REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI BARLETTA-ANDRIA-TRANI
PARCO NATURALE REGIONALE
FIUME OFANTO

PARCO NATURALE REGIONALE FIUME OFANTO

PUGLIA FESR·FSE 2014/2020
Il futuro alla portata di tutti

Asse VI - azione 6.5
Subazione 6.5.a
"Interventi per la tutela e valorizzazione della biodiversità terrestre e marina"

Interventi di ripristino, recupero e gestione dell'area umida costiera in prossimità della foce del Fiume Ofanto dei comuni di Barletta e Margherita di Savoia
Codice operazione A0605.06

PROGETTISTI
RTP
ing. Matteo Orsino
geol. Giovanni Scirocco
agr. Matteo F. Caldarella
nat. Vincenzo Rizzi

ORDINE INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FOGGIA
DOTT. ING. MATTEO ORSINO
N° 2020

PROGETTO ESECUTIVO
Elaborati tecnico amministrativi

STUDIO PREVISIONALE SULLA DURABILITA' DEGLI INTERVENTI

Dicembre 2020
Rev. 00

Eta.09

IL Dirigente del VI Settore
ing. Vincenzo Guerra

IL RUP
arch. Mauro Iacoviello

Spazio per protocolli, visti, pareri e autorizzazioni

STUDIO PREVISIONALE SULLA DURABILITA' DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

1 Premessa

La presente relazione viene prodotta a seguito della richiesta di integrazioni progettuali formulata dal Comitato VIA regionale nell'ambito del procedimento autorizzatorio unico regionale in relazione a:

> - uno studio previsionale che valuti la durabilità degli interventi proposti nel tempo (almeno 3 anni) in relazione alle nuove dinamiche fluviali e alla permanenza o meno delle isole a realizzarsi;

Nel presente studio, dopo un'analisi dello stato dell'arte in merito alla dinamica morfologica della tratta terminale del fiume Ofanto, si è messo a punto il modello monodimensionale dell'infimo corso del suddetto fiume nella configurazione esistente ed in quella di progetto per valutare la durabilità degli interventi di riqualificazione ambientale proposti in termini di erosione indotta da velocità e tensioni tangenziali nel breve periodo (3 e 5 anni).

A tal fine, partendo dai risultati dello studio eseguito da AdB Puglia sul fiume Ofanto si sono dapprima calcolate, mediante modellazione afflussi-deflussi, le portate attese con bassi tempi di ritorno (tre e cinque anni) nel tronco terminale del fiume Ofanto; successivamente, ricorrendo al software HEC-RAS vers. 5.0.7 ed implementando nel modulo RAS-MAPPER il DTM su base Lidar della zona oggetto d'intervento, si sono adoperate le portate sopra calcolate come input per la modellazione in moto permanente gradualmente variato del tronco del fiume Ofanto oggetto di studio nella configurazione esistente ed in quella di progetto.

Calcolate per ciascuna sezione le velocità e le tensioni tangenziali indotte dalla corrente sul materiale d'alveo (assunto lo stesso coincidente con quello caratterizzato mediante le indagini geognostiche e di laboratorio messe a disposizione dalla Provincia BAT) si sono confrontate le stesse con le tensioni ammissibili che si trovano in letteratura tecnica (Macra 1) per limi argillosi (movimenti terra appena eseguiti) e copertura vegetale diffusa (riqualificazione ambientale dopo qualche ciclo vegetativo).

2 Studi morfologici sulla tendenza evolutiva della zona di foce del fiume Ofanto

La valle dell'Ofanto segna grosso modo il confine tra le due unità morfologico strutturali dell'altopiano della Murgia e del bassopiano del Tavoliere di Foggia.

Il fiume Ofanto ha un bacino di circa 2790 kmq che interessa il territorio di tre regioni, Campania, Basilicata e Puglia ed ha forma pressoché trapezoidale con una maggiore estensione sul versante destro del

suo bacino, in territorio campano, a causa dell'elevata erodibilità del territorio attraversato, costituito in gran prevalenza da depositi sedimentari sciolti, in corrispondenza della parte protesa verso sud.

Lo spartiacque che delimita il bacino idrografico del fiume Ofanto è delimitato a nord-ovest,lungo la dorsale dei Monti Carpinelli a quota 505 m, sale poi per il Monte Forcuso a quota 899 m,piega ad ovest, prosegue verso sud e tocca il Monte Prusco posto a quota 1453 m, successivamente passa in corrispondenza del Monte Caruso a 1236 m e della Sierra Carriera a 1041, presso i centri di Nusco e Avigliano; verso sud-est il bacino prosegue con la Murgia di Lamacupa a quota 595 m in prossimità di Minervino Murge e del monte Grosso a quota 403 m, scende verso Canosa di Puglia;infine il bacino tende a chiudersi nel mare Adriatico in prossimità di Barletta, dove sfocia.

La storia geologica del bacino idrografico del fiume Ofanto inizia durante il Cretaceo, cioè circa 135 milioni di anni fa, quando alle nostre latitudini incominciò a formarsi un grande bacino marino in cui si accumularono stratificazioni di sedimenti con una notevole abbondanza di carbonato di calcio.

Il bacino dell'Ofanto presenta due formazioni geologiche ben differenziate: la parte NE,pianeggiante, comprende la porzione meridionale del Tavoliere e le porzioni alluvionali oloceniche del corso d'acqua; la parte SW la cui orografia montano-collinare si presenta caratterizzata da successioni rocciose che vanno dagli affioramenti flyshoidi dell'Appennino avellinese-potentino fino a quelli vulcanici del Vulture.

La parte bassa del bacino, pur non presentando quote rilevanti, è comunque interessata dauna forte instabilità geologica a causa della presenza di sedimenti sciolti costituiti prevalentemente da argille e sabbie sciolte depositate tra i 7 e i 2 milioni di anni, l'assenza alla base di rocce coerenti,più antiche, pone queste aree ad alto rischio idrogeologico anche se l'acclività dei suoi versanti è relativamente molto modesta.

Nell'alto bacino sono presenti sedimenti sciolti quali argille varicolori scagliose inglobanti blocchi arenacei e strati di notevoli dimensioni disposti secondo una giacitura caotica e priva della normale successione stratigrafica degli ambienti sedimentari.

Tra l'alta valle e la media valle si erge il complesso vulcanico del Monte Vulture, che costringe il fiume Ofanto a deviare verso nord e a descrivere un'ampia ansa, trasformando il suo reticolo idrografico da dentritico in centrifugo, producendo in tal modo un'azione erosiva molto intensa proprio sulle pendici dell'edificio vulcanico.

I sedimenti trasportati dal fiume Ofanto trovano il loro naturale epilogo nella formazione di una costa bassa e sabbiosa, tipica dei fiumi adriatici e mediterranei in generale, contribuendo al colmamento del golfo di Manfredonia.

Forte risulta l'instabilità geologica e geomorfologica dei Comuni presenti nel bacino, infatti oltre il 40 % del territorio è interessato da fenomeni di erosione ed instabilità del suolo conformazione di fenomeni erosivi e di soliflusso, mentre il 17 % dei Comuni presenti denunciano forme gravi di dissesto idrogeologico (Dellisanti R.M., 2006).

Il regime idraulico del fiume è di tipo torrentizio e i deflussi sono concentrati nel periodo autunno-invernale. La mancanza di vegetazione, la presenza di terreni impermeabili sciolti, le elevate precipitazioni e l'andamento irregolare del letto conferiscono al fiume, nella zona dell'alto bacino ed in parte nel medio, un'azione erosiva molto intensa.

L'andamento idrografico è caratterizzato in prevalenza dall'affioramento di rocce impermeabili sottoposto, per le abbondanti piogge, ad una marcata azione di dilavamento superficiale. Il fiume si trova in uno stadio evolutivo giovanile, pertanto il reticolo idrografico è ancora poco sviluppato e quindi soggetto ad ampliarsi (Dellisanti R. M., 2006).

I suoi principali affluenti sono:

- in destra: torrente Ficocchia, torrente Liento, fiumara di Atella, torrente Refezzella, torrente Laghi,torrente Faraona, torrente Muro Lucano o San Pietro, torrente Olivento, torrente Lampeggiano, torrente Locone;
- in sinistra: torrente Sarda, torrente Orato, torrente Osento, Marana Capacciotti, Marana Fontana Figura.

Gli affluenti, pur essendo di scarsa consistenza come portata, rivestono comunque un ruolo determinante, essi infatti assicurano il mantenimento di un delicato equilibrio idrografico e idrogeologico all’interno del fiume, attraverso il costante apporto solido e liquido, in grado di assicurare per l'intero anno la presenza di acqua nell'alveo, grazie al loro assetto stagionale con carattere torrentizio, cosa molto importante per la vita del fiume, come riportato in fig.1:

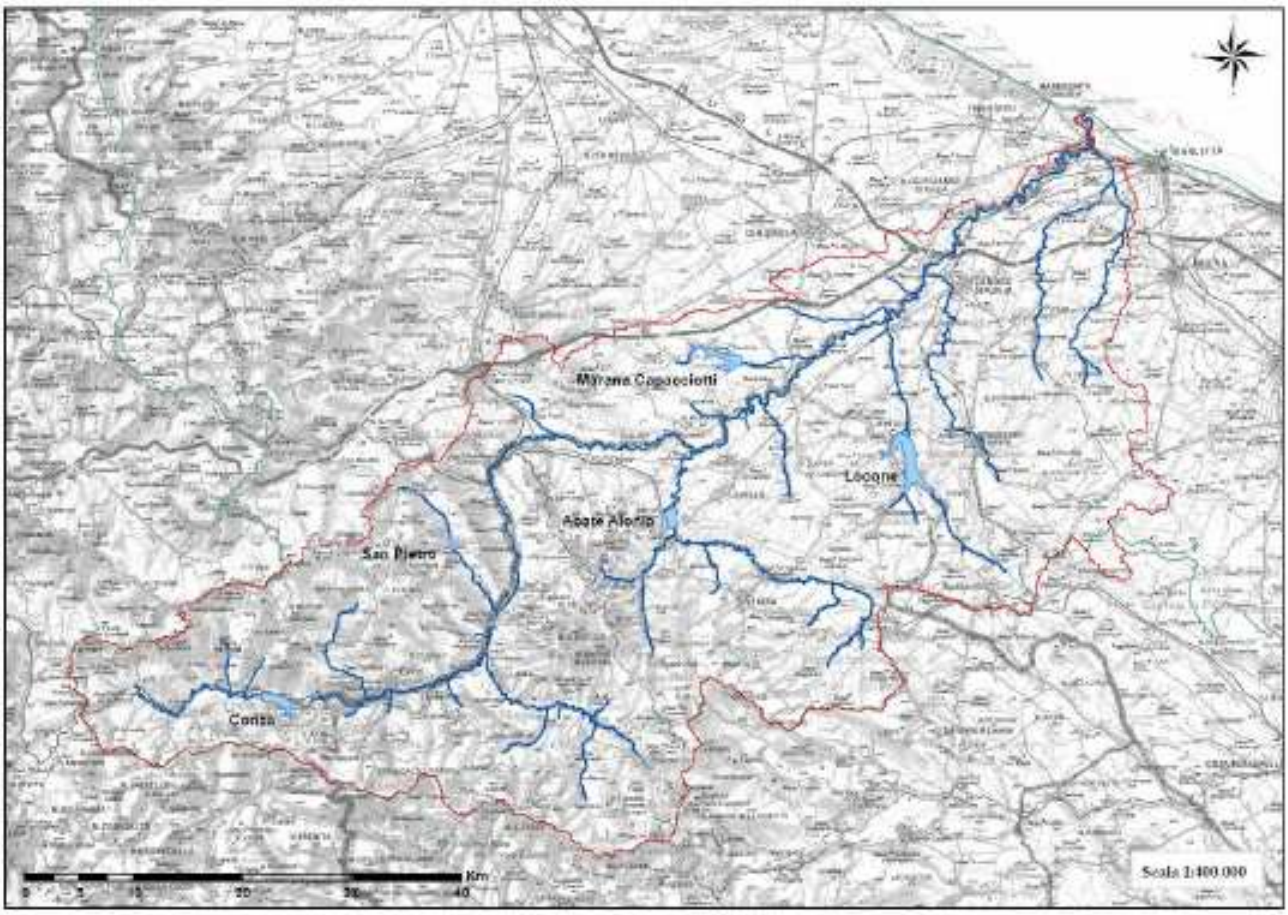

Fig. 1: Localizzazione dei principali corpi idrici del bacino idrografico del fiume Ofanto (da studio AdB Puglia per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico Pugliese)

Come risulta dalla consultazione dell'All. 3.1. degli studi condotti da AdB Puglia per individuare strutture di mitigazione del rischio per ciascuna unità fisiografica del territorio pugliese, dal punto di vista del bilancio solido il fiume Ofanto è in stato di forte squilibrio.

Il fenomeno è evidente proprio nella tratta di foce oggetto del presente intervento laddove si assiste da anni ad una forte erosione del litorale sabbioso formatosi, nei secoli, con gli apporti di sedimenti del fiume.

L'inizio del fenomeno di erosione del litorale in questione risale agli anni '20, quando furono avviati i primi grandi interventi di sistemazione idraulica del fiume e di bonifica delle aree paludose ad esso circostanti.

L'arretramento della foce, già fra il 1925 e il 1984, è stato valutato in alcune centinaia di metri con un picco di accelerazione del fenomeno fra il 1964 e il 1984.

Si stima che dal 1992 al 2008 il litorale adiacente alla foce ha subito un arretramento di circa 150 m (circa 9 m/anno)!

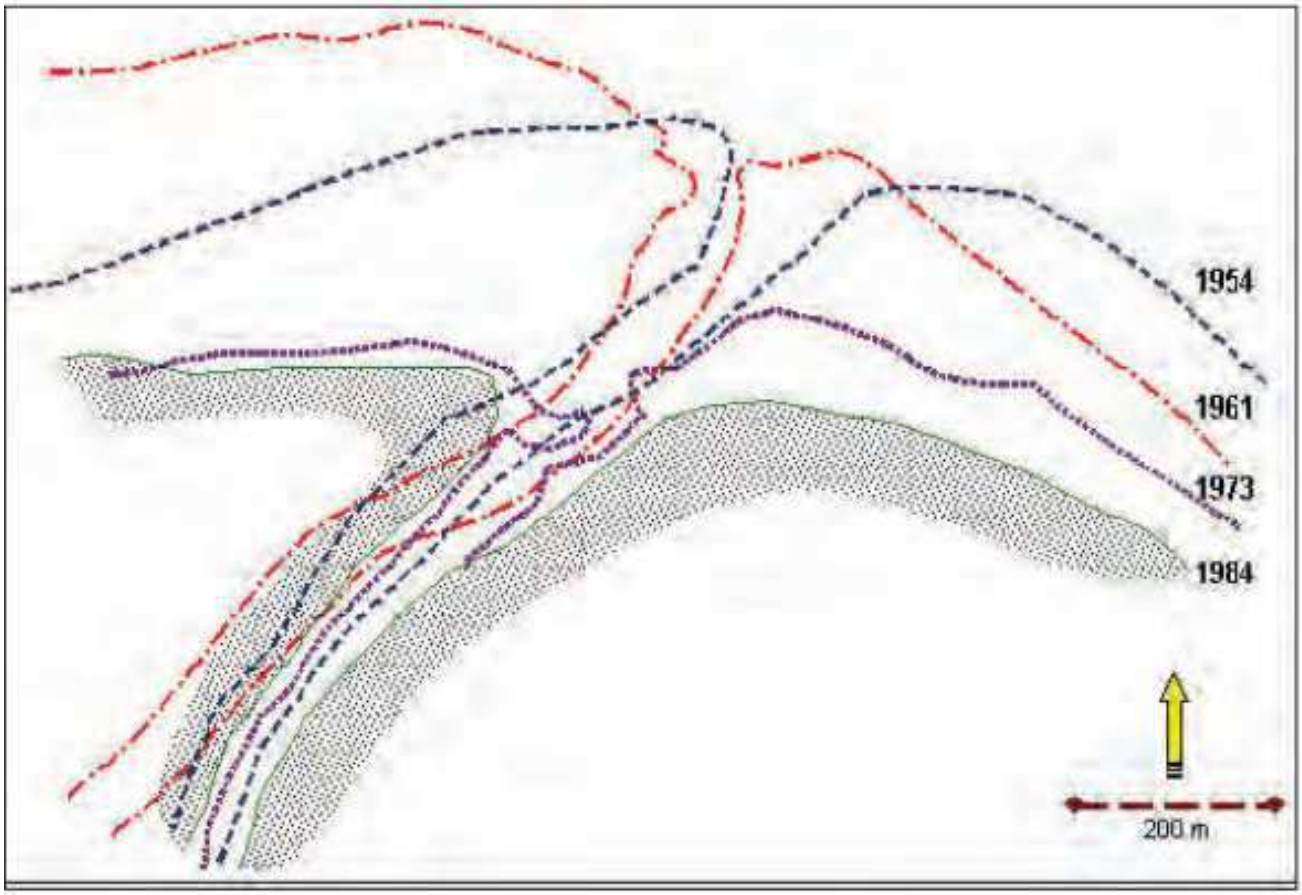

Fig. 2: Arretramento della foce dell'Ofanto sulla base dei rilievi IGM. L'originario delta è praticamente scomparso (da Pennetta, 1988, ridisegnata)

Fig. 3: La situazione attuale della foce dell'Ofanto come appare su un'ortofoto tratta dal sito dell'AdB Puglia

Nell'allegato 1 denominato "*Analisi dei processi idraulici ed idrologici a scala di bacino per la definizione della componente solida fluviale*" degli "*Studi propedeutici per la predisposizione del Piano Stralcio della Dinamica delle Coste*" l'Autorità di Bacino della Puglia ha evidenziato come la situazione in termini di erosione sia dovuta, essenzialmente, ad una riduzione dei deflussi torbidi specifici nel tempo, riduzione che l'AdB ha correlato alle piogge cumulate annue registrate sul bacino idrografico, come evidenziato dal seguente grafico:

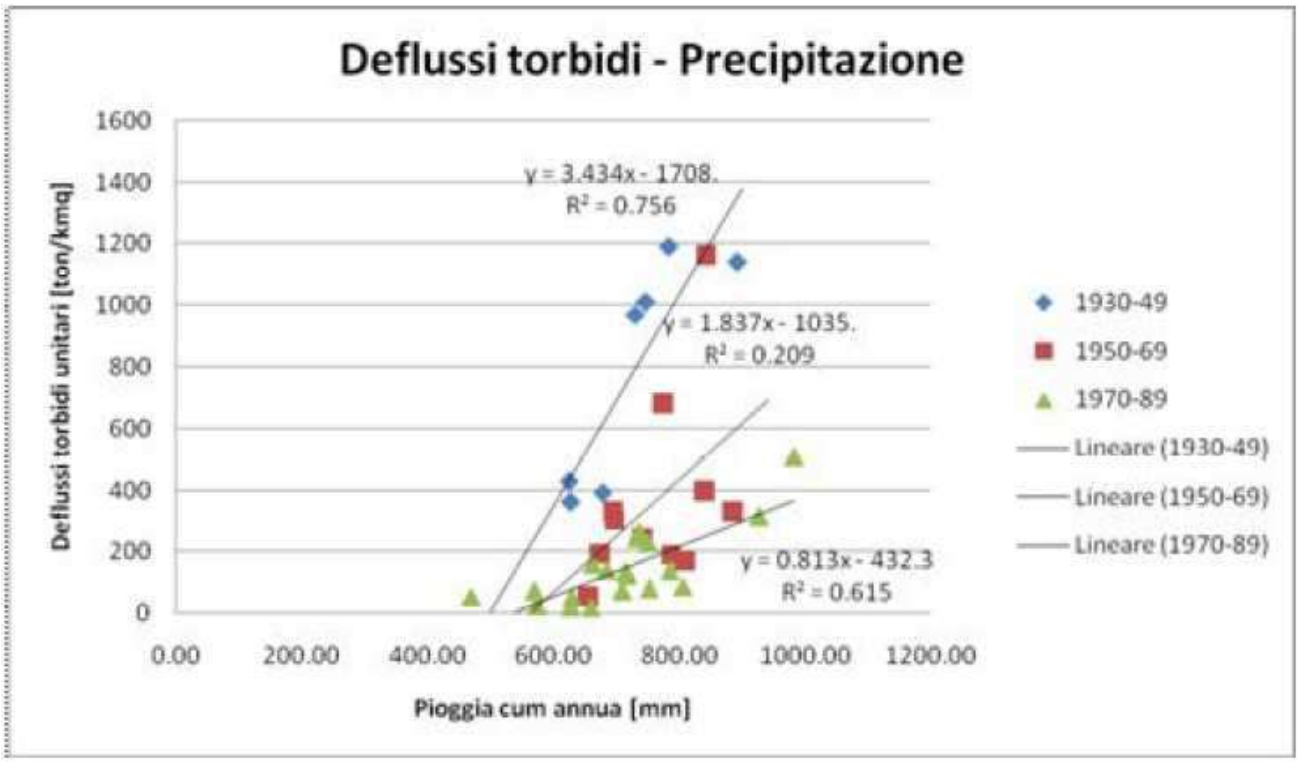

Fig. 4: Andamento nel tempo del deflusso torbido annuale rispetto alla precipitazione cumulata annua per opportuni intervalli di tempo

I motivi di quanto riportato in fig. 4 sono allora da ricercarsi nella consistente trasformazione dovuta a vari interventi antropici.

Dalla seconda metà del 1900, infatti, oltre alle sistemazioni idrauliche forestali e al più intensivo uso del suolo, sono state realizzate numerose opere di sbarramento e di derivazione lungo l'Ofanto e i suoi affluenti, come riportato nel seguente schema semplificativo:

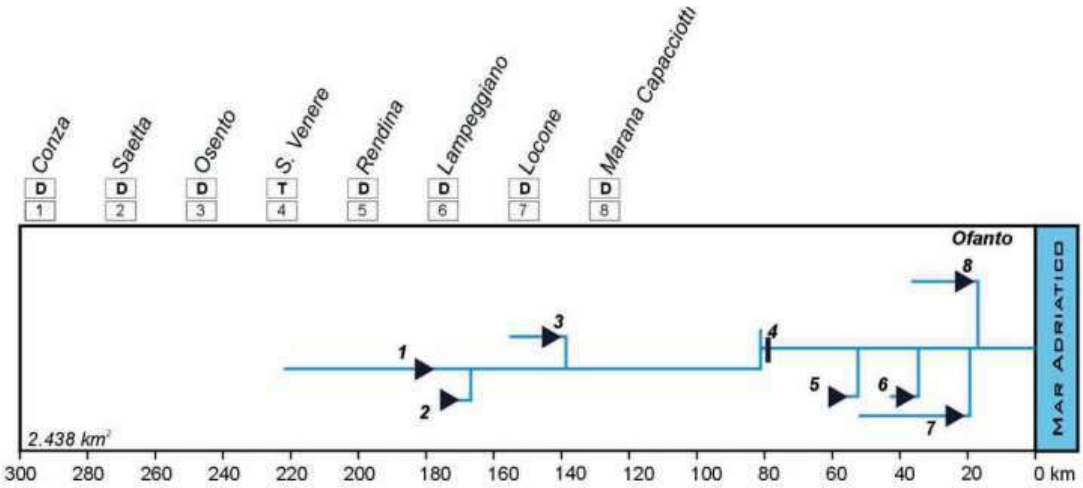

Fig. 5: Schema delle opere di sbarramento, dighe e traverse, costruite nel bacino dell'Ofanto

I suddetti interventi, insieme all'incontrollata asportazione del materiale d'alveo, hanno drasticamente ridotto la portata solida convogliata dal fiume verso la costa; tutto ciò ha determinato inizialmente l'erosione e lo spianamento della foce e, successivamente, l'erosione di ampi tratti di litorale nei pressi della foce dell'Ofanto, sia nel Comune di Margherita di Savoia che nel Comune di Barletta; tale fenomeno è ancora oggi in atto.

E' quindi del tutto evidente come la tratta terminale del fiume Ofanto non sia in equilibrio dal punto di vista del bilancio solido globale e che la rinaturalizzazione del suo infimo tronco mediante la creazione di piccole isole e pozze nelle zone golenali (oggi soggette a pesante intervento antropico)non possa in alcun modo essere efficace al raggiungimento dell'equilibrio del corso d'acqua, tanto più che non è prevista né ammessa la realizzazione di briglie o soglie in grado di variare artificialmente la pendenza del fiume nel tempo.

3 Studio idrologico

Analizzando lo studio condotto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia di "*Revisione delle perimetrazioni delle aree a diversa pericolosità idraulica del fiume Ofanto dal Ponte Romano alla foce*" si è riscontrato che per il calcolo degli idrogrammi di piena aventi con tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni la suddetta autorità ha operato come segue:

1. Determinazione delle caratteristiche morfometriche del bacino principale e di tutti i sottobacini mediante tecniche GIS;
2. Determinazione, per ciascun sottobacino, del valore del curve number (CN) secondo il metodo del Soil Conservation Service, individuato intersecando i tipi litologici con gli usi del suolo;
3. Determinazione dei tempi di corrivazione dei vari bacini;
4. Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (c.p.p.) per i vari tempi di ritorno indagati mediante analisi regionale effettuata per la zona pluviometricamente omogenea n. 4 nella quale ricade il fiume Ofanto;
5. Determinazione dello ietogramma Chicaco con picco pari a 0,5 per ciascuna c.p.p. per la durata di pioggia assegnata;
6. Determinazione dello ietogramma netto mediante metodo CN-SCS;
7. Determinazione dell'IUH di Nash con individuazione dei coefficienti "n" e "k" sulla base dei caratteri morfologici di ciascun sottobacino (RA, RB, RL, v, LΩ).

Con la trattazione sopra esplicitata, l'AdB ha individuato i seguenti valori di portata di piena:

Q_{30} = 1.200,00 mc/sQ_{200} = 1.900,00 mc/sQ_{500} = 2.450,00 mc/s

Nel caso in esame, per determinare gli idrogrammi delle portate con tempo di ritorno pari a 3 e 5 anni, si è proceduto come segue:

- Il bacino idrografico del fiume Ofanto alla sua sezione di chiusura nel mare Adriatico ha una superficie complessiva pari a ca. 2790 kmq, con una lunghezza dell'asta principale pari a ca. 170 km, una pendenza media del bacino pari al 5,33 %;
- Il valore del CN per l'intero bacino, analizzando quanto trovato da AdB per il bacino idrografico dell'Ofanto a San Samule di Cafiero (CN = 77 e S = 2716 kmq), può assegnarsi pari a 76;
- Adoperando i dati morfometrici sopra riportati è possibile determinare il tempo di corrivazione con la formula di Mockus:

  1) $t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{\sqrt{p_m}} \cdot (\frac{1000}{CN} - 9)^{0.7}$= 24,44 h

  da cui posto: $t_c = \frac{t_L}{0,6} = 40,74\ h$

- Una volta noto il tempo di corrivazione dell'intero bacino con il metodo regionale analitico si calcolano le c.p.p. per i tempi di ritorno pari a 1,4, 3 e 5 anni:

  2) legge piogge medie per la zona pluviometricamente omogenea n. 4: $h = 24,7 \cdot t^{0,256}$

  essendo i fattori di crescita delle piogge ai tempi di ritorno 3 e 5 anni pari a:

T = 3 anni	T = 5 anni
KT = 1,02	KT = 1,232

  Si ottengono le tre curve di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno ricercati:

T = 3 anni	T = 5 anni
$h = 25,211 \cdot t^{0,256}$	$h = 30,448 \cdot t^{0,256}$

- Adoperando l'ipotesi cinematica per la quale la durata di pioggia critica è quella per la quale tutto il bacino è contribuente, si ha:

  3) tp = tc = 40,74 h

  A questo punto, con software URBIS 2003, determinato lo ietogramma lordo con metodo Chicago (picco 0,5) nonché lo ietogramma netto con metodo CN standard (CN =76) si è calcolato l'IUH di Nash assegnando:

  n = numero dei serbatoi in cascata = 3

k = costante d'invaso dei serbatoi $= \frac{t_p}{n-1} = 10{,}185$ (con tp = tc/2)

Operando una convoluzione sulla superficie dell'intero bacino si sono ottenuti i seguenti valori al colmo di picco:

T = 3 anni	T = 5 anni
$Q_3 = 355{,}37\ mc/s$	$Q_5 = 524{,}85\ mc/s$

I grafici relativi agli idrogrammi relativi ai tempi di ritorno di 3 e 5 anni sono riportati nelle figure seguenti:

Fig. 6: Piogge lorde, nette ed idrogramma corrispondenti ad evento con tempo di ritorno pari a 3 anni

Fig. 7: Piogge lorde, nette ed idrogramma corrispondenti ad evento con tempo di ritorno pari a 5 anni

3 Studio idraulico

a) Modellazione monodimensionale dell'asta terminale del fiume Ofanto nella situazione esistente

Inizialmente si è caricato nel modulo RAS-MAPPER del software HEC-RAS vers. 5.0.7 il DTM estratto dal rilievo Lidar della tratta terminale del fiume Ofanto; dal momento che con il Lidar non si rilevano quote inferiori al livello del mare si è provveduto a deprimere il rilievo digitale del terreno in corrispondenza della savanella assegnandole la pendenza del pelo libero ma calibrata sulle quote più basse rinvenenti dal rilievo Lidar e ubicate al di sotto del livello medio mare (zone depresse ma prive d'acqua probabilmente risultanti da escavazioni localizzate).

Trattato nel modo sopra esposto il DTM con il modulo RAS-MAPPER di HEC-RAS si sono estratte dallo stesso le sezioni dell'asta terminale rappresentative della configurazione esistente; la scabrezza delle suddette sezioni è stata assunta variabile orizzontalmente e pari a 0,04 sulle golene ed a 0,03 nella savanella impegnata dallo scorrimento delle acque di magra.

Come condizioni al contorno si è imposta a monte la condizione di Normal Depth con pendenza pari ad $2{,}20 \times 10^{-6}$, a valle un livello mare costante e pari a 0,50 m.

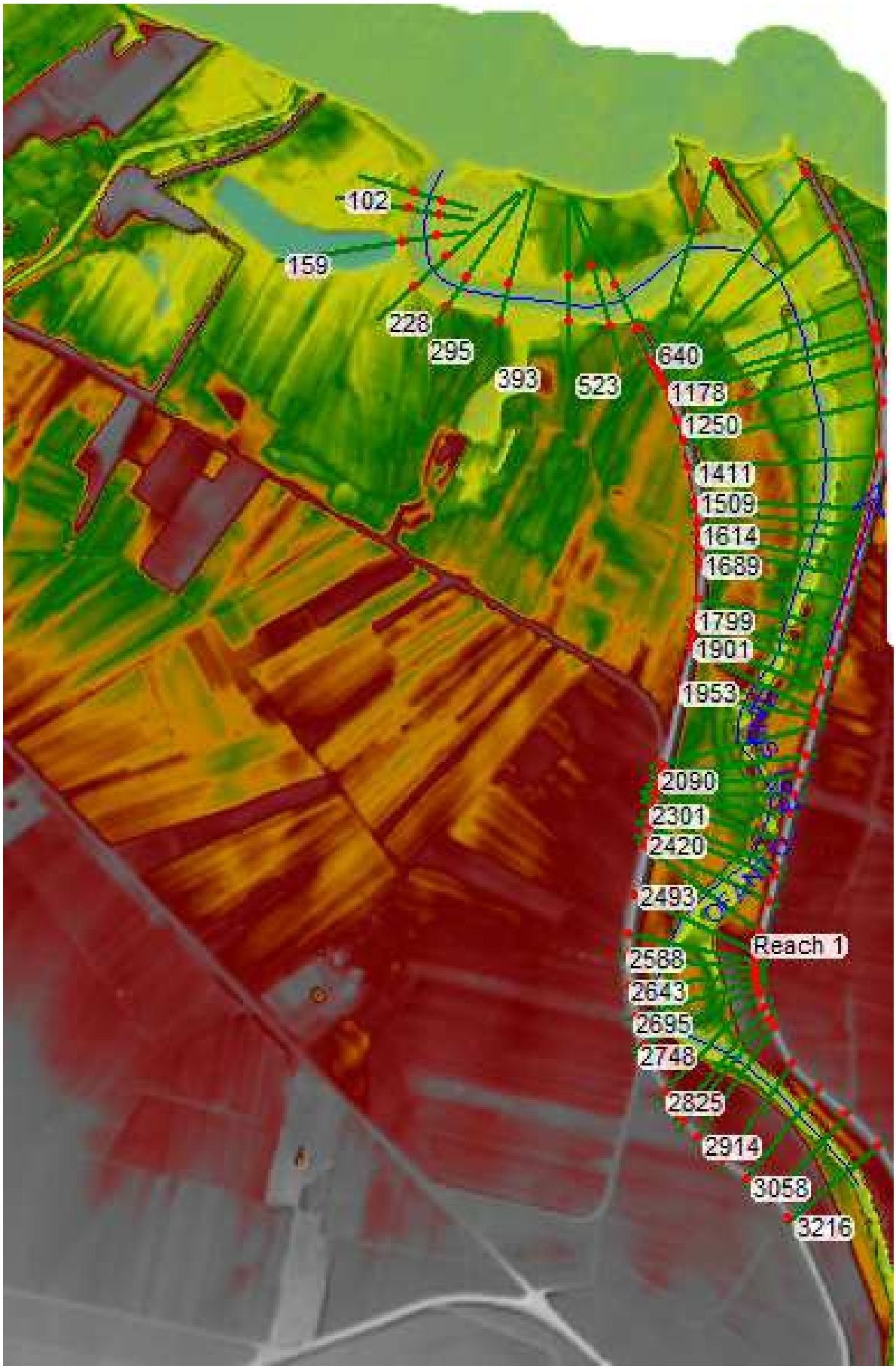

Fig. 8: Modellazione idraulica monodimensionale della situazione esistente

b) <u>Modellazione monodimensionale dell'asta terminale del fiume Ofanto nella situazione di progetto</u>

Una volta caricato nel software Global Mapper il DTM estratto dal rilievo Lidar della tratta terminale del fiume Ofanto per la configurazione esistente (con la savanella trattata come descritto al punto precedente), si sono introdotte nello stesso le isole, le pozze e le canalizzazioni che si intende realizzare nei piani golenali.

Ottenuto il nuovo DTM con il modulo RAS-MAPPER di HEC-RAS si sono estratte dallo stesso le sezioni dell'asta terminale rappresentative della configurazione di progetto, adoperando la stessa scabrezza e le stesse condizioni al contorno adoperate per la modellazione della situazione esistente.

c) <u>Confronto configurazione esistente – configurazione di progetto</u>

È stata quindi condotta l'analisi idraulica in moto permanente gradualmente variato dell'ultimo tronco del fiume Ofanto confrontando i risultati ottenuti in configurazione esistente e di progetto avendo come input le portate con tempo di ritorno pari a tre e cinque anni.

Ricavati dalla modellazione idraulica i valori delle velocità e delle tensioni tangenziali che si innescano nel tronco del fiume Ofanto interessato dai lavori di rinaturalizzazione delle golene, si sono confrontati gli stessi con le tensioni ammissibili per un terreno limoso (del tipo di quello rinvenente dal sondaggio CP2a eseguito nell'alveo del fiume durante i rilievi geognostici – vedi fig. 9) appena movimentato (τ_{amm} = 38 N/mq e v_{amm} = 0,75 m/s) o presentante copertura vegetale diffusa (τ_{amm} = 50 N/mq e v_{amm} = 0,75 m/s).

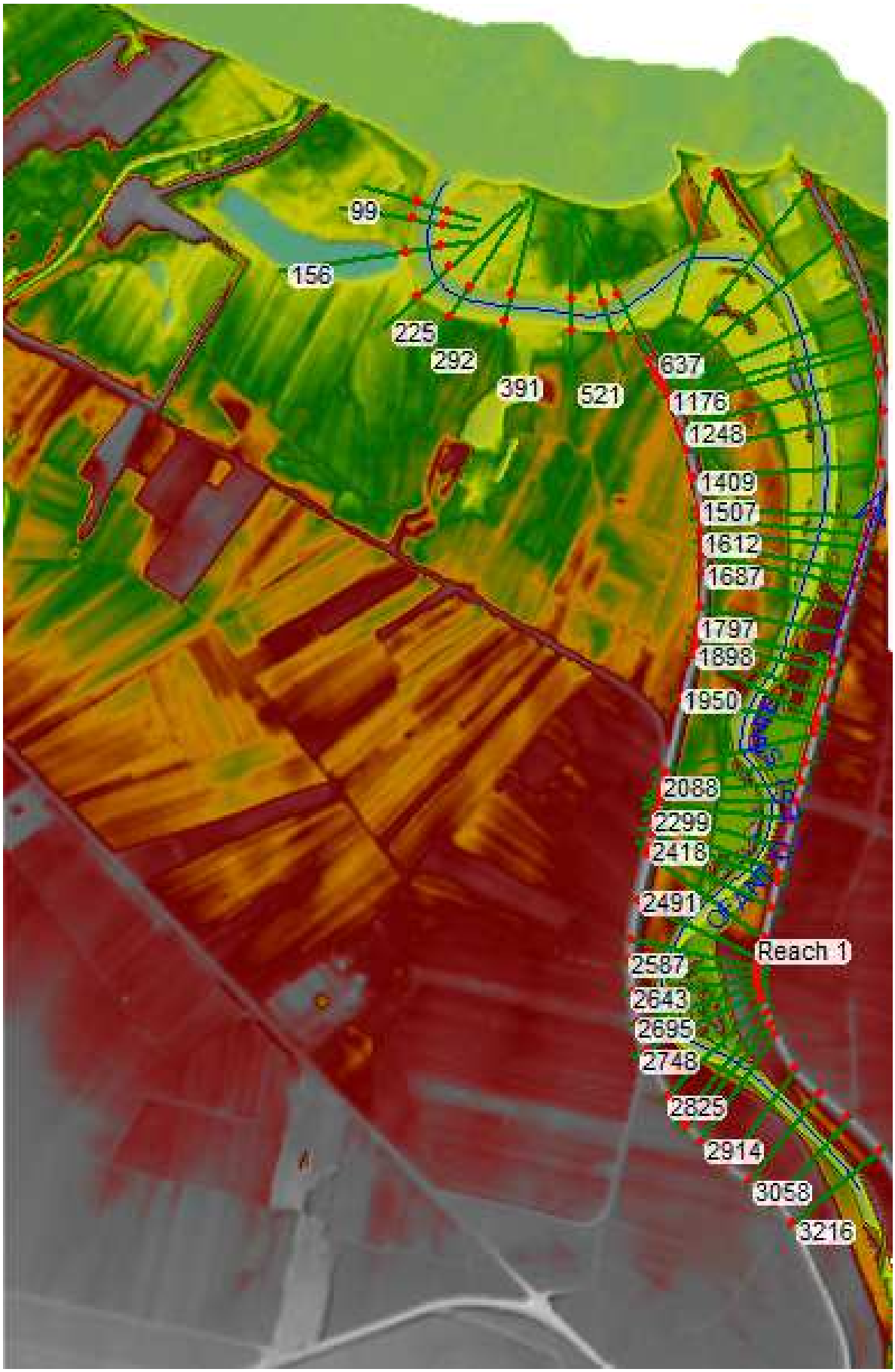

Fig. 9: Modellazione idraulica monodimensionale della situazione di progetto

d) <u>Assegnazione all'alveo (golene e savanella) di una granulometria derivante del sondaggio geognostico d'alveo (CP2A) fornito dalla Provincia BAT</u>

Dall'esame della tavola D14_DWG-GEO-002 del 1° stralcio del progetto definitivo degli "*Interventi di mitigazione del rischio idraulico del tratto terminale del fiume Ofanto, tra Ponte Romano e la foce*", si evince che il sondaggio eseguito nella savanella del fiume è quello denominato CP2a, localizzato come in fig. 10:

Fig. 10: Ubicazione sondaggio CP2a eseguito nella savanella della tratta terminale del fiume Ofanto

La granulometria del suddetto campione di terreno è quella rinvenente dalla seguente analisi:

GeoSveva di Luigi Di Carlo

GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

Pag 1/2

Numero certificato:	9938	ta di emissione:	18/08/14	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	690	del	22/07/14	07/08/14	06/08/14

COMMITTENTE: *P.M. fondazioni speciali*

SITO : *Mitigazione del Rischio Idraulico* LOCALITA': *Tratto terminale Fiume Ofanto - Barletta*

SONDAGGIO :	S2	DATA PRELIEVO	18/07/14
CAMPIONE :	CP2A	TIPO DI FUSTELLA	(Metallo)
PROFONDITA' :	00.00-00.50 (m)	TIPO DI CAMPIONE	Indisturbato Q5

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: **ASTM D 422 / 2007**

Analisi con vagli

Setaccio	diametro (mm)	peso grani (g)	trattenuto (%)	passante (%)	diametro grani (mm)
4"	101,60			100,00	101,60
3	75,00			100,00	75,00
2	50,00			100,00	50,00
1,5	37,50			100,00	37,50
1"	25,00			100,00	25,00
0,75	19,00			100,00	19,00
0,375	9,50	5,73	2,81	97,19	9,50
4	4,75	3,88	4,60	95,40	4,75
10	2,00	3,27	6,20	93,80	2,00
18	0,85	1,14	6,76	93,24	0,850
40	0,43	1,89	7,69	92,31	0,425
60	0,25	11,92	13,62	86,47	0,250
140	0,11	53,68	39,83	60,17	0,106
200	0,07	3,81	41,70	58,30	0,074
0,45	< 0,074	119,00	58,30	passante al 200	
Somma (g)		204,11			
Peso iniziale (g)		205,05			
Perdita (g)		0,94			

Analisi con densimetro

correzioni		
dispersivo	Cd	-3,00
menisco	Cm	0,50
temperatura	intercetta	-5,00
temperatura	pendenza	0,25
caratteristiche fisiche		
peso campione secco g		50,00
peso specific	KN/m³	26,392
tarratura densimetro		
intercetta		15,573
pendenza		-0,235

Analisi con densimetro

Tempo	Tempe_ratura	Lettura	Lettura + C_m	Correzione temperatura	Percentuale parziale
min	°C	R	R'		%
0,50	20,00	29,00	29,50		84,33
1,00	20,00	27,00	28,00		79,56
2,00	20,00	25,50	26,00		73,20
4,00	20,00	22,00	22,50		62,06
8,00	20,00	19,50	20,00		54,10
15,00	20,00	17,50	18,00		47,74
30,00	20,00	16,00	16,50		42,96
60,00	20,00	14,00	14,50		36,60
120,00	20,00	12,00	12,50		30,23
240,00	20,00	10,00	10,50		23,87
480,00	20,00	9,00	9,50		20,69
1440,00	20,00	7,00	7,50		14,32

Percentuale totale %	Diametro grani mm
49,17	0,0540
46,38	0,0532
42,67	0,0376
36,18	0,0216
31,54	0,0157
27,83	0,0137
25,05	0,0097
21,34	0,0069
17,63	0,0049
13,92	0,0034
12,06	0,0024
8,35	0,0014

Copia conforme all'originale

LO SPERIMENTATORE
Geom.Giovanni Turco

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott.Ing.Luigi Di Carlo

Fig. 11: Analisi granulometrica per il campione CP2a (limo con sabbia argillosa) fornita dalla provincia BAT

e) Risultati del calcolo idraulico

Nel seguito si riportano:

- i profili di moto permanente che si innescano nel fiume Ofanto nella configurazione esistente e di progetto in corrispondenza del transito di piene aventi tempi di ritorno pari a 3 e 5 anni;
- l'andamento delle velocità totali che si riscontrano nel tronco modellato nella situazione esistente ed in quella di progetto;
- l'andamento delle tensioni tangenziali totali che si riscontrano nel tronco modellato nella situazione esistente ed in quella di progetto;

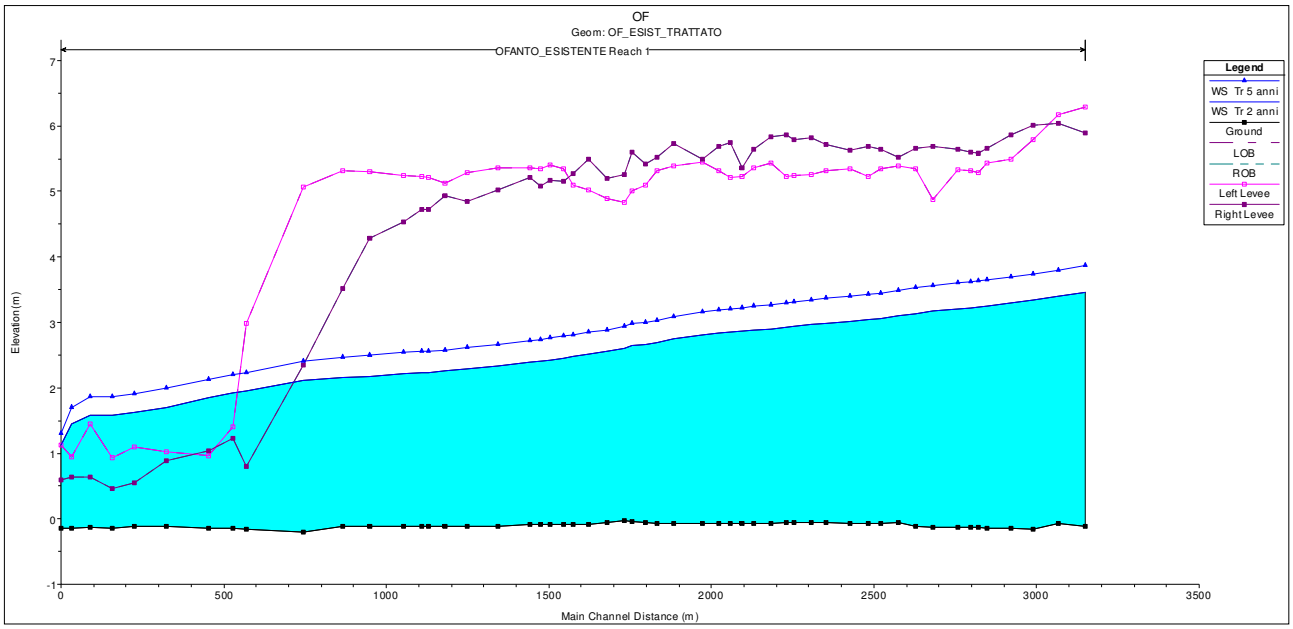

Fig. 12: Profili di moto permanente nell'ultimo tronco dell'Ofanto per Q3 e Q5 in configurazione esistente

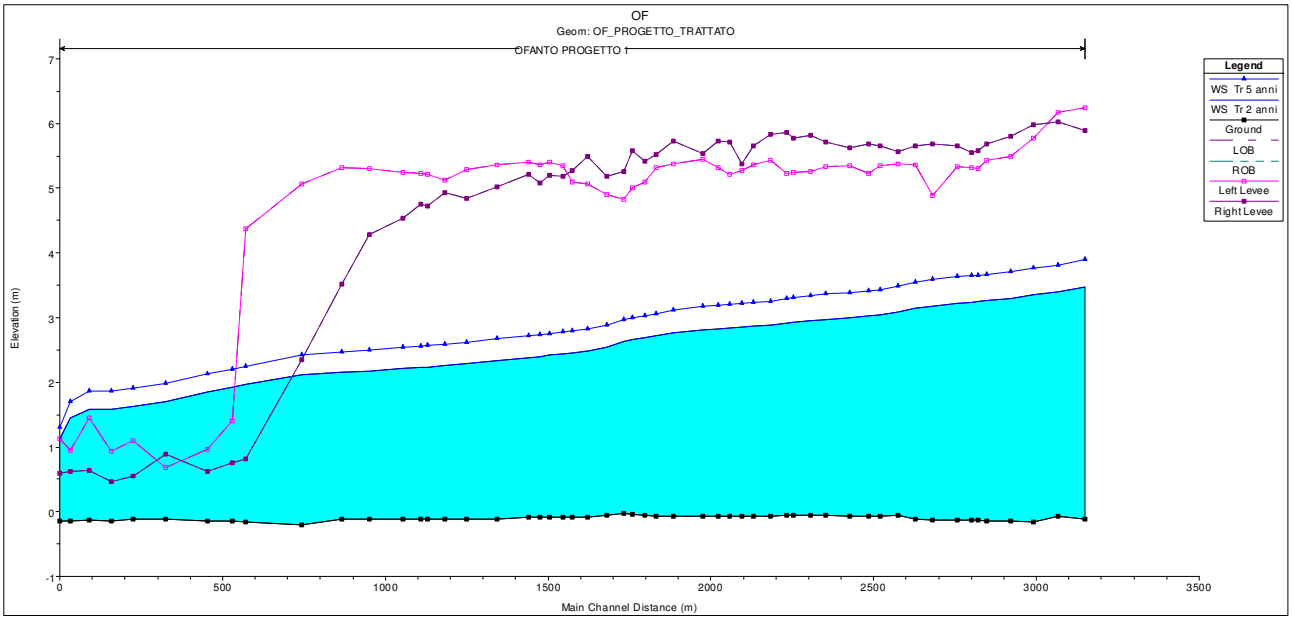

Fig. 13: Profili di moto permanente nell'ultimo tronco dell'Ofanto per Q3 e Q5 in configurazione di progetto

Per valutazioni in merito alla resistenza del terreno costituente le isole alle azioni indotte dalla corrente si ricorre al metodo delle tensioni di trascinamento.

Il calcolo della resistenza all'erosione di una sezione viene eseguita calcolando la velocità della corrente e gli sforzi tangenziali prodotti dalla corrente e controllando se il materiale che costituisce il letto del fiume può resistere senza subire danni permanenti.

Il metodo maggiormente utilizzato è quello conosciuto col nome di "metodo delle tensioni di trascinamento". Si può applicare a qualsiasi tipo di materiale tuttavia è necessario che il materiale utilizzato abbia una resistenza agli sforzi tangenziali nota.

Ai fini della valutazione degli effetti antierosivi è necessario che lo sforzo tangenziale effettivo prodotto dalla corrente su in ciascun punto della sezione sia minore dello sforzo tangenziale massimo agente sulla superficie del canale.

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 argine e successivamente progredisce interessando aree più estese. Gli sforzi tangenziali effettivi vengono calcolati utilizzando i criteri idraulici convenzionali.

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 del canale viene calcolato usando la seguente formula:

$tb = k_1 \cdot k_2 \cdot g_w \cdot y_i \cdot i_{fiume}$

dove

k_1 = coeff. di curvatura (maggiore di 1 solo per punti situati su tratti pendenti esterni di argini curvi).

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

g_w = peso specifico dell'acqua

y_i = livello dell'acqua nel punto considerato

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

Tablella 2 – Materiali standard naturali del suolo

	Non vegetato		Vegetato	
	Scabrezza	Sforzo tollerato N/m2	Scabrezza	Sforzo tollerato N/m2
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
GabionMats 0.30m (12")	0.0301	336.00	0.300	450.00
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 Reno 0.15-0.17m (6")	0.0277	224.00	0.300	400.00
Materasso Reno 0.15-0.17 (6")+Macmat R6	0.0277	270.00	0.300	400.00
Materasso Reno 0.23-0.25m (9")	0.0277	268.80	0.300	450.00
Materasso Reno 0.23-0.25m (9")+Macmat R6	0.0277	310.00	0.300	450.00
Materasso Reno 0.30m (12")	0.0277	336.00	0.300	450.00
Materasso Reno 0.30m (12")+Macmat R6	0.0277	380.00	0.300	450.00
Macmat R6	0.0303	171.58	0.100	332.31
Macmat R8	0.0303	188.89	0.100	349.15
Macmat N10	0.0303	131.67	0.100	299.67
Macmat N20	0.0303	178.36	0.100	332.60
Riprap/Rock Wall	0.0400	300.80	0.400	350.00
Blocchetti in cemento	0.0200	250.00	0.300	350.00

Per tutti i materiali vengono forniti i valori di resistenza agli sforzi tangenziali e la scabrezza sia nel caso in cui siano coperti di vegetazione oppure non vegetati; i valori suggeriti sono tratti dalla letteratura e basati sui più comuni sistemi di progettazione in uso per ogni prodotto (valori in blu).

Se sulle sponde viene utilizzato un materiale di rivestimento verrà richiesto di introdurre la velocità limite sull'interfaccia del rivestimento con il suolo assieme all'angolo di attrito.

Nella tabella 3 vengono riportate le velocità limite e i valori degli angoli di attrito.

Le prime vengono utilizzate per stabilire se la velocità sotto l'opera di rivestimento è al disotto della soglia di erodibilità del suolo; l'angolo di attrito viene fornito per compararlo con quello del terreno, se quest'ultimo è maggiore sono necessarie indagini geotecniche per prevenire fenomeni di instabilità.

Tabella 3 – Valori standard della velocità limite e dell'angolo di attrito per suoli terreni naturali (Ven Te Chow, "Open Channel Hydraulics", McGraw Hill)

Tipo di suolo	**Velocità limite (m/s)**	**Angolo di attrito suggerito (gradi)**
Sabbia fine	0.760	30 – 32
Sabbia e ghiaia	1.500	32 – 35
Ghiaia grossolana	1.800	35 – 38

Ciottoli e ghiaia	1.670	35 – 38
Argilla e crostoni di argilla (coesivi)	1.800	25 – 30
Limo e ciottoli(coesivi)	1.670	20 – 30

Tramite il software HEC-RAS vers. 5.0.7 si sono quindi calcolate le velocità totali e le tensioni tangenziali nel tronco del fiume Ofanto nella configurazione esistente e di progetto (con interventi di riqualificazione ambientale), ottenendo i risultati riportati nei seguenti grafici:

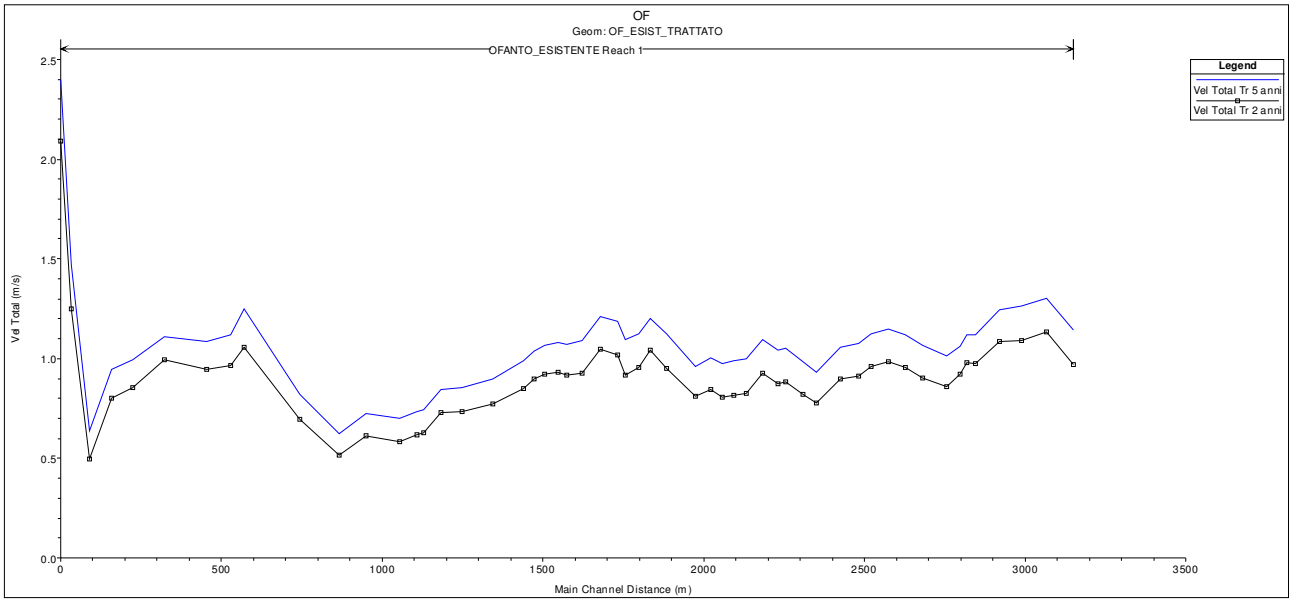

Fig. 14: Andamento velocità totali che si riscontrano nell'infimo tronco del fiume Ofanto al transito delle portate con tempi di ritorno pari a 3 e 5 anni nella configurazione esistente

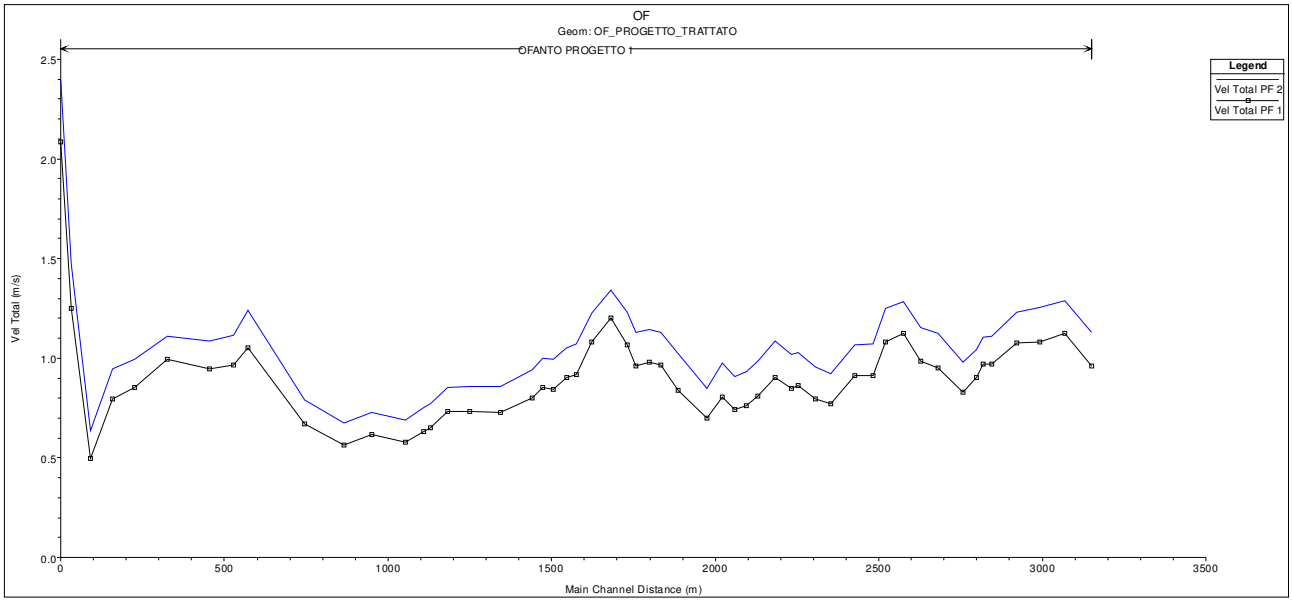

Fig. 15: Andamento velocità totali che si riscontrano nell'infimo tronco del fiume Ofanto al transito delle portate con tempi di ritorno pari a 3 e 5 anni nella configurazione di progetto

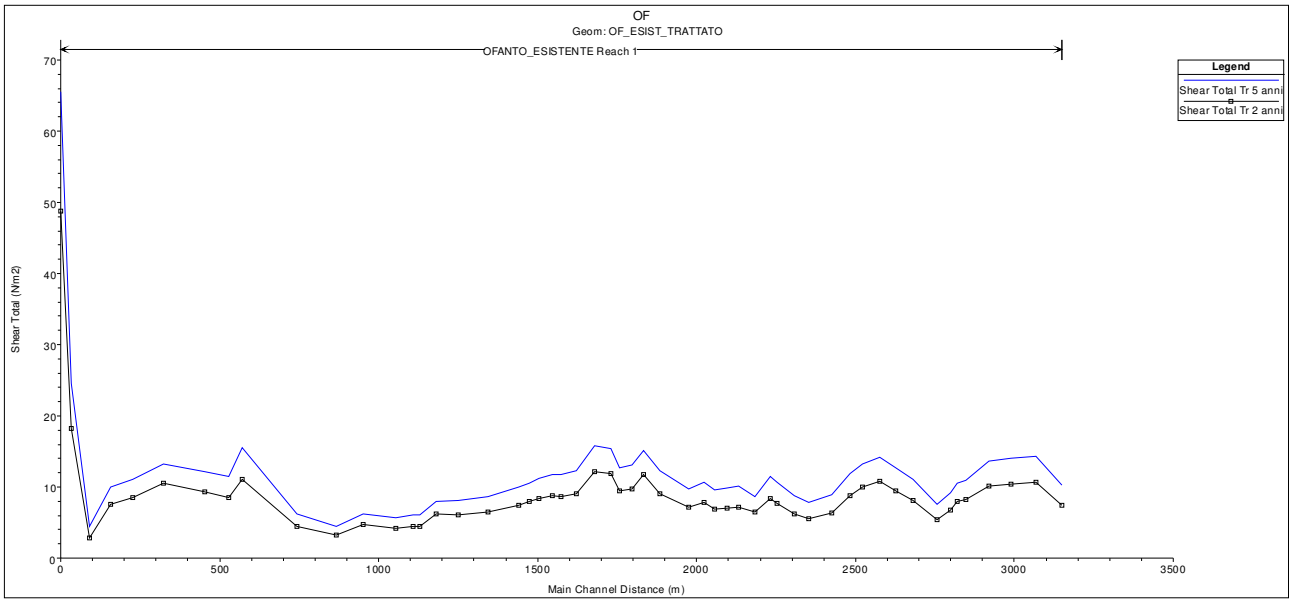

Fig. 16: Andamento delle tensioni tangenziali totali che si riscontrano nell'infimo tronco del fiume Ofanto al transito delle portate con tempi di ritorno pari a 3 e 5 anni nella configurazione esistente

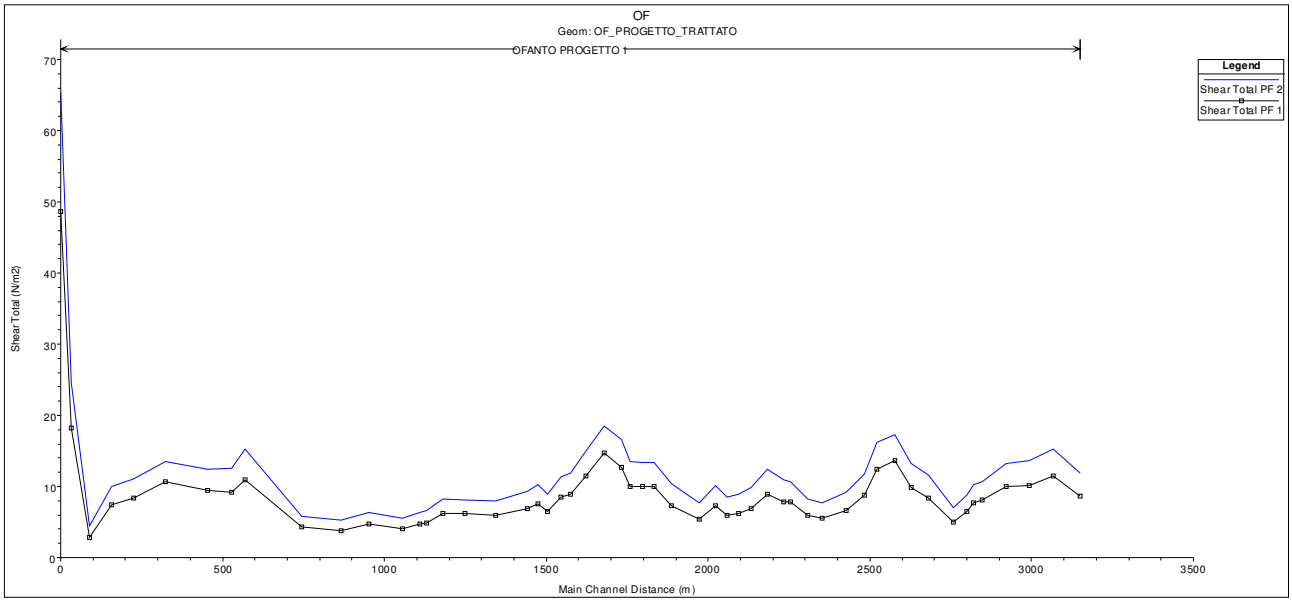

Fig. 17: Andamento delle tensioni tangenziali totali che si riscontrano nell'infimo tronco del fiume Ofanto al transito delle portate con tempi di ritorno pari a 3 e 5 anni nella configurazione di progetto

4 Conclusioni

Prima di trarre le conclusioni del presente studio, si vuole in primis ricordare che lo scopo del progetto non è quello di realizzare le isole – il cui terreno, come precisato nella relazione illustrativa, rimarrà disponibile per un futuro naturale riassetto durante le piene di formazione – bensì quello di ricreare le condizioni per cui una porzione di territorio adiacente all'alveo, attualmente terrazzato ed escluso quindi dalla dinamica fluviale a causa dell'incisione dell'alveo stesso, possa essere inondata con maggior frequenza tramite l'abbassamento della sua quota, favorendo una naturale ripresa delle dinamiche morfologiche naturali all'interno degli argini maestri. In quest'ottica, ai fini del raggiungimento degli scopi progettuali, non è importante che le isole rimangano stabili nel tempo, bensì che il loro volume rimanga disponibile all'interno dell'. Ciò nondimeno, sulla base dello studio condotto, ci si attende che l'assetto morfologico delle isole non varierà sensibilmente nell'arco dei tre anni.

Analizzando infatti i risultati ottenuti, classificato il materiale d'alveo come limo con sabbia argillosa (vedi fig. 11), è possibile affermare che le velocità totali (nella tratta d'intervento sempre minori di 1,670 m/s da*"Macra 1 2006 Tabella 3 – Valori standard della velocità limite e dell'angolo di attrito per suoli terreni naturali (Ven Te Chow, "Open Channel Hydraulics", McGraw*) e le tensioni tangenziali totali (nella tratta d'intervento sempre minori di 38 N/mq) provenienti dalla modellazione idraulica eseguita in corrispondenza di portate aventi basso tempo di ritorno (3 e 5 anni) sono inferiori a quelle massime ammissibili per quel particolare tipo di suolo: nella configurazione di progetto (isole e pozze realizzate) i valori trovati non si discostano molto da quelli riscontrati nella configurazione esistente.

Nel caso in cui, dopo qualche ciclo vegetativo, gli interventi proposti presentassero una copertura vegetale diffusa, questo comporterà una maggiore durabilità essendo in tal caso pari a 50 N/mq la tensione tangenziale ammissibile per i materiali costituenti le isole.