni AMC II) e corrispondente CN (condizione AMC III) per i sottobacini in esame.

Sottobacino	CN (AMC II)	CN (AMC III)
A	69	84
B	69	84

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i valori dei tempi di corrivazione, delle altezze di pioggia critiche (lorde, ragguagliate e nette) e delle portate al colmo per i sottobacini in studio.

Tabella 9 - Tempi di corrivazione per i sottobacini in esame del rio Mogoro.

Sottobacino	tc[h]
A	3,9
B	4,2

Tabella 10 - Altezze di pioggia critiche lorde per i sottobacini del rio Mogoro.

Sottobacino	Tc	h(T50)	h(T100)	h(T200)	h(T500)
	[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	5,9	77	88	98	112
B	6,4	79	90	100	114

Tabella 11 - Altezze di pioggia critiche ragguagliate per i sottobacini del rio Mogoro.

Sottobacino	r	hr(T50)	hr(T100)	hr(T200)	hr(T500)
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	0,93	72	81	91	104
B	0,93	73	83	93	106

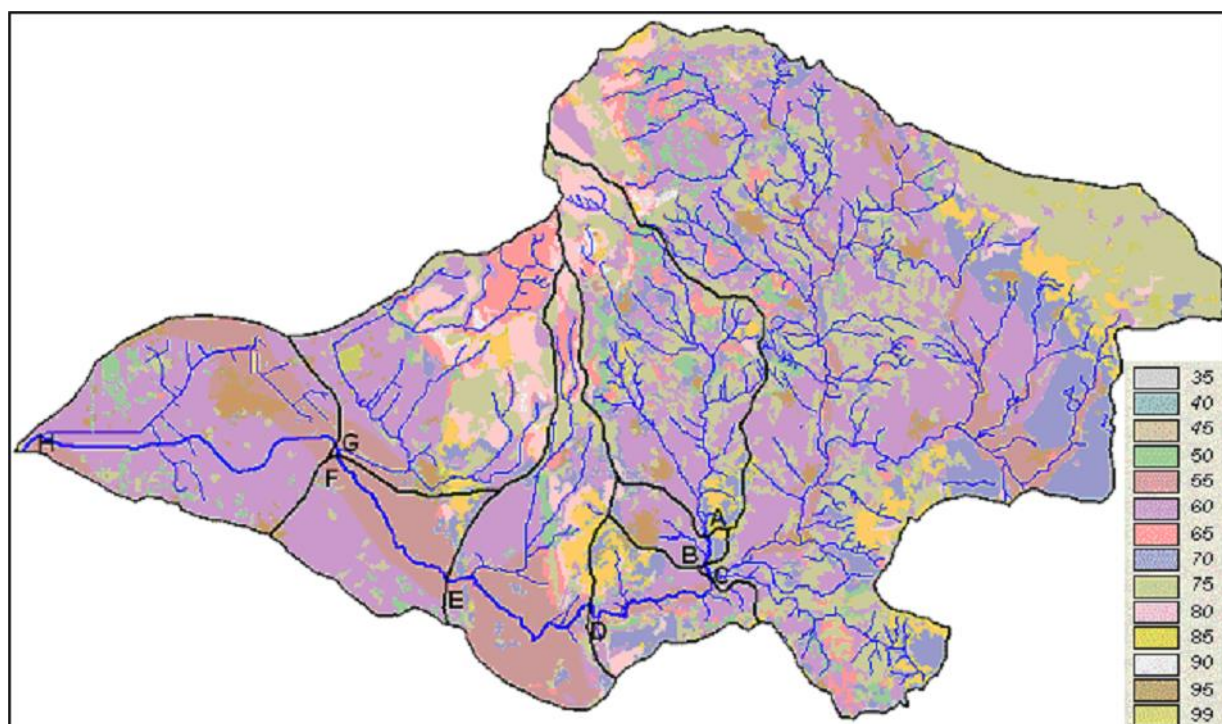


Figura 12 - Stralcio della carta dei CN della Regione Sardegna sul bacino del rio Mogoro.

Tabella 12 - Altezze di pioggia critiche nette ragguagliate per i sottobacini del rio Mogoro.

Sottobacino	hN(T50)	hN (T100)	hN (T200)	hN (T500)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	44	53	62	74
B	46	55	64	76

Tabella 13 - Portate al colmo sul rio Mogoro per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo indiretto.

Sottobacino	Area	QT2)	Q(T50)	Q(T100)	Q(T200)	Q(T500)
	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
A	41,7	12	131	157	184	219
B	47,0	14	142	169	198	235

Stima delle portate indisturbate

In considerazione del limitato scarto tra le stime dei valori di portata ottenuti con i due metodi e del fatto che i bacini A e B sottendono una superficie prossima al valore limite dei 60 km², si è deciso

di assumere come valori di portata per le verifiche idrauliche i risultati, riportati nella precedente Tabella 6, ottenuti con la metodologia diretta per tutti i sottobacini del rio Mogoro.

○ **Stima delle portate al colmo comprensive dell'effetto della diga**

La valutazione delle portate laminate interessa le sezioni poste a valle dell'invaso comprese nei sottobacini idrografici D, E, F, G e H.

Nel seguito viene illustrata la procedura applicata che ha seguito i seguenti passi:

- definizione degli idrogrammi in ingresso al serbatoio per i diversi tempi di ritorno;
- calcolo dell'idrogramma in uscita dalla diga mediante l'applicazione dell'equazione dei laghi, tenendo conto delle caratteristiche del lago e degli organi di scarico della diga;
- propagazione nelle sezioni di valle della portata laminata tramite l'applicazione della relazione di Marone che valuta la riduzione dello scostamento tra portata naturale e laminata.

Dopo aver identificato le sezioni di calcolo per il rio Mogoro e aver definito le portate di riferimento indisturbate con il metodo diretto, si è proceduto alla definizione degli idrogrammi in ingresso all'invaso di Flumini Vinca per i differenti tempi di ritorno.

Dalla carta delle isoiete si è identificata una pioggia indice giornaliera per il sottobacino D (in corrispondenza della diga) I_g pari a 45 mm, con conseguenti coefficienti $a_1 = 20,0$ e $n_1 = 0,294$.

Stabilita l'appartenenza alla sottozona SZO 1, applicando le relative relazioni, sono stati ottenuti i coefficienti a_2 e n_2 riportati in Tabella 7.

Con l'utilizzo della carta del Curve Number definita per tutta la Regione Sardegna, è stato possibile definire il CN del bacino D, pari a un valore medio di 88.

Il tempo di corrivazione per il bacino D risulta quindi pari a 16 ore.

Tabella 14 - Altezza di pioggia lorda per differenti tempi di ritorno (sottobacino D).

	T50	T100	T200	T500
$h(t)$ [mm]	94	106	119	135

L'assorbimento del bacino S risulta pari a 34 mm, da cui una pioggia efficace pari a:

Tabella 15 - Altezza di pioggia netta per differenti tempi di ritorno (sottobacino D).

	T50	T100	T200	T500
Pe [mm]	63	74	86	101

La stima del conseguente volume di pioggia W è risultato:

Tabella 16 - Volume di pioggia netta per differenti tempi di ritorno (bacino D).

	T50	T100	T200	T500
W [mln m ³]	16,2	19,2	22,2	26,1

Sulla base dei volumi di pioggia netta calcolati e delle portate al colmo definite, è possibile determinare i tempi di picco Tp e i tempi di base Tb degli idrogrammi che schematizzano le onde di piena entranti nel serbatoio di laminazione corrispondenti ai diversi tempi di ritorno.

Tabella 17 - Tempi di picco Tp e tempi di base Tb per il bacino D per i differenti tempi di ritorno.

	T50	T100	T200	T500
Tb [h]	16,7	16,3	16,1	15,8
Tp [h]	6,3	6,1	6,0	5,9

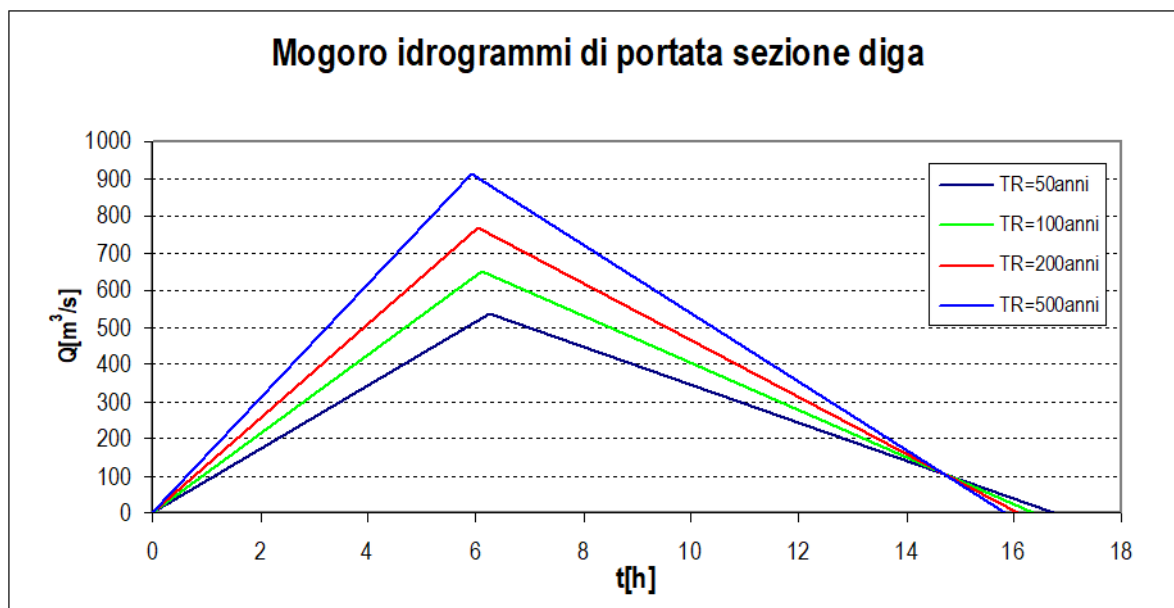


Figura 13 - Idrogrammi di portata del rio Mogoro alla sezione di sbarramento della diga.

La diga di Flumini Vinca è una diga a gravità con andamento planimetrico leggermente arcuato dello sviluppo di m 345. Lo sbarramento è sito in località detta Conca Menga a circa 1.500 m a monte della S.S. 131 ed è realizzato con una diga non tracimabile, dell'altezza massima di m 28,91 sul piano di fondazione.

La quota del ciglio è a 67,80 m s.m. Sul corpo stesso dell'opera è ricavato lo sfioratore con una soglia a quota 66,0 m s.m. e della lunghezza di 40,0 m.

Si tratta di una diga di laminazione con quota di massima piena pari a 66,8 m s.m., un volume d'invaso alla quota di sfioro pari a 10,04 milioni di m³ e un volume d'invaso alla quota di massima laminazione (67,80 m s.m.) pari a circa 14 milioni di m³.

L'opera non ha organi di chiusura e le acque del fiume defluiscono dalla condotta moderatrice, del diametro interno di 3,00 m, pure essa ubicata nel corpo della diga e con asse a quota 48,30.

Tabella 18 - Portate in uscita dalla diga di Flumini Vinca.

Sottobacino	Area	$Q'(T2)$	$Q'(T50)$	$Q'(T100)$	$Q'(T200)$	$Q'(T500)$
	[km²]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
D	258,4	62	109	235	370	525

Nella schematizzazione assunta sono state quindi considerate le portate in uscita dalla condotta moderatrice, da quota 50 m s.m., combinate a quelle in uscita dallo sfioratore superficiale a partire da quota 66,0 m s.m.

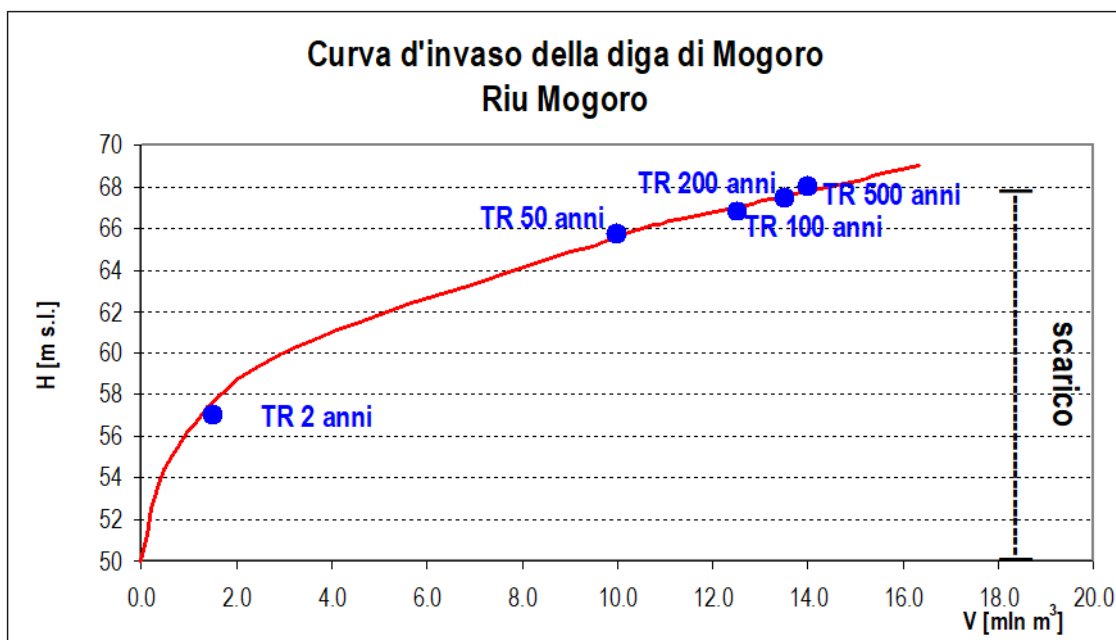


Figura 14 - Curva d'invaso con evidenziate le quote massime raggiunte dalle onde di piena per i differenti tempi di ritorno.

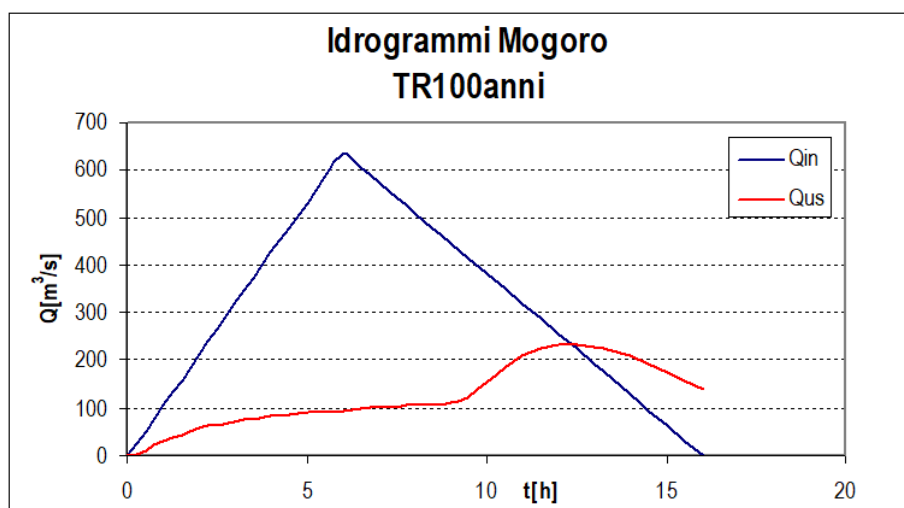


Figura 15 - Idrogramma in entrata e in uscita dall'invaso di Mogoro per T = 100 anni.

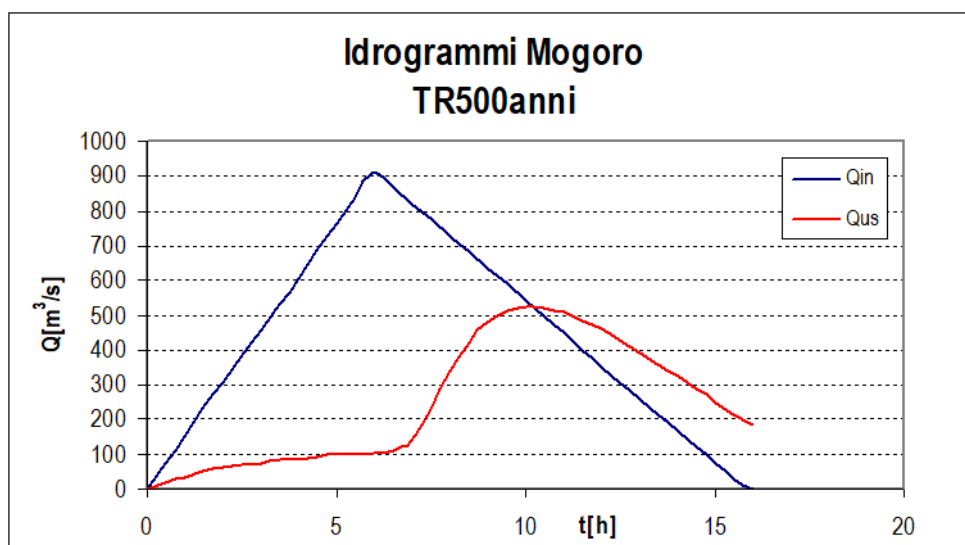


Figura 16 - Idrogramma in entrata e in uscita dall'invaso di Mogoro per T = 500 anni.

Per i sottobacini a valle della diga è stata assunta una riduzione progressiva dell'effetto di laminazione secondo l'equazione di Marone:

$$\frac{Q_{max u}}{Q_{max i}} = 1 - \frac{W}{W_i}$$

con

W_i = volume complessivo dell'onda di piena indisturbata;

W = volume utile di laminazione della diga;

$Q_{max i}$ = portata al colmo dell'onda di piena indisturbata;

$Q_{max u}$ = portata al colmo dell'onda di piena laminata.

Tabella 19 - Parametri utilizzati nel PSFF per il calcolo delle portate nelle sezioni a valle dello sbarramento di Flumini Vinca, secondo la formulazione di Marone.

Parametro	Unità di misura	Tempo di ritorno				
		T2	T50	T100	T200	T500
Qind	m³/s	79	537	651	766	915
Qind(E)	m³/s	89	601	730	858	1.026
Qind(F)	m³/s	94	637	773	908	1.086
Qind(G)	m³/s	106	721	874	1.028	1.229

Parametro	Unità di misura	Tempo di ritorno				
		T2	T50	T100	T200	T500
Qind(H)	m³/s	118	798	968	1.139	1.361
Tb	h	31,0	16,7	16,4	16,1	15,8
Widrogramma in entrata	m³	4.414.263	16.133.856	19.162.610	22.157.452	26.094.930
Qlam (D)	m³/s	62	109	235	370	525
Winvaso	m³	1.500.000	10.000.000	12.500.000	13.500.000	14.000.000
Ip		0,784	0,203	0,361	0,483	0,574
Area bacino D	km²	258	258	258	258	258
Area bacino E	km²	292	292	292	292	292
Area bacino F	km²	311	311	311	311	311
Area bacino G	km²	355	355	355	355	355
Area bacino H	km²	397	397	397	397	397
WE	m³	5.411.991	19.391.041	22.927.720	26.456.833	31.092.196
WF	m³	6.115.657	21.549.426	25.438.911	29.315.421	34.400.879
WG	m³	7.018.660	24.704.893	29.160.913	33.601.727	39.427.019
WH	m³	8.589.756	29.495.387	34.732.319	39.942.017	46.763.392
Ip(E)		0,72	0,48	0,45	0,49	0,55
Ip(F)		0,75	0,54	0,51	0,54	0,59
Ip(G)		0,79	0,60	0,57	0,60	0,64
Ip(H)		0,83	0,66	0,64	0,66	0,70
Qlam (E)	m³/s	64	291	332	420	564
Qlam (F)	m³/s	71	341	393	490	644
Qlam (G)	m³/s	84	429	499	615	792
Qlam (H)	m³/s	97	528	620	754	954

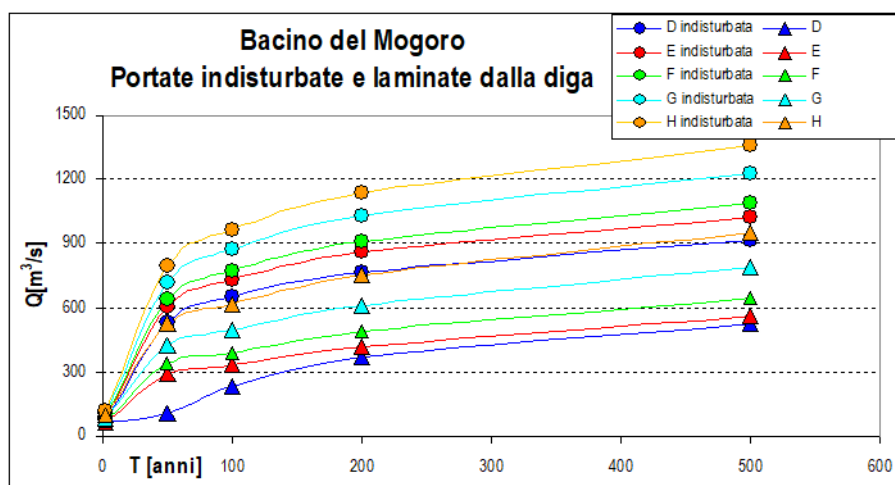


Figura 17 - Confronto tra i valori di portata indisturbata e laminata per differente tempo di ritorno.

Le portate di progetto per i bacini a valle Flumini Vinca risultano quindi rappresentate nella Tabella 20:

Tabella 20 - Portate in uscita dal serbatoio di Flumini Vinca e per i sottobacini a valle dell'invaso (comprehensive dell'effetto della diga).

Sottobacino	Descrizione	Area tot [km ²]	Q'(T2) [m ³ /s]	Q'(T50) [m ³ /s]	Q'(T100) [m ³ /s]	Q'(T200) [m ³ /s]	Q'(T500) [m ³ /s]
D	Diga di Flumini Vinca	258,4	62	109	235	370	525
E	-	292,3	64	291	332	420	564
F	Monte confluenza Canale Acque Alte	310,9	71	341	393	490	644
G	Valle confluenza Canale Acque Alte	355,5	84	429	499	615	792
H	Foce	397,1	97	528	620	754	954

Riassumendo, i valori di riferimento per i differenti tempi di ritorno per le sezioni idrologiche identificate nel bacino del rio Mogoro sono presentati nella Tabella 21.

Tabella 21 - Portate di riferimento del rio Mogoro desunte dall'analisi idrologica del PSFF.

Sezione	Area [km ²]	Q(T2) [m ³ /s]	Q(T50) [m ³ /s]	Q(T100) [m ³ /s]	Q(T200) [m ³ /s]	Q(T500) [m ³ /s]
A	41,7	15	104	126	148	177
B	47,0	16	111	135	159	190
C	244,9	75	511	620	729	871
D*	258,4	62	109	235	370	525
E*	292,3	64	291	332	420	564
F*	310,9	71	341	393	490	644
G*	355,5	84	429	499	615	792
H*	397,1	97	528	620	754	954

*bacini a valle della diga di Flumini Vinca

Il tratto fluviale oggetto d'intervento si inserisce a metà strada tra gli abitati di Uras e di San Nicolò d'Arcidano, compreso tra l'attraversamento ferroviario Cagliari-Oristano e la confluenza con Canale Acque Alte, circa 10 km a monte della sezione fociva H.

Pertanto, in questa fase preliminare, le verifiche idrauliche saranno condotte applicando i valori di portata al colmo definiti per le sezioni F, G e H (rispettivamente pari a 490, 615 e 754 m³/s per la portata duecentennale).

Portate al colmo in seguito agli interventi di predisposizione del PRGA

In fase di redazione del Piano di gestione del rischio di alluvione relativo al Distretto Idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, è stato definito un quadro di azioni strutturali per la mitigazione dei danni di piena sul territorio¹.

Tra questi interventi rientrano la realizzazione di un'area di laminazione della piena ubicata in località "Acqua Frida", immediatamente a valle della confluenza del rio Sassu nel Mogoro, e il prolungamento del canale denominato "della piena millenaria", a nord dell'abitato di Uras in Località Santa Suina.

Per quanto riguarda il primo intervento (intervento "O" del piano di predisposizione), gli studi condotti hanno determinato che la realizzazione di una soglia trasversale di fondo con gaveta centrale indurrà un debole invaso a monte di essa, limitando contestualmente la massima portata di piena defluibile a valle. L'opera comporterà la riduzione della portata al colmo di piena con tempo di ritorno di 200 anni al valore di **110 m³/s**.

Il secondo intervento (intervento "H" del piano di predisposizione), invece, ha la funzione di intercettare i deflussi provenienti da nord dell'abitato di Uras, riducendo così una quota parte delle portate afferenti alla rete idrografica minore che alimenta il rio Mogoro, tra cui il Canale delle Acque Alte. La portata di picco per questo canale, in seguito alla realizzazione dell'intervento, si ridurrebbe infatti a circa 185 m³/s per il tempo di ritorno di 200 anni.

Di conseguenza, con una portata al colmo in arrivo dal tronco intermedio del rio Mogoro paria a 110 m³/s, a cui sono da aggiungersi le portate immesse dal Canale delle Acque Alte, si determina un idrogramma con un picco di circa **230 m³/s** (TR=200 anni) per il tronco a valle della confluenza.

¹ "Predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di alluvioni sui principali corsi d'acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 – Bacino del rio Mogoro"

4.2.2 Analisi idraulica

Le attività di analisi idraulica sono volte alla definizione dei profili di corrente relativi alle portate di piena determinate per i tempi di ritorno maggiormente significativi. Per il tratto fluviale analizzato è possibile, attraverso tali profili, valutare l'efficienza del sistema arginale, individuando il tempo di ritorno della piena che determina esondazione, sia i parametri idrodinamici che caratterizzano i deflussi in esame.

○ Inquadramento del tratto di studio

Il tratto del rio Mogoro considerato nel presente studio si estende da valle dalla confluenza con il Canale delle Acque Alte verso monte sino a un tratto di 534m ma lo studio idraulico si estenderà per l'intero tratto a partire dal tratto a valle dell'attraversamento ferroviario, fino al tratto di confluenza.

In questo tronco il rio Mogoro è arginato con continuità su entrambe le sponde, con un sistema che si estende dal ponte della ferrovia alla foce. I rilevati arginali in terra sono modesti, alti circa 2 m e larghi al coronamento circa 2 m, in massima parte privi di protezione al piede e sul paramento e in mediocre stato di manutenzione.

Come riportato nell'analisi dei piani di settore, risulta comprovata l'inadeguatezza del sistema arginale attuale, che verrebbe sormontato in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno cinquantennale con il conseguente allagamento delle aree retrostanti.

○ Modello di calcolo e approccio metodologico

L'analisi idraulica è stata condotta utilizzando il modello numerico HEC-RAS ver. 5.0.7 che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto permanente gradualmente variato, in moto vario in alvei naturali o canali artificiali includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.

Nel caso specifico per il rio Mogoro, il codice di calcolo HEC-RAS è stato utilizzato in condizioni di moto permanente in riferimento ai valori di portata al colmo di piena per assegnati periodi di ritorno definiti nell'ambito dell'analisi idrologica, coerentemente alle assunzioni del PSFF. Complessivamente sono state condotte 4 simulazioni relative ai tempi di ritorno 2,50,100,200 e 500 anni.

Le geometrie del tratto, in termini di sezioni trasversali e caratteristiche delle strutture, sono state definite principalmente sulla base del modello digitale del terreno, Lidar a passo 1m realizzato nel 2008 e nel 2012, poi integrate con i risultati dei rilievi topografici di dettaglio appositamente realizzati lungo il tratto arginato in esame.

Nelle seguenti figure sono riportati gli estratti del modello digitale di elevazione utilizzati.

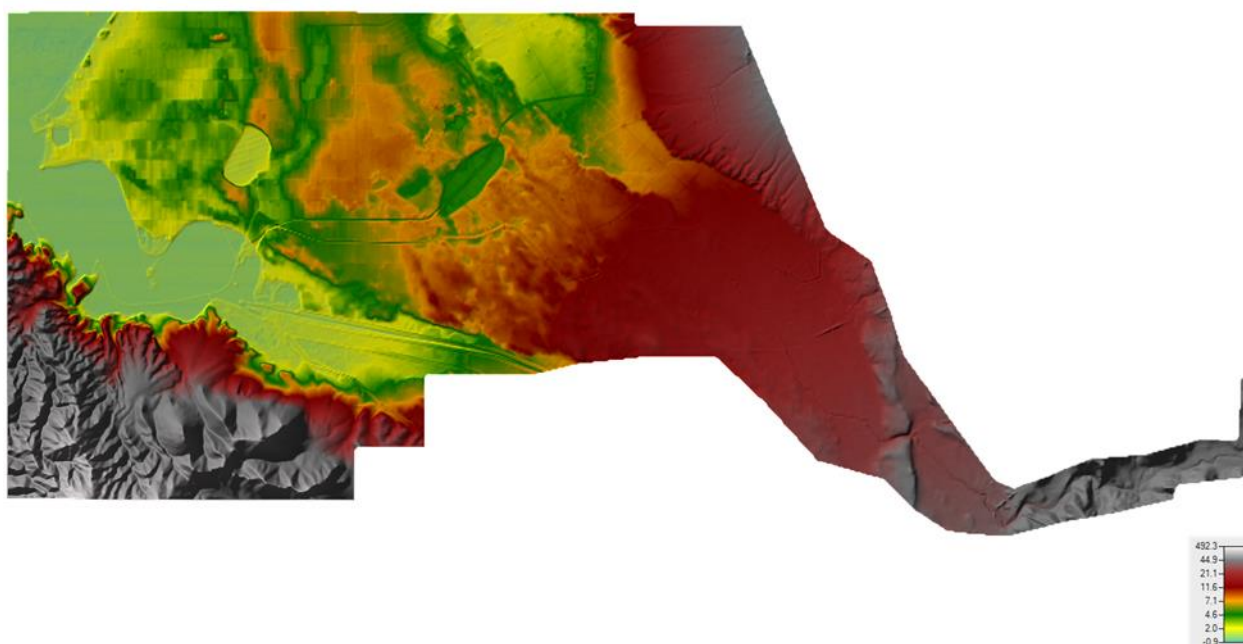


Figura 18 – Modello digitale del terreno del Lidar a passo 1 m, del tratto compreso tra Gonnostramatza e la foce nello stagno di S. Giovanni.



Figura 19 - Estratto del modello digitale del terreno ottenuto dal rilievo di dettaglio nel tratto in esame, compreso tra il ponte ferroviario e la confluenza del Canale delle Acque Alte.

○ **Costruzione del modello numerico**

Il tratto del rio Mogoro oggetto di analisi è stato schematizzato attraverso 63 sezioni trasversali, per una lunghezza complessiva dell'asta di circa 6 km, con pendenza longitudinale mediamente pari al 2 ‰.

La localizzazione delle sezioni di calcolo è riportata nell'estratto cartografico in Figura 23 ed in forma numerica, con numerazione da monte verso valle, in Tabella 22.

Come criterio di posizionamento si è scelto di mantenere l'ubicazione delle sezioni lungo il rio Mogoro definite nel PSFF, andando ad incrementarne la numerosità nei tratti intermedi per una migliore rappresentazione modellistica.

L'estensione trasversale delle sezioni è sufficiente a rappresentare il sistema arginale presente, ma non le aree golenali limitrofe. Per scelta modellistica è stata utilizzata una configurazione in cui l'altezza degli argini risulti comunque adeguata al contenimento dei livelli idrici, indipendentemente

dal valore reale delle quote di sommità arginale. Posizionando i vincoli di *levee* ad un'altezza congrua al contenimento delle portate defluenti nella sezione arginata del corso d'acqua, è possibile determinare la differenza in quota (franco) tra il profilo di corrente e quello della sommità arginale reale. In questo modo si evidenzia la capacità di contenimento in quota di ciascuna sezione del corso d'acqua e, nel caso risulti negativa, il rialzo arginale necessario.

Infine, i valori dei coefficienti di contrazione ed espansione richiesti dal modello numerico sono stati assunti rispettivamente pari a 0,1 e 0,3, come suggerito dal manuale tecnico HEC-RAS in presenza di variazioni graduali.



Figura 20 - Rappresentazione planimetrica del tratto di modello del rio Mogoro compreso tra il ponte ferroviario e la confluenza del Canale delle Acque Alte.

Tabella 22 - Elenco delle sezioni di calcolo e relativa progressiva da valle. Sono indicati il codice della sezione di calcolo e la relativa distanza parziale lungo l'asse dell'alveo.

ID Sezione Idraulica	ID Sez. PSFF	Distanza parziale [m]	ID Sezione Idraulica	ID Sez. PSFF	Distanza parziale [m]
16574	-	108,9	14039	-	264,3
16465	-	184,3	13775	-	237,0
16281	-	110,8	13538	28	73,7
16170	-	105,7	13464	-	272,1
16064	-	160,2	13192	-	75,9
15904	-	37,4	13116	-	103,3
15867	33.5	4,0	13013	-	36,9
15863	33.4	9,0	12976	-	17,7
15859	33.3	Ponte	12958	27	166,0
15854	33.2	4,0	12792	-	46,9
15850	33.1	78,0	12745	-	66,6
15772	-	94,2	12679	-	64,6
15677	-	218,7	12614	-	96,8
15459	32	9,1	12517	26	49,9
15450	-	130,7	12467	-	82,4
15319	-	126,4	12385	-	99,6
15193	-	106,5	12285	-	110,5
15086	-	11,4	12175	-	107,6
15075	-	80,4	12067	-	77,5
14994	31	7,4	11990	-	16,1
14987	-	180,3	11974	25	48,1
14807	-	164,6	11925	-	70,2
14642	-	83,5	11855	-	90,0
14558	30	186,8	11765	-	79,5
14372	-	84,2	11686	-	101,8
14288	-	76,4	11584	-	81,2
14211	-	82,1	11503	-	81,1
14129	-	27,5	11422	-	94,5
14102	29.5	4,0	11327	24	44,6
14098	29.4	20,0	11283	-	182,4
14095	29.3	Ponte	11100	23	490,5
14078	29.2	4,0	10610	22	582,3
14074	29.1	34,40			

○ Attraversamenti e strutture

Ubicando l'inizio del modello immediatamente a valle del ponte ferroviario, lungo il tratto studiato sono presenti, come anticipato, due attraversamenti.

Il primo attraversamento che si incontra procedendo da monte verso valle è il ponte stradale in località Su Ponti, alla sezione 15859, costituito da un'unica campata di lunghezza circa 30 m.

I due ponti sono stati inseriti nel modello geometrico attraverso 4 sezioni trasversali, due a monte e due a valle delle rispettive strutture; la distanza tra le sezioni è stata definita in modo da rappresentare correttamente la larghezza della struttura e il restringimento geometrico indotto dalla stessa.

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni il secondo ponte è quello della Strada Provinciale 47, tra gli abitati di Uras e S. Nicolò d'Arcidano, ancora di lunghezza di circa 30 m, poggiante su due pile che formano 3 campate di 10 m ciascuna. L'altezza rispetto al fondo è di circa 4,5 m, misurati rispetto la campata centrale.

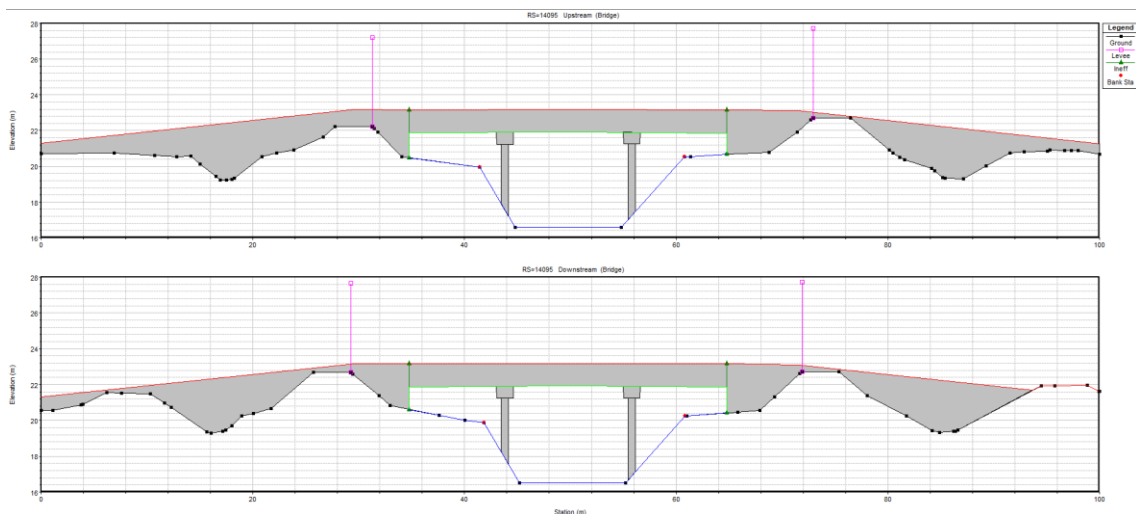


Figura 21 - Schematizzazione nel modello HEC-RAS del ponte lungo la strada SP47.

I due ponti sono stati inseriti nel modello geometrico attraverso 4 sezioni trasversali, due a monte e due a valle delle rispettive strutture; la distanza tra le sezioni è stata definita in modo da rappresentare correttamente la larghezza della struttura e il restringimento geometrico indotto dalla stessa.

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni offerte dal codice di calcolo, sono state selezionate le equazioni di bilancio dell'energia ed il metodo dei momenti, tra le quali il programma seleziona in automatico la formulazione caratterizzata dalla maggiore dissipazione energetica, per il deflusso al di sotto dell'impalcato (low flow); viene invece assunta la schematizzazione con deflusso in pressione e stramazzo al di sopra dell'impalcato (pressure and weir) per le situazioni con livello della corrente tale da interessare l'intradosso del ponte (high flow). Le condizioni limite per il deflusso in pressione sono definite dal programma in base al livello di corrente a monte.

○ **Assegnazione coefficienti di scabrezza**

La determinazione dei parametri di scabrezza da associare alle sezioni di calcolo presenta non poche criticità, data la significativa influenza di tali valori sui livelli di corrente e la contestuale assenza di una regola di calcolo univoca.

In modo conforme agli studi idraulici sviluppati per il PSFF, nella presente analisi sono stati adottati i medesimi valori di scabrezza determinati per le sezioni idrauliche del Piano in questo tratto.

La metodologia definita per l'assegnazione dei coefficienti di scabrezza prevede la suddivisione di ogni sezione trasversale in cinque tratti caratterizzati da scabrezza omogenea: l'alveo attivo, le sponde e le fasce golenali. La definizione della scabrezza per l'alveo attivo è stata basata sulle caratteristiche del materiale d'alveo nei tratti focivi e sulla formulazione proposta dal manuale "Open channel hydraulics" (Ven te Chow). La stessa formula empirica è stata applicata alle fasce golenali mentre per le sponde, in base alla presenza o meno di vegetazione, tipologia e densità della stessa, sono state definite delle classi tipo riportate nella Tabella 23.

Tabella 23 - Classi per la definizione del valore di scabrezza lungo le sponde del corso d'acqua.

Densità	Tipo vegetazione				
	Arbustiva	Arborea 1	Arborea 2	Arborea e Arbustiva	½ Arbustiva e ½ Arborea
Sporadica	C1	C2	C3	C4	C5
Rada	C6	C7	C8	C9	C10
Prevalente	C11	C12	C13	C14	C15

Ad ognuna delle classi individuate è stato associato uno specifico valore di scabrezza Tabella 24

Tabella 24 - Valori di scabrezza individuati per le classi definite.

Classe		Ks (veg)	n (veg)
		$m^{1/3} / s$	$m^{-1/3} s$
Sporadica	C1 - Arbustiva	5	0,2
	C2 - Arborea 1	24	0,04
	C3 - Arborea 2	-	-
	C4- Arbustiva&Arborea	17	0,06
	C5- 1/2Arbustiva&1/2Arborea	15	0,07
Rada	C6 - Arbustiva	4	0,27
	C7 - Arborea 1	18	0,06
	C8- Arborea 2	-	-
	C9- Arbustiva&Arborea	13	0,08
	C10 - 1/2Arbustiva&1/2Arborea	11	0,09
Prevalente	C11 - Arbustiva	3	0,33
	C12 - Arborea 1	15	0,07
	C13- Arborea 2	-	-
	C14 - Arbustiva&Arborea	11	0,09
	C15 - 1/2Arbustiva&1/2Arborea	9	0,11

Sulla base dell'approccio sopra descritto, sono quindi stati definiti i valori di scabrezza per tutte le sezioni di calcolo del modello definite nel tratto in esame. I rispettivi valori sono riportati in Tabella 25.

Tabella 25 - Valori di scabrezza utilizzati nel modello numerico in termini di parametro di Strickler (Ks).

ID Sezione Idraulica	ID Sez. PSFF	Ks tratto 1	Ks tratto 2	Ks tratto 3	Ks tratto 4	Ks tratto 5
16574	-	28	28	28	25	25
16465	-	28	28	28	25	25
16281	-	28	28	28	25	25
16170	-	28	28	28	25	25
16064	-	24	24	24	25	25
15904	-	24	24	24	25	25
15867	33.5	24	24	24	25	25
15863	33.4	24	24	24	25	25
15854	33.2	24	24	24	25	25
15850	33.1	24	24	24	25	25

ID Sezione Idraulica	ID Sez. PSFF	Ks tratto 1	Ks tratto 2	Ks tratto 3	Ks tratto 4	Ks tratto 5
15772	-	24	24	24	25	25
15677	-	24	24	24	25	25
15459	32	24	24	24	25	25
15450	-	24	24	24	25	25
15319	-	28	28	28	25	25
15193	-	28	28	28	25	25
15086	-	28	28	28	25	25
15075	-	28	28	28	25	25
14994	31	28	28	28	25	25
14987	-	28	28	28	25	25
14807	-	28	28	28	25	25
14642	-	28	28	28	25	25
14558	30	28	28	28	25	25
14372	-	28	28	28	25	25
14288	-	28	28	28	25	25
14211	-	28	28	28	25	25
14129	-	28	28	28	25	25
14102	29.5	23	23	23	27	27
14098	29.4	28	28	28	25	25
14078	29.2	28	28	28	25	25
14074	29.1	28	28	28	25	25
14039	-	28	28	28	25	25
13775	-	28	28	28	25	25
13538	28	28	28	28	25	25
13464	-	28	28	28	25	25
13192	-	28	28	28	25	25
13116	-	28	28	28	25	25
13013	-	28	28	28	25	25
12976	-	28	28	28	25	25
12958	27	28	28	28	25	25
12792	-	28	28	28	25	25
12745	-	28	28	28	25	25
12679	-	28	28	28	25	25
12614	-	28	28	28	25	25
12517	26	28	28	28	25	25
12467	-	28	28	28	25	25

ID Sezione Idraulica	ID Sez. PSFF	Ks tratto 1	Ks tratto 2	Ks tratto 3	Ks tratto 4	Ks tratto 5
12385	-	28	28	28	25	25
12285	-	28	28	28	25	25
12175	-	28	28	28	25	25
12067	-	28	28	28	25	25
11990	-	28	28	28	25	25
11974	25	28	28	28	25	25
11925	-	28	28	28	25	25
11855	-	28	28	28	25	25
11765	-	28	28	28	25	25
11686	-	28	28	28	25	25
11584	-	28	28	28	25	25
11503	-	28	28	28	25	25
11422	-	28	28	28	25	25
11327	24	28	28	28	25	25
11283	-	28	28	28	25	25
11100	23	50	50	50	33	33
10610	22	50	50	50	33	33

○ Condizioni al contorno delle portate

Come anticipato, in conformità a quanto espresso dallo studio idrologico contenuto nel PSFF, nella presente analisi idraulica sono stati considerati gli eventi di piena con tempo di ritorno pari a 2, 50, 100, 200 e 500 anni. Per il tempo di ritorno duecentennale è stato considerato, inoltre, il caso in cui le portate di piena risultino laminate dai benefici degli interventi di salvaguardia precedentemente esposti, ovvero la realizzazione di un'area di laminazione in località "Acqua Frida" e il prolungamento del canale "della piena millenaria" a protezione dell'abitato di Uras, in località S. Suina.

Come condizioni al contorno imposte a monte sono state inserite le portate, in condizioni di moto uniforme, stimate dall'analisi idrologica per il sottobacino "F". Come condizione al contorno di valle è stato ripreso il valore di quota del pelo libero alla foce definito dal PSFF, pari a +1.80 m sulla quota del medio mare, ottenuto come sovrapposizione del sovrizzo di marea (+0.45m), del *storm surge* e *wind setup* (+0.35m) e dell'altezza di frangimento (+1.00 m).

Tabella 26 - Portate idrologiche assunte nel tronco fluviale modellato e sezione di applicazione

Sezione di applicazione	Q(T2) [m³/s]	Q(T50) [m³/s]	Q(T100) [m³/s]	Q(T200) [m³/s]	Q(T500) [m³/s]	Q(T200) Laminata [m³/s]
16574	71	341	393	490	644	110
11327	84	429	499	615	792	110
11100	97	528	620	754	954	230

○ **Scenari di simulazione**

Le simulazioni in moto stazionario, condotte con il modello descritto, hanno lo scopo di analizzare i deflussi di piena in relazione alle quote del sistema arginale, valutando per quale tempo di ritorno le strutture risultino sufficienti al contenimento.

Le verifiche idrauliche svolte con il modello monodimensionale hanno riguardato due differenti configurazioni:

-Configurazione **“Stato di fatto”** - Al fine di valutare le criticità idrauliche che attualmente si riscontrano nel tratto d’interesse;

-Configurazione **“Progetto”** - Scenario nel quale sono previsti interventi di ricalibratura dell’alveo fluviale con sezioni più ampie e quote di sommità arginale regolarizzate, secondo quanto proposto dal quadro di interventi definiti dalla “Predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni sui principali corsi d’acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna”.

In particolare, gli interventi progettuali consistono principalmente nelle seguenti azioni:

Rimodellamento delle sezioni d’alveo, riconfigurandone il fondo per ottenere una larghezza minima di 10 m e regolarizzandone la pendenza longitudinale secondo una livelletta con pendenza pari al 2%. Inoltre, la parte di sezione golenale esterna all’alveo di magra verrà livellata per essere carrabile e percorribile con mezzi.

Queste sistemazioni sono conformi a quanto stabilito nel documento di predisposizione del PGRA all’intervento “B” per il tratto intermedio del rio Mogoro.

Gli interventi progettuali descritti saranno compresi interamente in aree demaniali, non prevedendo necessari espropri. Per un maggiore dettaglio riguardo le geometrie di intervento, si rimanda agli specifici elaborati progettuali.

Entrambi gli scenari sono sviluppati ipotizzando le arginature non tracimabili; in questo modo è possibile determinare il franco eventualmente presente rispetto i livelli di piena o, in caso contrario, la quota di sommità arginale necessaria al contenimento.

○ **Analisi dei risultati**

Di seguito si descrive sinteticamente quanto evidenziato dalle simulazioni condotte sulle due configurazioni, per il tempo di ritorno di 50 anni che, come rimarcato, determina livelli idrici superiori alla massima quota arginale, e 200 anni nella condizione di portate laminate. Per il dettaglio dei risultati delle simulazioni, si rimanda all'Allegato B, dove sono riportati in forma tabellare, di profili e di sezioni per ogni tempo di ritorno e configurazione analizzata.

- Configurazione "Stato di fatto "

Il tronco del rio Mogoro analizzato, a valle dal ponte ferroviario fino alla confluenza, denota arginature adeguate al contenimento soltanto delle piene con tempo di ritorno inferiore a 50 anni. Infatti, per la portata cinquantennale si verificano livelli idrici superiori alla massima quota arginale, con valori che vanno dall'ordine del metro nelle sezioni più a monte, aumentando progressivamente verso valle fino a superare i 3 metri di sormonto a ridosso della confluenza.

Il profilo è di tipo subcritico (corrente lenta), con velocità nelle sezioni di calcolo che si attestano mediamente su valori prossimi a 2 m/s per la piena cinquantennale, con valori compresi tra 1,5 e 3 m/s.

I due attraversamenti presenti risultano soggetti ad un potenziale sormonto. Tuttavia, il rilevante livello idrico raggiunto è dovuto in parte alla schematizzazione modellistica adottata con arginature non sormontabili, che ne determina un conseguente innalzamento.

Proseguimento degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione (Servizio di Piena 2022)
CUP: G52B23001690002 CAT. P0223

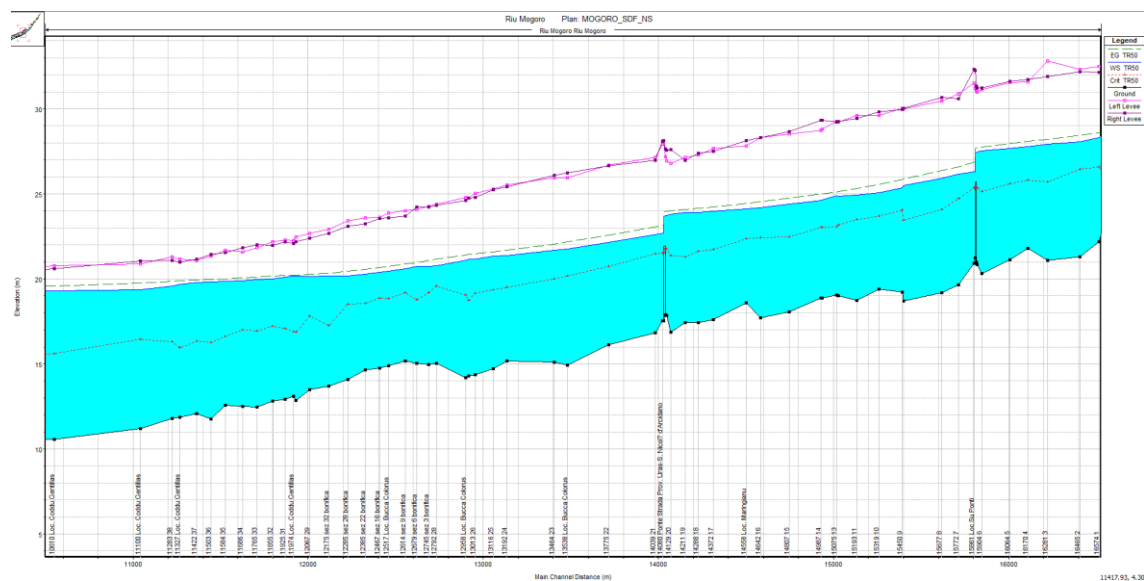


Figura 22 - Profilo della corrente nella configurazione “Stato di fatto” con portate TR=50 anni.

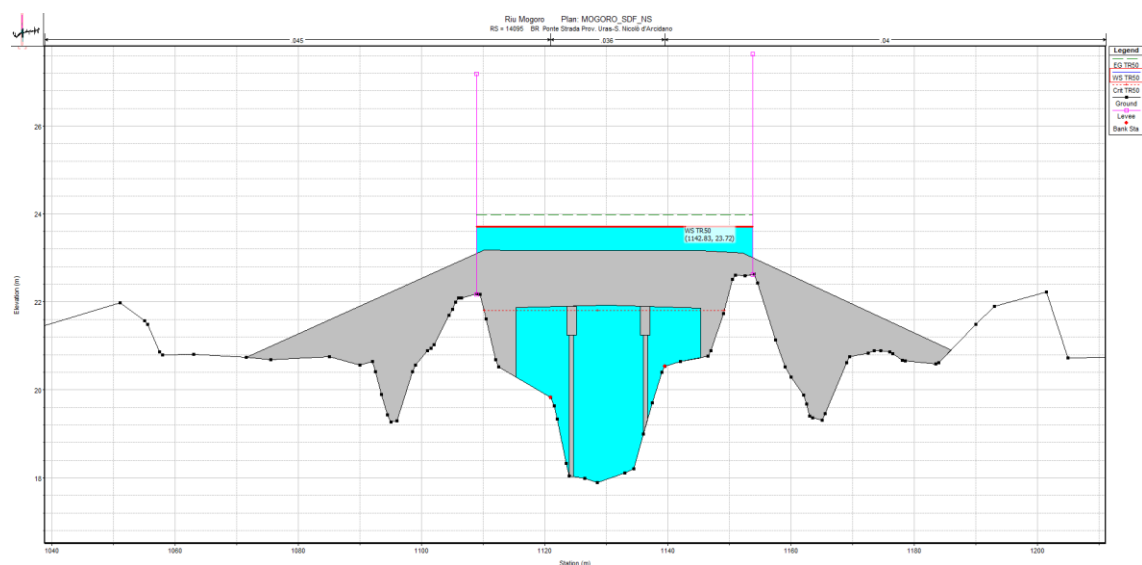


Figura 23 – Configurazione “Stato di fatto”: livello idrico WS=23,72 m s.m. alla sezione del ponte SP47 Uras-S. Nicolò d'Arcidano per la portata TR=50 anni; il deflusso della piena comporta il sormonto della struttura.

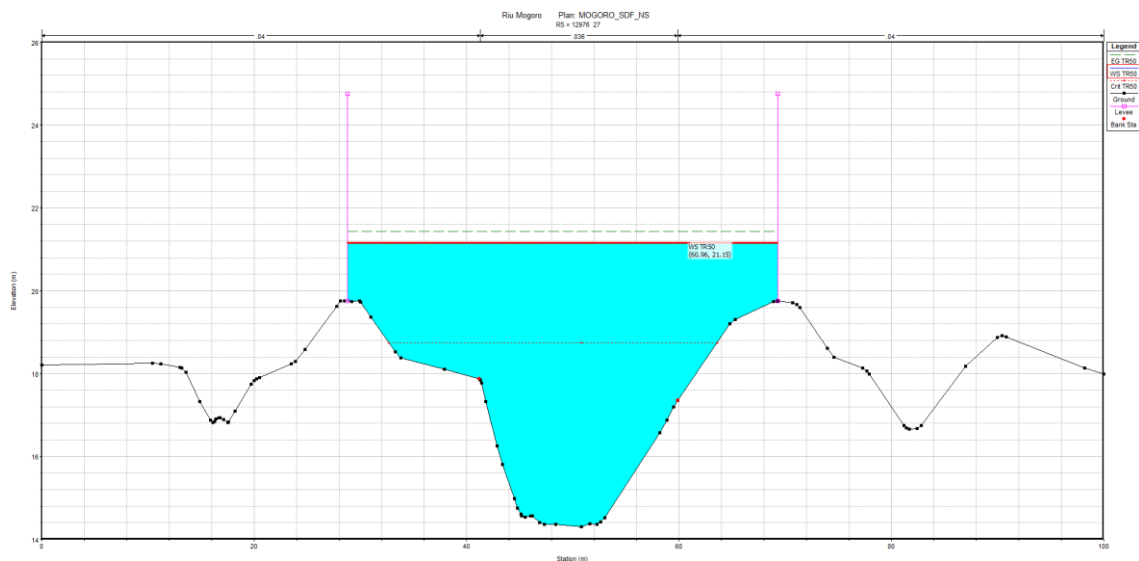


Figura 24 - Configurazione “Stato di fatto”: livello idrico WS=21,15 m s.m. alla sezione del modello n. 12976 per la portata TR=50 anni; il deflusso della piena comporta il sormonto delle arginature.

Nelle condizioni di portata con tempo di ritorno duecentennale laminata, nell'ipotesi che siano già stati realizzati gli interventi programmati dal PGRA, i valori inferiori di portata al colmo determinano un sensibile miglioramento delle condizioni del sistema al deflusso.

Dalla sezione n.16574 alla n.13013 la piena defluisce nella maggioranza delle sezioni con franco superiore al metro rispetto le quote di sommità arginale. Procedendo verso valle si ha una progressiva riduzione del franco (costantemente con valori inferiori al metro), con il sistema arginale che risulterebbe insufficiente al contenimento solamente nel tratto tra le sezioni n. 11503 e 11283, dove si verifica ancora il sormonto del rilevato.

Prosecuzione degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione (Servizio di Piena 2022)
CUP: G52B23001690002 CAT. P0223

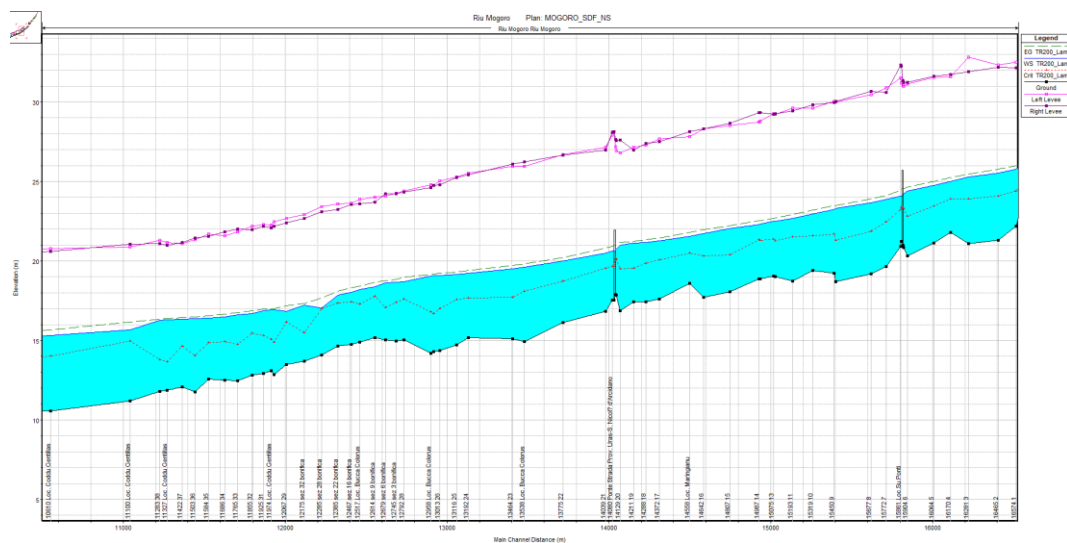


Figura 252 - Profilo della corrente nella configurazione “Stato di fatto” con portate TR=200 anni laminate.

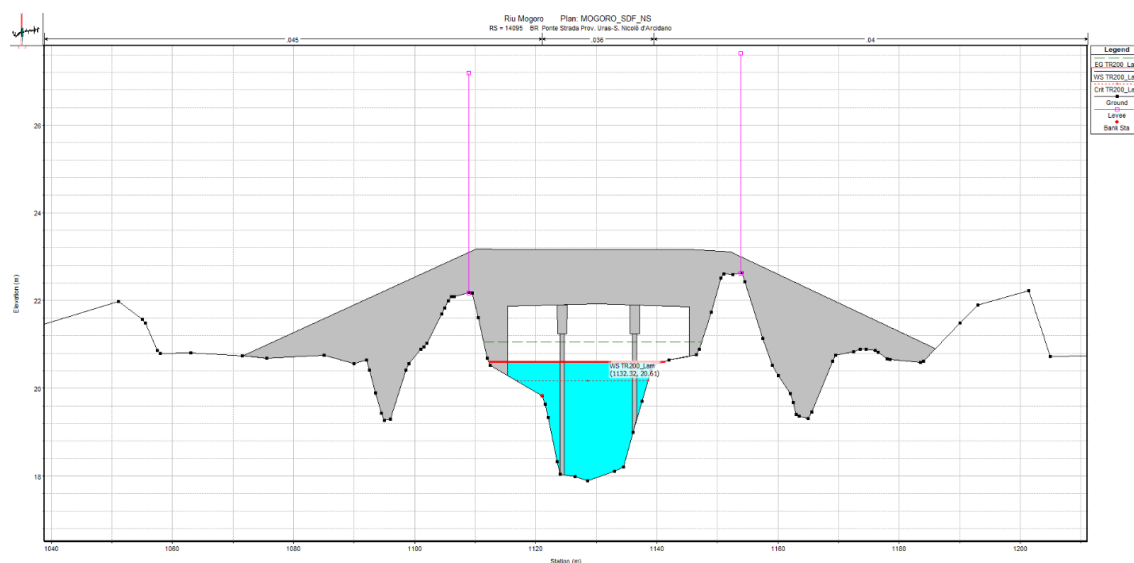


Figura 26 - Configurazione “Stato di fatto”: livello idrico WS=20,61 m s.m. alla sezione del ponte SP47 Uras-S. Nicolò d'Arcidano per la portata TR=200 anni laminata; il deflusso della piena è contenuto nella sezione fluviale.

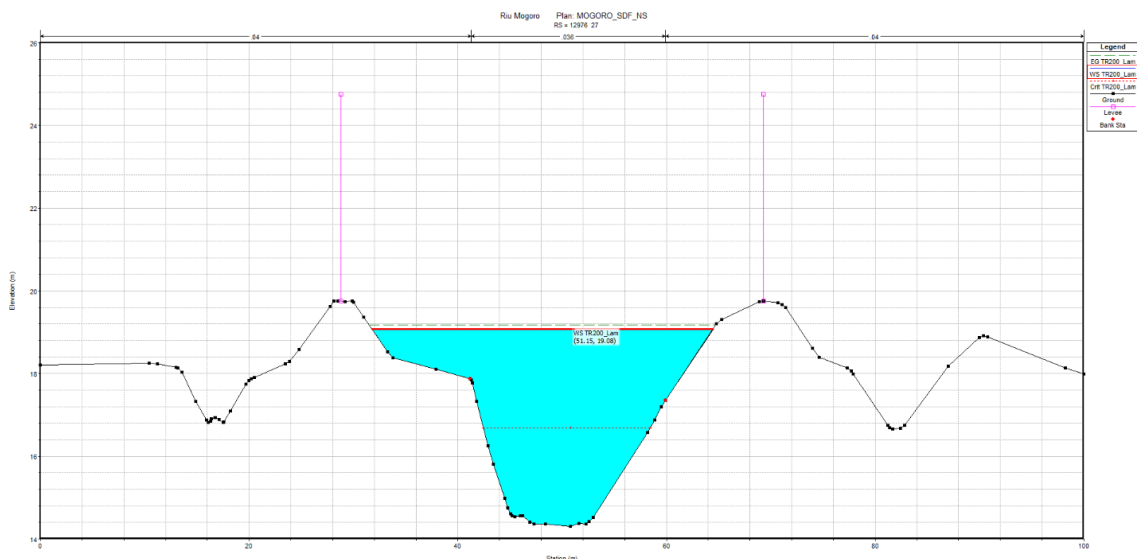


Figura 27 - Configurazione “Stato di fatto”: livello idrico WS=20,61 m s.m. alla sezione del ponte SP47 Uras-S. Nicolò d'Arcidano per la portata TR=200 anni laminata; il deflusso della piena è contenuto nella sezione fluviale.

- Configurazione “Progetto”

Lo scenario consiste nella ricalibratura delle sezioni di deflusso, secondo una livelletta longitudinale a pendenza uniforme del 2‰ e prevedendo una larghezza minima del fondo alveo pari a 10 m con regolarizzazione delle scarpate. Inoltre, sono stati previsti interventi di ringrosso del corpo arginale, con allargamento e regolarizzazione delle sommità arginali.

Analizzando lo scenario secondo il tempo di ritorno di 50 anni, il miglioramento delle sezioni di deflusso non è tale da assicurare il contenimento delle portate di piena. Nonostante le modellazioni mostrino una riduzione dei livelli idrici mediamente pari a 50 cm, il sistema arginale risulta ancora sormontato con valori ancora superiori a 3 m per le sezioni di valle del modello.

Anche in questo scenario i due attraversamenti stradali presenti risultano sormontati.

Proseguimento degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione (Servizio di Piena 2022)

CUP: G52B23001690002 CAT. P0223

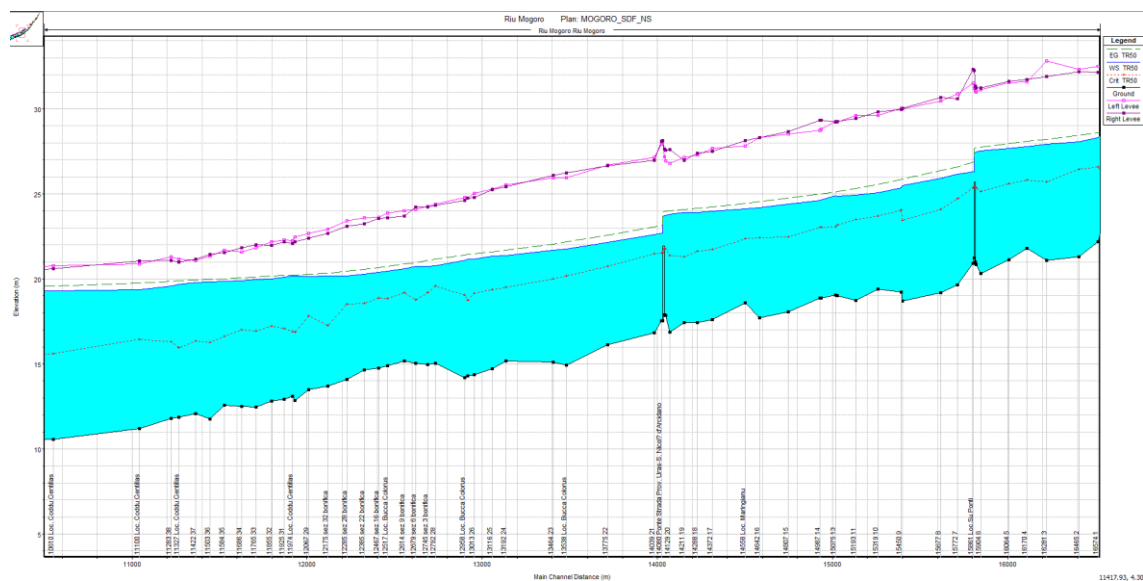


Figura 28 - Profilo della corrente nella configurazione “Progetto” con portate TR=50 anni.

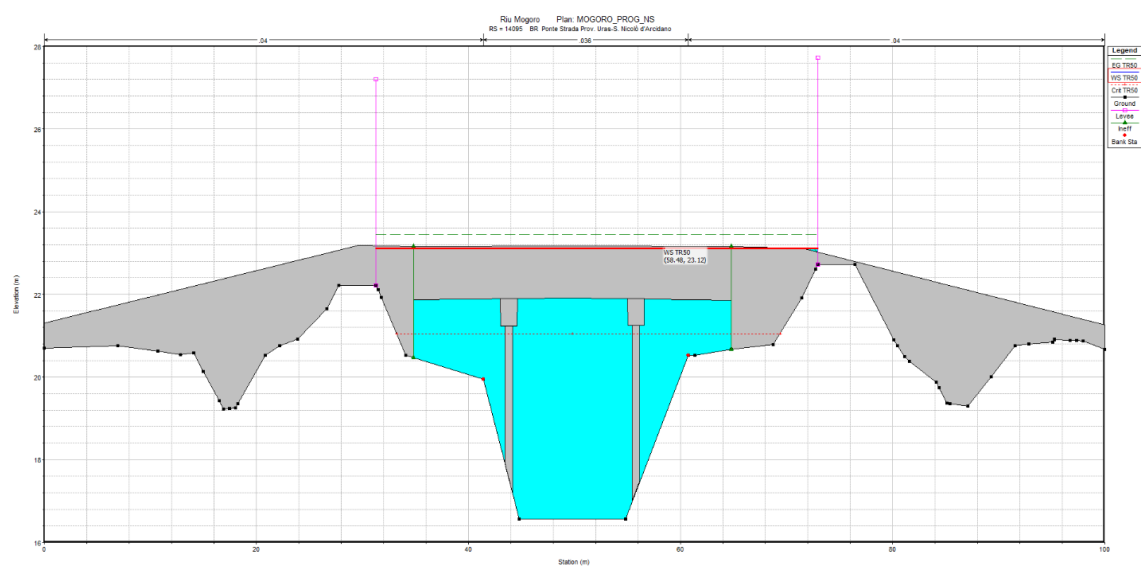


Figura 29 - Configurazione “Progetto”: livello idrico WS=23,12 m s.m. alla sezione del ponte SP47 Uras-S. Nicolò d’Arcidano per la portata TR=50 anni; il deflusso della piena comporta il sormonto della struttura.

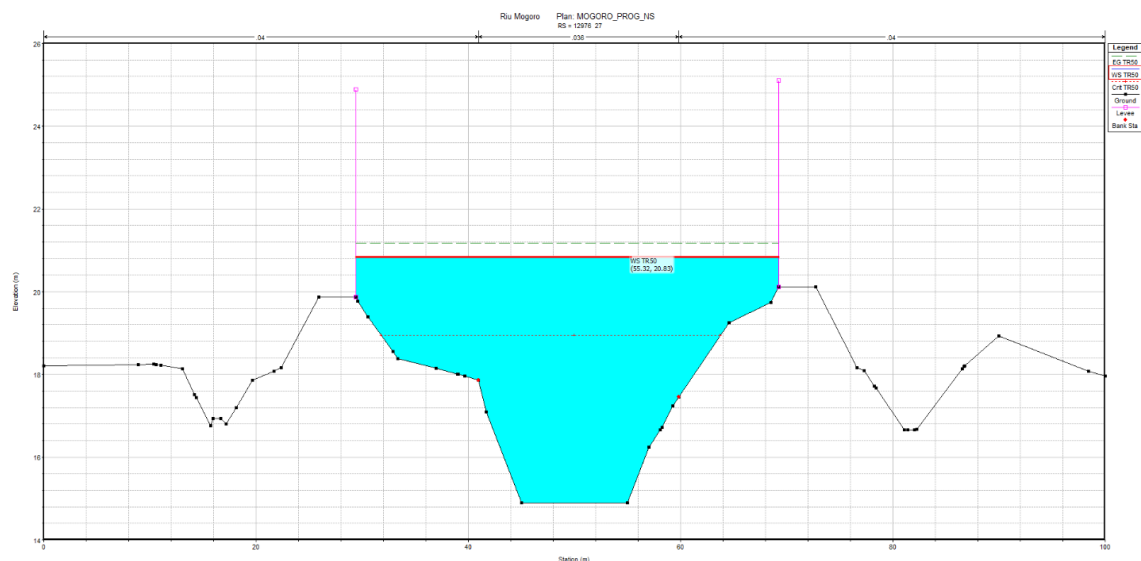


Figura 30 - Configurazione “Progetto”: livello idrico WS=20,83 m s.m. alla sezione del modello n. 12976 per la portata TR=200 anni laminata; il deflusso della piena comporta il sormonto delle arginature.

Rispetto lo scenario precedente, la configurazione “Progetto” con le portate laminate per l’evento duecentennale mostra un profilo di corrente sensibilmente inferiore a confronto di quelli finora analizzati.

Dalla sezione n.16574 alla n.11990 il deflusso della piena avviene con un franco sempre superiore al metro rispetto le quote arginali. Dalla sezione n.11974 e proseguendo verso valle il franco si riduce a valori inferiori al metro ma i livelli idrici non sono mai tali da comportare il sormonto delle arginature.

Le velocità della corrente nelle sezioni di calcolo risultano essere in linea di massima comprese tra 1,5 e 2,5 m/s, con profilo di corrente lenta.

Entrambi gli attraversamenti presenti non risultano sormontati dalla portata di piena.

Proseguimento degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione (Servizio di Piena 2022)

CUP: G52B23001690002 CAT. P0223

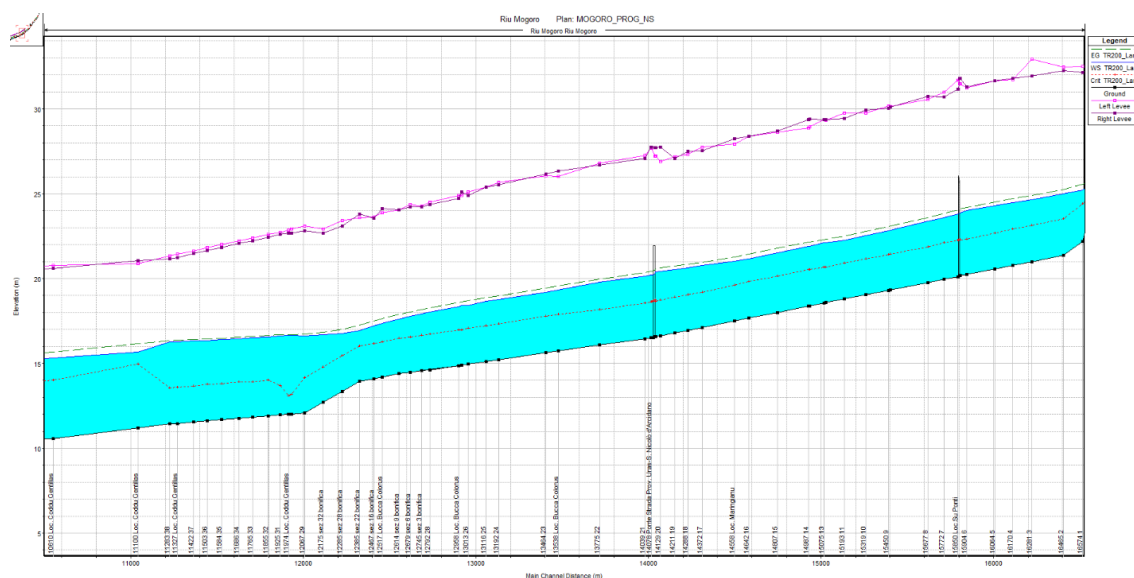


Figura 31 - Profilo della corrente nella configurazione “Progetto” con portate TR=200 anni laminate.

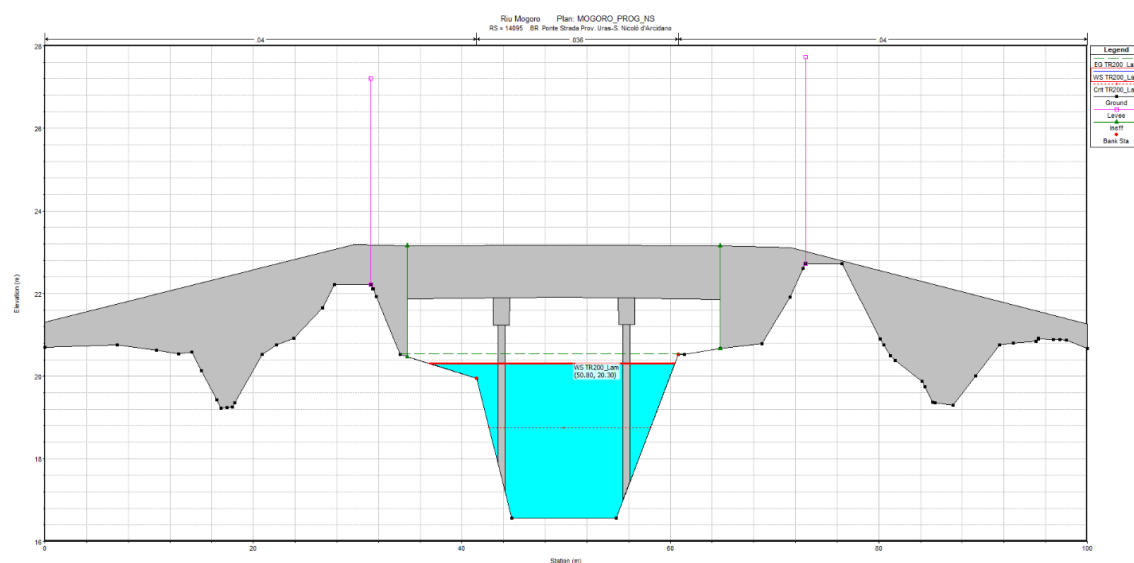


Figura 3 - Configurazione “Progetto”: livello idrico WS=20,30 m s.m. alla sezione del ponte SP47 Uras-S. Nicolò d'Arcidano per la portata TR=200 anni laminate; il deflusso della piena è contenuto nella sezione fluviale.

Proseguimento degli interventi di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo delle sponde del rio Mogoro (nel tronco intermedio), ricalibratura della sezione (Servizio di Piena 2022)
CUP: G52B23001690002 CAT. P0223

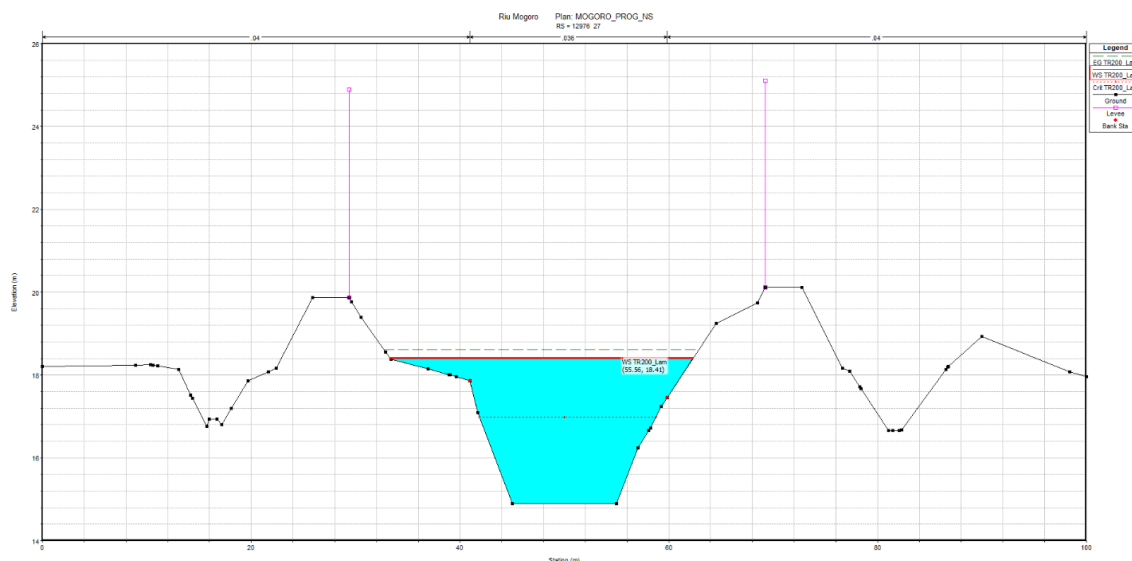


Figura 33 - Configurazione “Progetto”: livello idrico WS=20,30 m s.m. alla sezione del ponte SP47 Uras-S. Nicolò d'Arcidano per la portata TR=200 anni laminata; il deflusso della piena è contenuto nella sezione fluviale.

○ Sintesi numerica dei risultati

- Configurazione “Stato di fatto”

Tabella 27 - Sintesi dei risultati delle simulazioni idrodinamiche nel tratto di rio Mogoro per la configurazione “Stato di fatto”. Le celle evidenziate in rosso indicano le sezioni in cui si verifica il sormonto arginale, in giallo dove il franco idraulico ha valore compreso tra 0 e 1 m, in verde dove il franco ha valore superiore a 1 m.

Sezione HEC- RAS N.	Sezione PSFF N.	Q Argine Sinistro SDF (m slm)	Q Argine Destro SDF (m slm)	SDF – TR=50 anni			SDF – TR= 200 anni laminate		
				Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)	Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)
16574	-	27,49	27,16	28,33	-0,84	-1,17	25,77	1,72	1,39
16465	-	27,34	27,18	28,06	-0,72	-0,88	25,52	1,82	1,66
16281	-	27,81	26,89	27,93	-0,12	-1,04	25,27	2,54	1,62
16170	-	26,60	26,71	27,79	-1,19	-1,08	25,00	1,60	1,71
16064	-	26,54	26,62	27,68	-1,14	-1,06	24,76	1,78	1,86
15904	-	26,14	26,23	27,52	-1,38	-1,29	24,40	1,74	1,83
15878	33,5	26,00	26,23	27,45	-1,45	-1,22	24,21	1,79	2,02
15875	33,4	26,05	26,34	27,44	-1,39	-1,10	24,18	1,87	2,16

Sezione HEC- RAS N.	Sezion e PSFF N.	Q Argine Sinistro SDF (m slm)	Q Argine Destro SDF (m slm)	SDF – TR=50 anni			SDF – TR= 200 anni laminate		
				Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)	Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)
15772	-	25,88	25,61	26,17	-0,29	-0,56	23,86	2,02	1,75
15677	-	25,46	25,67	25,92	-0,46	-0,25	23,67	1,79	2,00
15459	32	25,01	25,02	25,48	-0,47	-0,46	23,32	1,69	1,70
15450	-	25,02	24,98	25,37	-0,35	-0,39	23,23	1,79	1,75
15319	-	24,63	24,81	25,09	-0,46	-0,28	22,96	1,67	1,85
15193	-	24,62	24,45	24,94	-0,32	-0,49	22,67	1,95	1,78
15086	-	24,23	24,26	24,85	-0,62	-0,59	22,50	1,73	1,76
15075	-	24,27	24,24	24,88	-0,61	-0,64	22,50	1,77	1,74
14994	31	23,82	24,32	24,63	-0,81	-0,31	22,31	1,51	2,01
14987	-	23,75	24,32	24,62	-0,87	-0,30	22,29	1,46	2,03
14807	-	23,52	23,67	24,42	-0,90	-0,75	22,03	1,49	1,64
14642	-	23,31	23,30	24,21	-0,90	-0,91	21,74	1,57	1,56
14558	30	22,82	23,14	24,11	-1,29	-0,97	21,55	1,27	1,59
14372	-	22,68	22,49	23,97	-1,29	-1,48	21,28	1,40	1,21
14288	-	22,29	22,39	23,90	-1,61	-1,51	21,16	1,13	1,23
14211	-	22,15	21,98	23,90	-1,75	-1,92	21,12	1,03	0,86
14129	-	21,80	22,62	23,81	-2,01	-1,19	20,99	0,81	1,63
14105	29,5	21,94	22,58	23,73	-1,79	-1,15	20,76	1,18	1,82
14100	29,4	22,18	22,63	23,72	-1,54	-1,09	20,74	1,44	1,89
14039	-	22,16	21,97	22,61	-0,45	-0,64	20,51	1,65	1,46
13775	-	21,68	21,65	22,16	-0,48	-0,51	19,99	1,69	1,66
13538	28	20,96	21,22	21,77	-0,81	-0,55	19,61	1,35	1,61
13464	-	20,96	21,08	21,68	-0,72	-0,60	19,51	1,45	1,57
13192	-	20,53	20,44	21,37	-0,84	-0,93	19,23	1,30	1,21
13116	-	20,28	20,25	21,32	-1,04	-1,07	19,17	1,11	1,08
13013	-	20,02	19,79	21,16	-1,14	-1,37	19,08	0,94	0,71
12976	-	19,76	19,75	21,15	-1,39	-1,40	19,08	0,68	0,67
12958	27	19,79	19,63	21,10	-1,31	-1,47	19,04	0,75	0,59
12792	-	19,39	19,32	20,77	-1,38	-1,45	18,69	0,70	0,63
12745	-	19,26	19,24	20,74	-1,48	-1,50	18,65	0,61	0,59
12679	-	19,08	19,21	20,74	-1,66	-1,53	18,63	0,45	0,58
12614	-	19,03	18,71	20,58	-1,55	-1,87	18,38	0,65	0,33
12517	26	18,86	18,58	20,47	-1,61	-1,89	18,20	0,66	0,38

Sezione HEC- RAS N.	Sezion e PSFF N.	Q Argine Sinistro SDF (m slm)	Q Argine Destro SDF (m slm)	SDF – TR=50 anni			SDF – TR= 200 anni laminate		
				Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)	Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)
12467	-	18,62	18,56	20,37	-1,75	-1,81	18,03	0,59	0,53
12385	-	18,59	18,25	20,29	-1,70	-2,04	17,84	0,75	0,41
12285	-	18,41	18,09	20,17	-1,76	-2,08	17,04	1,37	1,05
12175	-	17,93	17,69	20,17	-2,24	-2,48	17,22	0,71	0,47
12067	-	17,67	17,41	20,13	-2,46	-2,72	16,82	0,85	0,59
11990	-	17,45	17,17	20,18	-2,73	-3,01	16,95	0,50	0,22
11974	25	17,24	17,09	20,18	-2,94	-3,09	16,94	0,30	0,15
11925	-	17,28	17,17	20,12	-2,84	-2,95	16,85	0,43	0,32
11855	-	17,18	16,96	19,99	-2,81	-3,03	16,70	0,48	0,26
11765	-	16,82	17,01	19,98	-3,16	-2,97	16,62	0,20	0,39
11686	-	16,58	16,83	19,89	-3,31	-3,06	16,49	0,09	0,34
11584	-	16,70	16,56	19,86	-3,16	-3,30	16,42	0,28	0,14
11503	-	16,35	16,44	19,83	-3,48	-3,39	16,37	-0,02	0,07
11422	-	16,10	16,16	19,81	-3,71	-3,65	16,32	-0,22	-0,16
11327	24	16,15	15,99	19,67	-3,52	-3,68	16,30	-0,15	-0,31
11283	-	16,31	16,08	19,57	-3,26	-3,49	16,26	0,05	-0,18
11100	23	15,89	16,05	19,36	-3,47	-3,31	15,65	0,24	0,40
10610	22	15,76	15,60	19,30	-3,54	-3,70	15,33	0,43	0,27
10027	21.5	15,42	15,23	19,18	-3,76	-3,95	14,80	0,62	0,43
10024	21.4	15,41	15,22	19,18	-3,77	-3,96	14,79	0,62	0,43
10016	21.2	15,40	15,24	18,28	-2,88	-3,04	14,67	0,73	0,57
10010	21.1	15,40	15,23	18,28	-2,88	-3,05	14,66	0,74	0,57
9531	20	14,65	14,89	18,08	-3,43	-3,19	14,19	0,46	0,70

- Configurazione "Progetto"

Tabella 28 - Sintesi dei risultati delle simulazioni idrodinamiche nel tratto di rio Mogoro per la configurazione "Progetto". Le celle evidenziate in rosso indicano le sezioni in cui si verifica il sormonto arginale, in giallo dove il franco idraulico ha valore compreso tra 0 e 1 m, in verde dove il franco ha valore superiore a 1 m.

Sezione HEC-RAS N.	Sezione PSFF N.	Q Argine Sinistro PROG (m slm)	Q Argine Destro PROG (m slm)	PROG – TR=50 anni			PROG – TR= 200 anni laminate		
				Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)	Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)
16574	-	27,49	27,16	27,79	-0,30	-0,63	25,20	2,29	1,96
16465	-	27,45	27,24	27,53	-0,08	-0,29	24,99	2,46	2,25
16281	-	27,92	26,95	27,34	0,58	-0,39	24,66	3,26	2,29
16170	-	26,73	26,79	27,20	-0,47	-0,41	24,48	2,25	2,31
16064	-	26,64	26,65	27,09	-0,45	-0,44	24,30	2,34	2,35
15904	-	26,25	26,29	26,89	-0,64	-0,60	24,00	2,25	2,29
15867	33.5	26,49	26,78	26,77	-0,28	0,01	23,88	2,61	2,90
15863	33.4	26,49	26,78	26,70	-0,21	0,08	23,87	2,62	2,91
15772	-	25,99	25,71	25,96	0,03	-0,25	23,59	2,40	2,12
15677	-	25,57	25,74	25,72	-0,15	0,02	23,38	2,19	2,36
15459	32	25,15	25,12	25,11	0,04	0,01	22,84	2,31	2,28
15450	-	25,18	25,05	25,08	0,10	-0,03	22,82	2,36	2,23
15319	-	24,74	24,92	24,76	-0,02	0,16	22,52	2,22	2,40
15193	-	24,75	24,45	24,62	0,13	-0,17	22,26	2,49	2,19
15086	-	24,34	24,36	24,53	-0,19	-0,17	22,11	2,23	2,25
15075	-	24,37	24,37	24,56	-0,19	-0,19	22,11	2,26	2,26
14994	31	23,93	24,39	24,28	-0,35	0,11	21,91	2,02	2,48
14987	-	23,88	24,38	24,27	-0,39	0,11	21,90	1,98	2,48
14807	-	23,64	23,71	23,96	-0,32	-0,25	21,52	2,12	2,19
14642	-	23,38	23,37	23,69	-0,31	-0,32	21,16	2,22	2,21
14558	30	22,93	23,24	23,60	-0,67	-0,36	21,02	1,91	2,22
14372	-	22,76	22,52	23,45	-0,69	-0,93	20,76	2,00	1,76
14288	-	22,34	22,51	23,37	-1,03	-0,86	20,64	1,70	1,87
14211	-	22,19	22,08	23,35	-1,16	-1,27	20,54	1,65	1,54
14129	-	21,89	22,74	23,25	-1,36	-0,51	20,43	1,46	2,31
14102	29.5	22,21	22,72	23,23	-1,02	-0,51	20,38	1,83	2,34
14098	29.4	22,21	22,72	23,12	-0,91	-0,40	20,37	1,84	2,35
14039	-	22,25	22,07	22,45	-0,20	-0,38	20,16	2,09	1,91

Sezione HEC-RAS N.	Sezione PSFF N.	Q Argine Sinistro PROG (m slm)	Q Argine Destro PROG (m slm)	PROG – TR=50 anni			PROG – TR= 200 anni laminate		
				Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)	Livelli idrici (m slm)	Franco SX (m)	Franco DX (m)
13775	-	21,80	21,70	22,09	-0,29	-0,39	19,79	2,01	1,91
13538	28	21,01	21,34	21,60	-0,59	-0,26	19,33	1,68	2,01
13464	-	21,07	21,16	21,50	-0,43	-0,34	19,19	1,88	1,97
13192	-	20,68	20,52	21,15	-0,47	-0,63	18,77	1,91	1,75
13116	-	20,40	20,37	21,10	-0,70	-0,73	18,67	1,73	1,70
13013	-	20,09	19,89	20,85	-0,76	-0,96	18,42	1,67	1,47
12976	-	19,88	20,11	20,83	-0,95	-0,72	18,41	1,47	1,70
12958	27	19,89	19,73	20,79	-0,90	-1,06	18,35	1,54	1,38
12792	-	19,50	19,35	20,51	-1,01	-1,16	18,01	1,49	1,34
12745	-	19,26	19,24	20,51	-1,25	-1,27	17,93	1,33	1,31
12679	-	19,37	19,21	20,46	-1,09	-1,25	17,78	1,59	1,43
12614	-	19,04	19,05	20,43	-1,39	-1,38	17,61	1,43	1,44
12517	26	18,86	19,11	20,25	-1,39	-1,14	17,35	1,51	1,76
12467	-	18,63	18,56	20,21	-1,58	-1,65	17,21	1,42	1,35
12385	-	18,59	18,79	20,17	-1,58	-1,38	16,93	1,66	1,86
12285	-	18,41	18,10	20,10	-1,69	-2,00	16,76	1,65	1,34
12175	-	17,93	17,69	20,08	-2,15	-2,39	16,68	1,25	1,01
12067	-	18,09	17,82	20,08	-1,99	-2,26	16,63	1,46	1,19
11990	-	17,92	17,67	20,12	-2,20	-2,45	16,67	1,25	1,00
11974	25	17,85	17,66	20,12	-2,27	-2,46	16,67	1,18	0,99
11925	-	17,71	17,61	20,07	-2,36	-2,46	16,63	1,08	0,98
11855	-	17,60	17,44	19,97	-2,37	-2,53	16,54	1,06	0,90
11765	-	17,40	17,23	19,96	-2,56	-2,73	16,51	0,89	0,72
11686	-	17,22	17,07	19,90	-2,68	-2,83	16,44	0,78	0,63
11584	-	17,02	16,82	19,88	-2,86	-3,06	16,41	0,61	0,41
11503	-	16,82	16,65	19,84	-3,02	-3,19	16,35	0,47	0,30
11422	-	16,62	16,49	19,83	-3,21	-3,34	16,34	0,28	0,15
11327	24	16,44	16,35	19,63	-3,19	-3,28	16,28	0,16	0,07
11283	-	16,34	16,29	19,57	-3,23	-3,28	16,26	0,08	0,03
11100	23	15,89	16,05	19,36	-3,47	-3,31	15,65	0,24	0,40
10610	22	15,76	15,60	19,30	-3,54	-3,70	15,33	0,43	0,27
10027	21.5	15,42	15,23	19,18	-3,76	-3,95	14,80	0,62	0,43
10024	21.4	15,41	15,22	19,18	-3,77	-3,96	14,79	0,62	0,43
10016	21.2	15,40	15,24	18,28	-2,88	-3,04	14,67	0,73	0,57
10010	21.1	15,40	15,23	18,28	-2,88	-3,05	14,66	0,74	0,57

Sezione	Sezione	Q Argine	Q Argine	PROG – TR=50 anni			PROG – TR= 200 anni laminate		
HEC-RAS	PSFF	Sinistro PROG	Destro PROG	Livelli idrici	Franco SX	Franco DX	Livelli idrici	Franco SX	Franco DX
N.	N.	(m slm)	(m slm)	(m slm)	(m)	(m)	(m slm)	(m)	(m)
9531	20	14,65	14,89	18.08	-3.43	-3.19	14.19	0.46	0.70

○ Azioni di trascinamento sui rivestimenti

I fenomeni di trascinamento ed erosione degli elementi che costituiscono le difese spondali possono essere impediti attraverso la scelta dell'opportuna pezzatura dei massi e dell'inclinazione con cui vengono posati.

L'analisi della stabilità del materiale utilizzato per il rivestimento delle sponde arginali nei tratti in cui la sezione tipologica prevede il posizionamento di materassi in pietrame, prevede il seguente sviluppo:

- definizione dei parametri idraulici di interesse;
- caratterizzazione del materiale del rivestimento, di fondo e di sponda, e verifica della sua stabilità;
- individuazione del peso del masso in equilibrio limite per l'evento di piena progettuale.

Calcolo condizioni critiche del moto incipiente

Differenti formule di calcolo sono disponibili in letteratura per la valutazione della stabilità di materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici (in generale desunti da dati sperimentali) delle velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Le formule che si basano sul concetto di velocità critica, sebbene molto usate in passato, presentano evidenti limiti di applicabilità: infatti, non essendo generalmente disponibili informazioni sulla distribuzione delle velocità nelle sezioni d'alveo, si utilizza nei calcoli il valore della velocità media per il confronto con il valore di velocità critica, che porta ad una sovrastima della velocità allo strato limite, specialmente per alvei che hanno elevata scabrezza e che quindi non presentano uno strato limite laminare.

Per questo motivo appare preferibile l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento. Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale solido in alveo, secondo la formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (\text{kg/m}^2)$$

dove γ (kg/m^3) è il peso specifico dell'acqua, R (m) è il raggio idraulico della sezione e i (m/m) la pendenza di fondo.

Sulle sponde il valore di tensione si riduce linearmente dal fondo alla sommità. È consuetudine applicare sulle sponde il 75% del valore calcolato in alveo.

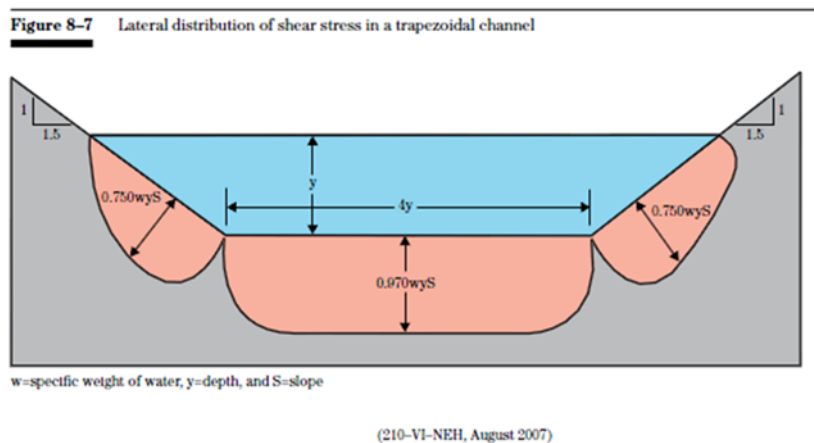


Figura 34 - Andamento delle tensioni tangenziali lungo una sezione trapezoidale.

La condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_{CR} > \tau_0$, ossia quando la tensione tangenziale critica del materiale di rivestimento del canale è maggiore o uguale a quella di moto incipiente esercitata dalla corrente.

La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936 la cui formula base è stata ricavata da esperimenti su letti a granulometria uniforme di forte scabrezza), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \Phi(Re^*)$$

con:

τ_{cr} = tensione tangenziale critica (kg/m²);

γ_s = peso specifico materiale d'alveo (kg/m³);

γ = peso specifico dell'acqua (kg/m³);

d = diametro del granulo (m);

Φ = parametro adimensionale, dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds (Re^*) relativo alla velocità di attrito ($u^* = \tau_{cr}/\rho$).

Per la traduzione della condizione di equilibrio suddetta in termini applicativi sono state proposte varie formulazioni, derivanti da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo alla preventiva definizione della tipologia dei substrati naturali o artificiali e del comportamento idraulico dell'alveo.

In particolare, alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

$\Phi = 0,047$ nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;

$\Phi = 0,058 - 0,060$ nell'espressione originale di Shields per $Re^* > 400$;

$\Phi = 0,116$ nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle.

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti le opere in esame verrà fatto riferimento, nel caso specifico, all'espressione di Shields nella formulazione di Kalinske.

Una volta determinate le grandezze caratteristiche con riferimento al fondo alveo, per quanto riguarda le verifiche di stabilità del paramento inclinato, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza (α) della sponda rispetto all'orizzontale.

Viene normalmente utilizzata la seguente espressione (E. Lane, 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[\cos \alpha \sqrt{1 - \frac{tg^2 \alpha}{tg^2 \phi}} \right]$$

con:

$\tau_{cr}(0)$ = tensione critica sul fondo;

ϕ = angolo d'attrito interno del materiale.

La stabilità del sistema di protezione può essere giudicata sulla base di un confronto fra la tensione tangenziale ottenuta dal calcolo a quella massima ammissibile caratteristica dell'opera.

La resistenza agli sforzi tangenziali dei più comuni sistemi di progettazione in uso con materiali naturali viene riportata nella

Tabella 29 sottostante.

Tabella 29 – Valori di riferimento della resistenza al trascinamento e della scabrezza per alcuni materiali naturali e per alcune tecniche di ingegneria naturalistica a fine lavori.

Materiali e tecniche	Non vegetato		Vegetato	
	Scabrezza [s/m ^{1/3}]	Sforzo tollerato N/m ²	Scabrezza [s/m ^{1/3}]	Sforzo tollerato N/m ²
Sabbia fine	0,02	3,5	N/A	N/A
Sabbia e ghiaia	0,02	15,3	N/A	N/A
Ghiaia grossolana	0,025	32	N/A	N/A
Ciottoli e ghiaia	0,035	52,6	N/A	N/A
Argilla coesiva (coesiva)	0,025	22	N/A	N/A
Argilla friabile (coesiva)	0,025	32	N/A	N/A
Limo e ciottoli (coesivi)	0,03	38	N/A	N/A
Ciottoli erbosi	0,04	10	0,05	30
Talee – Arbusti	0,1	10	0,4	60
Copertura diffusa	0,1	50	0,4	300
Vimate – Graticciate	0,1	10	0,4	50
Ribalta viva	0,1	20	0,4	100
GabionMats 0,30m (12")	0,0301	336	0,3	450
Gabbioni 0,50m (18")	0,0301	470,4	0,2	500

Materiali e tecniche	Non vegetato		Vegetato	
	Scabrezza [s/m ^{1/3}]	Sforzo tollerato N/m ²	Scabrezza [s/m ^{1/3}]	Sforzo tollerato N/m ²
Gabbioni 1,00m (36")	0,0301	470,4	0,2	500
Materasso Reno 0,15-0,17m (6")	0,0277	224	0,3	400
Materasso Reno 0,15-0,17 (6")+Macmat	0,0277	270	0,3	400
Materasso Reno 0,23-0,25m (9")	0,0277	268,8	0,3	450
Materasso Reno 0,23-0,25m (9")+Macmat	0,0277	310	0,3	450
Materasso Reno 0,30m (12")	0,0277	336	0,3	450
Materasso Reno 0,30m (12")+Macmat	0,0277	380	0,3	450
Macmat R6	0,0303	171,58	0,1	332,31
Macmat R8	0,0303	188,89	0,1	349,15
Macmat N10	0,0303	131,67	0,1	299,67
Macmat N20	0,0303	178,36	0,1	332,6
Riprap/Rock Wall	0,04	300,8	0,4	350
Blocchetti in cemento	0,02	250	0,3	350

Tabella 30 – Valori della resistenza al trascinamento a confronto con resistenza al moto incipiente delle gabbionate di progetto nella configurazione di “Progetto” con Tempo di ritorno di 2 anni – vedi cap. 2.2.1 dell'allegato B.

sezione modello	y	R	i	τ_0	τ_0	τ_{cr}
	[kg/m ³]	[m]	[m/m]	[kg/mq]	[N/mq]	[N/mq]
14039	1000	2.09	0.0014	3.01	21.0	336
13775	1000	2.13	0.0015	3.15	19.5	336
13538	1000	2.07	0.0015	3.08	19.9	336
13464	1000	2.05	0.0015	3.01	20.3	336
13192	1000	2.16	0.0015	3.26	23.4	336
13013	1000	2.01	0.0014	2.91	22.3	336
12792	1000	1.92	0.0013	2.48	21.3	336

Tabella 331 – Valori della resistenza al trascinamento a confronto con resistenza al moto incipiente delle gabbionate di progetto nella configurazione di “Progetto” con Tempo di ritorno di 200 anni in assenza di laminazione – vedi cap. 2.2.4 dell'allegato B.

sezione modello	y	R	i	τ_0	τ_0	τ_{cr}
	[kg/m ³]	[m]	[m/m]	[kg/mq]	[N/mq]	[N/mq]
14039	1000	5.44	0.0014	7.83	76.82	336
13775	1000	5.67	0.0015	8.37	82.14	336
13538	1000	5.27	0.0015	7.83	76.85	336
13464	1000	5.48	0.0015	8.06	79.06	336

13192	1000	5.81	0.0015	8.76	85.97	336
13013	1000	5.58	0.0014	8.08	79.26	336
12792	1000	5.59	0.0013	7.22	70.86	336

Dal confronto si evince che il sistema di gabbionate predisposto dall'intervento in esame verifica le condizioni di stabilità necessarie a contrastare la tensione di trascinamento generata dal corso d'acqua, avendo eseguito tale verifica sia nella configurazione di "progetto" con tempo di ritorno due anni, sia nella configurazione duecentennale in assenza di laminazione.

Verifica delle difese in materassi in Reno

Per quanto riguarda gli aspetti progettuali, in generale si definisce stabile un rivestimento in pietrame, sia esso costituito da materassi Reno e gabbioni (per i quali si ha presenza di rete metallica di contenimento) sia da pietrame sciolto (rip-rap) costituito da soli inerti, quando non si ha spostamento degli elementi litoidi. La condizione di inizio del movimento di questi elementi definisce il limite di stabilità del rivestimento.

Nel caso di materassi Reno e gabbioni privi di vegetazione, le ricerche condotte dal Engineering Research Center in Fort Collins, Colorado (1984), hanno portato a calcolare gli sforzi tangenziali utilizzando la seguente formula:

$$\tau_c = K_s C^* (\gamma_s - \gamma_w) d_m$$

Dove:

C^* = Coefficiente di Shields (posto pari a 0,14);

γ_s = Peso specifico delle rocce di riempimento (24-26 kN/m³);

γ_w = Peso specifico dell'acqua (kN/m³);

d_m = diametro medio delle rocce di riempimento (m);

$K_s = (1 - \sin^2 \theta / \sin^2 \phi)^{1/2}$; con θ angolo di scarpata e $\phi=60^\circ$.

Il coefficiente di Shields per il pietrame sciolto (rip-rap) vale circa 0,047. Pertanto, con un valore pari a 0,14 si ha che, a parità di dimensioni, il pietrame di riempimento di materassi Reno e gabbioni sopporta una tensione tangenziale più che doppia rispetto al rip-rap, grazie all'azione di contenimento della rete metallica.

Sulle sponde l'effetto di confinamento della rete sul pietrame incrementerà la sua resistenza agli sforzi tangenziali, ciò non accade per il materiale sciolto poiché la forza di gravità ridurrà la resistenza agli sforzi tangenziali sul piano inclinato. Di conseguenza la resistenza allo sforzo tangenziale su superfici inclinate verrà calcolata utilizzando un coefficiente convenzionale di riduzione K_s per il materiale sciolto, assumendo un angolo fittizio di 60° per il materiale confinato (gabbioni e materassi Reno).

Nel caso in cui l'inclinazione degli argini sia maggiore di 45° ($\theta > 45^\circ$) il fattore di riduzione verrà considerato costante ($K_s = 0.57$).

Tabella 32 – Caratteristiche del materiale utilizzato per le protezioni spondali.

Materiale	Scabrezza	Tensione ammissibile	Diametro	Spessore	Peso specifico pietra	C Shields
		[N/m ²]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[-]
Materassi Reno 0.30m	0.0277	336	0.10	0.3	26	0.14

Tabella 33 – Risultati della verifica della protezione spondale con software Macra1-2006, sezione 8 di progetto.

Tratto	Lungh.	V	V _{amm}	V _b	Materiale	τ max	τ amm
	[m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]		[N/m ²]	[N/m ²]
Scarpata SX	4.00	5.8	0.75	0.15	Materassi Reno 0.30m	169	232
Scarpata DX	4.00	5.8	0.75	0.15	Materassi Reno 0.30m	169	232

Conclusioni

Gli interventi progettuali di ricalibratura delle sezioni di deflusso sono conformi a quanto previsto nello studio relativo alla "Predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni sui principali corsi d'acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna".

Alla luce dei risultati ottenuti dai modelli di simulazione, si ritiene che gli interventi proposti comportino un miglioramento delle condizioni di deflusso, certamente non aggravando i livelli di pericolosità e rischio che sussistono allo stato attuale sul tratto di rio Mogoro.