

**INTERVENTO INFRASTRUTTURE IDRICHE – SEZIONE INVASI
(LEGGE DI BILANCIO 2018, ART.1 COMMA 518)**

**IMPERMEABILIZZAZIONE DEL CANALE ADDUTTORE DESTRA
TIRSO**

C. A. T. P0820

C.U.P.: G27H21036250001

PROGETTO ESECUTIVO

Il Progettista
Ing. Francesco Castagna

I Collaboratori

Il Responsabile del Procedimento
Dott. Agr. Serafino Angelo Meloni

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

Titolo				Allegato
Relazione di Compatibilità dell'intervento con la Dinamica Fluviale del Rio Mare Foghe (art. 21- comma 2 - lett. c - Norme Attuazione P.A.I.)				A.7
Rev.	Data	Nome file	Redattore	Verificatore
01	06/2023	1566P0820rel_comp_dinamic_fluv_m_foghe_Rev01_FC	Ing. F. Castagna	Ing. G. Zuddas

1. Premessa

Il presente documento ha lo scopo di evidenziare in virtù dell'art. 21 delle norme di Attuazione del P.A.I. (Allegato 2 alla Delib. G.R. n. 2/8 del 20.01.2022, art. 21, comma 2, lettera c), la compatibilità dell'intervento oggetto del presente progetto definitivo, ovvero attraversamento in sub alveo di condotta di irrigazione, con i fenomeni di dinamica fluviale del Rio Mare Foghe.

Altresì ci si è basati sugli “STUDI, INDAGINI, ELABORAZIONI ATTINENTI ALL'INGEGNERIA INTEGRATA, NECESSARI ALLA REDAZIONE DELLO STUDIO DENOMINATO PROGETTO DI PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF)” e sulle modalità con cui è stato effettuato il campionamento granulometrico svolto nel febbraio 2007 nell'ambito dell'attività 5 – “Caratterizzazione granulometrica” relativa all'asta del Rio di Mare Foghe.

Per la caratterizzazione dei depositi in alveo, come evidenziato sono state adottate tecniche di rilievo differenti in funzione del tipo di materiale. In particolare, facendo riferimento allo studio di Church et alii1 “River bed gravels: sampling and analysis” quale riferimento metodologico, sono state definite tre tecniche principali di prelievo e analisi in sito: la “griglia di campionamento”, il “campionamento con setacciatura preliminare in sito” e il “campionamento semplice”. Tale metodologia risulta pienamente coerente con quanto previsto dalle “Linee guida per la redazione del progetto di piano stralcio delle fasce fluviali”.

2. Le leggi del trasporto solido di fondo.

I processi di erosione che interessano il fondo di un alveo fluviale sono determinati in primo luogo da una rimozione da parte della corrente fluviale delle particelle presenti. Tale rimozione è quindi principalmente legata allo sforzo di taglio τ esercitato dalla corrente, ovvero:

$$\tau = w \ R \ S$$

Dove w è il peso specifico del volume d'acqua, R il raggio idraulico e S la pendenza dell'alveo.

Le condizioni di inizio del moto dei sedimenti sono controllate dalle caratteristiche idrauliche della corrente, dalle proprietà del fluido e dalle caratteristiche dei sedimenti.

Per la determinazione delle condizioni di inizio del moto dei sedimenti il criterio di SHIELDS (1936) è normalmente accettato nella pratica applicativa.

L'erosione avrà inizio quando lo sforzo di taglio della corrente supera lo sforzo di taglio critico di inizio del moto dei sedimenti presenti sul fondo, cioè quando maggiore è la pendenza del fondo.

Altresì, infatti, va presa in esame una condizione d'equilibrio dinamico, in cui le pendenze sono tali da permettere alla corrente di trasportare verso valle un quantitativo di materiale coincidente con quello proveniente da monte. In questo modo le condizioni di fondo si manterranno immutate nel tempo, poiché la corrente non sarà in grado di trasportare a valle un volume di materiale maggiore di quanto proveniente da monte, erodendo il fondo dell'alveo, né ne consentirà l'accumulo. Ovviamente non bisogna immaginare un alveo in equilibrio come un alveo che trasporti verso valle “tutto e solo” il materiale che di volta in volta gli perviene dalle pendici, ma piuttosto come un alveo in cui la corrente trasporta verso valle mediamente la stessa portata solida proveniente da monte, fermo restando che ci sarà un mescolamento tra quanto, provenendo dalle pendici, si depositerà al fondo e quanto sarà rimesso in movimento dal fondo dalla corrente.

3. Trasporto solido.

Inoltre, al variare della portata del corso d'acqua e dell'apporto impulsivo di materiale solido dalle pendici del bacino, le condizioni di trasporto potranno modificarsi di volta in volta da una condizione che tende a erodere a una condizione che tende a depositare, e viceversa, ma l'alveo sarà in equilibrio se, sul lungo periodo, il bilancio risulterà a saldo nullo. Il materiale, proveniente dal degrado delle pendici del bacino, può dar luogo, a seconda della granulometria, a trasporto in sospensione o trasporto di fondo. L'equilibrio di un corso d'acqua, però, in genere è condizionato essenzialmente dal materiale più grossolano. Ne consegue che, in presenza di ghiaia e sabbia, per conoscere le condizioni d'equilibrio di un corso d'acqua, è determinante conoscere le leggi del trasporto solido di fondo. L'entità del trasporto solido di fondo si può calcolare attraverso relazioni di natura sperimentale, che legano la portata, in volume o in peso, del materiale solido, alle caratteristiche idrauliche della corrente e alla granulometria dei sedimenti trasportati.

In bibliografia sono disponibili diverse formule del trasporto solido, in generale classificabili come formule per il trasporto al fondo, in sospensione, o trasporto totale, a seconda delle condizioni di sperimentazione. Tali relazioni, per la quasi totalità, sono state ricavate da esperienze di laboratorio (in canaletta), per cui le relazioni a cui si perviene presentano i limiti connessi a questo tipo di sperimentazione: - corrente idrica che impegna l'intera sezione della canaletta (condizioni di moto piano) - materiale solido di granulometria generalmente uniforme - dimensioni granulometriche limitate nel campo delle sabbie e del ghiaietto - portate solide e liquide costanti. Tra le più usate, per il trasporto al fondo, si ricordano quelle di Meyer-Peter & Muller (1934, 1948) e di Parker (1979).

La capacità di trasporto di materiale solido di una corrente idrica è quindi strettamente dipendente dalla portata, dalla granulometria del materiale costituente il letto del corso d'acqua e dalla pendenza di questo. D'altra parte, il quantitativo di materiale solido affluente al corso d'acqua è legato allo stato di dissesto dei versanti e alla capacità demolitrice degli agenti atmosferici su questi. Questo secondo aspetto determina afflussi di materiale solido ben più variabili nel tempo di quanto non siano le portate idriche; tuttavia, se si considerano periodi medio-lunghi, anche per questi potremo parlare di una portata solida. Definiamo, pertanto, in equilibrio un elemento della rete idrografica quando la quantità di materiale solido che vi affluisce dal bacino sotteso, mediamente nel tempo, risulta pari a quella che le portate idriche trasportano a valle. Data la variabilità della portata liquida e della portata solida si tratta sempre di un quasi equilibrio, o, meglio, di un equilibrio dinamico in cui fasi d'erosione si succedono a fasi di deposito e viceversa.

4. Metodo di campionamento del materiale di trasporto solido.

Il metodo impiegato nello studio effettuato nel 2007, ai fini della redazione della "Caratterizzazione granulometrica" relativa all'asta del Riu di Mare Foghe, è consistita nel posare una maglia regolare sulla superficie del terreno su cui effettuare l'analisi e quindi nel misurare il diametro dei clasti che cadono sui nodi di detta griglia. Dal diametro è stato possibile risalire direttamente alla frequenza statistica delle differenti classi granulometriche.

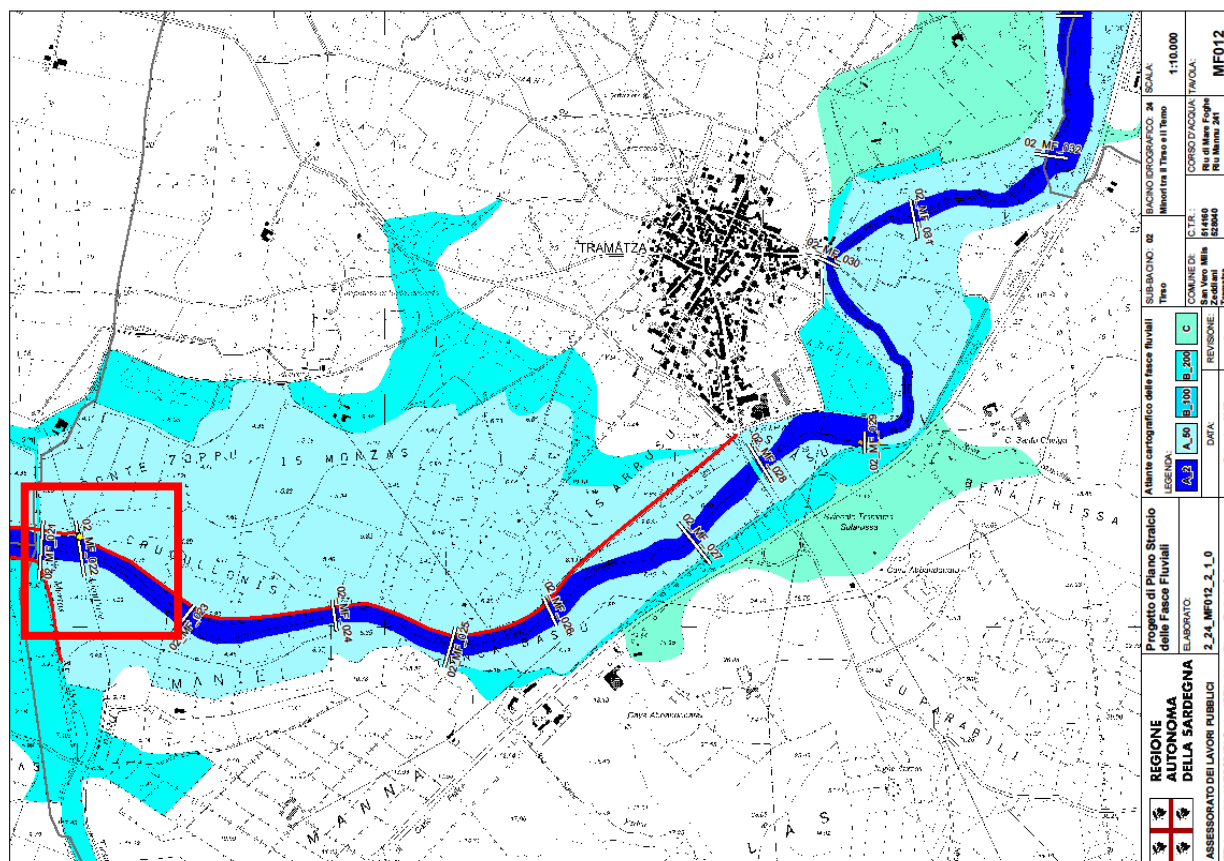
La griglia copre una superficie quadrata di 25 mq ed è costituita da maglie quadrate di 0,5 m di lato. Le misure sono state effettuate su 100 nodi rilevando l'asse "b" intermedio dei clasti ricadenti su ciascuno di essi.

Nella pratica la maglia è realizzata utilizzando un cavo segnato ogni 0,5 m, alcuni picchetti e una bindella. Con il cavo, fermato con i picchetti, sono tracciati tre lati del quadrato di misura. Appoggiandosi a due di essi, la bindella viene fatta scorrere tenendola parallela al terzo lato in modo da definire i punti di misura. Dai rilievi è escluso uno dei due lati di appoggio in modo da effettuare le misure esattamente su 100 punti

Tale tecnica permette di rilevare con notevole precisione, dato l'elevato campione statistico, le caratteristiche dello strato superficiale. Necessita però di una superficie sub pianeggiante sufficientemente estesa e emersa ed inoltre non è idonea alla classificazione dei depositi più fini (diametro inferiore a 1-2 cm). Il suo utilizzo è quindi limitato al rilievo delle barre ciottolose (dove prevalgono clasti con b superiore a 100 mm) non sommerse.

L'area esaminata è risultata essere caratterizzata da depositi non sufficientemente grossolani per consentire l'utilizzo di tale metodologia come per altro era prevedibile trattandosi di un ex area acquitrinosa in cui pertanto non vi è sufficiente energia per potersi avere trasporto di depositi grossolani.

Di seguito lo stralcio cartografico dell'area interessata dal campionamento.



5. Interazione tra movimenti di massa e processi fluviali.

Il materiale derivante dai vari meccanismi di rottura che non viene trasportato direttamente dalla corrente, unitamente a quello prodotto dai vari processi fluviali o di degradazione, tende a restare per un certo tempo alla base della sponda e sul fondo dell'alveo.

La rimozione o la stabilizzazione di tale materiale dipende principalmente dal bilancio tra tasso di alimentazione da parte dei processi che agiscono sulle sponde e sul fondo dell'alveo ed il tasso di asportazione ad opera della corrente, secondo un meccanismo noto come "controllo del punto basale" (basal endpoint control, Thorne, 1982).

I movimenti di massa nel Rio mare Foghe, visti gli studi sedimentologici di cui agli allegati del PSFF (Elaborato cod. doc. 2_24_5_1_0), si riferiscono a particelle limose-argillose, quindi pressoché assenza di elementi grossolani, che data la scarsa pendenza e le deboli velocità di deflusso con le varie portate nei rispettivi Tempi di Ritorno (2, 50, 100, 200, 500 anni), corrispondono a depositi basali di ghiaia addensata con sabbia interstiziale ed un livello superiore di materiale sabbioso-limoso-argilloso.

(Si può notare che la presenza delle pile delle selle che sostengono l'esistente tubazione pensile in Cls, negli ultimi 50 anni non hanno mai subito fenomeni di scalzamento e/o erosione del piede di appoggio, ma altresì accumulo di materiale di trasporto solido)

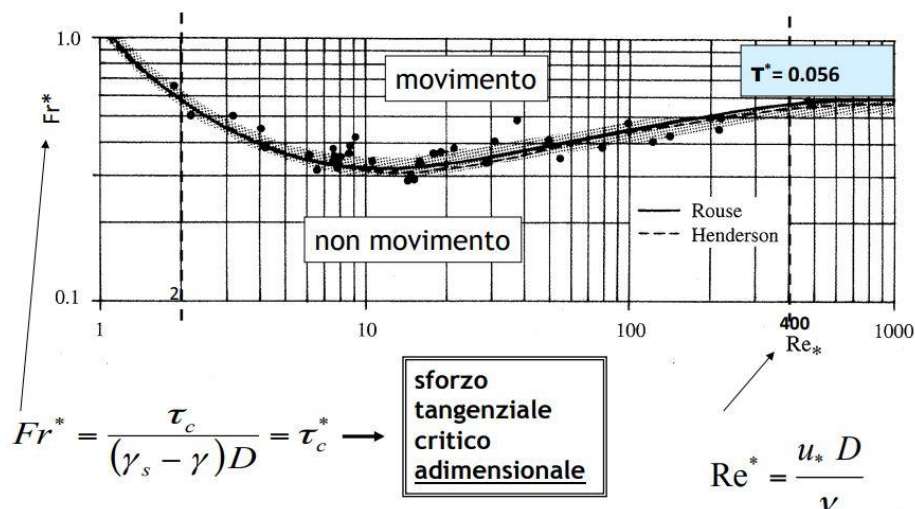
Tale caratteristica secondo il "basal endpoint control, Thorne, 1982", corrisponde al seguente scenario:

- Condizione di equilibrio (equilibrium condition o unimpeded removal): se i processi di apporto e rimozione si bilanciano tra loro. Ovvero le sponde ed il fondo dell'alveo sono in equilibrio dinamico, quindi l'altezza e la pendenza rimangono mediamente costanti.
- Lo sforzo di taglio τ esercitato dalla corrente, quindi il trasporto di fondo, non oltrepassa lo sforzo tangenziale critico τ_c , che dipende in larga misura dalle dimensioni dei grani posti sul contorno.

Ove Shields (1936) attraverso analisi sperimentali (e dimensionali) ha determinato τ_c dalla correlazione di due parametri adimensionali:

- a) Fr = numero di Froude sedimentologico
- b) Re = numero di Reynolds sedimentologico
- c) ν = viscosità cinematica in funzione della Temperatura ($^{\circ}C$): circa 10^{-6}mq s^{-1}

L'indagine di Shields pur nella specificità nelle quali l'esperimento è stato condotto (granulometria uniforme, fondo orizzontale) costituisce un riferimento fondamentale per la valutazione dell'inizio del moto.



6. Conclusioni.

Il presente elaborato ha consentito di sviluppare le analisi idrauliche volte alla valutazione delle problematiche connesse alla situazione del Rio Mare Foghe in corrispondenza del nuovo attraversamento in sub alveo in progetto. Si evidenzia quindi il fatto che l'opera risulti conforme a quanto disposto dell'Art. 21 delle NTA del PAI "Indirizzi per la progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture a rete o puntuali a fini di prevenzione verso l'insorgere di pericoli idrogeologici e di nuove situazioni di rischio idrogeologico". In particolare, dalle considerazioni di cui sopra effettuate (V.di TAV. 3.4 e TAV. 3.5) si evince come si rispettino le condizioni di cui all'art. 21 comma 2 lettera c) prevedano l'attraversamento degli alvei naturali ed artificiali e delle aree di pertinenza da parte di condotte in sotterraneo a profondità compatibile con la dinamica fluviale, con la condizione che tra fondo alveo e estradosso della condotta ci sia almeno un metro di ricoprimento. Per tali attraversamenti in sub-alveo non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme e il soggetto attuatore è tenuto a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese le condotte qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

Oristano lì, giugno 2022

Il progettista

Dott. Ing. Francesco Castagna

