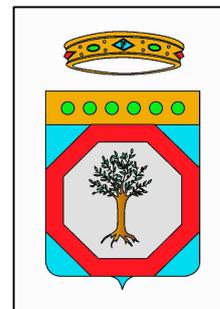




Consorzio di Bonifica Montana del Gargano
Viale Cristoforo Colombo n. 243
71121 Foggia (FG)
www.bonificadelgargano.it
info@bonificadelgargano.it

- COMUNE DI PESCHICI -



INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A SEGUITO DEGLI ECCEZIONALI EVENTI ATMOSFERICI VERIFICATISI NEI GIORNI DAL 1° AL 6 SETTEMBRE 2014 - TORRENTE ULSE IN AGRO DEL COMUNE DI PESCHICI.

PROGETTO ESECUTIVO

DATA: Agosto 2016

**RELAZIONE IDROLOGICA
ED IDRAULICA**

**Tavola
02**

REV. 00

**REDATTO DA : Settore Tecnico - Agrario
Consorzio di Bonifica Montana del Gargano**

Consulenza:
**Consorzio per la Bonifica
della Capitanata
(Dott. Ing. Nicola Scattarelli)**

I Progettisti
(Dott. Ing. Marco Muciaccia)
(Geom. Nicola A. Torretta)
(Geom. Paolo Piserchia)
(Geom. Claudio Destino)

**Il Responsabile del Procedimento
(Dott. Agr. Luciano Ciciretti)**

1. PREMESSA

Gli eventi meteorici verificatesi nel settembre 2014 hanno arrecato danni di notevoli entità a tutto il territorio che ricade del Comune di Peschici (FG).

In particolare, le intense precipitazioni hanno causato allagamenti ed esondazioni nell'area alluvionale dove scorre il Canale Ulse; tale corso d'acqua, a carattere torrentizio, è stato caratterizzato da alcune situazioni di alta pericolosità soprattutto nel tratto che attraversa il Villaggio Moresco.

In tale tratta, infatti, a causa della presenza in alveo di materiale alluvionale accumulatosi che nel corso del tempo ha ristretto la sezione libera di deflusso, della perdita di alveo generata dalla strada che serve il complesso abitativo "Moresco" sostituitasi all'alveo naturale ed a causa dell'elevata velocità dell'acqua nel canale, si sono determinati fenomeni di erosione con conseguente crollo delle sponde e di parte dei fabbricati del Villaggio che si attestavano direttamente su di esse.

La zona nella quale si sono osservate le problematiche di maggiore gravità non è perimetrata nel PAI come area a pericolosità idraulica (bassa, media od alta) ma tuttavia è interessata da notevoli fenomeni di accumulo di materiale solido.

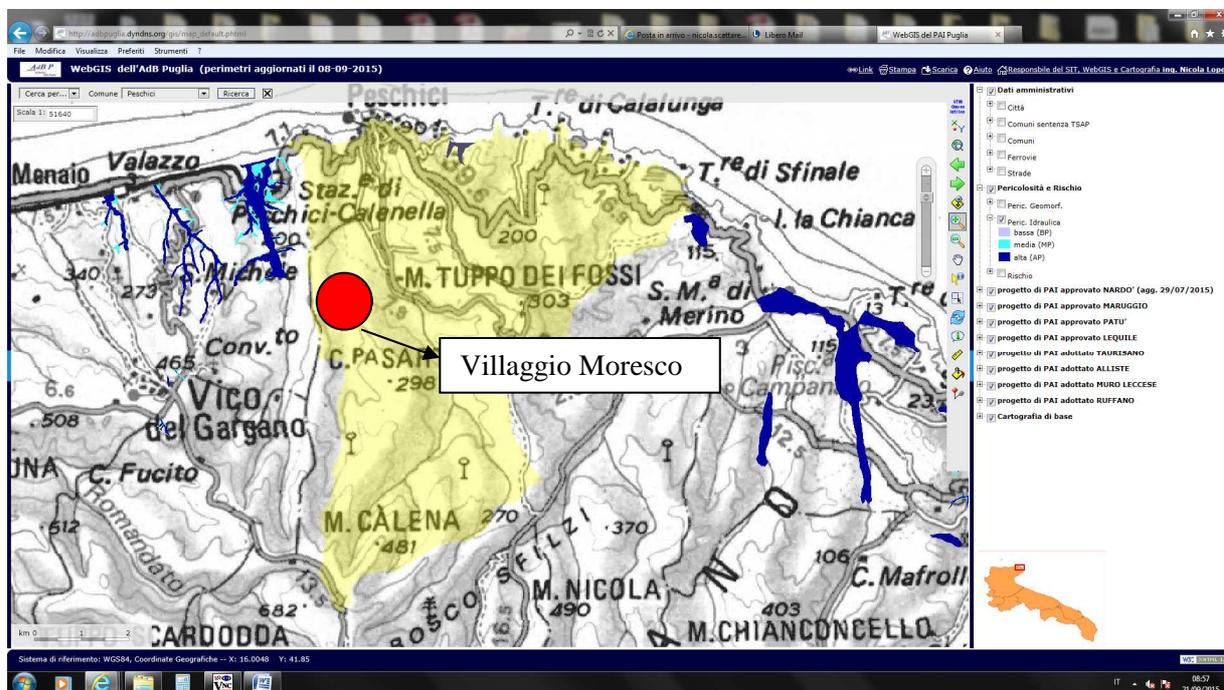


Figura 1: stralcio PAI Puglia con indicazione posizione Villaggio Moresco

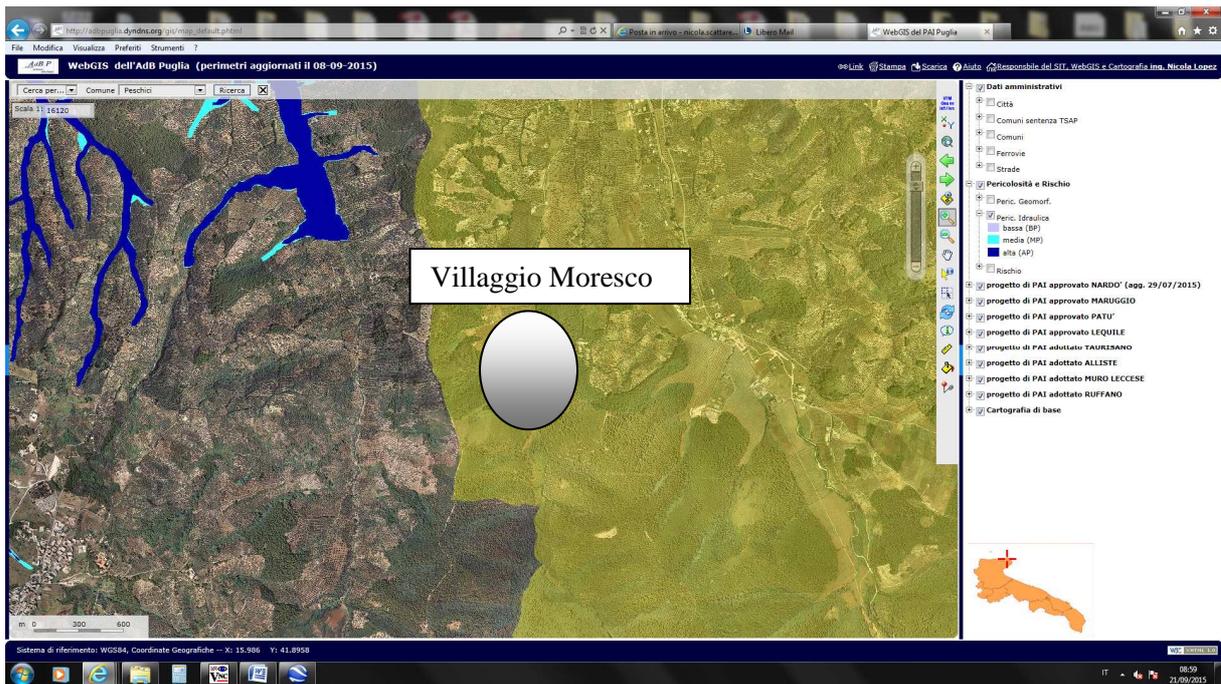


Figura 2: particolare PAI Puglia



Figura 3: particolare alveo in corrispondenza Villaggio Moresco

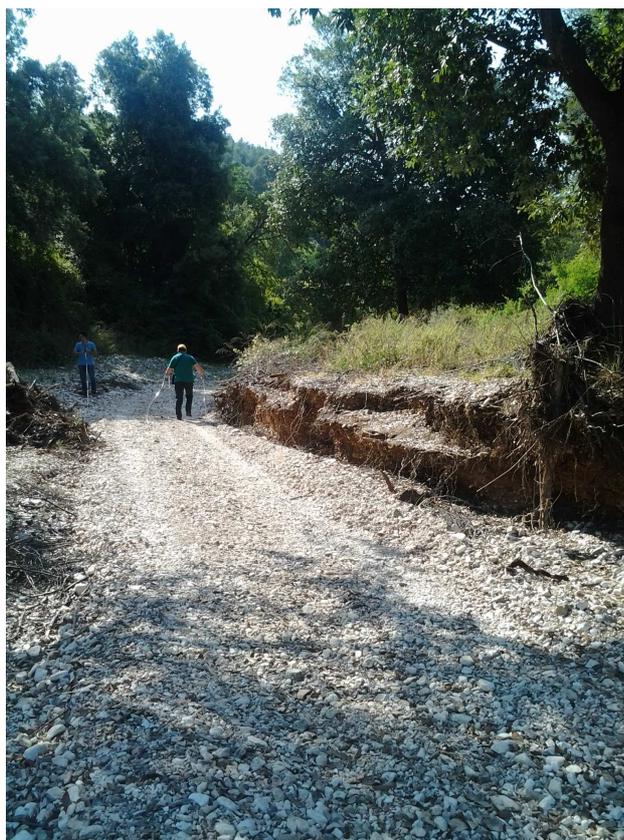


Figura 4: Particolare accumulo materiale solido ed erosione delle sponde

Con nota prot. n. 89 del 12.01.2016, il Consorzio di Bonifica Montana del Gargano trasmetteva alla Regione Puglia, Sezione Protezione Civile, il progetto definitivo dell'intervento, che prevedeva la realizzazione di lavori sul torrente Ulse atti a mitigare il rischio esistente dalla foce sino a circa ml. 100 a monte del "Villaggio Moresco", per un importo complessivo di poco inferiore a €. 4.000.000,00, comunque superiore alla dotazione economica disponibile, pari a €. 2.250.000,00; in particolare era previsto:

- nel tratto compreso tra la foce ed il Villaggio La Brocca, il ripristino dell'efficienza idraulica del torrente mediante la rimozione del materiale solido depositato;
- nel tratto compreso tra il Villaggio La Brocca e circa 100 m a monte del Villaggio Moresco, l'adeguamento alla portata duecentennale della sezione idraulica e la realizzazione di interventi volti alla riduzione della capacità erosiva della corrente e sedimentazione del materiale solido trasportato.

Il Servizio Protezione Civile facendo seguito ad un incontro tenutosi presso i propri uffici in data 3.02.2016 congiuntamente ai tecnici del Consorzio di Bonifica Montana del Gargano e del

Comune di Peschici, riassumeva gli esiti dell'incontro con nota n. 1070 del 4.02.16 e contestualmente chiedeva di revisionare il progetto consegnato, al fine di riferire le lavorazioni alla specificità delle attività dell'Ente finanziatore ed all'entità e finalità del finanziamento disponibile, ritenendo, comunque, non possibile la realizzazione delle previsioni secondo stralci.

Tale rivisitazione, finalizzata sicuramente alla mitigazione del rischio ma senza eliminare definitivamente le principali cause del fenomeno erosivo innanzi indicato, ha dunque fissato l'attenzione su quegli interventi ritenuti prioritari e cioè volti al ripristino dell'efficienza idraulica del torrente a partire dalla foce ed alla protezione della sponda destra del canale in corrispondenza del Villaggio Moresco. La priorità degli interventi è stata determinata al fine di scongiurare la possibilità che anche eventi di piena ordinari possano creare problemi alla incolumità pubblica e privata, rinviando a tempi successivi ed alla disponibilità di ulteriori finanziamenti, la messa in sicurezza dell'intera area mediante l'adeguamento della sezione idraulica ad eventi di piena con tempo di ritorno uguale a 200 anni.

2. Studio idrologico

2.1. Calcolo delle curve di possibilità pluviometrica mediante analisi locale

Le valutazioni idrologiche sono state condotte avvalendosi dei dati resi disponibili dall'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

La stazione pluviometrica considerata è quella di Vieste, vicina al comune di Peschici.

Si evidenzia che la serie storica delle piogge di forte intensità e breve durata (1, 3, 6, 12, 24 h) considerata per la stazione pluviometrica considerata è costituita da un campione di dati uguale a 54 anni.

La continuità campionaria è stata ottenuta inserendo, in luogo dei valori mancanti, le medie delle piogge massime annuali per quella durata.

Regolarizzando gli afflussi meteorici sopra menzionati secondo la distribuzione asintotica del massimo valore del primo tipo di Gumbel, per la stazione pluviometrica di Vieste e per ogni tempo di ritorno in analisi, si è determinata la curva di possibilità pluviometrica del tipo esponenziale monomio:

1)
$$h = a t^n$$

Analizzando statisticamente le coppie di valori (h_i , Δt_i) si sono determinate le curve di probabilità pluviometrica per il bacino del Canale Ulse per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Si riportano nel seguito i dati di pioggia utilizzati per ottenere le curve di probabilità pluviometrica e le corrispondenti equazioni delle curve di probabilità pluviometrica ricavate per il bacino dell'Ulse avente sezione di chiusura in corrispondenza del recapito in mare:

anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1951	18.8	22.6	33.2	56.2	80.6
1952	9.4	13.8	25	31	32.2
1955	27.4	45.8	51.2	61.6	99.4
1956	20.2	44.6	58.6	64.4	74.4
1957	19	25.6	29.8	36.6	38.4
1958	15.4	24.8	27.2	49	52
1959	31.8	31.8	31.8	44.8	46
1960	20	40.6	50.6	54.2	54.2
1961	25.4	45.4	48	48.6	53.8
1962	19	22	24.4	34	48
1963	16.4	21.6	32.4	50.2	68.2
1964	43.8	59	59.8	73.5	75.8
1965	11.2	17.4	25	32.2	43.8
1966	29.2	29.4	32.8	34	49.6
1967	37.8	52.6	52.6	52.6	53.6
1969	52	61	70.4	91.8	102.6
1971	26.4	39.8	40.4	43.2	44.8
1973	23.4	28.2	31.4	42	53.8
1974	35.6	72.4	80.6	85.2	85.2
1975	20.4	29.2	34.8	38	42.4
1976	38.6	40.6	40.6	40.6	59
1977	18	32	32.4	37.6	39.8
1978	19.4	30	38.2	54.6	63
1980	17.2	21.8	40	47	69
1981	20.2	28.4	28.4	30.6	43
1982	23	44.6	56.4	66	82.4
1983	19.6	35.8	37.4	38.4	42.6
1984	15.4	26.8	42.4	48.6	49.8
1985	19.2	23.2	32.4	39.8	47.2
1987	20.8	32.4	40	58.2	63.6
1988	22.8	22.8	23	23	32.4
1989	24	47	62	66.6	68.2
1990	23.6	24	26.2	45.4	-
1991	17.6	31.2	34.6	43	54.2
1993	21	22.8	23.6	28.6	34
1994	-	-	-	-	49.8

1995	-	-	-	-	104.2
1996	19.6	28.2	30.2	36.8	40.8
1997	-	-	-	-	51.2
1998	27.8	42.4	45.2	63	63
1999	29	44.4	49.8	51.2	51.2
2000	31.4	34.4	35.8	50.6	55.2
2001	18.2	19.6	20.4	21.4	30
2002	35.6	45	45.6	56.8	56.8
2003	14.6	24.6	29	35.2	45.6
2004	26.4	27.4	39.6	42	52
2005	20.6	23.6	25.2	26.8	41.8
2006	42.4	44.4	47	74.6	81.8
2007	34.6	47.2	55.8	64.8	75.2
2008	27.6	40.6	46.6	72.2	80.4
2009	20.6	28.8	34	46	55
2010	15.8	24.8	40.4	60.6	81
2011	36.8	54	61.8	65	73.8
2012	24.2	38	43.2	54	77.8

Tabella 1: Altezze di pioggia per durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore

Stazione	Tr = 30	Tr = 200	Tr = 500
Vieste	$h = 62,915 \cdot t^{0,22}$	$h = 83,34 \cdot t^{0,22}$	$h = 93,16 \cdot t^{0,22}$

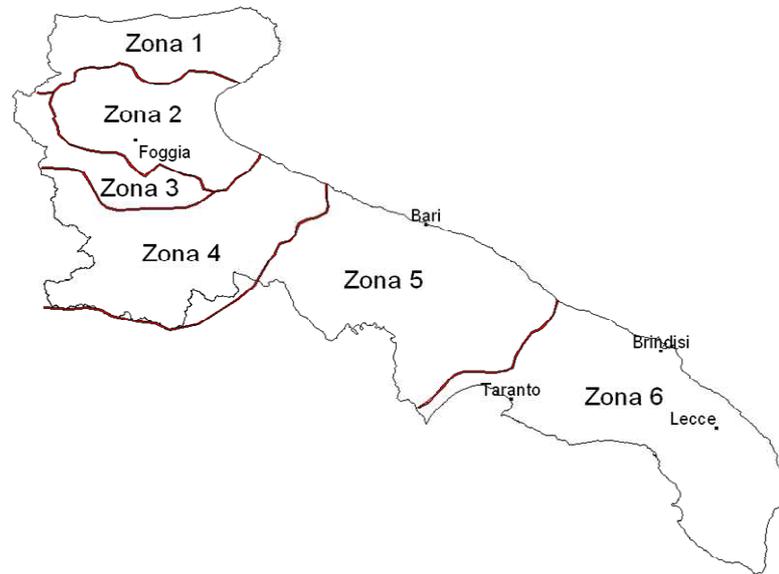
Tabella 2: Equazione della cpp per diversi tempi di ritorno

2.2. Calcolo delle curve di possibilità pluviometrica mediante analisi regionale

Lo studio idrologico è stata condotto anche mediante analisi regionale rifacendosi alle procedure ed ai risultati ottenuti dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la "Valutazione delle Piene in Puglia", nel seguito, denominato "VAPI Puglia".

Fig. 5 : Zone pluviometricamente omogenee

In detto studio è stato dimostrato che la Puglia settentrionale è suddivisibile in quattro aree



“pluviometricamente omogenee” rispetto ai massimi annuali di pioggia giornaliera (fig. 5) e che esiste un legame caratteristico che lega il valor medio dei massimi annuali della precipitazione media $m[h(d)]$ e la quota Z delle stazioni di misura attraverso l’espressione:

2)
$$m[h(d, Z)] = a \cdot d^{n(Z)}$$

con:
$$n(Z) = \frac{CZ + D + Ln\alpha - Lna}{Ln24}$$

essendo: $\alpha = \frac{x_g}{x_{24}}$ = rapporto tra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 h per serie storiche

relative ad uno stesso periodo di misure. Per la Puglia il valore del coefficiente α è risultato costante sull’intera regione e pari a 0,89. Nel caso delle aree omogenee 2 e 4 non è stata riscontrata la variabilità del coefficiente di potenza n con la quota mentre, nelle zone 1 e 3, questa dipendenza esiste. Il bacino del canale Ulse ricade nell’area omogenea n. 1 per cui la relazione che lega il valor medio dei massimi annuali alla durata delle precipitazioni è dipendente dalla quota della stazione pluviometrica di riferimento e vale:

3)

$$x(t) = 26.8 \cdot t^{(0.72+0.000503z)/3.178}$$

Per la determinazione degli eventi estremi corrispondenti ad un prefissato tempo di ritorno, dopo aver calcolato, per ciascuna durata di pioggia (si assumono durate di 1, 3, 6, 12 e 24 h), il coefficiente di riduzione areale dato dalla:

4)

$$K_A(d) = 1 - [1 - \exp(-c_1 S) \times \exp(-c_2 d^{c_3})]$$

con:

d, S = durata di pioggia (h) e superficie del bacino (kmq) in questione

$c_1 = 0,0021$; $c_2 = 0,53$; $c_3 = 0,25$ coefficienti validi per la Puglia

si introduce il coefficiente probabilistico di crescita K_T che, per le piogge della Puglia, vale:

5)

$$K_T = 0,5648 + 0,415 \cdot \ln T$$

Per i tempi di ritorno considerati nel presente studio, si ha:

Tr (anni)	30	200	500
K_T	1,98	2,77	3,15

Tabella 3: Fattori probabilistici di crescita per le piogge

Essendo $S = 10,72$ kmq per il bacino oggetto di studio, con la 3), la 4) e la 5), per ciascun tempo di ritorno, si ricava la curva di possibilità pluviometrica per il bacino oggetto di indagine:

Tr = 30 anni	Tr = 200 anni	Tr = 500 anni
$h = 53,07 \cdot t^{0,259}$	$h = 74,24 \cdot t^{0,259}$	$h = 84,42 \cdot t^{0,259}$

Tabella 4: Curve di probabilità pluviometrica con metodo regionale

2.3. Analisi del bacino idrografico e determinazione del coefficiente di deflusso

Per la determinazione delle caratteristiche intrinseche del bacino e dei suoi sottobacini, si fa riferimento a quanto indicato nel progetto “Interventi di mitigazione del rischio idraulico del canale Ulse” a firma dell’Ing. Nicola Soldano; in tale progetto le analisi effettuate su tutto il bacino imbrifero riportano una pendenza media variabile tra il 5% ed il 7% con formazioni geologiche caratterizzate nella zona a maggior pendenza (verso monte) da “Formazioni dei calcari e Nummuliti di Peschici” e nella zona più a valle da tipi di natura alluvionale “detrito di falda” olocenico, costituiti da terreni brunastri e rossicci limosi debolmente argillosi e sabbiosi, contenuti abbondanti elementi

litoidi sub angolari ed arrotondati, calcarei e silicei di varia pezzatura (centimetrici e decimetrici).

L'analisi degli elementi caratteristici porta a poter assumere un valore del coefficiente di deflusso medio uguale a 0,45.



Figura 5: Bacino canale Ulse

2.4. Calcolo delle portate al colmo di piena con metodo locale razionale

Mediante analisi cartografica si sono individuate le caratteristiche morfometriche del bacino del canale Ulse necessarie alla determinazione del tempo massimo di corrivazione con la formula di Giandotti:

6)
$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_{\min}}}$$

Si sono pertanto calcolati i percorsi idraulicamente più lunghi, le aree complessive e quelle racchiuse tra isoipse consecutive, arrivando alla determinazione dell'altitudine media H_m calcolata con la:

$$7) \quad H_m = \sum \frac{h_i \times S_i}{S}$$

ove:

h_i, S_i = quota media e superficie parziale tra curve di livello successive

I risultati dello studio di bacino ottenuti sono riassunti nella tabella seguente:

BACINO	S (kmq)	Hm (m)	L (km)	t_c (h)
Ulse	10,72	207,91	10,80	2,54

Tabella 5: Parametri morfometrici e tempo di corrivazione per il bacino in esame

La natura prevalentemente impermeabile del bacino in esame consente di attribuire nella formula 7bis), a vantaggio di sicurezza, un coefficiente di deflusso ϕ pari a 0,45.

$$7bis) \quad Q(mc/s) = \frac{\phi \cdot a \cdot t_c^{n-1} \cdot S}{3,6}$$

Adoperando la curva di probabilità pluviometrica trovata valida per l'intero bacino in esame mediante analisi locale si ricavano, con il metodo di Giandotti, le portate al colmo di piena in corrispondenza dei vari tempi di ritorno d'interesse:

Deflusso C = 0,45			Giandotti			
Tr (anni)	a	n	t _c (ore)	h (mm)	ic	Q (mc/s)
30	53,07	0,259	2,54	77,23	30,41	40,75
200	74,24	0,259	2,54	102,31	40,28	53,98
500	84,42	0,259	2,54	114,36	45,03	60,34

Tabella 6: Portata al colmo di piena con metodo locale razionale (Giandotti)

2.5. Calcolo delle portate al colmo di piena con metodo regionale

La valutazione della portata di piena nella sezione di interesse è stata determinata utilizzando anche il metodo CN SCS; il metodo del Soil Conservation Service è una procedura, molto applicata

in ambiente americano e consente sia di determinare il volume della piena attesa o la sua portata al colmo, sia la completa ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Per la determinazione del volume di piena il metodo si basa sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

in cui i termini sono espressi in millimetri e si è indicato con V il volume di deflusso, con P_n la precipitazione netta, con W l'invaso del suolo, cioè il volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo, mentre con S il valore massimo del suddetto invasivo.

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale P le perdite iniziali I_a dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabile alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per la loro morfologia, consentono l'accumulo dei volumi idrici; all'intercettazione ad opera della copertura vegetale presente; ed all'infiltrazione prima della formazione del deflusso:

$$P_n = P - I_a$$

Tenendo conto che le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo mediante la seguente relazione:

$$I_a = 0.2S$$

e che la precipitazione netta P_n si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W$$

sostituendo il valore di W ricavato da quest'ultima nella prima relazione, tenendo conto dell'espressione della pioggia netta e del valore delle perdite iniziali, si perviene alla seguente relazione:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

L'applicazione di tale relazione presuppone, oltre alla conoscenza della precipitazione totale P, la stima del massimo invasivo S del suolo che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra zero (suolo perfettamente impermeabile) e infinito (nessuna formazione di deflusso).

La valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25,4 (1000/CN - 10)$$

in cui figura in parametro CN, denominato curve number, che assume valori compresi tra 100 e 0.

Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a formare deflusso ed è stato stimato, per il bacino considerato, sulla base dei valori riportati nella seguente tabella, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presente nel bacino.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrologiche dei suoli, il SCS ha effettuato una distinzione in quattro classi:

1. CLASSE A: permeabilità *alta* (capacità di infiltrazione molto elevata, scarsa potenzialità di deflusso).
2. CLASSE B: permeabilità *media* (elevata capacità di infiltrazione, moderata potenzialità di deflusso).
3. CLASSE C: permeabilità *bassa* (scarsa capacità di infiltrazione e saturazione, potenzialità di deflusso moderatamente alta).
4. CLASSE D: permeabilità *nulla* (scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione, potenzialità di deflusso molto elevata; pressoché impermeabili).

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tabella 7: Valori del coefficiente CN per la condizione AMCII

Il metodo tiene conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati nella tabella precedente si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominato per questo AMCI.

La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente all'interno del bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica.

A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella tabella precedente, il valore di CNb dell'intero bacino è stato ottenuto come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per la singole aree omogenee.

L'individuazione, per il bacino oggetto di studio, delle aree omogenee per destinazione d'uso e condizione idrica è stata effettuata mediante l'utilizzo del software Arc Gis 9.3 che ha permesso di intersecare gli shape_file di uso del suolo e permeabilità estraendo dal risultato ottenuto le aree omogenee desiderate.

Successivamente si è associata ad ogni area individuata il valore del parametro CN, ottenendo un nuovo raster rappresentativo dell'andamento, rispetto all'estensione del Bacino Idrografico, del parametro CN.

Per il calcolo della portata al colmo Q_p [m^3/s] con il metodo SCS, si è considerato un idrogramma di forma triangolare (Figura sottostante),

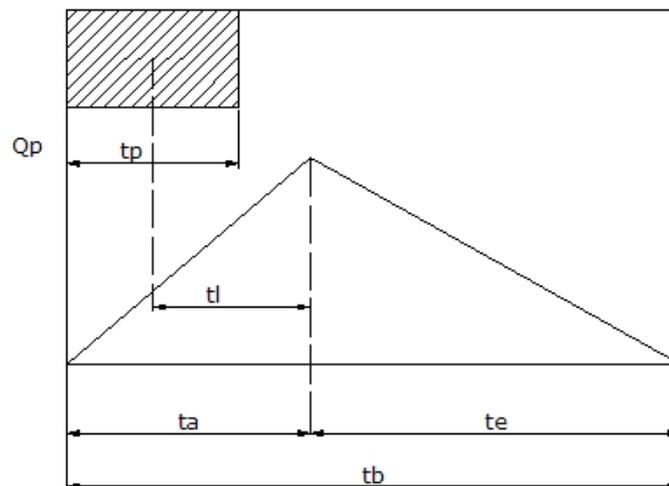


Figura 6: Idrogramma triangolare

che ha una fase crescente di durata t_a ed una fase di esaurimento di durata t_e e il cui volume, espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

$$Vol = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2} \quad (*)$$

avendo indicato con t_b la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma di piena defluisce un volume idrico pari al 35.7% del volume totale V di deflusso, è possibile stabilire la relazione che lega t_a a t_b dalla seguente:

$$0.375 \frac{Q_p}{2}(t_b) = \frac{Q_p}{2}(t_a)$$

e cioè:

$$t_b = 2.67 t_a$$

Sostituendo quest'ultima nella espressione che lega il volume a t_b (*), esprimendo il volume di deflusso V (porzione di precipitazione netta che defluisce dalla sezione di controllo) in millimetri, l'area del bacino in chilometri quadrati e il tempo t_a in ore; si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a} \quad [m^3 / s]$$

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e di tempo di ritardo noto del bacino, si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0.5 t_p + t_l$$

L'applicazione della procedura precedentemente esposta al bacino individuato, considerando un tempo di pioggia t_p pari al tempo di corrivazione del bacino ed un tempo di ritardo determinato con la formula di Mockus, ha condotto alla determinazione della portata al colmo di piena per diversi tempi di ritorno:

Tr (ore)	Superficie bacino (Kmq)	CN medio	Portata (mc/sec)
30	10,72	77,2	40,06
200	10,72	77,2	64,81
500	10,72	77,2	77,09

Tabella 8: Portate determinate con il metodo SCS

2.6. Calcolo delle portate al colmo di piena con metodo regionale

Infine, si sono calcolati valori di portata al colmo con la metodologia VAPI.

Il rapporto VAPI Puglia definisce anche le procedure per la stima indiretta della piena media annua per bacini nei quali, come il bacino oggetto di studio, non esiste una stazione di misura idrometrica nella sezione d'interesse.

Nel seguito si fa riferimento alle procedure di stima della portata media dei massimi annuali (piena indice), che alla stregua di quanto esposto per le precipitazioni pluviometriche, rappresenta il fattore base a partire dal quale, attraverso la stima del fattore probabilistico di crescita $K_T(Q)$, è possibile ottenere i valori della portata massima attesa al variare del tempo di ritorno.

Tr (anni)	30	200	500
$K_T(Q)$	2,67	4,39	5,22

Tabella 9: Fattori probabilistici di crescita per le portate massime in Puglia.

Per il calcolo della portata al colmo di piena è stato utilizzato un modello regionale concettuale, quello della cosiddetta “formula razionale”.

Lo studio condotto nell'ambito del progetto VAPI ha, infatti, evidenziato che la piena indice di un bacino può essere determinata tramite la:

$$10) \quad \mu(Q) = \frac{C^* K_A(T_\gamma) \mu[I_A(T_\gamma)] A}{3.6}$$

ove:

C^* (coefficiente probabilistico di piena) = rapporto tra volume di piena e precipitazioni totali in un prefissato intervallo di tempo;

$K_A(d)$ = fattore di riduzione areale dell'intensità di pioggia sul bacino di area A in funzione della durata;

T_γ (tempo di ritardo del bacino) = distanza temporale (h) tra il baricentro dell'idrogramma di piena e quello dello ietogramma netto che lo ha generato.

Dallo studio regionalizzato condotto per la Puglia, si è visto che i parametri sopra riportati sono dati dalle seguenti relazioni:

$$11) \quad C^* = 0,09 + 0,47 (1 - PE)$$

con:

PE = percentuale di superficie del bacino caratterizzata da permeabilità medio-elevata.

12)
$$K_A(d) = 1 - [1 - e^{-c_1 A}] \cdot e^{-c_2 d^{c_3}}$$

con:

$c_1 = 0,0021; c_2 = 0,53; c_3 = 0,25$

13)
$$T\gamma = 0,344A^{0,5}$$

con:

A (kmq) = superficie del bacino

Il coefficiente probabilistico di piena C* è stato “mappato” per la Puglia settentrionale studiando alcuni bacini pilota.

Nota l’area del bacino, per ciascuna durata di pioggia, si è calcolato il valore di $K_A(T_r)$, corrispondente al tempo di ritardo del bacino.

Successivamente, adoperando la legge di pioggia riportata nella 3), si è determinata l’intensità di precipitazione di durata T_r e, quindi, il valore della piena indice.

I risultati dello studio sono i seguenti:

Tr = 30 anni	Tr = 200 anni	Tr = 500 anni
49,42	69,14	78,63

Tabella 10: Portate al colmo di piena calcolate mediante analisi regionale concettuale

I valori trovati sono più grandi di quelli determinati mediante analisi locale (Giandotti), per cui a favore di sicurezza, nei calcoli idraulici saranno utilizzati i valori di portata calcolati con la metodologia VAPI.

2.7. Confronto con i valori certificati dall’ADB Puglia

Per una maggiore certezza nella correttezza dei risultati ottenuti nello studio delle portate defluenti dal bacino idraulico del Torrente Ulse, con nota prot. 5706 del 29/10/2015 il Consorzio di Bonifica Montana del Gargano ha chiesto all’Autorità di Bacino della Regione Puglia di certificare le caratteristiche morfometriche del bacino in esame e delle rispettive portate.

Con nota 15368 del 3.11.2015, l’ADB ha comunicato i seguenti parametri caratteristici del bacino e le portate associate a diversi tempi di ritorno (30 anni, 200 anni e 500 anni):

BACINO	ULSE
Area (kmq)	11,03
Zmedio (m.s.l.m.)	203,28
Zmax (m.s.l.m.)	579,01
Zmin (m.s.l.m.)	1,29
im (m/m)	0,05
iv (m/m)	0,29
L (km)	10,60
Ltot (km)	10,08
Lca (km)	4,48
Q30 (mc/s)	40,85
Q200 (mc/s)	69,74
Q500 (mc/s)	84,42

Dal confronto di evince che i risultati ottenuti dallo studio del bacino idraulico oggetto di intervento, differiscono di poco dai valori comunicati dall'Autorita di Bacino della Puglia.

Nella modellazione idraulica, quindi, sono stati utilizzati tali valori di portata.

3. Progetto per il ripristino e l'adeguamento della sezione idraulica

Il presente studio ha come obiettivo principale quello di ripristinare le condizioni di deflusso del canale Ulse lungo la tratta montana che da circa 100 m a monte del Villaggio Moresco arriva fino alla foce; l'intervento consiste nel risagomare la sezione in grado di smaltire in sicurezza una portata di piena avente tempo di ritorno di trenta anni e nel proteggere le strutture abitative del villaggio Moresco in destra idraulica.

Il progetto consisterà, dunque, nei seguenti interventi:

- Rimozione del materiale accumulato in alveo dalla foce sino a 100 m. a monte del "Villaggio Moresco", con previsione di riutilizzo di parte del materiale stesso quale rinfianco delle opere di protezione in corrispondenza del medesimo Villaggio;
- Risagomatura e riprofilatura delle sezioni del canale immediatamente a valle del Villaggio Moresco e fino al termine dell'intervento a monte dello stesso, con sezione idraulica avente forma trapezia di base mt 5,00 e sponde di altezza variabile con pendenza 3/2;
- Realizzazione di n. 5 salti di fondo necessari a conferire al profilo del canale una pendenza costante dell'1,5%;
- Rivestimento dell'alveo al piede dei salti di fondo con scogliera di pietrame per una lunghezza di mt 6,00;

- Rivestimento in sinistra idraulica alla base dei salti di fondo, in scogliera di pietrame per una lunghezza di mt 12,00
- Rivestimento in destra idraulica delle sezioni più critiche con scogliera di pietrame;
- Traslazione modesta in sx idraulica dell'originario andamento del canale in prossimità del Villaggio Moresco, finalizzata ad una migliore protezione delle sponde del canale;
- Realizzazione di gabbioni sulla sponda destra dell'Ulse, su tutto il fronte del Villaggio Moresco;
- Ripristino dell'officiosità idraulica del canale nelle tratte sistemate esistenti a valle del villaggio e fino allo sbocco, questo lasciato così come definito dall'evento naturale

Fissate le caratteristiche idrogeomorfologiche del bacino imbrifero suddetto ed effettuato il calcolo della portata massima nella sezione di chiusura, ovvero il picco dell'idrogramma di piena relativamente al tempo di ritorno di 30 anni, si è proceduto alla verifica del reticolo idrografico, negli scenari ante e post operam, in condizioni di moto vario mediante l'ausilio del software Infoworks ICM.

Il modello idraulico esaminato è composto dalla tratta del Canale Ulse fino al suo recapito in mare, studiato utilizzando cartografia LIDAR integrata con rilievo di dettaglio.

Per garantire, dunque, un miglioramento nelle condizioni di deflusso e per ridurre il regime di trasporto solido, causa della riduzione di buona parte della sezione idraulica (soprattutto in corrispondenza degli attraversamenti presenti sulla tratta a valle del villaggio Moresco), si è assegnata una pendenza costante al fondo alveo tramite l'introduzione lungo il tracciato di salti di fondo.

Il valore della pendenza di è stato determinato mediante la formula Della Lucia-Fattorelli:

$$i_s = a \times i$$

in cui i è la pendenza preesistente l'intervento di sistemazione ed a è un coefficiente di proporzionalità che vale mediamente 0,66.

4. Tracciamento Aree Inondabili

Per la definizione delle aree allagabili si è modellato il torrente Ulse tramite il software bidimensionale Infoworks ICM, allo scopo di verificare che l'intervento in progetto garantisca un miglioramento delle condizioni di deflusso rispetto allo stato attuale.

Il modello idraulico costruito è costituito da un modello accoppiato “1D – 2D” dove in 1D è stato costruito il canale con le sezioni trasversali ed in 2D il terreno immediatamente confinante con esso.

4.1 Software di modellazione idraulica bidimensionale InfoWorks ICM

Infoworks ICM è un software di modellazione bidimensionale che permette la verifica e la progettazione di schemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche, corsi d’acqua naturali con sezioni aperte e zone golenali.

I risultati prodotti da InfoWorks ICM consentono di poter definire i percorsi idraulici e le aree di esondazione su di un modello bidimensionale integrato.

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull’equazione dell’acqua superficiale, relativa cioè all’altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (hu^2 + gh^2/2) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (hv^2 + gh^2/2) \\ = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D} \end{aligned} \quad (3)$$

Dove:

h è l’altezza dell’acqua;

u e v sono rispettivamente le velocità nelle direzioni x e y;

S_{0,x} e S_{0,y} sono rispettivamente le pendenze dell’alveo nelle direzioni x e y;

S_{f,x} e S_{f,y} sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni x e y;

q_{1D} è la portata per unità di area;

u_{1D} e v_{1D} sono rispettivamente le componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y.

Questa formulazione conservativa dell’equazione dell’acqua superficiale è discretizzata

utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

Il modulo 2D può essere collegato con una rete 1D, che può essere costituita da un sistema di drenaggio, canali o fiumi. Il legame tra le celle 2D e rete 1D è realizzato mediante fuoriuscite laterali o in linea con i canali 1D e dalla rappresentazione di tombini per le condotte 1D.

Il modello idraulico InfoWorks usa una maglia triangolare derivante dal modello digitale del terreno (DTM) che descrive l'andamento altimetrico del territorio.

Ogni maglia, creata in maniera automatica dal software, costituisce l'unità del calcolo bidimensionale all'interno dell'area di studio.

Le simulazioni bidimensionali vengono condotte su aree al cui interno vengono definite delle zone (maglie) a cui vengono assegnate adeguati coefficiente di scabrezza.

Per completare la definizione del modello idraulico, per ogni maglia, si introduce lungo il perimetro dei domini 2D la condizione al contorno 2D (2D Boundary) di Normal Depth, che permette di definire per un determinato tratto del confine un comportamento diverso da quello previsto dalle proprietà generali dei domini 2D.

L'inserimento dei valori di portata attraverso un idrogramma di piena (simulazione in moto vario) oppure attraverso un unico valore costante nel tempo (simulazione in moto permanente), consente di poter simulare nel canale di progetto il comportamento della vena liquida.

Lanciano le simulazioni indicando durata, time-step di calcolo e time-step di salvataggio dei risultati, si ottengono i risultati dei percorsi idraulici e le relative aree di influenza della piena attesa per il tempo di ritorno assegnato.

4.2 Implementazione del software di modellazione idraulica bidimensionale InfoWorks ICM

La modellazione idraulica è stata effettuata su base cartografica LIDAR messa a disposizione Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare; ferme restando le caratteristiche fisiche dell'alveo nelle condizioni Ante e Post intervento, si è proceduto all'analisi delle effettive condizioni di deflusso idrico all'interno dell'area indagata.

I valori di portata utilizzati sono quelli certificati dall'ADB Puglia con nota 15368 del 3.11.2015.

L'analisi è stata effettuata in condizioni di moto vario assegnando un idrogramma di piena per i valori di portata corrispondenti al tempo di ritorno uguale a 30.

Si rimette nel seguito stralcio dei risultati ottenuti per la zona di interesse dal quale si evince che

l'intervento in progetto riesce a contenere in alveo la portata di piena di assegnato tempo di ritorno e migliora, quindi, le condizioni di deflusso Post Operam.

5. Verifica tensioni di trascinamento

5.1 Dimensionamento della scogliera

Essendo in condizioni di bassa sommergenza ($h/dm < 6$) con turbolenza ed aerazione molto elevate, vale la relazione:

$$\text{Ln}(12,3 \ h/dm) = 3,4$$

Nella sezione soggetta alle maggiori tensioni tangenziali, si ha:

$$dm = 0,60 \text{ m}$$

5.2 Verifica tensioni tangenziali

Consultando la letteratura esistente si evince che la resistenza agli sforzi tangenziali per una scogliera semplicemente appoggiata è pari a $\tau_{amm} = 400 \text{ N/mq}$.

Dall'output della modellazione nella situazione di progetto (escludendo le sezioni ubicate in corrispondenza dei salti di fondo e delle vasche di dissipazione a valle dei salti e quindi nella realtà beneficianti dell'effetto del "cuscino d'acqua" per la riduzione delle tensioni) si evince che nella sezione più sollecitata si verifica la seguente tensione tangenziale:

$$Q_{30} = 40,85 \text{ mc/s}$$
$$\tau = 305,61 \text{ N/mq (sez. Pk 4430.536)}$$

Sulle sponde la tensione tangenziale può ritenersi pari a 0,75 volte quella di fondo alveo.

Da tutto quanto sopra esposto si deduce che la tensione tangenziale di trascinamento che si genera nella sezione più sollecitata è sempre inferiore a quella ammissibile per il materiale scelto come rivestimento:

$$\tau_{max} = 305,61 \text{ N/mq} < \tau_{amm} = 400 \text{ N/mq}$$

5.3 Verifiche idrauliche

Come detto in premessa, l'alluvione verificatasi nel settembre 2014 ha provocato fenomeni erosivi all'alveo del canale Ulse che hanno generato problemi di natura statica ai fabbricati del Villaggio Moresco, questo sviluppatosi in adiacenza al corso d'acqua suddetto.

Per evitare ulteriori danni dovuti ad un evento alluvionale ordinario, si prevede di eseguire

interventi volti al ripristino della sezione idraulica di deflusso del canale ed alla protezione della sponda destra del villaggio Moresco.

La sezione “tipo” definita in tale tratto è una sezione trapezia di base uguale a 5,00 m, altezza variabile e scarpa 3/2.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate in condizioni di moto vario e per portata pari a 40,85 mc/s per Tr uguale a 30 anni.

Per quanto riguarda il coefficiente di scabrezza, è stato adottato un valore del coefficiente di scabrezza di Manning per il tipo di alveo pari a 0,03 s/m^{1/3} nelle condizioni ante operam e 0,032 s/m^{1/3} nelle condizioni post operam.

5.4 Verifiche sezioni idrauliche associate alle massima portate transitabili

Per meglio comprendere la capacità di deflusso delle sezioni idrauliche del canale nei confronti di una portata con assegnato tempo di ritorno, si è proceduto ad analizzare il sistema in regime di moto vario.

Dalle elaborazioni effettuate in corrispondenza degli attraversamenti che dimostrano criticità nei confronti del deflusso delle portate di piena è possibile concludere che:

- L’attraversamento n. 2 risulta essere caratterizzato da una capacità di deflusso insufficiente nei confronti di una portata di piena avente tempo di ritorno uguale a 30 anni;
- Gli attraversamenti n. 7, n. 8, n. 10 e n. 11 risultano essere caratterizzati da una capacità di deflusso insufficiente nei confronti di una portata di piena avente tempo di ritorno uguale a 200 anni;
- Gli attraversamenti n. 8, n. 10 e n. 11 risultano essere caratterizzati da una capacità di deflusso massima pari a quella generata da una portata di piena avente tempo di ritorno uguale a 40 anni.

Segue tabella riepilogativa dei risultati ottenuti:

Attraversamento	Portata max (mc/s)	Tempo di ritorno (anni)
2	< 40,85	< 30
7	< 69,74	< 200
8	44,34	40
10	< 40,85	40
11	44,34	40

In particolare, dalle simulazioni effettuate si evince che il canale Ulse, nelle condizioni Post Operam, consente il deflusso senza esondazioni di una portata pari a quella con tempo di ritorno di 30 anni; inoltre, la verifica effettuata sulla sezione di progetto dimostra che per valori di portata compresi tra 30 e 200 anni ottenuti interpolando le portate certificate dall'ADB Puglia, il canale contiene una portata di piena corrispondente ad un evento con tempo di ritorno compreso tra i 100 ed i 150 anni.

ALLEGATI

- Tabulati di calcolo