



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO DI PIENA E INTERVENTO IDRAULICO
SERVIZIO DEL GENIO CIVILE DI ORISTANO.



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE
DPGRS N° 239 del 04.12.96
Via Cagliari, 170 - 09170 ORISTANO

REALIZZAZIONE DI UN INTERVENTO DI RIMODELLAZIONE E
STABILIZZAZIONE DELL'ALVEO E DELLE SPONDE DEL RIO MOGORO NEL
TRATTO COMPRESO TRA L'ATTRAVERSAMENTO DELLA S.P. 47 E LA
CONFLUENZA CON IL CANALE ACQUE ALTE

SERVIZIO DI PIENA E INTERVENTO IDRAULICO E DI PRESIDIO TERRITORIALE
2012

PROGETTO ESECUTIVO

CUP G19H12000390002 - CAT P0316

RELAZIONE IDRAULICA

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Giorgio Bravin

ALL.

1.3

STUDI NATURALISTICI

Dott.ssa Sandra Pintus

STUDI IDRAULICI

Dott.Ing. Tonino Mulas

DATA:

marzo 2017

STUDI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Dott.Geol. Marco Piras

Dott.Geol. Paolo Sardu

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

REV:

Dott. Ing. Roberto Sanna

REV:

REV:

REV:

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Roberto Sanna

INDICE

INDICE	I
1. PREMESSA.....	1
2. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA	2
3. DESCRIZIONE DEL MODELLO MONODIMENSIONALE	3
• GEOMETRIA DELLE SEZIONI, ESPRESSA MEDIANTE COPPIE DI COORDINATE (PROGRESSIVA, QUOTA).....	3
• DISTANZA TRA LA SEZIONE ENNESIMA E QUELLA SUCCESSIVA	3
• COEFFICIENTE DI SCABREZZA N DI MANNING;.....	3
• COEFFICIENTI DI CONTRAZIONE-ESPANSIONE DELL'ALVEO NEL TRATTO COMPRESO TRA LA SEZIONE ENNESIMA E QUELLA SUCCESSIVA.	3
3.1 CONDIZIONI AL CONTORNO	3
<i>Condizione di moto</i>	3
<i>Scabrezze</i>	4
<i>Analisi granulometrica del materiale in alveo</i>	5
4. ANALISI IDRAULICA.....	9
5. TRASPORTO SOLIDO IN ALVEO.....	11
6. VERIFICA ALL'EROSIONE.....	12
7. CONCLUSIONI	15

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio del regime idraulico del Rio Mogoro nel tratto ricadente al interno del territorio comunale di Uras nella località denominata *R.ne Isca de Uras*, che si estende per circa 800 metri, un chilometro a valle del ponte sul rio Mogoro della SP 47 che collega Uras a San Nicolò D'Arcidano (Figura 1).

Lo studio idraulico, volto alla determinazione delle condizioni di deflusso del Rio Mogoro in concomitanza con eventi di piena particolarmente gravosi, è stato eseguito considerando solamente le portate contenute nell'alveo e dal coronamento arginale, pari a 110 mc/s e 240 mc/s.

La verifica è stata condotta tramite la simulazione con un modello di moto permanente (HEC-RAS) in riferimento a un totale di 38 sezioni reperite da rilievo topografico del luogo eseguito dal personale del Consorzio nell'estate del 2013..

Per ogni portata sono stati valutati, le velocità di deflusso e le altezze idrometriche nelle sezioni idrauliche di interesse, distinguendo lo stato di fatto dalla condizione a progetto intesa come la fase immediatamente successiva alla realizzazione durante la quale si raggiungono i massimi approfondimenti dell'area di intervento.

Al fine di valutare la capacità di trasporto solido, la stabilità dell'alveo e delle sponde è stata eseguita una caratterizzazione granulometrica del tratto di Rio Mogoro in esame, e nello specifico è stato eseguito un prelievo di materiale solido in alveo.

E' stata valutata la movimentazione del materiale solido durante il passaggio delle piene adottando le curve granulometriche dedotte dal prelievo, e utilizzando le formule più accreditate per il calcolo della capacità di trasporto solido in presenza di materiali solidi analoghi.

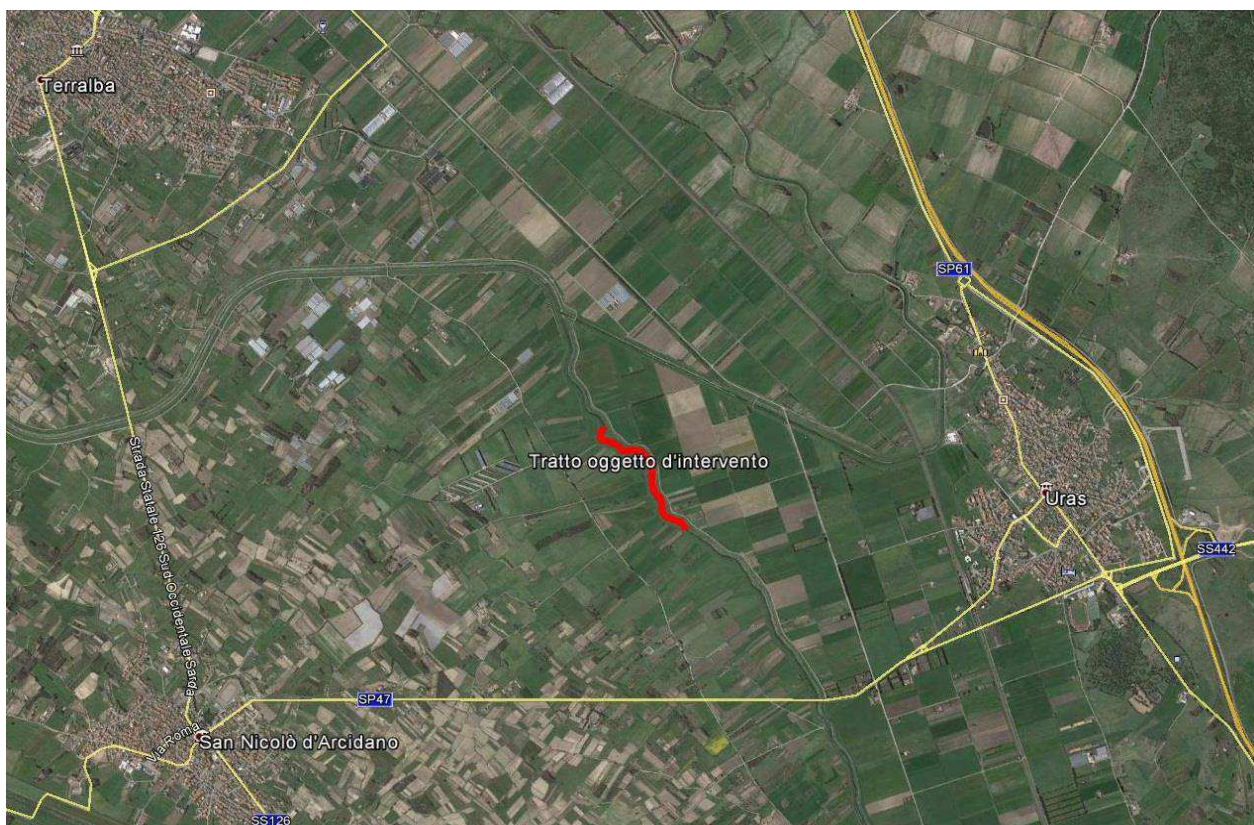


Figura 1 – Tratto del Rio Mogoro oggetto dello studio idraulico.

2. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Le portate di piena del Rio Mogoro per tempi di ritorno 2 – 50 – 100 – 200 - 500 anni adottate nelle simulazioni sono quelle indicate nello Studio del Piano Stralcio Fasce Fluviali (PSFF) adottato con Delibera n.1 del 20.06.2013 e con Delibera n.1 del 05.12.2013, nello specifico si rimanda all'elaborato denominato: *2_23_1_1_2 - Rel-Monografica - Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) - Sub Bacino 02 Tirso - Relazione monografica di bacino idrografico minori tra il Flumini Mannu di Pabillonis e il Tirso.*

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle portate di piena adottate nel PSFF evidenziando in rosso le portate di piena del tratto oggetto di studio.

Sezione	Area	Q(T2)	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	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

Tabella 1 - Portate di piena per il Rio Mogoro nel tratto d'interesse sezione F*.

E' evidente che le capacità di deflusso del tratto interessato sono ampiamente insufficienti per smaltire piene con tempo di ritorno superiore ai 30 anni circa.

Si è proceduto, pertanto, ad effettuare le verifiche idrauliche su portate congruenti con le sezioni del tratto in due stati d'acqua definiti: contenimento nell'alveo, pari a 110 mc/s, e non superamento degli argini, pari a 240 mc/s. Verifiche su portate superiori, che causano una rotta arginale, non hanno significato per gli scopi del presente progetto.

3. DESCRIZIONE DEL MODELLO MONODIMENSIONALE

Il tratto di Rio Mogoro analizzato nel presente studio idraulico si estende per una lunghezza complessiva di circa 800 metri a valle del ponte sulla SP 47.

Il modello idraulico si basa sul rilievo topografico dell'area eseguito dal personale del Consorzio nell'estate 2013. Negli elaborati allegati allo studio idraulico sono rappresentate le tracce delle sezioni di Rio Mogoro contemplate nel modello monodimensionale adottato. Le sezioni si estendono a monte ed a valle dell'intervento per meglio definire le condizioni al contorno di valle ed interpretare gli effetti sul cambio di regime causato da dalle protezioni spondali nel tratto a monte.

La simulazione dei profili di piena è stata eseguita in moto permanente distinguendo lo stato di fatto dal progetto, che apporta modifiche alla geometria delle sezioni ed allo sviluppo del profilo.

Lo scenario implementato nei modelli di simulazione è indicato come situazione a progetto, rappresenta la fase immediatamente successiva alla realizzazione, durante la quale la geometria delle sezioni è quella realizzata.

Per effettuare le verifiche idrauliche con tempo di ritorno compreso tra 2 e 50 anni si è fatto uso del programma di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) sviluppato presso lo U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

I dati necessari all'esecuzione della procedura di calcolo sono i seguenti:

- geometria delle sezioni, espressa mediante coppie di coordinate (progressiva, quota)
- distanza tra la sezione ennesima e quella successiva
- coefficiente di scabrezza n di Manning;
- coefficienti di contrazione-espansione dell'alveo nel tratto compreso tra la sezione ennesima e quella successiva.

3.1 CONDIZIONI AL CONTORNO

Condizione di moto

Come condizione al contorno della corrente è stata assunta la pendenza di fondo alveo nella sezione terminale di valle, nell'ipotesi di parallelismo fra fondo alveo, piezometrica e linea dei carichi totali, ipotizzando un deflusso di moto uniforme nella sezione estrema del tratto di asta simulato. Questa condizione meglio approssima il regime naturale in quanto il tratto a valle del progetto è stato sistemato circa 20 anni fa e la sezione è rimasta abbastanza regolare e stabile.

Per l'analisi sono stati considerati 2 profili di portata in moto permanente per la condizione di piena Rio Mogoro, distinguendo lo stato di fatto dalla situazione a progetto:

$Q = 110 \text{ m}^3/\text{s}$ per tempo di ritorno T superiore a 2 anni

$Q = 240 \text{ m}^3/\text{s}$ per tempo di ritorno T inferiore ai 50 anni

Sezioni di calcolo

Il tratto del Rio Mogoro oggetto di questo studio si estende per una lunghezza complessiva di circa 800 m. Per la caratterizzazione geometrica delle sezioni utilizzate nel modello, si è fatto riferimento ai

seguenti rilievi:

Rilievo G.P.S. delle sezioni trasversali del corso d'acqua (C.B.O. anno 2013), con sistema di coordinate di riferimento nazionale UTM(WGS 84), proiezione Gauss-Boaga espresse in metri per le coordinate piane, e quote altimetriche in metri sul livello del mare, riferite ai capisaldi principali della rete di livellazione di alta precisione dell'Istituto Geografico Militare Italiano.

Si riporta di seguito, in figura 2, il planimetria del tratto in esame, dove sono visibili la schematizzazione delle sezioni rilevate.

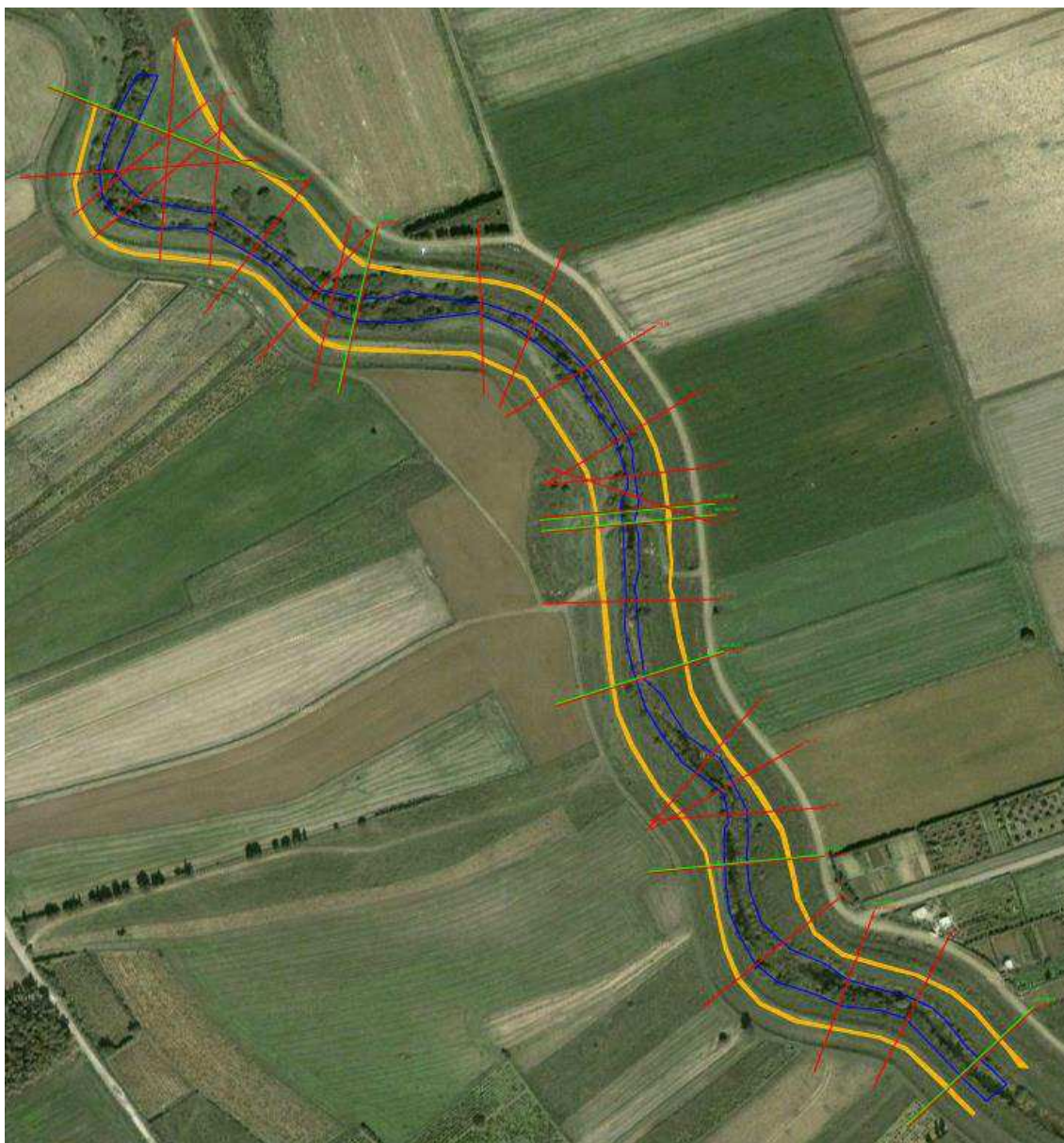


Figura 2 – Tratto del Rio Mogoro oggetto dello studio idraulico.

Scabrezze

Per quanto riguarda alle scabrezze adottate nelle simulazioni, sono stati assunti dei coefficienti di scabrezza n di Manning differenti per l'alveo inciso e per le aree golenali. I valori adottati nella simulazione dello stato attuale sono stati in seguito rivalutati per simulare lo stato di progetto.

Il modello utilizzato impiega il parametro di resistenza al moto di Manning. I valori del parametro

sono assegnati, sezione per sezione, in dipendenza delle condizioni dell'alveo rilevate e tengono conto della presenza di vegetazione, rivestimenti murari ecc.

I criteri di attribuzione del valore sono soggettivi e variabili nel tempo a seconda delle condizioni in cui si trova il corso d'acqua. Le sezioni sono state suddivise in 5 tratti omogenei tenendo conto delle protezioni spondali che verranno installate, i valori del coefficiente di Manning utilizzati in questi tratti tengono conto dell'usura nel tempo delle installazioni, si riporta di seguito la schematizzazione adottata:

- 1 - golenia sinistra;
- 2 - sponda sinistra dell'alveo inciso;
- 3 - alveo centrale;
- 4 - sponda destra dell'alveo inciso;
- 5 – golenia destra.

Adottando la schematizzazione indicata sopra, si riesce a rappresentare più in dettaglio le caratteristiche di scabrezza del corso d'acqua; Il valore adottato è tratto dalla letteratura, oltre che dai vari sopralluoghi svolti in situ durante le diverse stagioni vegetative che hanno evidenziato che le caratteristiche di scabrezza corrispondono a quelle indicate.

Analisi granulometrica del materiale in alveo

Il materiale estratto dall'alveo inciso è costituito da inerte (sabbie e ghiaie) appartenenti alle alluvioni recenti del Rio Mogoro. Si riportano di seguito le curve granulometriche dei tre campioni prelevati in alveo da una ditta specializzata in analisi geotecniche.

ENGINEERING SERVICE International promoter manager NUORO - ITALY	ENGINEERING SERVICE Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax 0784/38985 - cell. 3280235182 - dboneddu@tiscalinet.it	Denominazione prova: Analisi granulometrica ASTM 421-422
---	---	--

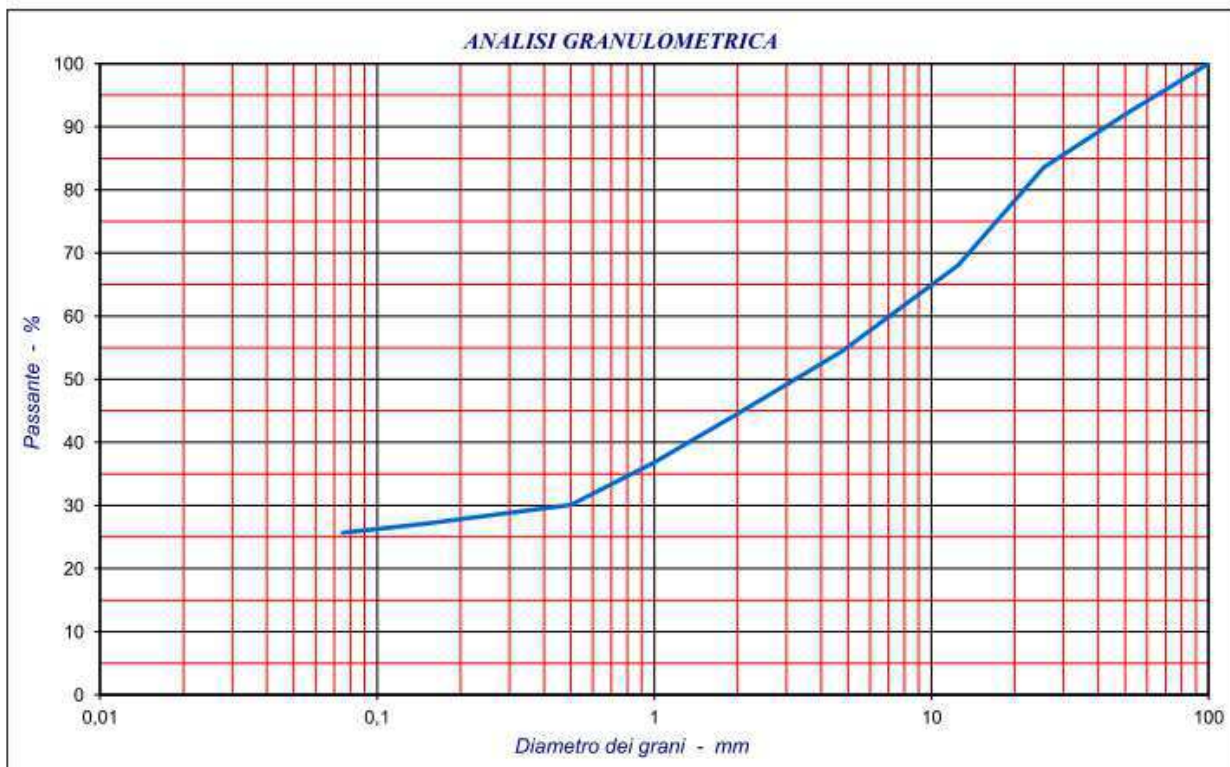
certificato n°315/13

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica dell'Oristanese

STUDIO: Realizzazione di un intervento di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo e delle sponde del Rio Mogoro mediante gabbionate metalliche o altri idonei sistemi di ingegneria naturalistica nel tratto compreso tra l'attraversamento della SP 47 e la confluenza con il Canale Acque Alte

CAMPIONAMENTO: A cura della Committenza**CAMPIONE:** Denominato "**Campione 1**", prelievo in sponda dx Rio Mogoro, Lat. 39° 41' 57.8" - Long. 8° 40' 29.86"**DATA CAMPIONAMENTO:** 22/06/2013**ANALISI GRANULOMETRICA**

Peso del materiale campionato (g.)				2340,0		Peso del campione analizzato (g.)				1450,0	
ANALISI GRANULOMETRICA PER VIA UMIDA (CNR-B.U. n° 23 - ASTM D421)											
Apertura setacci (mm)	50,8	25,4	12,5	4,76	2	1	0,5	0,149	0,075	fondo	
Passante (%)	92,14	83,52	68,07	54,41	44,55	36,83	30,07	27,10	25,66	0,00	
Trattenuto (%)	7,86	8,62	15,45	13,66	9,86	7,72	6,76	2,97	1,45	0,90	
Trattenuto (g.)	114,0	125,0	224,0	198,0	143,0	112,0	98,0	43,0	21,0	13,0	
Perdita per lavaggio (g.)						359,0					



SPERIMENTATORE
 Boneddu MariaPaola



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 Dott. Geol. Davide Boneddu

Nuoro 03/07/2013

Davide Boneddu

NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.
 AVVERTENZA: Il Committente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova per intero. Eventuali riproduzioni parziali dovranno essere esplicitamente autorizzate.

ENGINEERING SERVICE International promoter manager NUORO - ITALY	ENGINEERING SERVICE Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax 0784/38985 - cell. 3280235182 - dboneddu@tiscalinet.it	Denominazione prova: Analisi granulometrica ASTM 421-422
---	---	--

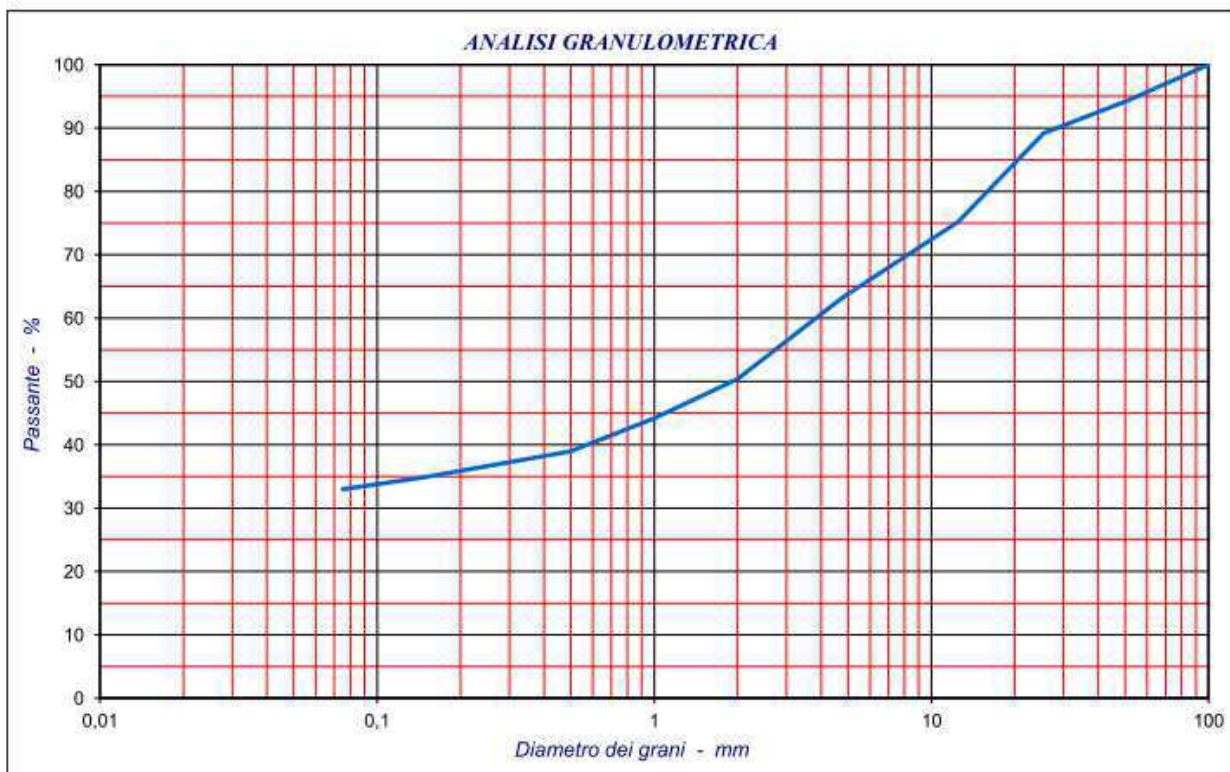
certificato n°316/13

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica dell'Oristanese

STUDIO: Realizzazione di un intervento di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo e delle sponde del Rio Mogoro mediante gabbionate metalliche o altri idonei sistemi di ingegneria naturalistica nel tratto compreso tra l'attraversamento della SP 47 e la confluenza con il Canale Acque Alte

CAMPIONAMENTO: A cura della Committenza**CAMPIONE:** Denominato "**Campione 2**", prelievo in sponda sx Rio Mogoro, Lat. 39° 41' 57.8" - Long. 8° 40' 29.89"**DATA CAMPIONAMENTO:** 22/06/2013**ANALISI GRANULOMETRICA**

Peso del materiale campionato (g.)				3890,0		Peso del campione analizzato (g.)				2130,0	
ANALISI GRANULOMETRICA PER VIA UMIDA (CNR-B.U. n° 23 - ASTM D421)											
Apertura setacci (mm)	50,8	25,4	12,5	4,76	2	1	0,5	0,149	0,075	fondo	
Passante (%)	94,32	89,20	75,21	63,19	50,38	44,18	38,97	34,88	32,96	0,00	
Trattenuto (%)	5,68	5,12	13,99	12,02	12,82	6,20	5,21	4,08	1,92	1,13	
Trattenuto (g.)	121,0	109,0	298,0	256,0	273,0	132,0	111,0	87,0	41,0	24,0	
Perdita per lavaggio (g.)						678,0					



SPERIMENTATORE
 Boneddu MariaPaola



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 Dott. Geol. Davide Boneddu

Nuoro 03/07/2013

Davide Boneddu

NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.
 AVVERTENZA: Il Committente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova per intero. Eventuali riproduzioni parziali dovranno essere esplicitamente autorizzate.

ENGINEERING SERVICE International promoter manager NUORO - ITALY	ENGINEERING SERVICE Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax 0784/38985 - cell. 3280235182 - dboneddu@tiscalinet.it	Denominazione prova: Analisi granulometrica ASTM 421-422
---	---	--

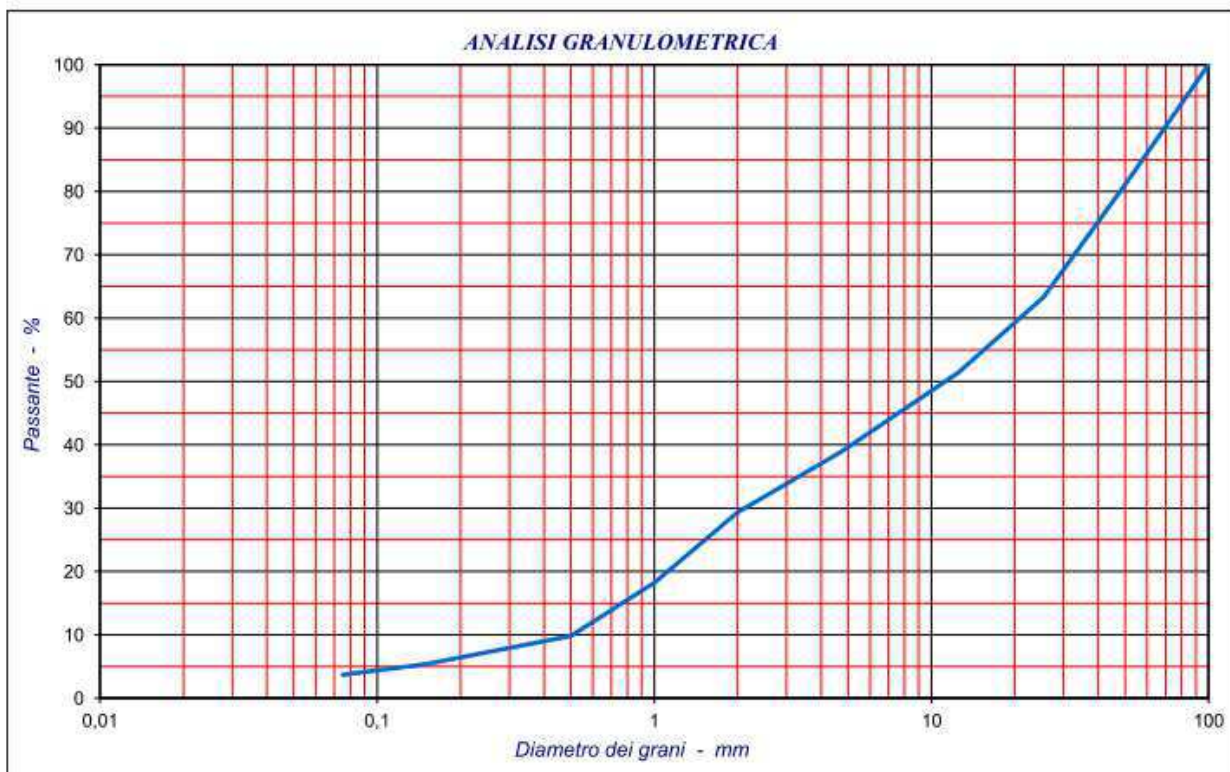
certificato n°317/13

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica dell'Oristanese

STUDIO: Realizzazione di un intervento di rimodellazione e stabilizzazione dell'alveo e delle sponde del Rio Mogoro mediante gabbionate metalliche o altri idonei sistemi di ingegneria naturalistica nel tratto compreso tra l'attraversamento della SP 47 e la confluenza con il Canale Acque Alte

CAMPIONAMENTO: A cura della Committenza**CAMPIONE:** Denominato "**Campione 3**", prelievo in barra long. Rio Mogoro, Lat. 39° 41' 59.96" - Long. 8° 40' 24.64"**DATA CAMPIONAMENTO:** 22/06/2013**ANALISI GRANULOMETRICA**

Peso del materiale campionato (g.)				2600,0		Peso del campione analizzato (g.)				1630,0	
ANALISI GRANULOMETRICA PER VIA UMIDA (CNR-B.U. n° 23 - ASTM D421)											
Apertura setacci (mm)	50,8	25,4	12,5	4,76	2	1	0,5	0,149	0,075	fondo	
Passante (%)	81,53	63,31	51,41	38,96	29,33	18,22	9,82	5,34	3,68	0,00	
Trattenuto (%)	18,47	18,22	11,90	12,45	9,63	11,10	8,40	4,48	1,66	0,12	
Trattenuto (g.)	301,0	297,0	194,0	203,0	157,0	181,0	137,0	73,0	27,0	2,0	
Perdita per lavaggio (g.)						58,0					



SPERIMENTATORE
 Boneddu MariaPaola



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 Dott. Geol. Davide Boneddu

Nuoro 03/07/2013

Davide Boneddu

NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.
 AVVERTENZA: Il Committente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova per intero. Eventuali riproduzioni parziali dovranno essere esplicitamente autorizzate.

4. ANALISI IDRAULICA

Il modello idraulico é stato implementato adottando il codice di calcolo Hec-Ras versione 4.1.0

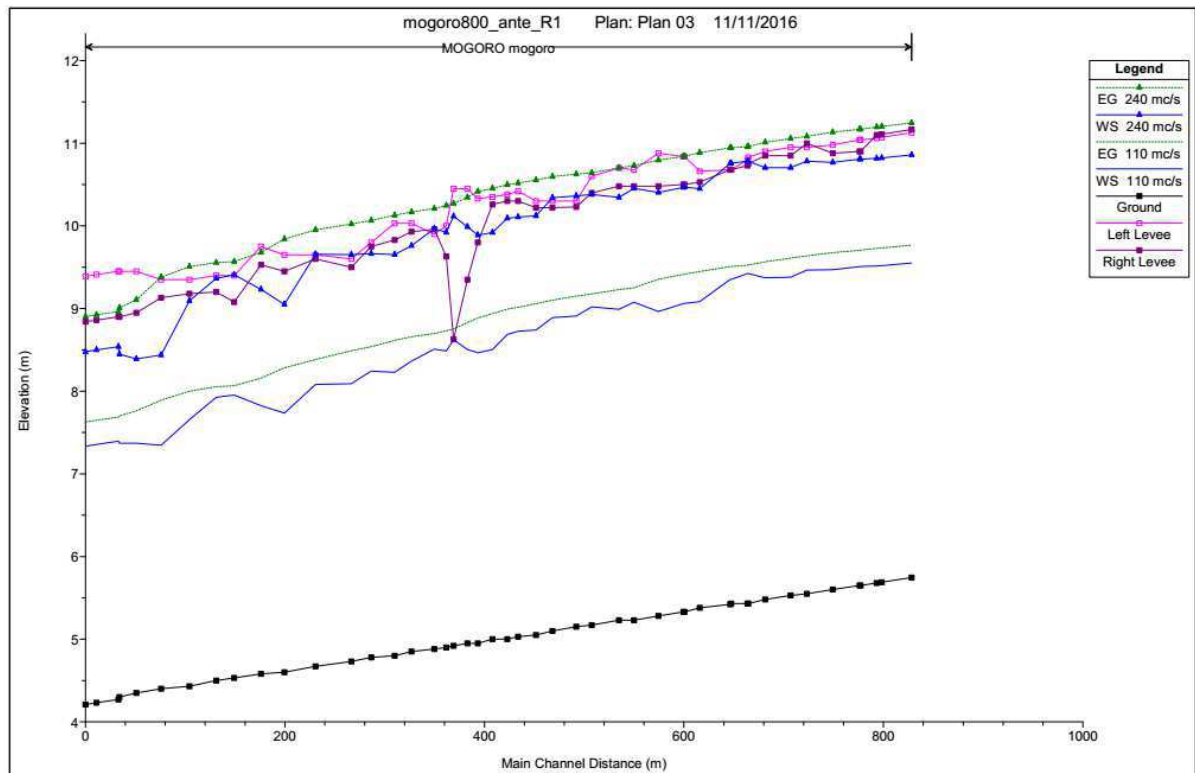
Dall'analisi dei risultati ottenuti dalla simulazione si nota che, nella condizione immediatamente successiva alla realizzazione delle opere, nella sezione a monte di progetto (RS 100) si verificherà un abbassamento del pelo libero di circa 60 cm con un incremento di velocità di 0.22 m/s a 110 mc/s e 0.14 m/s a 240 mc/s, differenze che tendono ad annullarsi verso la fine del tratto, dove la corrente ritorna al regime attuale, nel tratto già rivestito. Questo effetto aumenta il franco arginale ovvero aumenta il tempo di ritorno delle piene che possono superare la quota arginale. Nei profili di seguito riportati è evidente il beneficio ottenuto, dove si nota anche il tratto dove verrà ripristinato il guado, che allo stato attuale rappresenta una lacuna della quota di coronamento arginale in sponda destra.

Negli allegati in calce sono riportate le tabelle dei principali indicatori idraulici.

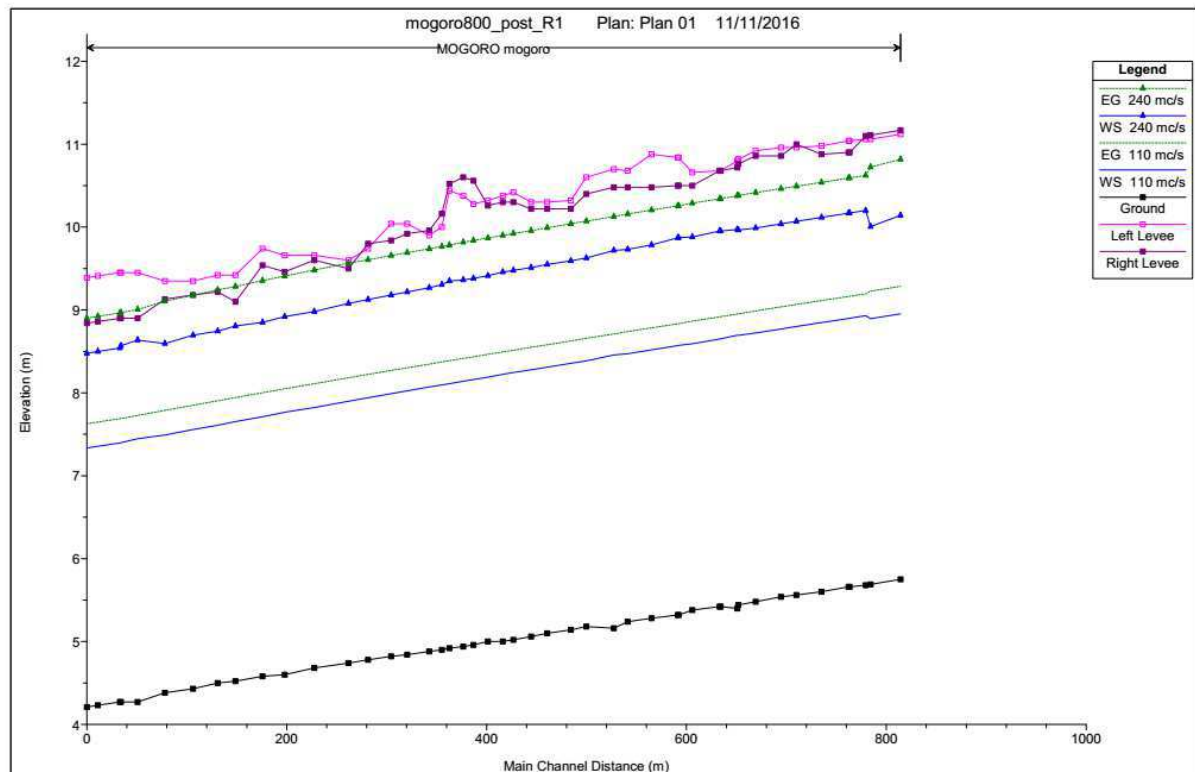
Per contro si assisterà, a parità di piena, ad un aumento della velocità di deflusso (visibile anche nel grafico sotto riportato nelle sezioni 101 e 102, dove la linea dell'energia è più distante dalla WS), a cui consegue un maggior trasporto solido ed una conseguente maggiore capacità di erosione. Questo effetto, dovuto alla maggior regolarità delle sezioni trasversali ed all'aumentata pendenza (a parità di dislivello tra la prima e l'ultima sezione, il tracciato ha subito una rettificazione e quindi un accorciamento) conseguenti alla realizzazione delle opere in progetto, non è significativo nel tratto sistemato perché, grazie alle mantellate di protezione che delimitano le aree critiche, il corso d'acqua troverà il suo equilibrio erosione/depositi modificando sensibilmente il fondo e la sponda interna alle curve, non rivestite interamente, come peraltro accaduto nel tratto sistemato circa 20 anni fa, senza causare preoccupanti diminuzioni dell'ampiezza della golena e del conseguente rischio d'instabilità degli argini. Analogo fenomeno si verificherà nel tratto a monte, più rettilineo e non rivestito, che dovrà essere monitorato negli anni per prevenire fenomeni erosivi indesiderati.

Nei limiti della simulazione effettuata, in relazione agli effetti quantitativi delle variazioni dei parametri idraulici, si riscontra quanto intuitivamente era prevedibile: la sistemazione del tronco fluviale porta infatti indubbi benefici alla sicurezza di quel tratto, aumentandone la capacità di portata e la facilità di manutenzione, ma vanno attentamente monitorati gli effetti collaterali della rottura dell'equilibrio preesistente che normalmente si manifestano negli anni successivi all'intervento soprattutto nel tratto a monte (erosioni) ma anche nel tratto in esame ed a valle. Poiché la previsione dei suddetti "aggiustamenti" sono di difficile previsione in quanto dipendono dalla successione degli stati d'acqua stagionali (maggiore o minore piovosità, e quindi delle conseguenti durate ed intensità delle onde di piena), dovrà essere programmato il monitoraggio periodico del corso d'acqua finalizzato al controllo dell'insorgere ed evolvere di modifiche indesiderabili dell'alveo.

Profilo di corrente del tratto del rio Mogoro allo stato attuale.



Profilo di corrente del tratto del rio Mogoro dopo la realizzazione dell'intervento.



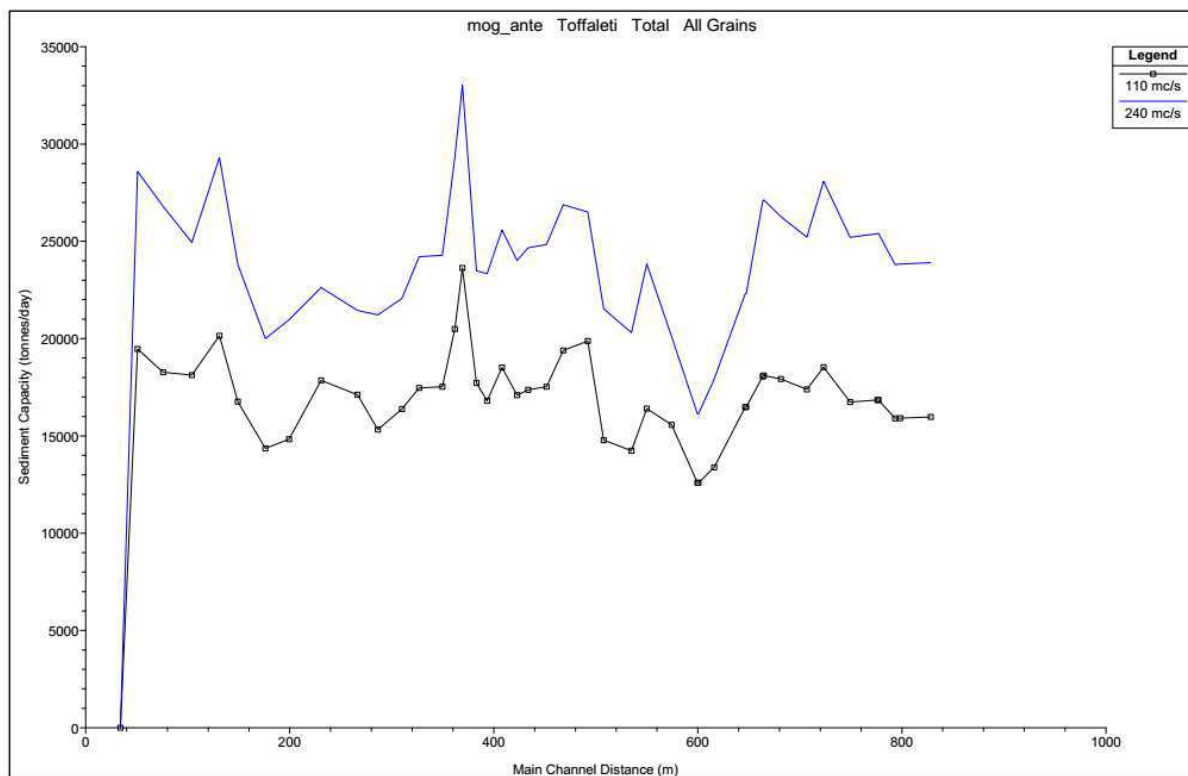
5. TRASPORTO SOLIDO IN ALVEO

Il calcolo della capacità di trasporto solido della corrente idrica è stato condotto utilizzando le espressioni di letteratura scientifica, nel rispetto delle ipotesi per cui sono state derivate, che si basano sul calcolo dell'eccesso di portata o di sforzo al fondo della corrente liquida rispetto a valori soglia caratteristiche della granulometria. Il calcolo della capacità di trasporto è stato condotto per le portate di contenimento in alveo, pressappoco coincidente con la portata caratteristica e pari alla Q_2 , la portata con tempo di ritorno pari a 2 anni, e di non superamento del coronamento arginale, conformemente a quanto utilizzato per le verifiche idrauliche.

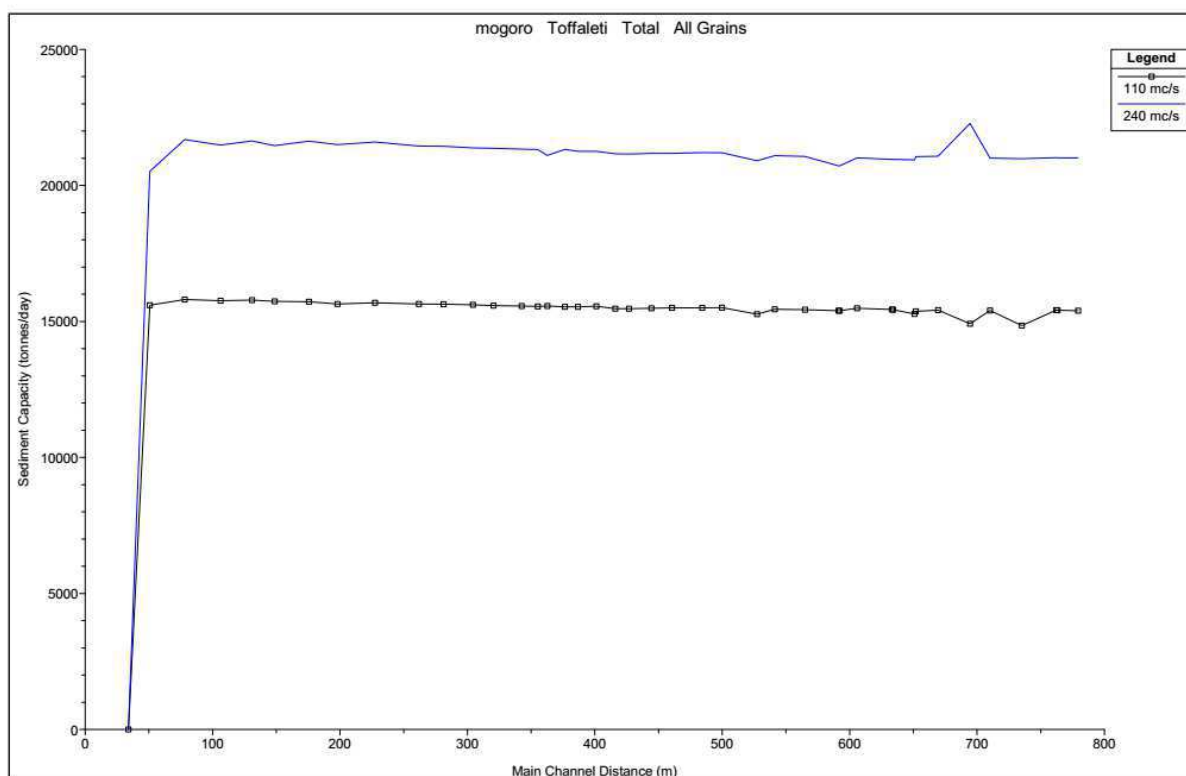
L'analisi della capacità di trasporto solido viene condotta a partire dai risultati dello studio idraulico, svolto sulla base del modello numerico HEC-RAS, implementato con i tre campioni granulometrici eseguiti.

Tralasciando l'analisi quantitativa, affetta da significative incertezze, è evidente come la sistemazione del tratto fluviale diminuisca e regolarizzi la capacità di trasporto solido, lasciando prevedere che gli inevitabili aggiustamenti nella ricerca dell'equilibrio dinamico del sistema corrente-alveo, possibili grazie alla erodibilità delle sponde e fondo non rivestiti, non assumeranno effetti parossistici tali da mettere a rischio la stabilità arginale.

Le tabelle a seguire presentano i valori delle capacità di trasporto per le sezioni individuate nello stato di fatto, per le due portate di riferimento (110 e 240 mc/s). I valori esprimono la capacità di trasporto per unità di tempo in volume solido (m^3/s), di peso specifico convenzionalmente assunto pari a 2650 kg/m^3 .



Stima della capacità di trasporto solido prima dell'intervento di sistemazione



Stima della capacità di trasporto solido subito dopo l'intervento di sistemazione

Dalla lettura dei grafici sopra riportati si desume che dopo l'intervento di sistemazione la capacità media di trasporto solido del tratto non varia sensibilmente e diminuirà l'entità di depositi ed erosioni.

Tale previsioni, comunque, sono affette da incertezza dovuta all'eterogeneità delle grandezze in gioco (omogeneità, granulometria e coesione dei materiali, copertura vegetale, regime pluviometrico, densità dell'acqua, temperatura, ecc.) e sarà pertanto necessario prevedere il monitoraggio del fiume negli anni a venire per individuare tempestivamente potenziali criticità.

6. VERIFICA ALL'EROSIONE

Ai fini della verifica degli effetti antiersivi delle protezioni spondali è necessario valutare se lo sforzo tangenziale effettivo prodotto dalla corrente su in ciascun punto della sezione sia minore dello sforzo tangenziale massimo ammissibile agente sulla superficie dell'alveo. Il metodo delle tensioni di trascinamento asserisce che se lo sforzo tangenziale effettivo è maggiore dello sforzo tangenziale massimo tollerabile dalla superficie, avviene un trasporto dinamico delle sostanze colloidali e successivamente del materiale più grossolano. L'erosione crea instabilità su un tratto di sponda e successivamente progredisce interessando aree più estese. Gli sforzi tangenziali massimi tollerabili dipendono dal tipo di protezione e dalla loro resistenza alla corrente.

Lo sforzo tangenziale effettivo agente su ogni punto della superficie bagnata viene calcolato usando la seguente formula:

$$\tau_b = k_1 k_2 \gamma_w y_i i_{\text{fiume}}$$

dove

k_1 = coefficiente di curvatura (maggiore di 1 solamente per punti situati su tratti pendenti esterni di argini curvi). In questo caso i valori suggeriti vengono riportati nella tabella 1

k_2 = coefficiente angolare : 1 per punti situati su superfici orizzontali, 0.75 per superfici inclinate

γ_w = peso specifico dell'acqua

y_i = livello dell'acqua nel punto considerato (approssimazione valida per alvei larghi)

i_{fiume} = pendenza dell'alveo lungo il tratto preso in esame

Nel coefficiente k_1 viene considerato un incremento di sforzo tangenziale sulla sponda esterna di un tratto in curva come conseguenza dell'accelerazione centrifuga. I valori del coefficiente k_1 sono riportati nella letteratura e dipendono dalla curvatura e dalla larghezza del corso d'acqua.

Tabella 1 – k_1 coefficiente di curvatura

Raggio di curvatura / Larghezza W.S.	k_1 (coefficiente di curvatura)
8.0	1.2
6.0	1.4
4.5	1.6
3.2	1.8
2.0	2.0

I tratti in esame sono curvi con il rapporto di cui alla prima colonna pari a 6, pertanto il coefficiente k_1 viene assunto pari a 1.4

Il coefficiente k_2 viene assunto pari a 0.75

Poiché il valore dello sforzo di taglio effettivo varia in funzione dell'altezza del livello dell'acqua nel punto di rilevamento y_i , viene valutato il valore, nella sezione di calcolo, nel suo punto più basso. La resistenza agli sforzi tangenziali dei materiali viene riportata nella tabella sottostante.

Tabella 2 – Materiali standard naturali del suolo

	Non vegetato		Vegetato	
	Scabrezza	Sforzo tollerato N/m ²	Scabrezza	Sforzo tollerato N/m ²
Sabbia fine	0.0200	3.50	N/A	N/A
Sabbia e ghiaia	0.0200	15.30	N/A	N/A
Ghiaia grossolana	0.0250	32.00	N/A	N/A
Ciottoli e ghiaia	0.0350	52.60	N/A	N/A
Argilla coesiva (coesiva)	0.0250	22.00	N/A	N/A

Argilla friabile (coesiva)	0.0250	32.00	N/A	N/A
Limo e ciottoli (coesivi)	0.0300	38.00	N/A	N/A
Ciottoli erbosi	0.0400	10.00	0.050	30.00
Talee – Arbusti	0.1000	10.00	0.400	60.00
Copertura diffusa	0.1000	50.00	0.400	300.00
Viminate – Graticciate	0.1000	10.00	0.400	50.00
Ribalta viva	0.1000	20.00	0.400	100.00
Gabbioni 0.50m (18")	0.0301	470.40	0.200	500.00
Gabbioni 1.00m (36")	0.0301	470.40	0.200	500.00
Materasso 0.15-0.17m (6")	0.0277	224.00	0.300	400.00
Materasso 0.23-0.25m (9")	0.0277	268.80	0.300	450.00
Materasso 0.30m (12")	0.0277	336.00	0.300	450.00

I valori suggeriti sono tratti dalla letteratura e basati su i più comuni sistemi di progettazione in uso per ogni prodotto.

Le ricerche disponibili sul comportamento dei gabbioni e dei materassi permettono lo sviluppo di criteri di progettazione nel caso in cui non siano coperti di vegetazione. Ricerche condotte su gabbioni e materassi coperti da vegetazione dimostrano che nella maggior parte dei casi la formazione della vegetazione è accompagnata dalla formazione di uno strato di suolo solido e compatto le cui rocce e radici sono in grado di dissipare gli sforzi tangenziali.

Per quanto riguarda i materassi e i 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 (0.14)

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

γ_w Peso specifico dell'acqua

d_m Diametro medio delle rocce di riempimento

K_s $(1 - \sin^2\theta / \sin^2\varphi)^{1/2}$ [θ angolo di scarpata, $\varphi = 60^\circ$]

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° ($\varphi > 45^\circ$) il fattore di riduzione verrà considerato costante ($K_s = 0.57$).

Tabella 4 – Valori standard suggeriti per opere con gabbioni e materassi Reno

	Diam. (d_{50}) m	Spessore m	γ_s kN/m ³	γ_w kN/m ³	C Shields
Gabbioni 0.50m (18")	0.210	0.50	26.00	10.00	0.140
Gabbioni 1.00m (36")	0.300	1.00	26.00	10.00	0.140
Materasso 0.15-0.17m (6")	0.100	0.17	26.00	10.00	0.140
Materasso 0.23-0.25m (9")	0.120	0.20	26.00	10.00	0.140
Materasso 0.30m (12")	0.150	0.25	26.00	10.00	0.140

Nel caso in studio si avrà:

$\tau_b = k_1 k_2 \gamma_w y_i i_{fiume} = 0.75 \times 10000 \times 2.80 \times 0.002 = 42.0 \text{ N/mq} \ll 336.00 \text{ N/mq}$ che rappresenta lo sforzo tangenziale tollerato dalle mantellate con spessore 30 cm non vegetate (calcolo a favore di sicurezza) (cfr. tabella 2).

Sulla base delle su esposte considerazioni, è stata eseguita una simulazione numerica su un tratto campione dell'alveo oggetto d'intervento con l'ausilio del software MACRA1-2006 edito da Maccaferri S.p.A.. Le portate assunte non fanno riferimento a tempi di ritorno stabiliti ma a due stati particolari: la "morbida" annuale, che si ripete per parecchi periodi e per tempi lunghi durante l'inverno, che modella costantemente il fondo e le sponde; la portata critica di esondazione incipiente, che si verifica con probabilità inferiore ed in occasione di eventi meteorici parossistici per verificare la tenuta delle opere in progetto. Portate maggiori, quantunque previste dai modelli idrologici, esondano e, pertanto, causano altri tipi di danno.

I risultati del calcolo riportati in appendice, effettuato in regime di moto uniforme e da considerarsi di tipo qualitativo per motivi analoghi a quanto riportato per la capacità di trasporto solido, evidenziano l'efficacia delle protezioni spondali previste e la potenzialità dell'alveo di adeguarsi alla successione stagionale degli stati d'acqua, che dispone di parte dell'alveo e della sponda interna alla curva per compensare i deficit (o surplus) di trasporto solido. Sulla base dei riscontri effettuati sul tratto a valle del presente intervento, che è stato stabilizzato con il medesimo criterio, è lecito attendersi il mantenimento dell'attuale geometria dell'alveo e l'eliminazione delle criticità che mettevano in pericolo la stabilità arginale.

La soluzione prescelta, inoltre, non altera l'equilibrio complessivo bio-naturalistico ed idrogeologico del tratto.

7. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati ottenuti dai modelli di simulazione, nei limiti che tale trattazione comporta, si ritiene che l'intervento di protezione proposto per il tratto analizzato non modifichi sostanzialmente il regime di deflusso attuale del rio Mogoro e, pertanto, non sono previste reazioni anomale del comportamento idraulico del rio, sia a monte che a valle.

La realizzazione di protezioni spondali permeabili e discrete, infatti, consentono al corso d'acqua di variare l'equilibrio globale, dipendente da vari fattori quali portata e trasporto solido, nel

rispetto delle esigenze di manutenzione e di sicurezza dei rilevati arginali garantite dalle golene.

L'intervento non altera l'assetto idrogeologico del tratto, garantendo l'interscambio con la falda circostante e la circolazione subalvea. Tali condizioni consentiranno, col passare degli anni, al completo inserimento ambientale delle opere, con il ripristino dell'ecosistema preesistente.

Il Progettista
(Ing. Giorgio Bravin)

Verifica all'erosione in condizioni di piena ordinaria.

Macra1 2006

Titolo: STABILIZZAZIONE SPONDE RIO MOGORO 2015
Descrizione: Analisi post operam

Cartella:
Data: ottobre 2016

Notice

Maccaferri is not responsible for the drawings and the calculations transmitted, since they should be intended as general design outlines and advice, aiming only to the best use of the products.

Calcolo n.1

Pendenza [%]		0.19	Numero di froude		0.54
Portata [m3/s]		110.00	Sezione [m2]		43.01
Livello [m]		2.97	Contorno bagnato [m]		20.72
Velocità media [m/s]		2.56	Raggio idraulico [m]		2.08

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	3.35	0.00	1.00						
1.1	3.35			-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
2	6.00	0.00	1.00						
2.1	6.00			-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
3	5.90	1.67	1.00						
3.1	5.90			-	- Talee - Arbusti	S	42.22	60.00	N
4	10.00	3.00	1.00						
4.1	8.00			-	- Ciottoli e ghiaia	S	55.41	52.60	N
4.2	2.00			1.00	0.62 Gabbioni 1.00m	S	55.41	500.00	N
5	5.90	1.44	1.20						
5.1	5.90			0.75	0.39 Materassi Reno 0.30m	S	50.67	345.58	N
6	6.00	0.00	1.00						
6.1	1.00			-	- Gabbioni 1.00m	N	-	-	N
6.2	5.00			-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
7	3.35	0.00	1.20						
7.1	3.35			-	- Copertura diffusa	N	-	-	N

Verifica all'erosione in condizioni di piena catastrofica.

Macra1 2006

Titolo: STABILIZZAZIONE SPONDE RIO MOGORO 2015
Descrizione: Analisi post operam

Cartella:
Data: ottobre 2016

Notice

Maccaferri is not responsible for the drawings and the calculations transmitted, since they should be intended as general design outlines and advice, aiming only to the best use of the products.

Calcolo n.2

Pendenza [%]		0.19	Numero di froude		0.60
Portata [m3/s]		240.00	Sezione [m2]		82.55
Livello [m]		4.28	Contorno bagnato [m]		37.45
Velocità media [m/s]		2.91	Raggio idraulico [m]		2.20

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	3.35	0.70	1.00						
1.1	3.35			-	- Copertura diffusa	N	14.40	50.00	N
2	6.00	1.26	1.00						
2.1	6.00			-	- Copertura diffusa	N	18.90	50.00	N
3	5.90	2.46	1.00						
3.1	5.90			-	- Talee - Arbusti	S	60.83	60.00	N
4	10.00	3.83	1.00						
4.1	8.00			-	- Ciottoli e ghiaia	S	79.83	52.60	N
4.2	2.00			1.00	0.62 Gabbioni 1.00m	S	79.83	500.00	N
5	5.90	2.11	1.20						
5.1	5.90			0.75	0.39 Materassi Reno 0.30m	S	72.99	345.58	N
6	6.00	1.26	1.00						
6.1	1.00			0.75	0.62 Gabbioni 1.00m	N	18.90	500.00	N
6.2	5.00			-	- Copertura diffusa	N	18.90	50.00	N
7	3.35	0.70	1.20						
7.1	3.35			-	- Copertura diffusa	N	17.28	50.00	N