

## Aeroporto "Marcello Arlotta" di Taranto Grottaglie

Alessandro Busci "Aeroporto blu" (2006)



### Piano di Sviluppo Aeroportuale 2030

### INTEGRAZIONI PER PROCEDIMENTO VIA

*Verifica della sicurezza idraulica dell'intero  
sedime aeroportuale nell'ambito della VIA del  
Masterplan*

*Relazione tecnica*



Committente



**AEROPORTI DI PUGLIA**

Direttore Generale/Accountable Manager: Dott. Marco Franchini  
Responsabile del Procedimento: Ing. Donato D'Auria

Progettista



**Progettista**

Ing. Gianluca CALACE  
Ord. Ing. Padova  
Sez. A - n. 3605



**Studio di impatto  
ambientale**

Ing. Alessandra LISIERO  
Ord. Ing. Venezia  
n. 3517



**Consulente**

Ing. Salvatore VERNOLE  
Ord. Ing. Bari  
Sez. A - n. 5736





Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI PRESENTI SUL TERRITORIO</b> .....	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI PRESENTI SUL TERRITORIO</b> .....	<b>14</b>
3.1.	FOSSO MACCHIONE.....	15
3.2.	FOSSO MADONNA DEL PRATO .....	19
3.3.	FOSSO DELLE MONACHE.....	21
<b>4.</b>	<b>ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI</b> .....	<b>24</b>
4.1.	IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	25
4.2.	INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI E DEI LORO PARAMETRI CARATTERISTICI .....	26
<b>5.</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b> .....	<b>28</b>
5.1.	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	28
5.2.	APPLICAZIONE DEI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI .....	34
<b>6.</b>	<b>ANALISI IDRAULICA</b> .....	<b>43</b>
6.1.	TEORIA DEL MODELLO IDRAULICO .....	43
6.1.1	<i>Hec Ras: la propagazione delle piene in un dominio di calcolo monodimensionale</i> .....	43
6.1.2.	<i>Flo2D: la propagazione delle piene in un dominio di calcolo bidimensionale</i> .....	48
6.1.3.	<i>Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento</i> .....	50
6.2.	APPLICAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO IDRAULICO.....	53
6.2.1.	<i>Rilievo topografico</i> .....	53
6.2.2.	<i>Analisi idraulica: propagazione monodimensionale</i> .....	57
6.2.3.	<i>Analisi idraulica: propagazione bidimensionale</i> .....	67
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLA SICUREZZA IDRAULICA</b> .....	<b>75</b>
<b>8.</b>	<b>NUOVA PERIMETRAZIONE</b> .....	<b>87</b>
<b>8.</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE - POSSIBILI SOLUZIONI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO</b> .....	<b>90</b>
8.1.	AUTOMATIZZAZIONE SISTEMI DI APERTURA DELLE GRIGLIE.....	91
8.2.	TRATTI ARGINATI –FOSSO MACCHIONE E FOSSO DELLE MONACHE .....	91
8.3.	ATTRAVERSAMENTO FOSSO MACCHIONE.....	92
8.4.	ATTRAVERSAMENTO FOSSO MADONNA DEL PRATO.....	92
8.5.	ATTRAVERSAMENTO FOSSO DELLE MONACHE.....	94
<b>9.</b>	<b>CONSIDERAZIONI SULL'INVARIANZA IDRAULICA RELATIVA ALLE ACQUE METEORICHE DI PIATTAFORMA</b> .....	<b>97</b>

## Tavole grafiche

<i>Cod</i>	<i>Titolo</i>	<i>Scala</i>
I03_02	Rappresentazione delle aree allagabili	1:5.000

## 1 PREMESSA

In data 26/07/2018 la Commissione Tecnica Di Verifica Dell'impatto Ambientale – Via E Vas del Ministero Dell'ambiente E Della Tutela Del Territorio E Del Mare ha richiesto che la documentazione tecnica già trasferita venisse integrata da una serie di valutazioni ed elaborazioni tra cui, al punto n.3:

*Una Relazione Tecnica Specialistica sulla compatibilità e sicurezza idraulica che analizzi e verifichi lo stato attuale del tombamento dei tre canali, Fosso delle Monache (Canale Simone), Fosso della Madonna del Prato, Fosso Macchione (Canale Sessolo). A tale Documentazione la Regione Puglia tramite l'Ente di Bacino competente dovrà comunque esprimere il proprio parere di competenza.*

Precisato preliminarmente che la Regione Puglia non dispone di un Ente di Bacino per l'espressione del parere sulla compatibilità e sicurezza idraulica dei tre fossi ma, per effetto della recente riforma delle Autorità di Bacino lo stesso parere è in capo all'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale che fa comunque capo allo stesso Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, il presente studio viene redatto al fine di dare ottemperanza alla suddetta prescrizione n.3, quindi verificare le opere idrauliche esistenti e recentemente realizzate all'intersezione con i tre fossi delle Monache, Madonna del Prato e Macchione.

A tal scopo si è reso necessario eseguire un'indagine in una scala di dettaglio adeguato all'area di effettivo interesse, operando approcci metodologici del tutto analoghi a quelli usualmente impiegati dall'Autorità di Bacino di Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale, per la valutazione delle pericolosità idrauliche già definite all'interno del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

Le valutazioni condotte e descritte in questa relazione, sono da considerarsi maggiormente aderenti alla realtà dei luoghi in quanto basate su di un quadro conoscitivo aggiornato rispetto a quello degli studi eseguiti e già validati dalla stessa Autorità di Bacino, nel 2005 dal Politecnico di Bari e dall'Aeroporti di Puglia nel 2005 (costruzione dei tratti tombati) e nel 2015.

Essi tengono conto delle opere idrauliche recentemente ultimate e degli effetti positivi che le stesse hanno introdotto in termini di incremento della sicurezza idraulica dell'area aeroportuale.

Lo studio condotto ha riguardato varie fasi, anche molto complesse, che in definitiva hanno consentito di definire le aree di allagamento attese in occorrenza di eventi con tempo di ritorno di 30, 200 (valore a cui corrisponde la definizione di sicurezza idraulica come da art.36 delle NTA del PAI) e 500 anni.

Nel presente lavoro, la determinazione dei parametri di progetto, si è basata inizialmente sui dati contenuti negli studi già eseguiti che hanno prodotto importanti infrastrutture idrauliche e ripermetrazioni nel sedime aeroportuale

In particolare:

- studio idraulico a corredo del progetto di "*Potenziamento land-side e air side per la realizzazione di una piattaforma logistica aeronautica*" (2005)
- *Studio per la ripermetrazione dell'area di pericolosità idraulica prevista dal Piano di Assetto Idrogeologico per il Fosso Madonna del Prato*" (2014)

Successivamente i dati sono stati confrontati con quelli ufficiali contenuti nei piani di gestione idraulica del Territorio (*Piano di Gestione del rischio alluvioni*-Direttiva comunitaria 2007/60/CE D.Lgs 49/2010, Dlgs 219/2010)

Nella relazione sono comunque riportati in sintesi le grandezze idrologiche contenute negli studi integrate dai parametri idraulici dedotti dalle analisi condotte.

Una volta determinati i parametri di progetto, grazie all'acquisizione del rilievo Lidar sull'intera area e di rilievi topografici GPS-RTK eseguite ad hoc, si è costruito il modello tridimensionale (DTM) dell'ampio sito oggetto di interesse e dell'ampio dominio attraversato dai tre reticoli idrografici (Fossi) in precedenza menzionati.

Su di esso è stata simulata la propagazione delle onde di piena mediante un modello di calcolo idraulico a schema monodimensionale prima, bidimensionale dopo.

La complessità dello studio svolto ha dato luogo allo sviluppo di più fasi che vengono nel seguito elencate:

### **Fase Preliminare**

---

- Indagine conoscitiva preliminare dell'area di esame;
- individuazione ed analisi del reticolo idrografico;
- Determinazione dei parametri morfometrici;
- attività di campo e ricognizione dei luoghi;
- individuazione preliminare delle principali criticità presenti sul territorio studiato;
- acquisizione dei dati geometrici e topografici delle sezioni di interesse sull'area oggetto di studio.

### **Analisi Idrologica**

---

- Applicazione della Metodologia VAPI;
- definizione delle curve di possibilità pluviometrica;
- Implementazione dei modelli afflussi-deflussi;
- calcolo degli idrogrammi di piena nelle sezioni oggetto di studio;

### **Analisi Idraulica**

---

- Implementazione del modello idraulico;
- modellazione idraulica e valutazione delle grandezze idrodinamiche delle piene di riferimento;
- definizione delle nuove mappe di allagamento;

## 2. INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI PRESENTI SUL TERRITORIO

L'area oggetto del presente studio, come già accennato, è sita nel territorio comunale di Grottaglie.

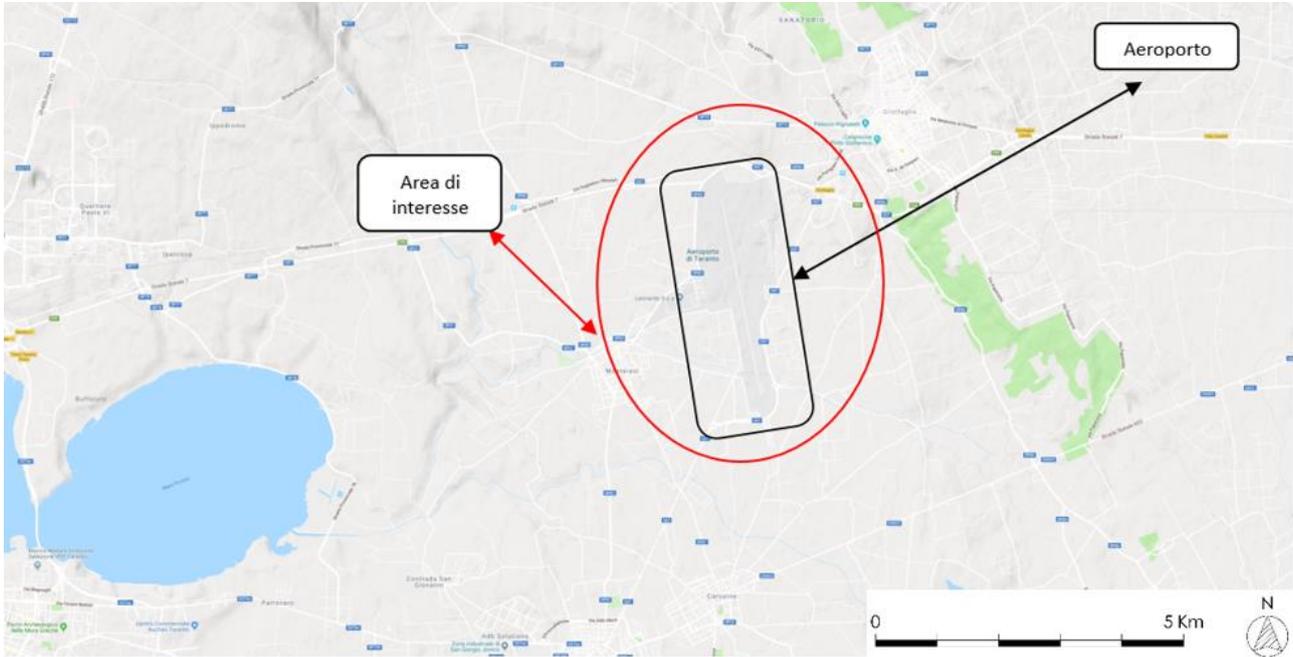


Figura 1- Inquadramento dell'area di interesse su Google Phisic

L'area oggetto di interesse è attraversata da tre aste del reticolo idrografico che sboccano nel mar piccolo e attraversano la murgia tarantina in direzione est-ovest, denominate da nord verso sud Fosso Macchione, Fosso Madonna del Prato e Fosso delle Monache.

Le tre aste sono state nel passato oggetto di molti studi e di sistemazioni idrauliche, anche in relazione allo sviluppo dell'area dello stesso aeroporto.

I reticoli suddetti attraversano l'area del sedime aeroportuale con degli attraversamenti idraulici.

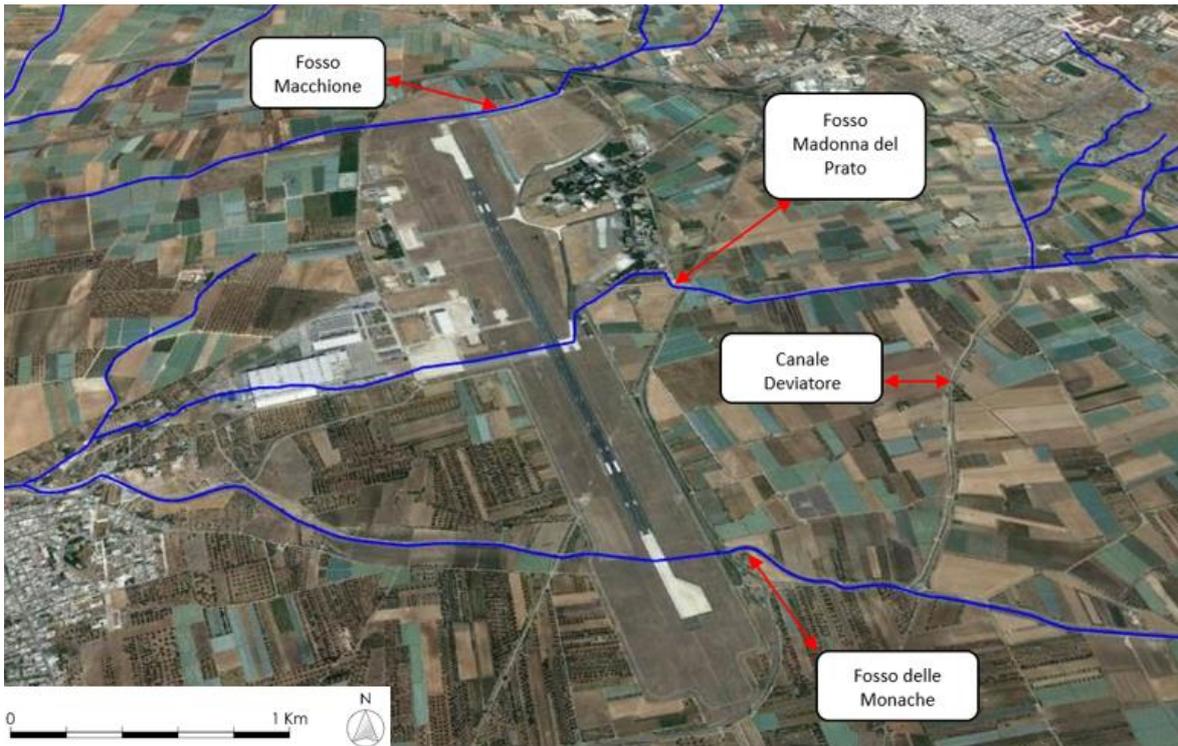


Figura 2 - Stralcio ortofoto con rappresentazione dei reticoli interferenti

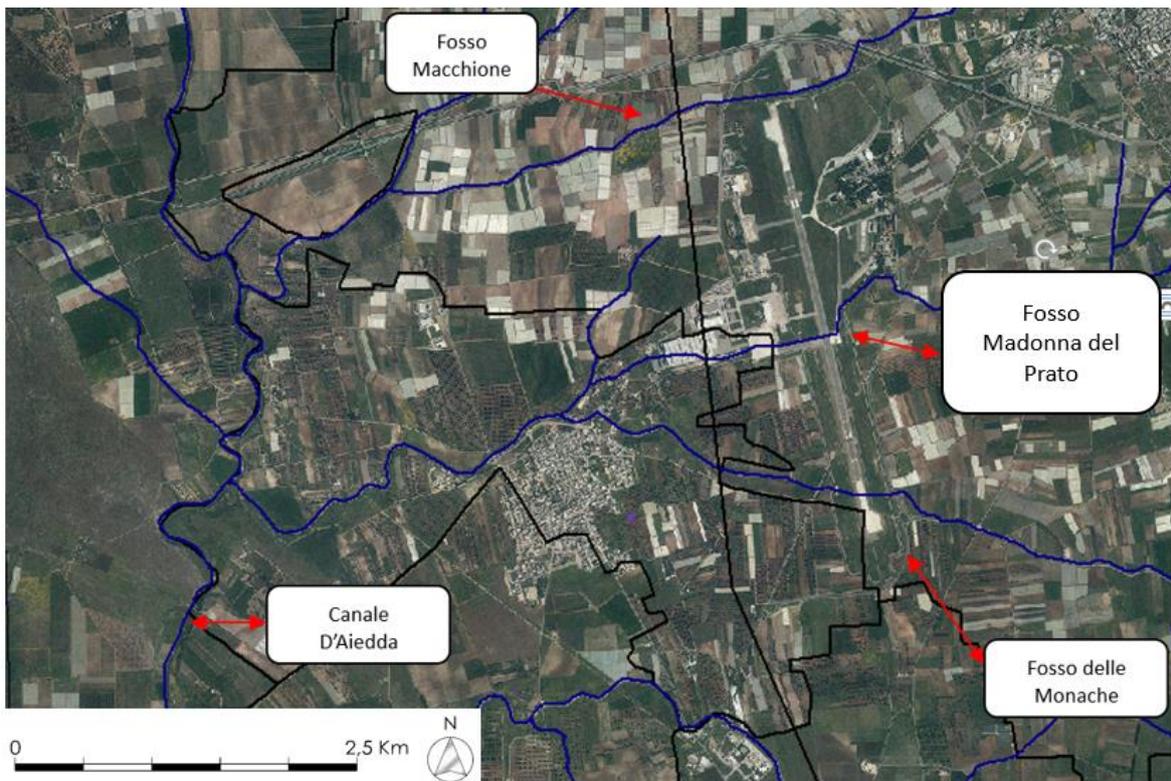


Figura 3 - Stralcio ortofoto con individuazione canale D'Aiedda

Immediatamente a valle dell'area oggetto di insediamento aeroportuale, il fosso Madonna del Prato confluisce nel fosso Monache che a sua volta è affluente in sinistra idraulica del Vallone d'Aiedda che, a valle della bonifica effettuata nei primi anni del secolo scorso, raccoglie tutte le acque provenienti dai diversi solchi naturali che scendono nella vasta piana posta a sud ovest della città di Taranto e termina la sua corsa nel Mar Piccolo in prossimità del capoluogo tarantino.

Gli studi idraulici effettuati sono due:

1. lo studio del Politecnico di Bari (Prof. Ranieri e Prof. Chiaia), redatto nel 2005 al fine di dimensionare le opere idrauliche di intersezione con l'area dell'aeroporto (*"Potenziamento land-side e air side per la realizzazione di una piattaforma logistica aeronautica"*).
2. Il successivo studio per la ripermimetrazione della pericolosità idraulica in prossimità dell'attraversamento con il Fosso Madonna del Prato redatto nel 2014.

I suddetti studi sono stati acquisiti e validati dalla ex Autorità di Bacino della Puglia ed hanno portato negli anni a vari aggiornamenti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, man mano che le opere idrauliche venivano realizzate e conseguentemente variava il quadro conoscitivo.

L'aggiornamento del PAI a cui corrisponde l'attuale configurazione delle aree a diversa pericolosità idraulica è avvenuto nel tempo con diverse Delibere; la n° 03 del 26/01/2010 rettificata con Determina 215 del 02/11/2010 (sulla base dello studio effettuato nel 205) e infine, per Fosso Madonna del Prato la Delibera di Comitato Istituzionale n. 41 del 20/05/2015 (sulla base dello studio effettuato nel 2014).

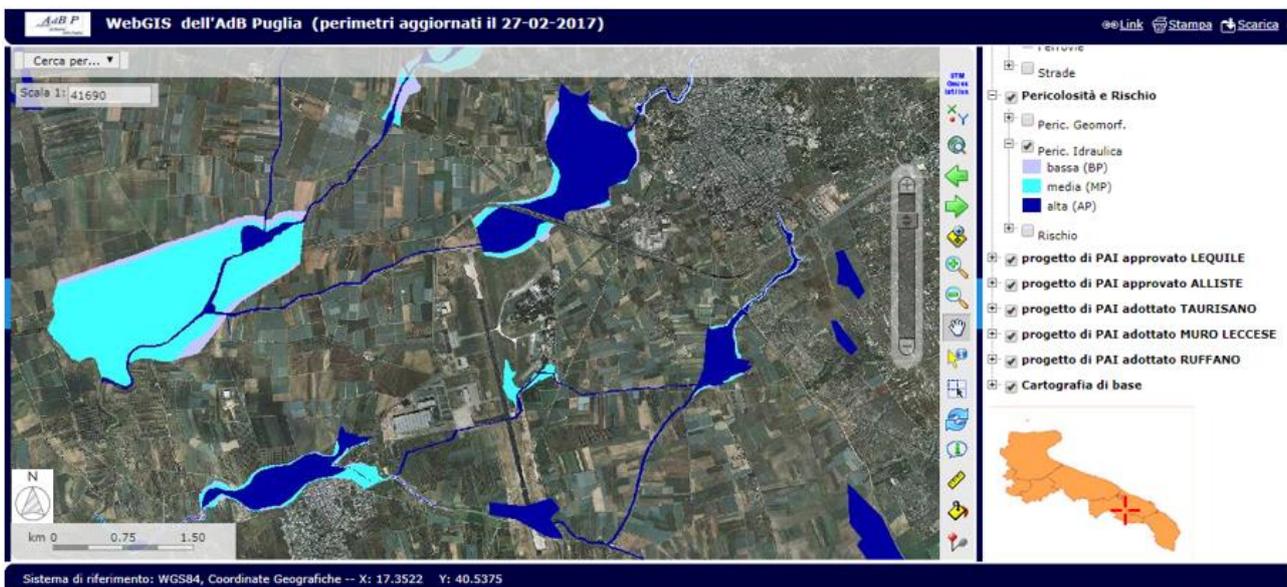


Figura 4 - Attuale perimetrazione vigente PAI

Allo stato attuale risultano eseguite molte delle sistemazioni idrauliche progettate a monte dei suddetti attraversamenti, promosse dal Comune di Grottaglie, pertanto l'impronta delle piene

corrispondenti ai tre tempi di ritorno di riferimento ( $Tr=30$ ,  $Tr=200$ ,  $Tr=500$  anni), possono risultare variate in diminuzione rispetto alla configurazione del PAI vigente. Da qui la richiesta numero 3, di cui alle premesse, da parte del Comitato e dunque l'esigenza di redigere il presente studio.

Lo studio è stato eseguito utilizzando le stesse metodologie impiegate dall'Autorità di Bacino ma ponendo alla base un rilievo lidar relativo ad un'area molto più ampia della porzione di interesse e un rilievo GPS-RTK realizzato per l'occasione, al fine anche di tener conto delle nuove opere idrauliche già realizzate. Questo consente ai modelli numerici utilizzati di restituire un risultato maggiormente aggiornato e definire un incremento del quadro conoscitivo significativo, così come indicato agli art.24 e 25 delle NTA del PAI, che può quindi concretizzarsi in un aggiornamento dello stesso Piano di Assetto Idrogeologico.

Lo studio eseguito ha avuto l'obiettivo di individuare i livelli di pericolosità idraulica determinati dal transito delle piene di riferimento normativo e valutare gli effetti potenziali che la realizzazione dell'intervento può determinare rispetto all'attuale regime idraulico dei luoghi. Pertanto sono state condotte valutazioni idrologiche ed idrauliche finalizzate a simulare la propagazione della piena con modello di calcolo idraulico a schema mono e bidimensionale in cui sono stati inseriti tutti gli elementi geometrici caratterizzanti l'area studiata.

I calcoli idraulici effettuati riguardano tratti significativamente più estesi a monte e a valle dell'area di interesse, in modo da poter escludere l'influenza delle condizioni al contorno utilizzate sui risultati ottenuti e valutare quella dovuta alla presenza di ostruzioni nell'alveo della lama.

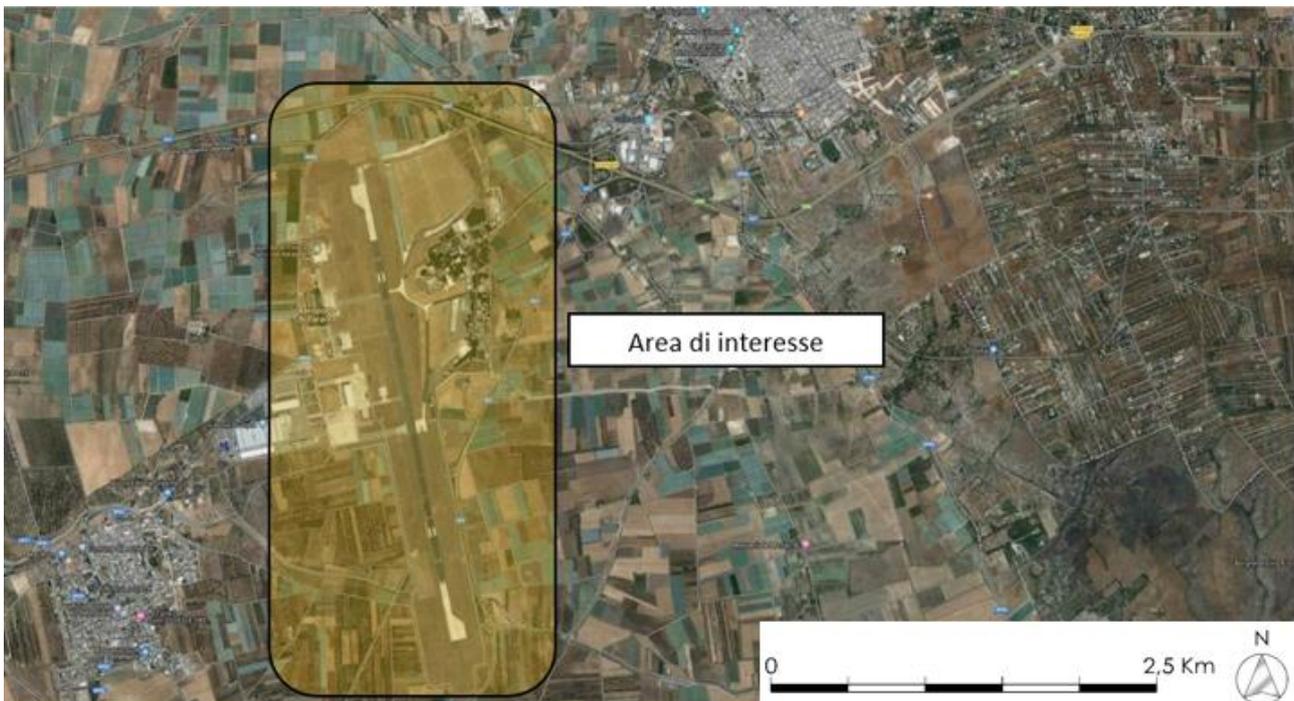
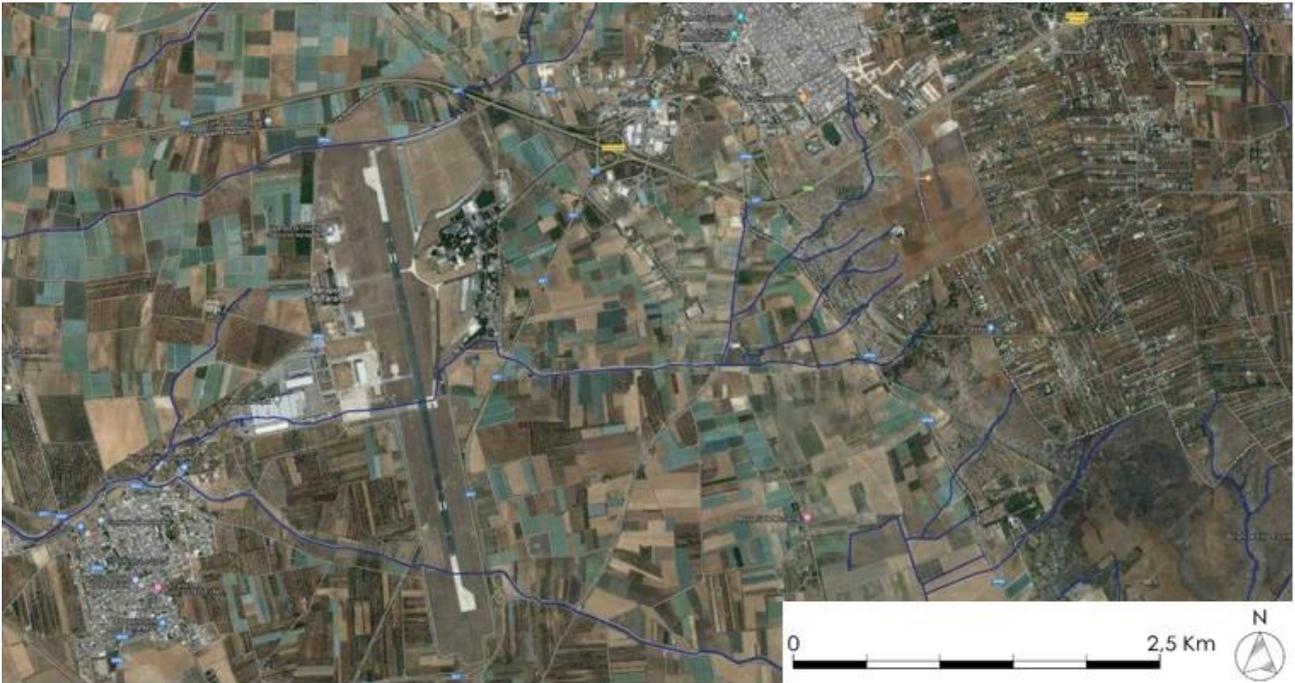


Figura 5 - Zoom dell'aeroporto su foto aerea



*Figura 6 - Foto aerea della zona di interesse con indicazione (colore blu) dei reticoli idrografici della Carta Idrogeomorfologica*

### 3. INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI PRESENTI SUL TERRITORIO

Nell'ambito del progetto di "Potenziamento land-side e air side per la realizzazione di una piattaforma logistica aeronautica" nel 2005, sono stati dimensionate **le 3 opere di attraversamento idraulico dei tre fossi naturali** ottenendo un parere favorevole dall'autorità di Bacino (prot 0003044 di 18/10/2006) dal punto di vista del dimensionamento idraulico. Di seguito si descrivono le tre opere che saranno oggetto di verifica:

Preliminarmente si anticipa che:

L'opera di tombamento del **Fosso Macchione** è stata dimensionata per la seguente portata:

$Q = 30.6 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=50$  anni

L'opera è stata poi verificata per:

$Q = 35.2 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=100$  anni

$Q = 39.7 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=200$  anni

L'opera di sistemazione del **fosso Madonna del Prato** è stata dimensionata per intercettare inizialmente una portata di  $22.6 \text{ mc/s}$  (portata tr 50 anni) scolare circa  $4.3 \text{ mc/s}$  in una vasca di laminazione e far transitare nella parte tombata una portata di  $18.30 \text{ mc/s}$ .

È fondamentale evidenziare che successivamente è stato approvato e, allo stato attuale, già realizzato un progetto di regimentazione dei deflussi riferiti al fosso Madonna del Prato. Detto progetto, dopo aver ricalcolato il valore di portata bicentenaria pari a  $28.68 \text{ m}^3/\text{sec}$  per tale fosso, ha previsto la realizzazione di un partitore a monte per separare i deflussi del bacino idrografico naturale, lasciando defluire verso il corso naturale dello stesso fosso, per un tempo di ritorno di 200 anni,  $18.08 \text{ m}^3/\text{sec}$  e derivando verso il fosso delle Monache  $10.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

L'opera di tombamento del **Fosso delle Monache** è stata dimensionata utilizzando quale parametro progettuale di riferimento la portata di piena bicentenaria, il cui valore è di  $112 \text{ m}^3/\text{s}$  e verificata anche per la portata cinquantennale e centenaria, in particolare:

$Q = 86 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=50$  anni

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=100$  anni

$Q = 112 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=200$  anni

Di seguito si descrivono le opere realizzate.

### 3.1 Fosso Macchione

La struttura di tombamento realizzata ha una sezione rettangolare dall'area netta interna di 2 x 4.20 m x 1.70 m (2 x b x h) in corrispondenza della sezione di imbocco e presenta altezza variabile lungo il suo tracciato per garantire una base piana di appoggio alle infrastrutture aeroportuali che insistono su di essa.

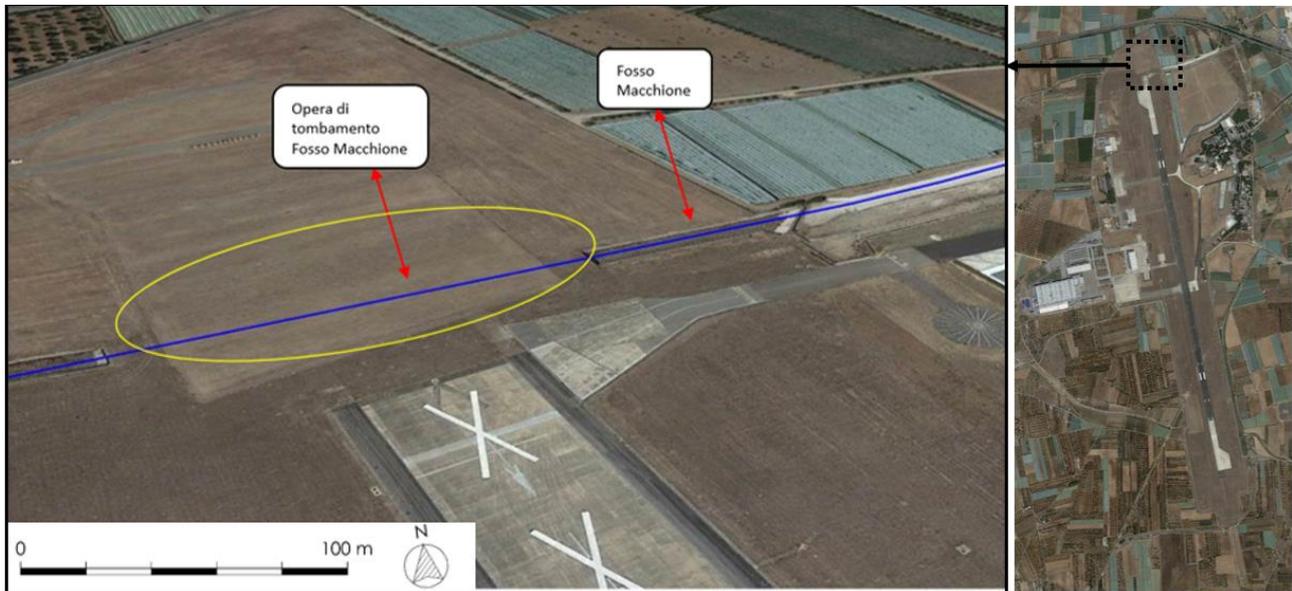


Figura 7 - Individuazione tombamento del Fosso Macchione

Il tombamento del fosso ha una lunghezza complessiva di 151.25 m ed ha origine alla quota di 64.43 m slm terminando alla quota di 64.06 m slm. La pendenza del tratto tombato è quindi pari a 0.38%.

**L'opera è stata dimensionata per la seguente portata:**

**Q = 30.6 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza di TR=50 anni**

L'opera è stata poi verificata per:

Q = 35.2 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza di TR=100 anni

Q = 39.7 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza di TR=200 anni

Al fine di migliorare le capacità di deflusso del fosso, è stata prevista, ed attualmente seguita, la sistemazione dell'alveo del canale nei due tratti a monte e a valle del manufatto di tombamento.

Il tratto di sistemazione a monte ha una lunghezza complessiva di 105 m, e presenta una pendenza media dello 0.4%, mentre il tratto di valle, che ha una pendenza dello 0.3%, presenta una lunghezza complessiva di 210 m.

La sezione dell'alveo nei due tratti interessati dalla sistemazione ha forma rettangolare con larghezza di base di 9.0 m, che diviene, poi, di 10 m ad un'altezza di un metro dal fondo alveo. Tale sezione è stata realizzata utilizzando, quali pareti laterali dell'alveo, due gabbioni ognuno dei quali dell'altezza di un metro.



*Figura 8 - Tombamento del Fosso Macchione in fase di costruzione*



*Figura 9 - Tratto immediatamente a monte del tombino esistente*

Il deflusso al di sotto dell'infrastruttura di attraversamento avviene con **franco idrico inferiori al metro**, ad oggi richiesto dall'Autorità di Bacino della Puglia per le nuove costruzioni idrauliche. In particolare, considerando un coefficiente di scabrezza di  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per i canali e  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per il tratto tombato, si ottengono i seguenti valori di tirante:

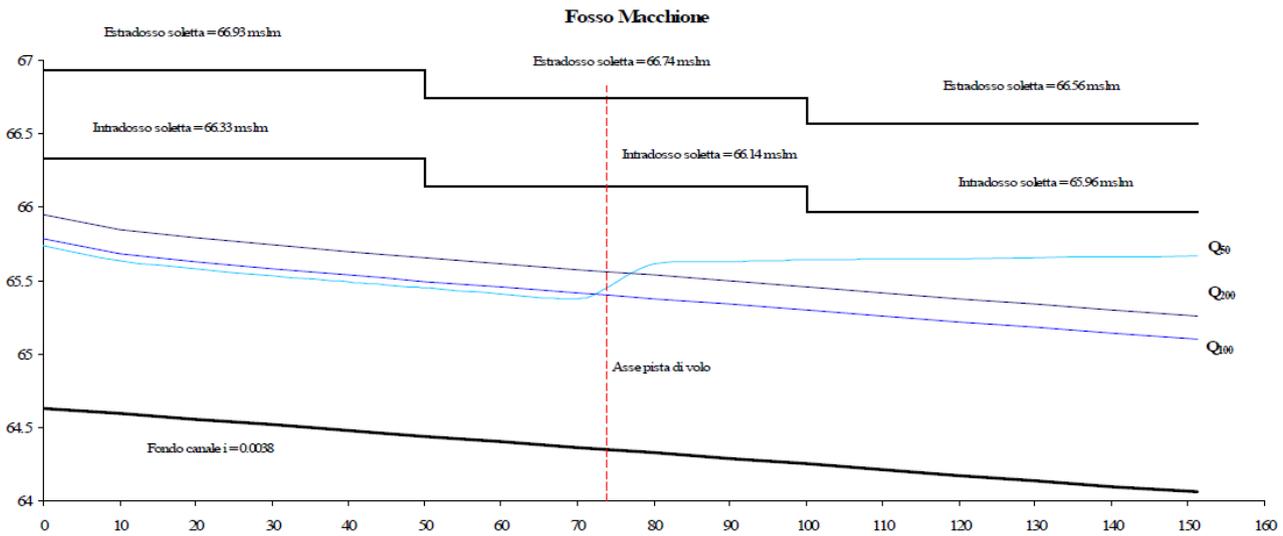


Figura 4 - Fosso Macchione: profili idrici

Grafico 1 - Fosso Macchione profilo dei tiranti idrici calcolati nell'ambito del progetto esecutivo dell'opera (2005)

Sezione	Progressive tratto tombato m	Progressive m	Quota fondo m slm	Intradosso soletta m slm	Estradosso soletta m slm	h Q <sub>50</sub> m	V Q <sub>50</sub> m/s	h Q <sub>100</sub> m	V Q <sub>100</sub> m/s	h Q <sub>200</sub> m	V Q <sub>200</sub> m/s	Pelo libero Q <sub>50</sub> m	Pelo libero Q <sub>100</sub> m	Pelo libero Q <sub>200</sub> m	Franco Q <sub>50</sub> m	Franco Q <sub>100</sub> m	Franco Q <sub>200</sub> m		
	16	0.00	65.05																
	15	50.00	65.85																
	14	100.00	64.65																
Tratto tombato	Imbocco	0	105.15	64.63	66.33	66.93	1.106	3.29	1.154	3.36	1.320	3.60	65.74	65.78	65.95	0.59	0.55	0.38	
		10	115.15	64.59	66.33	66.93	1.042	3.50	1.088	3.57	1.252	3.80	65.63	65.68	65.84	0.70	0.65	0.49	
		20	125.15	64.55	66.33	66.93	1.026	3.55	1.072	3.62	1.234	3.85	65.58	65.63	65.79	0.75	0.70	0.54	
		30	135.15	64.52	66.33	66.93	1.017	3.58	1.062	3.65	1.223	3.88	65.53	65.58	65.74	0.80	0.75	0.59	
		40	145.15	64.48	66.33	66.93	1.011	3.60	1.056	3.67	1.217	3.90	65.49	65.54	65.70	0.84	0.79	0.63	
		13	44.85	150.00	64.46	66.33	66.93	1.009	3.61	1.054	3.68	1.215	3.91	65.47	65.51	65.67	0.86	0.82	0.66
		50	155.15	64.44	66.33	66.93	1.007	3.62	1.052	3.69	1.212	3.92	65.45	65.49	65.65	0.88	0.84	0.68	
		50	155.15	64.44	66.14	66.74	1.007	3.62	1.052	3.69	1.212	3.92	65.45	65.49	65.65	0.69	0.65	0.49	
		60	165.15	64.40	66.14	66.74	1.006	3.62	1.051	3.69	1.210	3.93	65.41	65.45	65.61	0.73	0.69	0.53	
		70	175.15	64.37	66.14	66.74	1.005	3.62	1.050	3.70	1.209	3.93	65.37	65.42	65.57	0.77	0.72	0.57	
		Asse pista	73.8	178.95	64.35	66.14	66.74	1.101	3.32	1.050	3.70	1.209	3.93	65.45	65.40	65.56	0.69	0.74	0.58
		80	185.15	64.33	66.14	66.74	1.286	2.83	1.049	3.70	1.208	3.93	65.61	65.38	65.54	0.53	0.76	0.60	
		90	195.15	64.29	66.14	66.74	1.337	2.72	1.048	3.70	1.207	3.94	65.63	65.34	65.50	0.51	0.80	0.64	
		100	205.15	64.25	66.14	66.74	1.386	2.63	1.047	3.71	1.205	3.94	65.64	65.30	65.46	0.50	0.84	0.68	
		100	205.15	64.25	65.96	66.56	1.386	2.63	1.047	3.71	1.205	3.94	65.64	65.30	65.46	0.32	0.66	0.50	
		10	105.13	210.28	64.23	65.96	66.56	1.409	2.59	1.047	3.71	1.205	3.94	65.64	65.28	65.43	0.32	0.68	0.53
		110	215.15	64.21	65.96	66.56	1.432	2.54	1.046	3.71	1.204	3.95	65.64	65.26	65.42	0.32	0.70	0.54	
	120	225.15	64.17	65.96	66.56	1.476	2.47	1.045	3.71	1.203	3.95	65.65	65.22	65.38	0.31	0.74	0.58		
	130	235.15	64.14	65.96	66.56	1.520	2.40	1.044	3.72	1.202	3.95	65.66	65.18	65.34	0.30	0.78	0.62		
	140	245.15	64.10	65.96	66.56	1.563	2.33	1.043	3.72	1.201	3.96	65.66	65.14	65.30	0.30	0.82	0.66		
	Sbocco	151.25	256.40	64.06	65.96	66.56	1.605	2.27	1.042	3.73	1.199	3.96	65.67	65.10	65.26	0.29	0.86	0.70	
	9	265.51	64.02																
	8	315.51	63.87																
	7	365.51	63.72																
	6	415.51	63.57																
	5	465.51	63.42																

Tabella 1 - Fosso Macchione valori dei tiranti idrici e franchi calcolati nell'ambito del progetto esecutivo

In merito alle caratteristiche del deflusso all'interno del tratto tombato, si osserva, in corrispondenza del transito della piena cinquantennale, la formazione di un profilo di corrente veloce accelerato che, all'interno del tratto tombato, dà origine alla formazione di un risalto idraulico, a valle del quale si raggiunge l'altezza di moto uniforme. Di contro, in corrispondenza del transito delle piene centenaria e bicentenaria, il profilo di corrente veloce accelerato si mantiene tale lungo l'intero tratto tombato

spostando la formazione del risalto idraulico al tratto di fosso a cielo aperto posto a valle

Come si evince dall'immagine allegata il franco di sicurezza all'interno della struttura durante la piena bicentenaria varia da 0.38 m a 0.7 m da monte (imbocco) verso valle (sbocco) mentre in fase di piena cinquantennale varia tra 0.29 m e 0.88 m.

### 3.2. Fosso Madonna del Prato

L'opera di attraversamento del Fosso Madonna del Prato è costituita da un'opera di imbocco in cemento armato che presenta una sezione in allargamento del canale in arrivo pari a 9.91 per una altezza di 1.97 m.

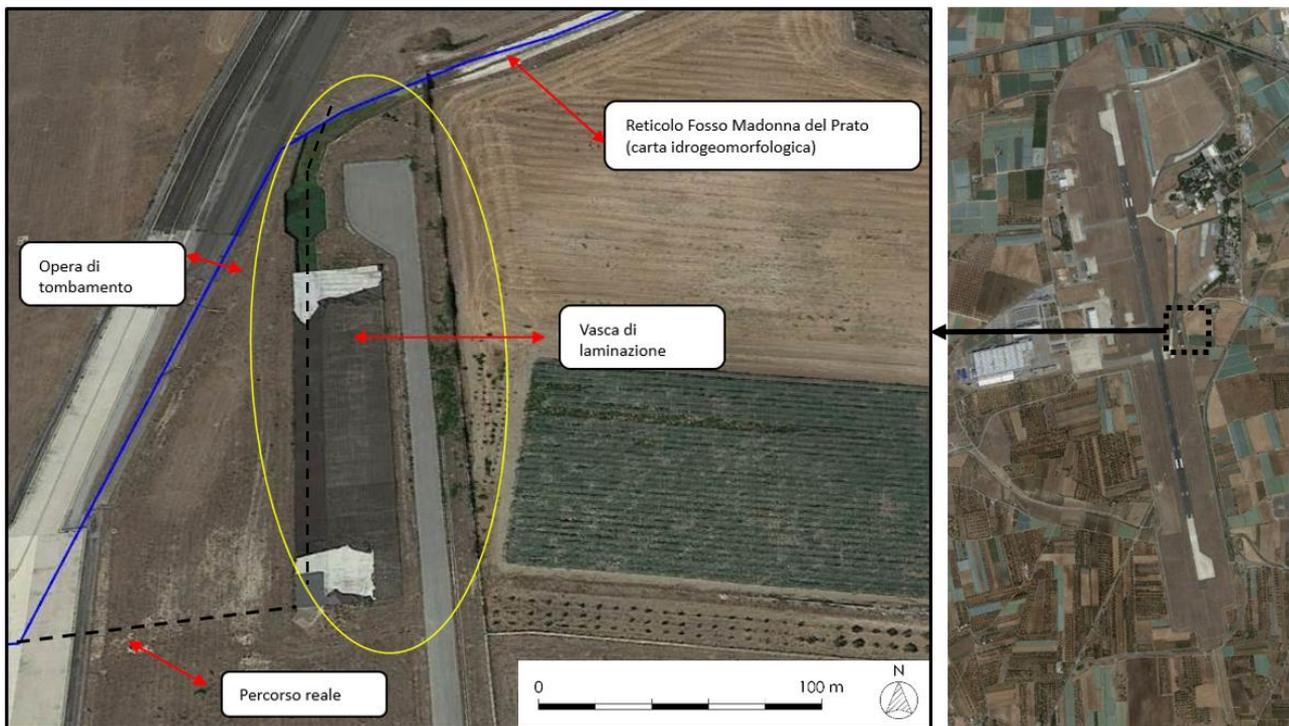


Figura 10 - Individuazione tombamento del Fosso Madonna del Prato

Il canale, che ha una pendenza pari allo 0,2%, confluisce all'interno di una vasca esagonale di larghezza 13 m e lunghezza 25 m con fondo ribassato di 50 cm che svolge la funzione di dissabbiatore. L'acqua in uscita da tale vasca si immette, a quota 56.49 m s.l.m., in un canale rettangolare, della larghezza di 6.50 m, altezza delle pareti pari a 2.2 m e pendenza pari allo 0.1%, nel quale, mediante opera di sfioro laterale, vengono derivati i volumi della piena cinquantennale eccedenti la portata di 18.3 m<sup>3</sup>/s, massima capacità di deflusso della struttura di tombamento Alenia. L'opera di derivazione è del tipo a sfioratore laterale con stramazzo, posto in sinistra idraulica, della lunghezza utile di 72 m e altezza del petto di 1.77 m. I volumi idrici sfiorati vengono raccolti in una vasca rettangolare aventi dimensioni di base pari a 116 x 25 m<sup>2</sup> ed altezza utile di 6 m, da cui ne deriva una capacità complessiva di accumulo pari a 17400 m<sup>3</sup>.

La portata in uscita dallo scolmatore di piena viene quindi convogliata in due canali, aventi sezione rettangolare larga 3.10 m e pendenza dello 0.18%, che corrono paralleli sino ad imboccare, a quota 56.35 m s.l.m., due tubazioni in c.a.v. del DN2000 mm.

A partire da detta sezione quindi, il fosso Madonna del Prato corre tombato all'interno delle tubazioni del DN2000, attraversando in direzione ortogonale la pista di volo.

Il tratto composto dalle due tubazioni DN 2000 mm presenta una pendenza dello 0.6% e si sviluppa per una lunghezza di 330.64 dalla progressiva 210.83 m a quota 56.35 m slm fino alla progressiva 541.47 a quota 54.36 m slm. In corrispondenza di questo punto, dopo un pozzetto di raccordo della lunghezza di 2.80 m, le tubazioni diventano del diametro DN2400 mm.



*Figura 11 - Individuazione tombamento del Fosso Madonna del Prato in costruzione*



*Figura 12 - Tratto del Fosso Madonna del Prato immediatamente a monte dell'infrastruttura di attraversamento*

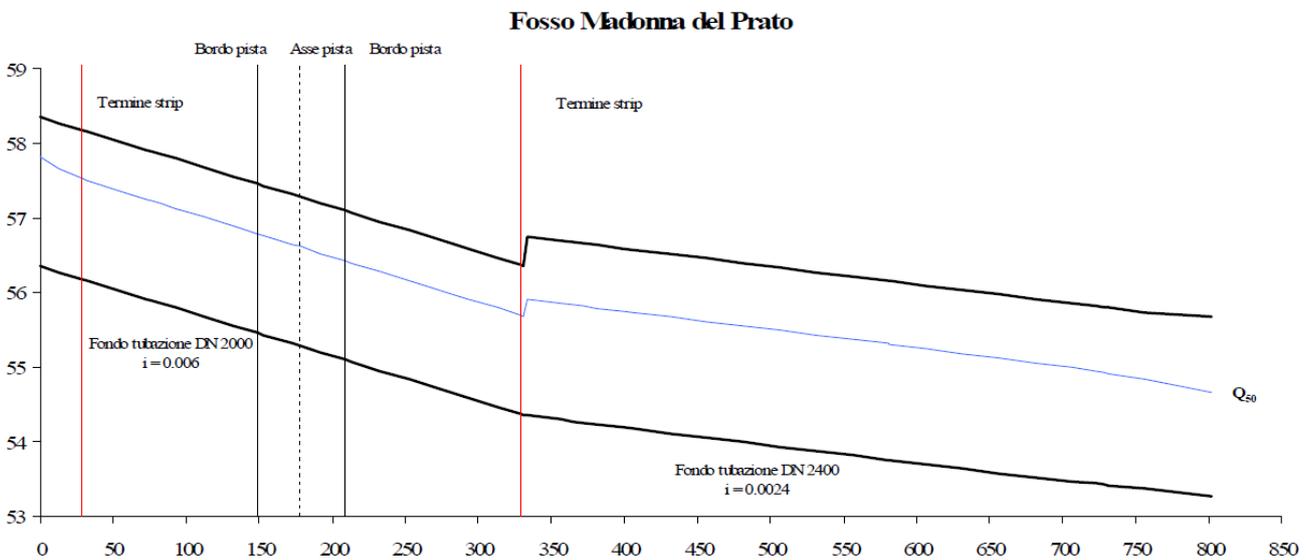
Tale tratto (con DN 2400 mm) è lungo complessivamente 469.11 m con pendenza dello 0.24%; si sviluppa dalla progressiva 544.27 m a quota 54.35 m slm fino alla progressiva 1013.28 con quota 53.28 m slm, ove è previsto un pozzetto predisposto per il raccordo con il tratto di competenza Alenia (Leonardo) ove sono previste due tubazioni del DN 2000 mm delle quali una già realizzata ed in esercizio.

Ne deriva, quindi, che la lunghezza complessiva del tombamento del fosso Madonna del Prato è di 802.55 m, ai quali vanno sommati 210.83 m di canali artificiali necessari a realizzare la deviazione del corso d'acqua, la vasca di sedimentazione e il manufatto scolmatore di piena.

L'opera è stata dimensionata per intercettare inizialmente una portata di 22.6 mc/s (portata tr 50

anni) scolare circa 4.3 mc/s nella vasca di laminazione e far transitare una portata di 18.30 mc/s pari a quella delle due condotte interrate situate a valle della suddetta opera e che costituiscono condizioni al contorno di valle.

Le verifiche condotte hanno evidenziato che con la portata di progetto (18.30 mc/s) il franco netto è quindi di 0.66 m nel primo tratto e di 0.84 m nel secondo.



*Grafico 2 - Fosso Madonna del Prato: profilo dei tiranti idrici calcolati nell'ambito del progetto esecutivo di realizzazione dell'opera (2005)*

### 3.3. Fosso delle Monache

L'opera di attraversamento del Fosso delle Monache presenta una sezione rettangolare dall'area netta interna di 2 x 6.10 m x 2.96 m (2 x b x h) in corrispondenza della sezione di imbocco e presenta altezza variabile lungo il tracciato al fine di garantire una base piana di appoggio alle infrastrutture aeroportuali che insistono su di essa.

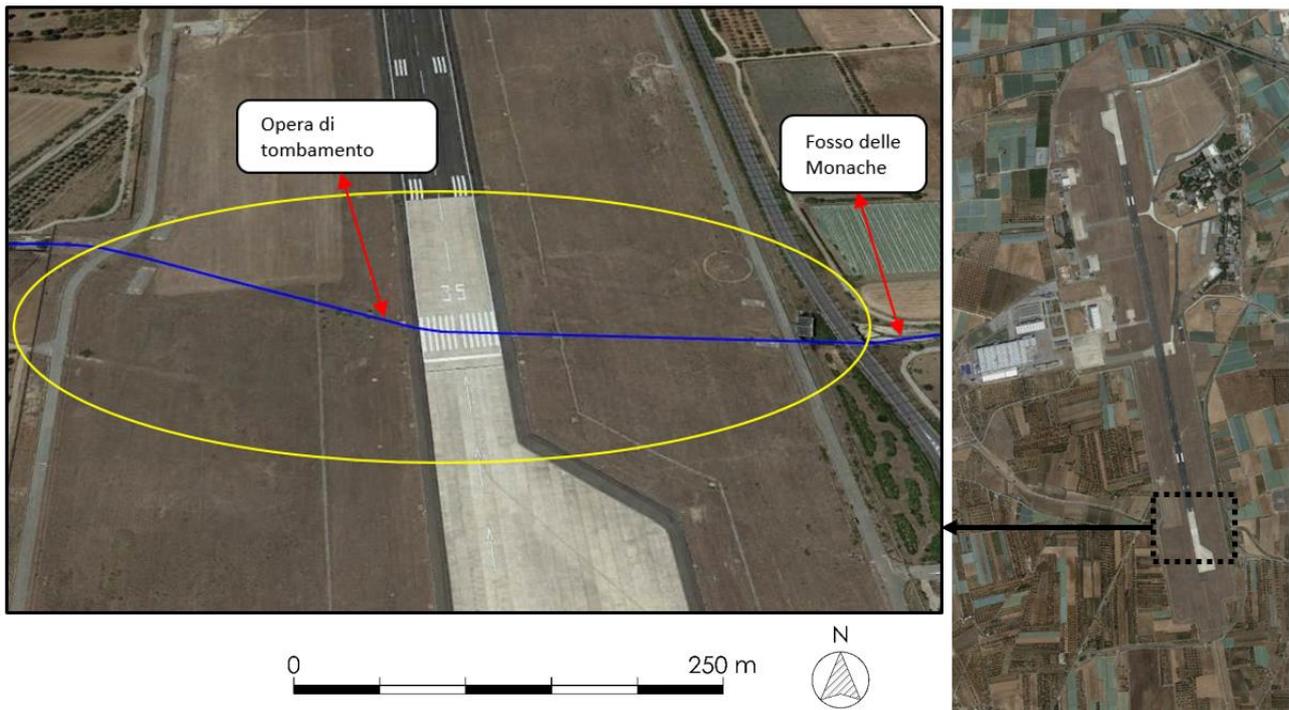


Figura 13 - Individuazione tombamento del Fosso delle Monache

Il tombamento del fosso ha una lunghezza complessiva di 463.90 m, con origine alla quota 56.60 m slm e termine alla quota 53.13 m slm, poco all'interno del recinto aeroportuale in prossimità della recinzione ovest. La pendenza del tratto di fosso tombato è di 0.33% e corrisponde a quella naturale del fosso.



Figura 14 - Individuazione tombamento del Fosso delle Monache in fase di costruzione

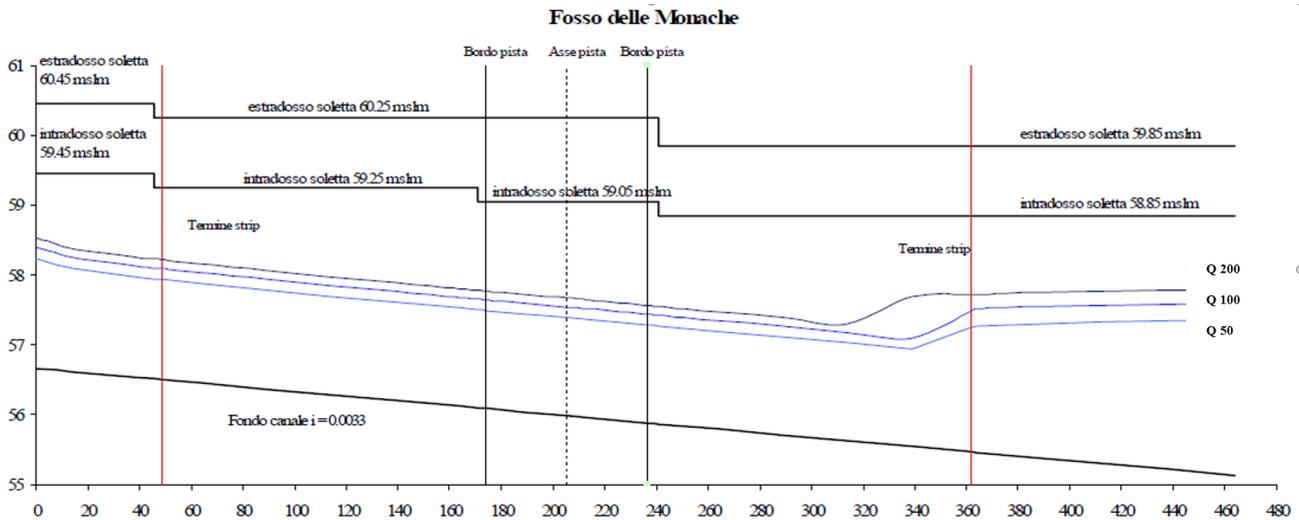
L'opera di tombamento è stata dimensionata utilizzando quale parametro progettuale di riferimento la portata di piena bicentenaria, il cui valore è di 112 m<sup>3</sup>/s e verificata anche per la portata cinquantennale e centenaria, in particolare:

$Q = 86 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=50$  anni (portata di verifica con determinazione tiranti)

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=100$  anni (portata di verifica con determinazione tiranti)

$Q = 112 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=200$  anni (portata di progetto)

Nelle verifiche idrauliche il coefficiente di scabrezza della formula di Gauckler Strickler è stato posto pari a  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , che è il valore consigliato per le strutture scatolari in cemento armato.



*Grafico 3 - Fosso delle Monache: profilo dei tiranti idrici calcolati nell'ambito del progetto esecutivo di realizzazione dell'opera (2005)*

Dallo studio condotto nel 2005, con i dati di progetto utilizzati in fase esecutiva si riscontrava che il franco di sicurezza al passaggio della piena bicentenaria, garantiva il pieno rispetto del valore del franco pari a un metro richiesto dall'Autorità di Bacino della Puglia. Tale verifica non è soddisfatta con il nuovo studio idraulico effettuato e descritto nei paragrafi successivi.

#### 4. ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI

I tre fossi naturali che solcano l'area aeroportuale presentano caratteristiche geomorfologiche piuttosto simili, sia pur presentando bacini imbriferi di diversa estensione, potendosi assimilare a solchi naturali di natura carsica. Essi, scendendo dai rilievi murgiani, danno origine a gravine e valloni di indubbio interesse anche naturalistico.

Si evidenzia che i tre "fossi" Madonna del Prato che interseca la porzione centrale dell'Aeroporto di Grottaglie e della nuova pista di volo, e i fossi Monache e Macchione, attraversano con direzione prossima a Est-Ovest tali infrastrutture disponendosi rispettivamente l'uno nella zona più a Sud e l'altro in quella a Nord.

Particolarmente complessa è la struttura del fosso Macchione che scorre interrato per un tratto di circa 1060 metri nell'area compresa tra Villa Castelli e Grottaglie, ricompare subito a monte dell'abitato di Grottaglie ed è nuovamente tombato, per una lunghezza di circa 880m, in corrispondenza della zona 167 fino allo sfocio a cielo aperto in corrispondenza della gravina di Grottaglie. Va evidenziato che tale fosso, nel tratto montano, in corrispondenza dell'abitato di Villa Castelli, raccoglie le fluenze idriche superficiali di una serie di valloni che scorrono in direzione ortogonale a quella del suo alveo.

Il fosso Madonna del Prato è stato sistemato artificialmente per gran parte della sua lunghezza. Esso, dopo aver raccolto le acque provenienti dal Vallone Pensiero, posto a Sud Ovest dell'abitato di Grottaglie e che ha origine in corrispondenza dell'attuale stadio, si sviluppa in direzione Sud-Est con direzione pressoché ortogonale a quella della pista aeroportuale.

Il bacino del fosso delle Monache, che è quello più vasto fra quelli analizzati, si sviluppa in direzione sud est fino a lambire gli abitati di Fragagnano e San Marzano. Il reticolo idrografico è piuttosto articolato con rami fino al terzo ordine secondo la gerarchizzazione di Horton.

Immediatamente a valle dell'area oggetto di insediamento aeroportuale, il fosso Madonna del Prato confluisce nel fosso Monache che, a sua volta, è affluente in sinistra idraulica del vallone d'Aiedda. Anche il fosso Macchione è affluente in sinistra idraulica del vallone d'Aiedda che, a valle della bonifica effettuata nei primi anni del secolo scorso, raccoglie tutte le acque provenienti dai diversi solchi naturali che scendono nella vasta piana posta a sud ovest della città di Taranto e termina la sua corsa nel Mar Piccolo in prossimità del capoluogo tarantino. I reticoli idrografici dei tre fossi hanno parzialmente perso le loro caratteristiche naturali essendo stati oggetto, nel tempo, di diversi interventi di sistemazione idraulica. Infatti, sia l'alveo del fosso Madonna del Prato, sia quello del fosso Macchione, oltre ad aver subito una regimazione, durante le operazioni di bonifica dell'area, risultano parzialmente tombati.

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio parte da un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia per l'aspetto della geomorfologia degli stessi sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

Al fine di giungere a determinazioni che abbiano un riscontro attendibile rispetto alla realtà dei luoghi, è evidentemente necessario ricostruire, nella maniera quanto più dettagliata possibile, la

conformazione degli stessi che si andranno ad analizzare partendo da un esame a scala di macrobacino e via via aumentando sempre più il dettaglio dell'indagine.

#### **4.1 Il Modello Digitale del Terreno**

Nel presente studio, oltre al rilievo LIDAR, al fine di ricavare un modello digitale del terreno sufficientemente dettagliato, si è fatto riferimento ai seguenti dati cartografici disponibili:

- Cartografia IGM in scala 1:25000;
- Nuova Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5000;
- Foto aerea Google.

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno. Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni reali saranno le determinazioni rinvenienti dall'analisi morfologica. Il livello di dettaglio del modello digitale del terreno è strettamente legato al tipo di "dato grezzo" di partenza ovvero maggiore è il livello di dettaglio della cartografia disponibile migliore sarà la qualità del modello digitale del terreno da essa derivato.

Nel caso in esame si può certamente affermare che il numero di elementi disponibili è congruo per una analisi approfondita ed esaustiva dei livelli di pericolosità idraulica presenti, nello specifico il rilievo Lidar ha consentito, oltre ad incrementare la densità di quote al suolo disponibili, di acquisire tutti quegli elementi quali, fabbricati, recinzioni, ecc., che intersecano il percorso idraulico dei deflussi di piena.

L'elaborazione di tutti gli elementi suddetti ha permesso di ricostruire il Modello Digitale del Terreno. Il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della regione oggetto di studio.

I DEM possono essere di tipo Grid o di tipo TIN (Triangulated Irregular Network). I DEM sotto forma di Grid, grazie alla distribuzione uniforme di informazioni e alla possibilità che essi danno di trattare i dati direttamente in forma matriciale, sono preferibili rispetto ai TIN.

In tutti i modi al fine di generare una procedura standard di acquisizione dei dati e della loro elaborazione, si rende necessario un controllo preliminare sulla qualità delle informazioni di partenza per la loro utilizzazione successiva.

Per un'analisi geomorfologica del territorio, i dati di base relativi alle altimetrie possono essere elaborati per la generazione di un modello tridimensionale del territorio, tale da consentire analisi sulla morfologia della superficie.

La realizzazione del TIN parte dall'analisi dei punti quotati e delle curve di livello quotate in possesso. Grazie all'ausilio di specifici software è possibile elaborare i dati in modo da ottenere una superficie data da un'interpolazione di tipo lineare delle quote dei punti e delle curve di livello. Risulta ovvio come l'elaborazione effettuata su un numero di dati più fitti riduce sensibilmente l'approssimazione dovuta al tipo di interpolazione.

Ottenuto il TIN, utilizzando appositi algoritmi di conversione, è possibile passare al formato di rappresentazione matriciale o Grid. In alternativa, procedura adottata nel caso in esame, è possibile

direttamente l'elaborazione dei dati topografici di partenza finalizzata alla restituzione del DEM formato Grid, attraverso diversi algoritmi di interpolazione.

La modalità Grid permette di analizzare la superficie topografica in modo radicalmente più complesso rispetto alla modalità TIN. La particolarità sta nel fatto che nei Grid l'elaborazione dei dati è basata sulla combinazione di un modello spaziale basato sulla suddivisione del territorio in porzioni quadrate di dimensioni che possono essere scelte in base alle necessità di dettaglio richieste, dette celle, e un modello correlato di attributi associati; in questo caso si è scelto di lavorare con celle di **5 m** di lato. Le celle sono posizionate nello spazio in base all'andamento della superficie topografica, e contengono un valore che descrive le caratteristiche del territorio secondo tematismi scelti in base alle necessità di analisi. Tali valori costituiscono un vero e proprio database associato alle singole celle, permettendo di analizzare la variazione dei parametri in modo continuo lungo la superficie topografica.

I valori degli attributi delle celle di un grid possono essere quindi elaborati in modo matematico o statistico, o ancora raggruppati in classi di valori discreti, garantendo comunque in ogni elaborazione la corretta georeferenziazione dei valori.

#### ***4.2. Individuazione dei Bacini scolanti e dei loro parametri caratteristici***

L'individuazione del bacino scolante costituisce un passaggio fondamentale al fine di giungere alla determinazione delle portate al picco di piena. I parametri individuati da questo tipo di analisi costituiscono una parte dell'input dei modelli idrologici e idraulici applicati nel seguito. Per questo motivo è importante investire risorse sufficienti in modo da avere la maggiore certezza possibile sui risultati ottenuti.

La base dati principale sulla quale è fondata l'analisi morfologica è rappresentata dal modello tridimensionale del terreno. Il modello del terreno, rappresentato nelle tre dimensioni, consente di effettuare valutazioni sull'altimetria dei luoghi, sulle pendenze, sul deflusso delle acque, ecc.; pertanto maggiore è la precisione del modello, intesa anche come densità di punti disponibili, e più attendibili sono le valutazioni che si possono fare.

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione tipo GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile determinare il bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura tirata in corrispondenza del sito di interesse per il presente studio e determinare le caratteristiche morfometriche di cui necessita l'elaborazione idrologica.

I bacini determinati e le relative caratteristiche morfometriche hanno fornito l'input per l'applicazione dei modelli di calcolo afflussi-deflussi che verranno descritti nei paragrafi successivi.

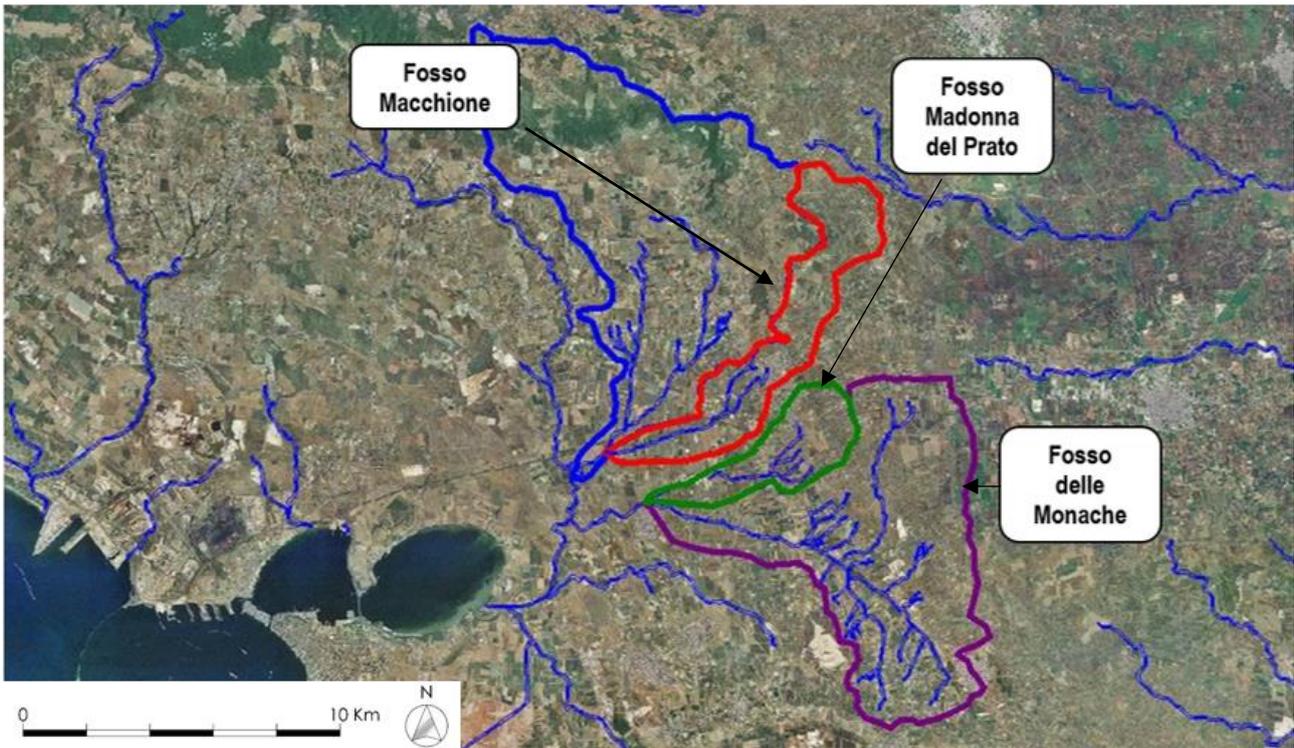


Figura 15 - Rappresentazione dei bacini idrografici contribuenti alla sezione di chiusura in corrispondenza del sito di interesse.

Nel seguito sono, in tabella, sono riportate le caratteristiche morfometriche dei tre bacini idrografici individuati.

<b>BACINO</b>	<b>Area kmq</b>	<b>Quota massima m</b>	<b>Quota media m</b>	<b>Quota minima m</b>
Macchione	22.1	351.89	109	65.5
Madonna del Prato	8.5	193	97	64
Delle Monache	55.6	170	115	67

Tabella 2 - Caratteristiche fisiche dei bacini contribuenti

## 5. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica risulta di importanza fondamentale per il prosieguo dello studio in quanto consente di determinare le portate di ingresso, nelle sezioni di chiusura, che verranno indicate più avanti, da utilizzare come input nel modello di calcolo idraulico descritto nel paragrafo successivo.

Essa è stata ampiamente esaurita nell'ambito delle progettazioni precedenti, in particolare nel progetto del 2005 redatto dai prof. Ranieri e Chiaia del Politecnico di Bari. Detto studio, così come riportato nella normativa vigente sulla difesa del suolo, ha fatto riferimento allo studio sulla Valutazione delle Piene (VAPI) che riguarda la Puglia effettuato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, conformemente al DPCM del 29/09/1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005.

Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica Tcev (Rossi et al. 1984); la peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali.

L'analisi idrologica effettuata viene affrontata effettuando le seguenti valutazioni:

- Analisi pluviometrica;
- Applicazione dei modelli afflussi-deflussi.

### 5.1. Analisi Pluviometrica

L'analisi pluviometrica, pertanto, fa riferimento alle valutazioni condotte nelle progettazioni e negli studi precedenti di cui si condivide la metodologia. In particolare ci si riferisce allo studio idrologico eseguito dal Prof. Ing. Matteo Ranieri e dal Prof. Ing. Giancarlo Chiaia nel 2005, come supporto al progetto esecutivo del Potenziamento Land-Side e Air per la realizzazione di una piattaforma logistica aeronautica.

Il suddetto studio, al fine di calcolare gli idrogrammi di piena da utilizzare come input nei modelli di calcolo idraulici, punta a stabilire gli ietogrammi di pioggia che consentiranno di applicare i modelli afflussi-deflussi per la determinazione delle portate di piena. A tal fine effettua un'analisi statistica degli eventi piovosi verificatisi in passato che, attraverso l'analisi di un campione significativo di dati storici, consente di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dalle quali si determina lo ietogramma di pioggia.

Per far fronte alle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Puglia, in linea tra l'altro con la normativa nazionale, lo studio applicava la metodologia di analisi riportata nel VAPI Puglia, fondata sulla funzione di distribuzione di probabilità (fdp) Tcev che verrà brevemente descritta nel seguito.

La Tcev ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Per ovviare a questo problema il GNDCI ha messo a punto una procedura di regionalizzazione (Beran et al. 1986) che ha permesso

di determinare i parametri della Tcev su tutto il territorio pugliese estendendo, in questo modo, la lunghezza delle serie storiche.

In Puglia la procedura di regionalizzazione ha individuato 6 zone omogenee la cui individuazione è rappresentata nella figura seguente.

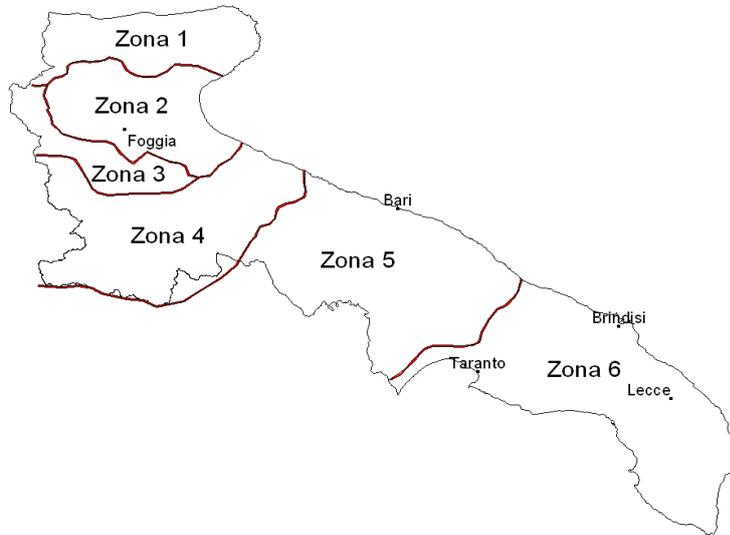


Figura 16 - zone omogenee della Puglia

Le relazioni che regolano ognuna delle sei zone sono le seguenti:

$$\begin{aligned} \text{Zona 1: } & x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]} \\ \text{Zona 2: } & x(t) = 22.23 t^{0.247} \\ \text{Zona 3: } & x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]} \\ \text{Zona 4: } & x(t) = 24.70 t^{0.256} \\ \text{Zona 5: } & x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]} \\ \text{Zona 6: } & x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]} \end{aligned}$$

In particolare i bacini analizzati ricadono nella **zona omogenea numero 5 e numero 6**.

Pertanto, conformemente al DPCM 29/09/98 ed a quanto previsto dalla relazione di piano del PAI, si è provveduto a calcolare la CPP mediante l'applicazione della metodologia VaPi<sup>1</sup> (Valutazione Piene); tale nota applicazione si basa, come detto, sulla regionalizzazione dei dati pluviometrici attraverso una FDP di tipo TCEV (two components extreme value).

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato quindi adottato il modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la

<sup>1</sup> Da **rapporto sintetico** sulla Valutazione Piene redatto dal CNR-GNDCI, a cui si rimanda per ogni opportuno approfondimento e confronto (<http://caronte.gndci.cs.cnr.it/GNDCI/rapporti/Bari.htm>)

miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al 1984). Il modello proposto ammette, che le due componenti quella straordinaria e quella ordinaria appartengano a popolazioni diverse, tuttavia interferiscono tra loro seguendo un processo poissoniano.

Il processo individua una variabile  $X$  che rappresenta il massimo valore in una certa durata  $D$ , di una variabile casuale  $Y$  distribuita secondo la miscela di due esponenziali ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) con funzione di probabilità cumulata (CDF):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\Theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\Theta_2}); \quad Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla componente ordinaria e straordinaria e  $p$  indica la proporzione della prima componente nella miscela.

Il numero di occorrenze  $K$ , cioè il numero di superamenti della variabile  $Y$ , in una durata  $D$ , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = E[K \tau]$$

in cui  $\Lambda$  rappresenta la funzione parametro del processo, espressa come la media dei superamenti. Ipotizzando che  $Y_1$  e  $Y_2$  siano distribuite esponenzialmente con valori medi:

$$\Theta_1 = E[\Psi_1] \quad \Theta_2 = E[\Psi_2]$$

l'equazione diventa:

$$Fkt(k) = \exp [-\Lambda_1 \exp(-k/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\Theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

La probabilità  $p_2$  che un certo valore della  $X$  provenga dalla componente straordinaria è espresso dalla relazione:

$$p_2 = -\Lambda_*/\Theta_* \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j / j! \Lambda_*^j \Gamma(j+1/\Theta_*)$$

nella quale  $\Gamma$  è la funzione speciale e:

$$\Theta_* = \Theta_2/\Theta_1, \quad \Lambda_* = \Lambda_2/(\Lambda_1^{1/\Theta_*})$$

Se si dispone di un campione  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  della variabile  $X$  (massimo annuale delle  $Y$ ) osservato in  $n$  anni, la stima dei parametri della distribuzione può essere effettuata utilizzando le serie dei massimi annuali applicando il metodo della massima verosimiglianza (ML).

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria ( $G$ ), quindi risultano costanti i

due parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro  $\Lambda_1$  che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della  $X$  e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$ ), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottoregioni omogenee al secondo livello.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV ( $CV$  e  $G$ ), è utile rappresentare la legge  $F(Xt)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $Xt$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(X_t)$  ed una quantità  $K_T, t$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t) \quad (a)$$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto (a) corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

È possibile rappresentare graficamente la funzione  $KT=KT(T)$  al variare del tempo di ritorno  $Tr$ ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.

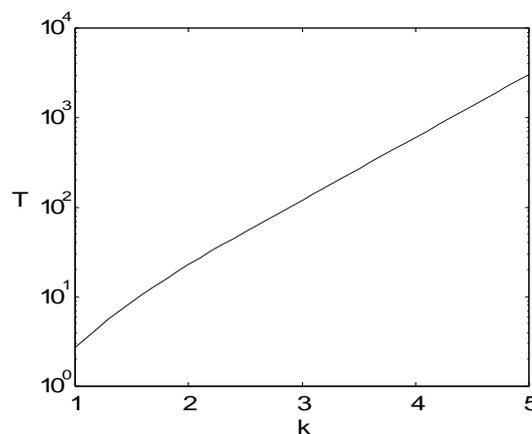


Grafico 4 - Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di  $KT$  può essere ricavato direttamente in funzione di  $Tr$  attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. È utile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita, con valori che sono superiori al 5% solo per  $T < 40$  anni. La relazione

è la seguente:

$$K_T = a + b \ln T \quad (1)$$

in cui:

$$a = (\Theta_* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta$$

$$b = \Theta_* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$T_0$  è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo. Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri  $a$  e  $b$ , e i relativi valori  $\eta$  e  $T_0$ , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	$T_0$	$\eta$
Puglia centro-merid.	0.0183	0.6219	-0.8256	4.2673

Tabella 3 - Coefficienti utilizzabili per l'uso dell'espressione asintotica (1)

Le aree omogenee individuate al primo e secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica (Viparelli, 1964), per ciascuna stazione è stato possibile correlare il valore medio  $x_t$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$x_t = a \cdot t^n \quad (2)$$

essendo  $a$  ed  $n$  due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

Si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a \cdot t^{(C \cdot h + D + \log \alpha - \log a) / \log 24} \quad (3)$$

dove:

$a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $x_1$  relativi alle serie con  $N \geq 10$  anni ricadenti nella zona omogenea;

$\alpha = x_g / x_{24}$  è rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata  $t=24$  ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89.

$C$  e  $D$  sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

I valori delle stime dei parametri sono riportati nel prospetto seguente:

Zona	$\alpha$	A	C	D
5	0.89	28.2	0.0002	4.083
6	0.89	33.7	0.0022	4.1223

Tabella 4 - Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (3)

L'area di interesse del presente studio si inquadra, nell'ambito dell'area pluviometrica omogenee individuata nel territorio regionale, rispettivamente in zona 5 e 6; pertanto le equazioni da applicare sono le seguenti:

$$X(t,z)=28.2 t^{(0.628+0.0002z)/3.178}$$

$$X(t,z)=33.7 t^{(0.488+0.0022z)/3.178}$$

Tale equazione consente di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare.

Ai valori così ottenuti, vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita KT (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al Fattore di Riduzione Areale KA (funzione della superficie del bacino espressa in kmq, e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

Determinando i valori di x per piogge di durata variabile da 1 a 24 ore è possibile costruire le curva di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Nel seguito si riporta, a titolo d'esempio, il grafico relativo alle tre CPP, riferite ai tre tempi di ritorno, per il bacino del fosso Madonna del Prato in esame. Si riportano, inoltre, i valori dei parametri a ed n identificativi delle tre CPP per un tempo di ritorno di 200 anni.

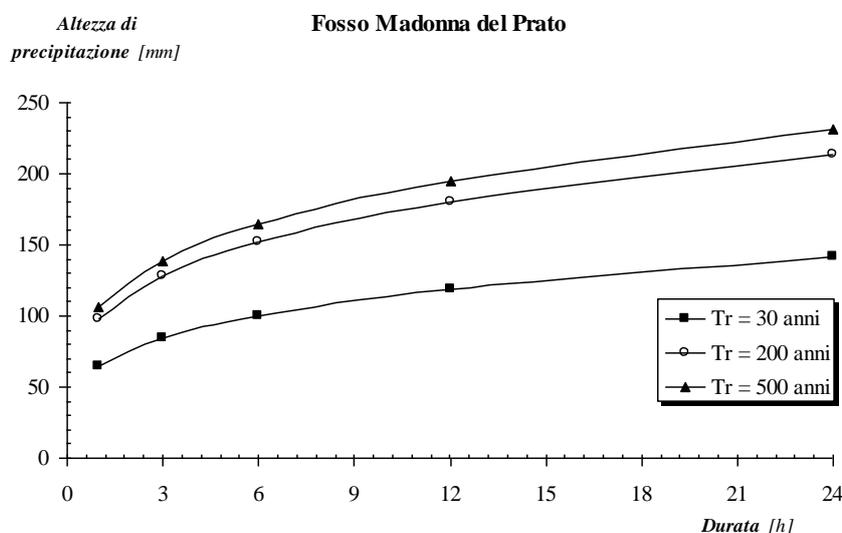


Grafico 5 - Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre tempi di ritorno di riferimento relative al Bacino n.2 (Fosso Madonna del Prato)

VAPI zone 5 e 6 TR = 200 anni	a	n
Fosso Macchione	95.60	0.2492
Fosso Madonna del Prato	97.63	0.2456
Fosso delle Monache	97.56	0.2456

Tabella 5 - valori dei parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per i bacini dei tre fossi analizzati, riferite ad un tempo di ritorno di 200 anni

## 5.2 Applicazione dei modelli afflussi-deflussi

### Metodo SCS-CN

Il metodo ormai largamente usato per la determinazione delle portate/idrogrammi di piena è il metodo SCS-CN. Il metodo trova ormai larga diffusione nell'ambito delle applicazioni tecniche di questo tipo per qualunque tipologia di bacino ed è ampiamente diffuso anche in Italia. Il metodo consente sia la semplice valutazione del volume della piena, o della sua portata al colmo, sia la ricostruzione dell'idrogramma. La stima dell'idrogramma di piena generato da un bacino, a seguito di una determinata precipitazione caratteristica, avviene attraverso l'analisi geomorfologica e di uso del suolo del bacino; l'idrogramma di piena viene valutato attraverso la preventiva acquisizione di diversi parametri tra cui quelli elencati nel seguito:

- CN (Curve Number);
- S grado di saturazione del terreno;
- IA (Initial Abstraction), grado di assorbimento iniziale del terreno;
- AMC (Antecedent Moisture Condition), grado di imbibizione precedente l'evento;
- TL (Time Lag), tempo di ritardo tra il centro del pluviogramma e quello dell'idrogramma;
- RL (Reach Lag), tempo impiegato dall'onda di piena per il trasferimento attraverso l'asta.

La metodologia si basa sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

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

con:

- V = volume di deflusso;
- P<sub>n</sub> = Pioggia netta;
- W = volume idrico realmente invasato nel suolo;
- S = volume massimo che il suolo può immagazzinare.

La pioggia netta si può determinare sottraendo alla precipitazione totale il parametro Ia che tiene conto dell'accumulo di volumi idrici in superficie, dell'infiltrazione iniziale e superficiale nel suolo e dell'intercettazione operata dalla copertura vegetale.

In linea generale il valore di Ia può essere assunto, come è stato fatto per il presente studio secondo le indicazioni dell' SCS, pari a:

$$Ia = 0,2 S$$

Pertanto il volume di deflusso  $V$  può essere ricavato dalla seguente relazione:

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

La valutazione di  $S$  viene effettuata con l'ausilio della relazione seguente:

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Il parametro CN è denominato Curve Number esso indica l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima sulla base delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale. La stima del CN si effettua determinando il gruppo idrologico di appartenenza e, all'interno di ciascun gruppo, valutando la copertura d'uso del suolo; alle sottoclassi così determinate viene associato un valore di CN.

Il parametro "CN2" individua, attraverso l'analisi geolitologica dei suoli del bacino, la capacità di risposta in termini di infiltrazione e ruscellamento a fronte di un evento di pioggia del bacino. Per definire il valore di CN è necessario determinare alcune grandezze specifiche e correlarle. Nel caso in esame le caratteristiche geolitologiche sono state determinate facendo riferimento alla carta dei suoli redatta dall'IRSA CNR in scala 1:100.000, ed è stato possibile caratterizzare i suoli dal punto di vista della permeabilità secondo la classificazione SCS.

<b>Gruppo A</b>	Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
<b>Gruppo B</b>	Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
<b>Gruppo C</b>	Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
<b>Gruppo D</b>	Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

*Tabella 6 - Gruppi geolitologici*

Nell'ambito delle differenti classi di permeabilità così individuate, attraverso un calcolo ponderale basato sui dati acquisiti dalla carta dell'uso del suolo, si distinguono e si individuano le classi di CN per ogni sottobacino analizzato. Nel caso in esame, come carta di uso del suolo, si è fatto riferimento allo studio ACLA condotto dal CHIEAM-BARI in cui sono state individuate le seguenti classi alle quali sono stati associati i parametri di CN riscontrati in letteratura scientifica.

Uso del Suolo	A	B	C	D
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aree agricole con presenza di spazi naturali</li> <li>• Seminativi in aree non irrigue</li> <li>• Vigneti non irrigui</li> <li>• Colture temporanee associate a colture permanenti</li> <li>• Frutteti e frutti minori non irrigui</li> </ul>	62	71	78	81
Aree Urbane	92	92	92	92
Area residenziale	77	85	90	92
Bacini d'acqua	100	100	100	100
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo</li> <li>• Colture orticole a ciclo estivo autunnale/primaverile</li> <li>• Colture orticole a ciclo primaverile-estivo</li> <li>• Frutteti e frutteti minori irrigui</li> <li>• Oliveti irrigui</li> <li>• Sistemi colturali e particellari complessi</li> <li>• Vigneti irrigui</li> <li>• Sistemi colturali e particellari complessi</li> <li>• Vigneti irrigui</li> </ul>	72	81	88	91
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Zone Boscate	45	66	77	83

Tabella 7 - valori del CN in funzione del gruppo geolitologico e dell'uso del suolo

Poiché lo studio è rivolto al calcolo delle portate di piena e considerato che in occasione di queste ultime è fondamentale la condizione di imbibimento del terreno, il metodo SCS-CN fa riferimento a tre diverse situazioni di umidità antecedenti all'evento considerato:

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	$0 < P < 50$
II (Umidità media)	$50 < P < 110$
III (Terreno da mediamente umido a saturo)	$P > 110$

Tabella 8 - classi AMC (Antecedent Moisture Conditions)

I valori di CN corrispondenti alle classi AMCI e AMCIII si determinano dal valore del CN relativo alla classe AMCII applicando le seguenti relazioni:

$$FI = 0,3 + 0,00636 \text{ CN} \quad \text{valida per } 20 \leq \text{CN} \leq 95$$

$$FIII = 3,4212 - 1,1999 \log \text{CN}$$

La portata viene determinata con la seguente relazione:

$$Q = 0,208 (VA/0,5 Tc + ta)$$

dove:

- $t_a = 0,5 t_p + TL$  (tempo di accumulo)
- $t_p$  = tempo di pioggia;
- $TL$  = Time lag per cui  $t_c = 1.67 t L$

Nello studio redatto nel 2005 dal Prof. Ing. M. Ranieri e dal Prof. Ing. G. Chiaia del Politecnico di Bari, venivano definite le seguenti portate rispetto agli indicati tempi di ritorno.

Bacino	$Q_{50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{100}$ [m <sup>3</sup> ]	$Q_{200}$ [m <sup>3</sup> /s]
Fosso Macchione	30.6	35.2	39.9
Fosso Madonna del Prato	22.6	26.0	31.3
Fosso delle Monache	86.0	100.0	112.0

Tabella 9 - Valori delle portate al picco di piena relativi ad eventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni

È fondamentale evidenziare che successivamente è stato approvato e, allo stato attuale, già realizzato un progetto di regimentazione dei deflussi riferiti al fosso Madonna del Prato. Detto progetto, dopo aver ricalcolato il valore di portata bicentenaria pari a 28.68 m<sup>3</sup>/sec per tale fosso, ha previsto la realizzazione di un partitore per separare i deflussi del bacino idrografico naturale, lasciando defluire verso il corso naturale dello stesso fosso, per un tempo di ritorno di 200 anni, 18.08 m<sup>3</sup>/sec e derivando verso il fosso delle Monache 10.6 m<sup>3</sup>/sec.

Detti valori sono sostanzialmente stati quelli utilizzati per progettare il fosso Madonna del Prato dall'opera di partizione sino al tratto tombato al di sotto dell'aeroporto.

Dall'esame degli studi eseguiti per il dimensionamento del partitore sul fosso Madonna del Prato, si evince che la partizione delle portate è stata realizzata con un'opera che prevede una luce di fondo, posta alla quota 70,78, avente larghezza di 7 m ed altezza di 0,79 m, verso il fosso Madonna e uno stramazzo a quota 72,07 e larghezza di 10,0 m, verso il Canale Deviatore. Il tirante idrico massimo previsto è pari a 2,0 m, e che quindi il pelo libero raggiunge al max la quota 72,78. Con riferimento a questa quota sono stati proporzionate le sponde dell'opera e la luce del limitrofo ponte sulla Gravina Lonoce, con aggiunta di un franco di sicurezza di 1 metro.

Nella figura sottostante, stralciata dallo studio per la progettazione del partitore, è riportato lo schema idraulico dell'opera idraulica, riferito alla situazione di regime.

Tenuto conto del funzionamento idraulico dei canali confluenti, il proporzionamento del nodo viene effettuato stabilendo che il tirante idrico massimo che potrà essere raggiunto a monte delle strutture di partizione, in corrispondenza della portata max con  $T_r=200$  anni ( $Q=28,68$  m<sup>3</sup>/s), come detto, sia  $H=2,0$  m (quota massima 72,78).

Con le dimensioni assegnate alla luce di fondo, ed allo stramazzo si realizza effettivamente la partizione della portata prevista nella situazione di regime, infatti con  $H=2,0$  m, la portata massima che può defluire verso il Madonna (luce a battente), risulta 18,08 m<sup>3</sup>/s.

La portata che può defluire attraverso lo stramazzo, verso il Canale Deviatore con il battente  $h=0,71$  m, risulta di 10,60 m<sup>3</sup>/s.

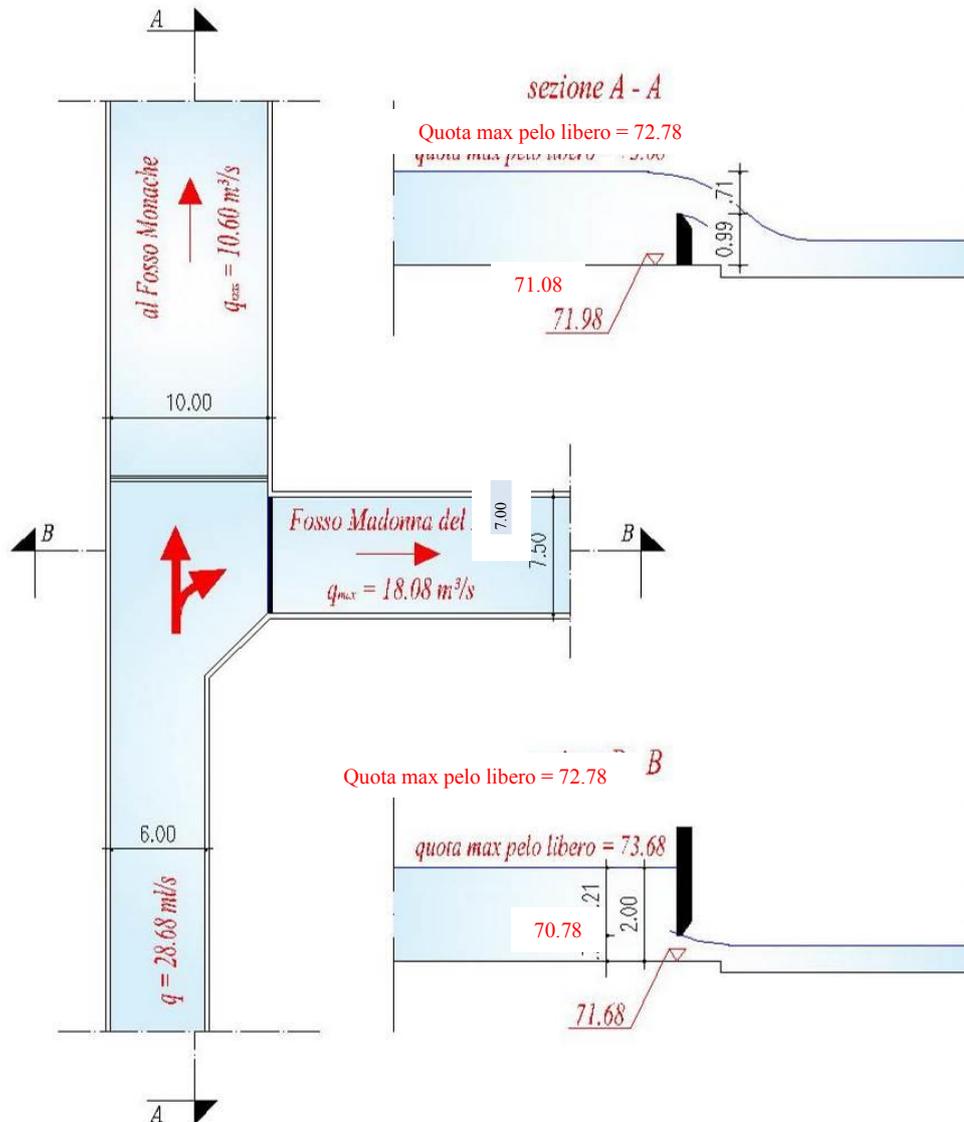


Grafico 6 - Schema del manufatto di partizione della portata tra il Fosso Madonna del Prato e il Canale Deviatore, nella situazione di regime

Per i valori dell'altezza nel nodo inferiori ad  $H=1,29$  m, la portata defluisce tutta verso il fosso Madonna; con tale valore del carico  $H$  la portata che defluisce è di circa  $13,27$   $m^3/s$ . Per  $H > 1,29$  m la portata, attraverso lo stramazzo, comincia a defluire anche verso il fosso Monache, fino a raggiungere i valori massimi prima indicati.

La immissione del Canale deviatore con portata di  $10,60$   $m^3/s$  nel fosso Monache, avviene in corrispondenza della sezione immediatamente a valle del ponte della SP 84 Grottaglie-Carosino. Il Fosso delle Monache, in quella sezione e per un tempo di ritorno di 200 anni, ha una portata idrologica pari a  $102,12$   $m^3/s$ .

Un ulteriore elemento conoscitivo dell'idrologia sono le mappe con i parametri idrodinamici contenuti nel Piano di Gestione del rischio alluvioni-Direttiva comunitaria 2007/60/CE D.Lgs 49/2010, Dlgs

219/2010, che prevedono delle sezioni dei reticoli idrografici maggiori dove sono riportati i valori di portata [mc/s], velocità [m/s] e tirante [m].

In corrispondenza dei tre Fossi analizzati, nelle sezioni posizionate nelle immediate vicinanze dell'aeroporto, si ricavano i seguenti valori:

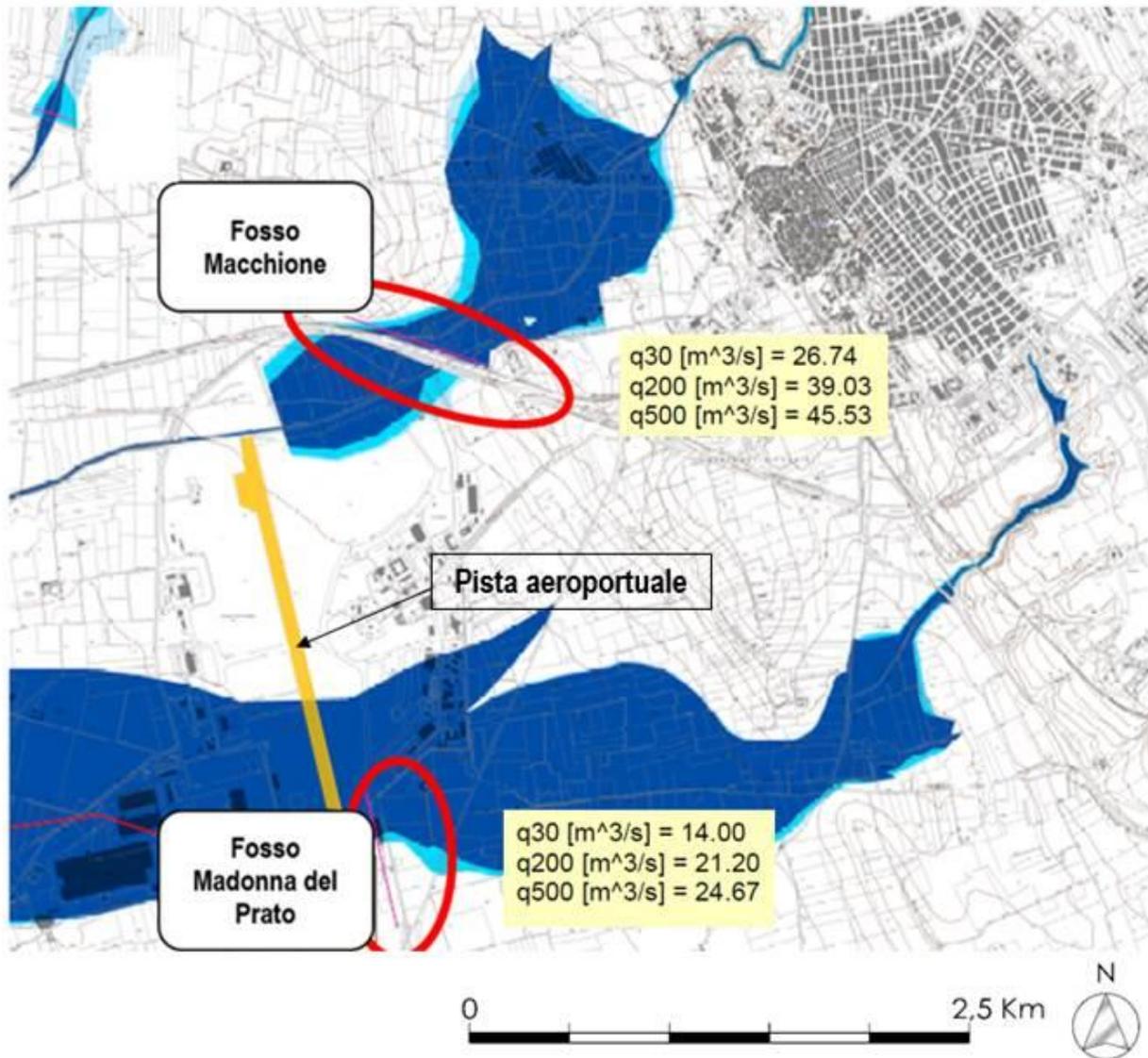


Figura 17 - Mappa della pericolosità idraulica mappa "468 Grottaglie"

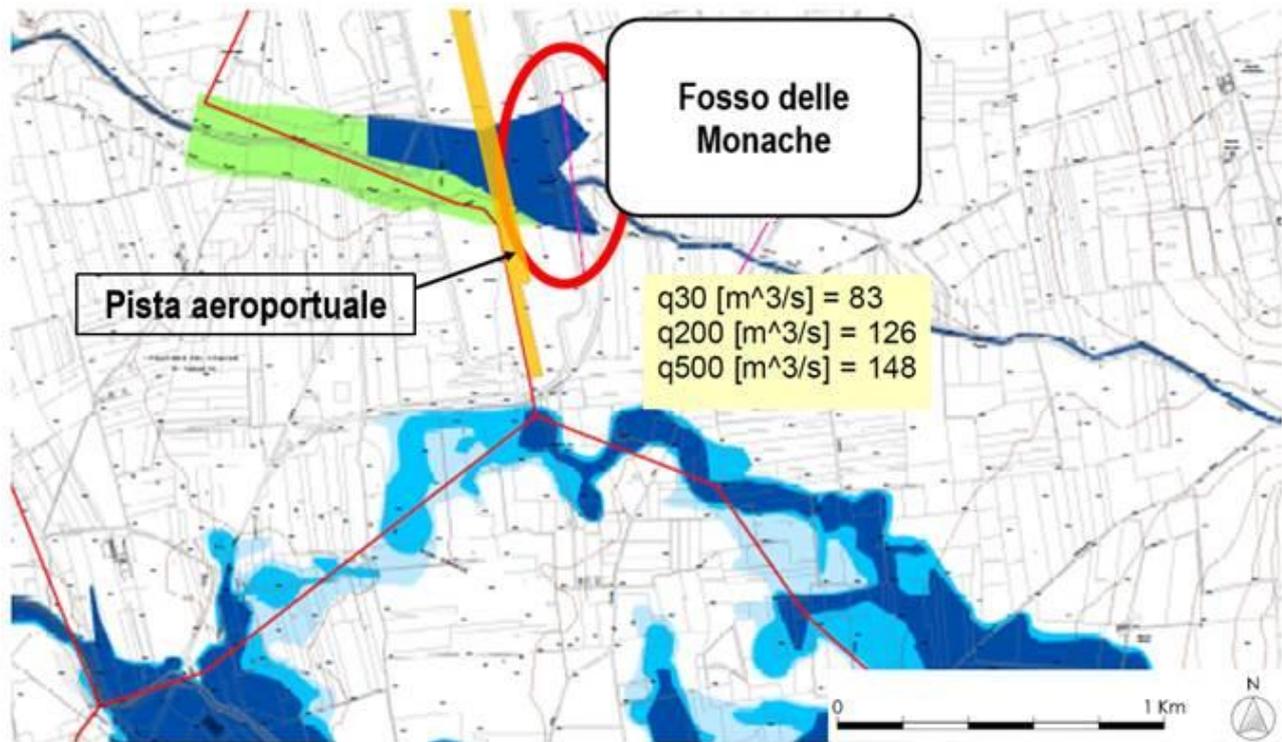


Figura 18 - Mappa della pericolosità idraulica mappa "485 Grottaglie"

Si riporta di seguito la tabella con il confronto tra le portate adottate per il dimensionamento delle infrastrutture idrauliche di attraversamento (2005) e quelle riportate nelle mappe di pericolosità idraulica del Piano di Gestione alluvioni (in particolare per i riquadri 468 e 485 Grottaglie):

Portata [mc/s]	Direttiva alluvioni			dimensionamento manufatti		
	tr 30	tr 200	tr 500	tr 50	tr 100	tr 200
Fosso Macchione	26.74	39.03	45.53	30.6	35.2	39.9
Fosso Madonna del Prato	14	21.2	24.67	22.6 (18)		
Fosso Monache	83	126	148	86	100	112

Si precisa che la portata di dimensionamento/verifica delle infrastrutture idrauliche risulta la portata tr 200anni, mentre la portata tr 30 e tr 500 anni sono utilizzate per controllo e determinazione dei franchi di sicurezza.

Come si evince dalla tabella allegata, i valori della portata duecentennale quasi convergono.

In corrispondenza di eventi con tempo di ritorno di 200 anni, a valle della confluenza del canale deviatore nel fosso delle Monache, ricalcolando la portata idrologica dell'intero bacino, comprensivo della parte riguardante il canale deviatore, è risultata una portata idrologica di 124,84m<sup>3</sup>/s che risulta aumentare leggermente all'ingresso del tratto tombato sotto l'aeroporto, a causa degli afflussi provenienti dai versanti circostanti.

L'opera con cui il fosso Monache attraversa l'Aeroporto è di cemento armato della lunghezza di L=463,90 m, ha forma rettangolare ed è costituita da 2 scatolari uguali con pendenza costante

$i=0,0033$ . Ciascuno dei due canali ha larghezza netta interna  $B=6,10$  m ed altezza totale media di 3,00 m. In corrispondenza delle sezioni di ingresso e di uscita dall'Aeroporto l'opera di attraversamento è protetta da grigie antintrusione che in caso di "allerta meteo", saranno mantenute aperte a cura dei responsabili della sicurezza dell'Aeroporto. Si precisa che ad oggi solo una porzione di tali grigie (quella centrale) risulta apribile.

Infatti al punto 4.5 della "Scheda di sicurezza dell'Aeroporto di Taranto – Grottaglie" sono indicate le "modalità operative per l'apertura dei cancelli posti a protezione dei canali "Fosso Monache", "Fosso Macchione" e "Madonna del Prato", da attivare in caso di forti precipitazioni (segnalate dalla Protezione Civile agli addetti dell'Aeroporto con le usuali comunicazioni di "Allerta Meteo").

A valle di questa sintesi relativa alle valutazioni idrologiche fatte negli studi di progettazione precedenti, nell'ipotesi di derivazione verso valle di una portata massima paria a 18.08 m<sup>3</sup>/sec in riferimento al fosso Madonna del Prato, in considerazione che nello studio del 2005 i Prof. Ranieri e Chiaia avevano fatto riferimento ai tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni, è stata eseguita una piccola regressione dei dati di portata calcolati, al fine di ottenere anche i valori corrispondenti ai tempi di ritorno di 30 e 500 anni.

TR	30	50	100	200	500
<b>Fosso Macchione</b>	26.07302	30.6	35.2	39.03	46.60304
<b>Fosso Madonna del Prato</b>	12.35			28.68	33.08
<b>Fosso delle Monache</b>	76.80659	86	100	125	140.4628

regressione Q

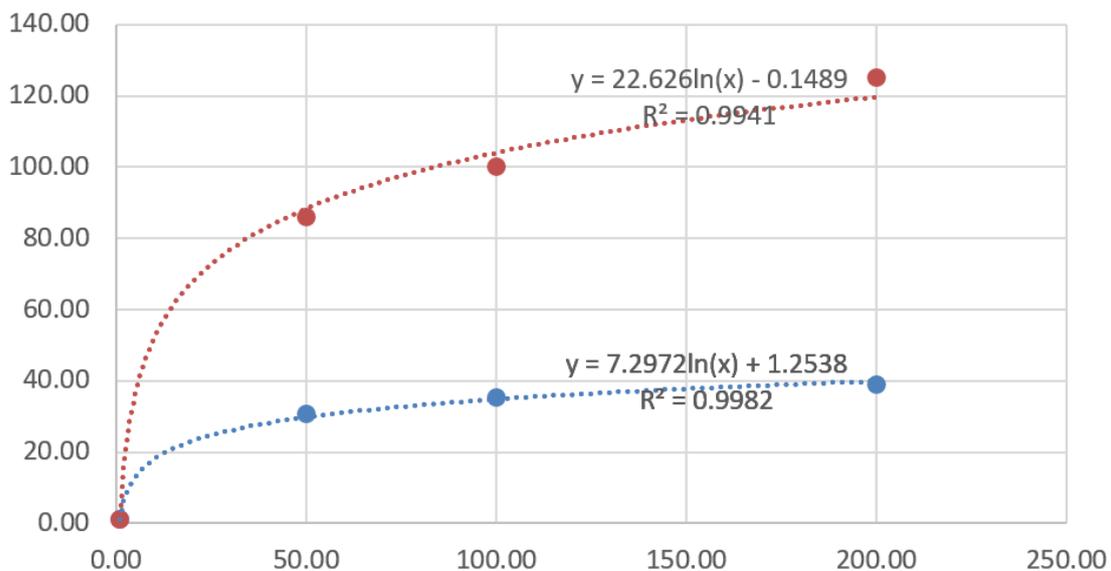


Grafico 7 - Leggi di regressione individuate per la definizione delle portate mancanti

In definitiva le portate adottate nel presente studio sono state dedotte considerando quelle maggiori a vantaggio di sicurezza tra quelle ricavate da tutti gli elementi informativi.

<b>PORTATE DEFINITIVE DA CONSIDERARE [mc/s]</b>			
	<b>TR 30</b>	<b>TR 200</b>	<b>TR 500</b>
Fosso Macchione	26.74	39.03	46.6
Fosso Madonna del Prato	12.35	20.6(*)	20.6(*)
Fosso Monache	83	135.6(**)	163(***)

(\*)=18.30 + 2.30 (bacino residuo)

(\*\*)=125 + 10.60 (dal partitore)

(\*\*\*)=148 + 15 (dal partitore)

Nella tabella sopra riportata sono dunque indicati i valori delle portate al picco per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni che si inseriranno come input del modello idraulico, precisando che per il fosso Madonna del Prato si utilizzerà sempre un valore costante pari a 18.08 m<sup>3</sup>/s in quanto, per i tempi di ritorno di 200 e 500 anni, gli esuberi rispetto alla portata idrologica attesa, vengono deviati verso il fosso delle Monache.

## 6. ANALISI IDRAULICA

Nell'analisi idraulica si è proceduto con la simulazione della propagazione delle piene in moto vario al fine di individuare le aree inondabili e stabilire i livelli di pericolosità idraulica delle aree oggetto di interesse.

L'output dello studio idrologico-idraulico, simulando eventi con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni, consente di individuare la parte di territorio allagabile al fine di definire il livello di pericolosità: Alta, Media e Bassa.

Considerando quindi la piena bicentenaria è possibile stabilire le aree in "sicurezza" idraulica secondo quanto riportato all'art.36 delle NTA del PAI vigente.

### 6.1. Teoria del modello idraulico

Per l'analisi idraulica del reticolo analizzato nel presente studio, tenuto conto della complessità del sito studiato, si è ritenuto indispensabile adoperare sia un modello idraulico monodimensionale che uno a schema bidimensionale. Il primo per verificare con massimo dettaglio la capacità delle opere idrauliche realizzate di lasciar transitare verso valle i deflussi di piena attesi, il secondo per definire le aree allagabili in occorrenza di una possibile insufficienza delle opere idrauliche esistenti.

Il modello idraulico monodimensionale utilizzato è l'HEC-RAS del Hydrologic Engineering Center's della US Army Corps of Engineering, gratuitamente distribuito sul web; il secondo è il Flo2D della FLO-2D Software, INC, particolarmente adatto per simulare la propagazione di onde basse in domini pianeggianti o subpianeggianti.

**Il tipo di approccio modellistico adoperato nel presente studio è stato di tipo classico, calcolando l'idrogramma di piena a parametri concentrati, secondo quanto descritto nel precedente paragrafo, inserendo i picchi di piena come input del modello idraulico 1D e gli idrogrammi di piena come input nel modello idraulico 2D.**

#### 6.1.1 Hec Ras: la propagazione delle piene in un dominio di calcolo monodimensionale

Avendo, come vedremo, utilizzato il modello relativamente alle condizioni di moto permanente, si fa un breve cenno alle routine di calcolo utilizzate dal software.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili sia di correnti lente che veloci, ed inoltre è possibile valutare profili misti, con passaggio attraverso lo stato critico.

Il profilo idraulico è calcolato normalmente (standard step method) attraverso la soluzione iterativa della equazione dell'energia, tra due sezioni consecutive. Le perdite relative al termine cinetico dell'equazione, sono calcolate aggiungendo alle perdite continue per attrito, "J", un coefficiente di contrazione/espansione, che viene moltiplicato per la differenza delle altezze cinetiche medie tra due sezioni successive.

L'equazione che esprime la perdita di energia è la seguente:

$$h_e = LJ' + C \left( \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- L = lunghezza del tratto di alveo compreso tra le due sezioni successive, "pesata" in funzione della portata defluente all'interno della sezione trasversale su zone con differente coefficiente di attrito (basato sulla equazione di Manning)
- J' = pendenza di attrito "rappresentativa" (media) delle due sezioni successive (in caso di moto uniforme sarebbe parallela al fondo e costante).
- C = coefficiente di contrazione o di espansione

Occorre ribadire che il software è programmato per il calcolo di profili nell'ipotesi monodimensionale, e quindi fornisce, per ciascuna sezione trasversale, un'unica altezza del pelo libero e un'unica altezza della linea dell'energia. L'altezza della linea dell'energia è ottenuta calcolando un valore "pesato" dalla portata di ciascuna delle sottosezioni in cui si può suddividere la sezione trasversale.

Per calcolare quindi il valore dell'energia per l'intera sezione, bisogna ricavare la parte relativa alla altezza cinetica media, passando attraverso la valutazione del coefficiente di velocità  $\alpha$  (a sua volta "pesato"):

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

In generale si ottiene, per  $Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$ :

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2}$$

Come detto, le perdite continue per attrito sono valutate come il prodotto di

$$J'_f \times L$$

dove  $J'_f$  è la pendenza media della linee dell'energia tra due sezioni consecutive distanti tra loro L (pesate in funzione delle "portate trasversali").

La pendenza della linea dell'energia è calcolata, per ciascuna sezione, tramite l'equazione di Manning, nel modo seguente:

$$J_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2$$

dove K rappresenta il termine di "trascinamento" e quindi influenza le perdite continue; il modello

contiene espressioni alternative che possono essere scelte dall'utente. In particolare l'espressione

$$J_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

è quella di default nel programma.

Le perdite per contrazione ed espansione, rappresentative in un certo senso delle perdite localizzate, sono calcolate in HEC-RAS tramite la seguente equazione:

$$h_{ce} = C \left[ \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right]$$

dove:

C = coefficiente di contrazione o espansione

Il programma assume che vi sia una contrazione, ogni volta che l'altezza cinetica (velocity head) a valle è maggiore di quella immediatamente a monte. Al contrario si assume una espansione, quando la altezza cinetica a valle è minore di quella di monte.

In definitiva l'equazione della energia, al fine della valutazione della incognita ovvero del tirante idrico nella singola sezione, viene applicata in maniera iterativa, secondo il seguente schema, assegnate che siano le condizioni al contorno:

- viene assunta una altezza del pelo libero nella sezione a monte di quella ritenuta nota (o a valle a seconda se siamo in corrente lenta o veloce);
- su questo valore ipotetico, si valutano i valori di K e della altezza cinetica;
- ora viene calcolato il termine  $J_f$  e quindi è possibile valutare  $h_e$ ;
- con i valori ricavati, si ricava la altezza del pelo libero nella sezione di monte;
- si confrontano il valore appena ricavato, con quello assunto al punto 1 e si reitera il calcolo, sino ad una tolleranza di 0.003 m (valore predefinito, modificabile dall'utente).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di una altezza iniziale del tirante, varia nell'ambito della procedura, man mano che si sviluppano passaggi successivi. Nel primo passaggio, relativo ai 5 punti descritti, il tirante si basa sulla proiezione di quello della sezione precedente nella sezione in studio. Nel secondo passaggio, invece, è utilizzato il tirante del primo passaggio, incrementata del 70% dell'errore risultante al primo passaggio (altezza calcolata – altezza assunta). Il terzo passaggio e i successivi, sono invece basati su un metodo di proiezione "secante", tendente a limitare la discrepanza evidenziata.

In tutte le situazioni in cui non sia un profilo di corrente gradualmente variato, ma che prevedono risalti idraulici, passaggio attraverso lo stato critico (per bruschi cambi di pendenza, restringimenti, attraversamenti, ponti) e quindi si generano profili di corrente rapidamente variati, il programma utilizza in luogo della equazione dell'energia, l'equazione del momento, o dell'equilibrio dinamico.

L'equazione deriva dalla seconda legge di Newton ( $F = m \cdot a$ , ovvero Forza = massa \* accelerazione), applicata ad una massa d'acqua compresa tra due sezioni; l'espressione della differenza dei momenti

nell'unità temporale tra le sezioni 1 e 2, si esprime con la seguente equazione:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

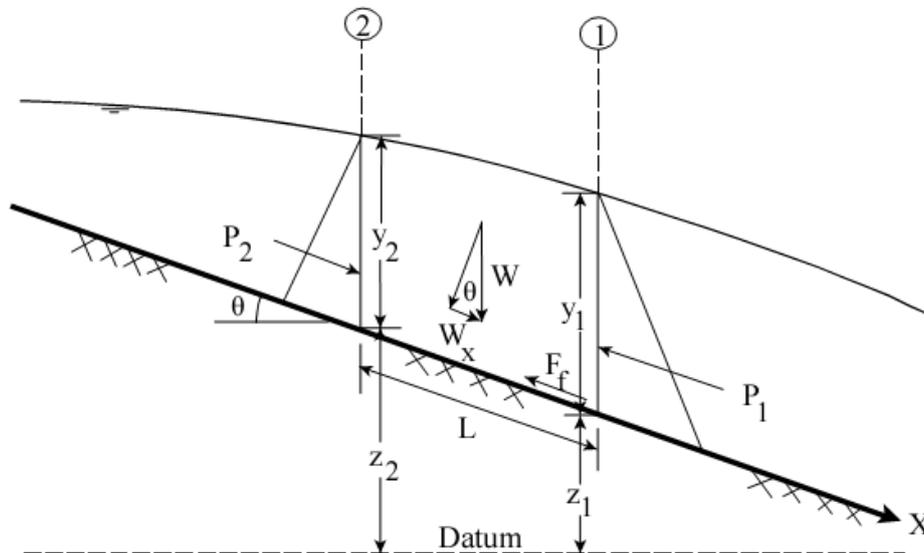


Grafico 8 - azioni esercitate sulla massa d'acqua

dove:

- P = spinta sulle sezioni 1 e 2
- $W_x$  = forza peso nella direzione del moto
- $F_f$  = forza dovuta alle perdite per l'attrito esterno tra 2 e 1
- Q = portata
- $\rho$  = densità dell'acqua
- $\Delta V_x$  = cambio di velocità tra 2 e 1 nella direzione del moto.

Risolvendo le varie componenti dell'equazione base, si perviene alla formulazione usata dal modello che la soluzione dell'equazione dei momenti, che risulta essere la seguente:

$$\frac{Q_2\beta_2}{gA_2} + A_2\bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)LS_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)LS_f = \frac{Q_1\beta_1}{gA_1} + A_1\bar{Y}_1$$

Nel caso di presenza di attraversamenti dei fiumi da parte di infrastrutture a rete la procedura di calcolo individua 4 sezioni a cavallo di ognuno di essi (2 a monte e 2 a valle) che sono influenzate dalla presenza dello stesso (figure 10a e 10b).

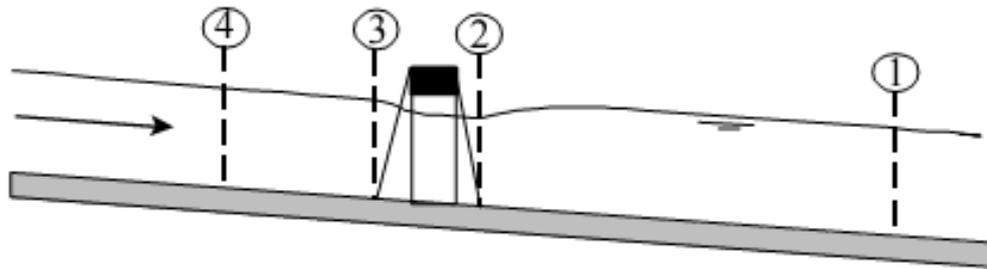


Figura 19 - sezioni interessate dall'interferenza di un attraversamento con il moto a pelo libero dell'acqua

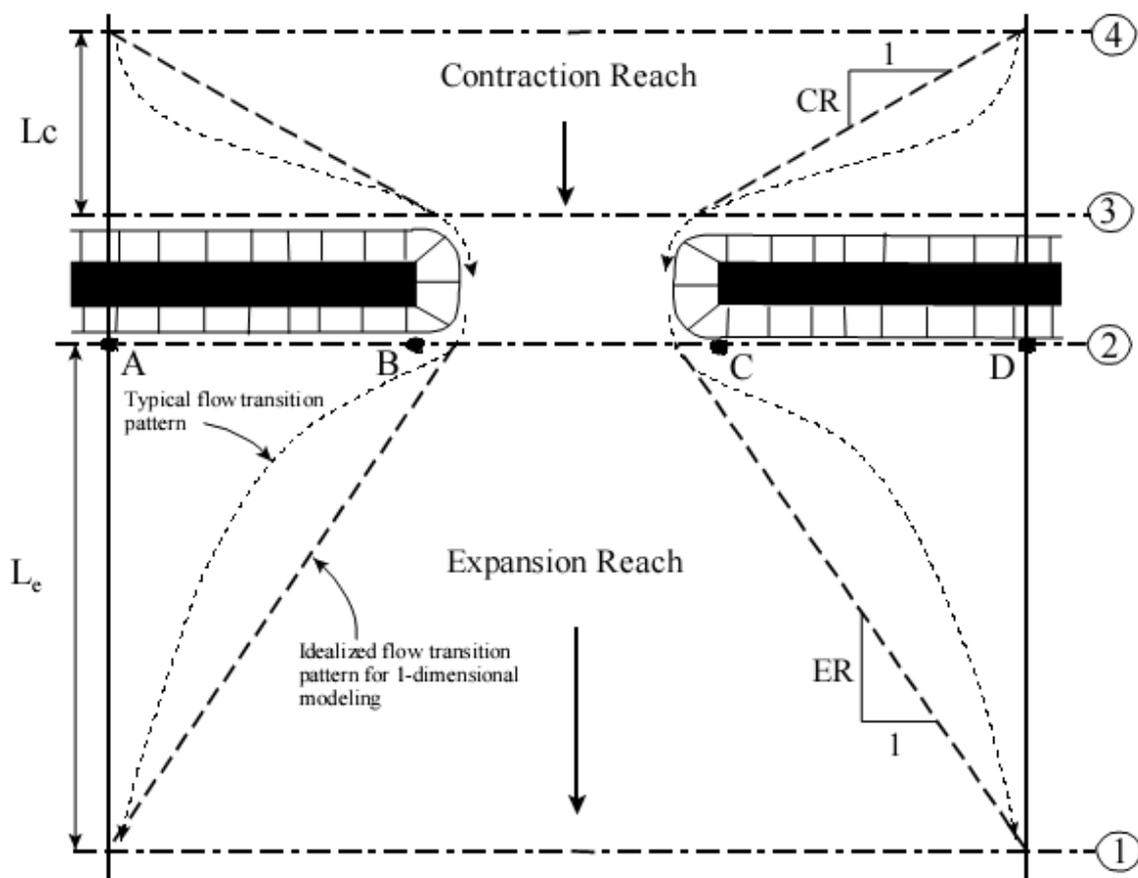


Figura 20 - sezioni interessate dall'interferenza di un attraversamento con il moto a pelo libero dell'acqua

Le sezioni 3 e 2, nella figura sopra esposta, sono quelle adiacenti all'attraversamento; in esse va inserita la porzione di sezione non interessata dal deflusso idrico (ineffective flow areas) a causa del restringimento (a monte) e dell'allargamento (a valle) dei filetti fluidi che, pertanto, non impegnano l'intera sezione. Dal manuale del software si riscontra la possibilità di considerare un rapporto 1 a 1 di contrazione ed espansione fra le sezioni dell'attraversamento e quella immediatamente a monte o valle (sezioni 3 e 2) a patto che venga impostata una distanza dall'impalcato del ponte, quanto

più piccola possibile.

La sezione 4 è quella a monte della 3 ove si ipotizza che immediatamente a valle i filetti fluidi tendano a convergere e non sono più paralleli. Per questa sezione il rapporto di contrazione diventa CR a 1, dove CR è il coefficiente di contrazione. Dal manuale del software si evince che da un punto di vista numerico la sezione 4 dovrebbe trovarsi ad una distanza ( $L_c$ ) pari alla media delle distanze AB e CD, ovvero delle spalle dell'attraversamento che provocano la contrazione dei filetti.

La sezione 1 è quella a valle della 2 dove si ipotizza che i filetti fluidi ritornino ad essere paralleli, il rapporto di espansione è ER a 1 dove ER è il coefficiente di espansione. La sezione 1 dev'essere posta sufficientemente a valle dell'attraversamento in modo da non risentire dell'effetto dello stesso. Dal punto di vista numerico, questa distanza, dipende dalla luce dell'attraversamento, dalla larghezza, dalla forma, dalla pendenza, dalla scabrezza e dalla velocità della corrente. Nella pratica non esiste un metodo univoco per la sua determinazione ma esso va valutato caso per caso; generalmente questo valore non può essere inferiore a quattro volte la larghezza della strozzatura. Per concludere questa panoramica sul modello, si rammenta la possibilità di inserire nella geometria del sistema aree di accumulo e rilascio, di esondazione al di fuori del canale principale, e di deposito temporaneo o definitivo (ovvero zone in cui la componente cinetica si annulla).

### **6.1.2. Flo2D: la propagazione delle piene in un dominio di calcolo bidimensionale**

A causa della morfologia del territorio, dello stato naturale delle aree di interesse caratterizzato da una morfologia che consente di individuare a tratti un impluvio con sezione comunque di larghezza notevole, delle conseguenti incertezze nel poter unicamente definire una direzione preferenziale dei deflussi in maniera immediata, si è scelto di escludere l'utilizzo di modelli di propagazione delle piene lungo percorsi monodimensionali stabiliti a priori. Per questi motivi si è fatto riferimento a software di calcolo idraulico più sofisticati e complessi in grado di simulare la propagazione delle piene in domini bidimensionali con la possibilità di associare al loro interno, tratti monodimensionali.

A tal fine, per il caso in esame, allo scopo di stabilire e ricostruire le dinamiche di propagazione delle piene che, attraversando il territorio analizzato, giungerebbero in corrispondenza dell'area di interesse, dovendo tener conto delle eventuali deviazioni che le correnti idrodinamiche riceverebbero urtando contro gli ostacoli lungo il percorso, si è fatto riferimento ad un modello di propagazione delle piene in campo bidimensionale operando analisi idrauliche in moto vario.

Il software utilizzato è il FLO-2D (FLO-2D Software, Inc. – Arizona – USA).

Il software studia la dinamica della modellazione della piena in condizioni di alvei incisi e di territori pianeggianti, modella la propagazione secondo due direzioni anziché una come i modelli monodimensionali.

Di seguito si illustrano brevemente i contenuti del modello rimandando, anche in questo caso, ogni ulteriore approfondimento ai documenti presenti sul sito ufficiale ([www.flo-2D.com](http://www.flo-2D.com)).

Il modello matematico del moto vario è quello che meglio si presta a descrivere la traslazione dell'onda di piena. La sua formulazione deriva dal sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali di De Saint Venant che, scritte nella forma ad una dimensione risultano le seguenti:

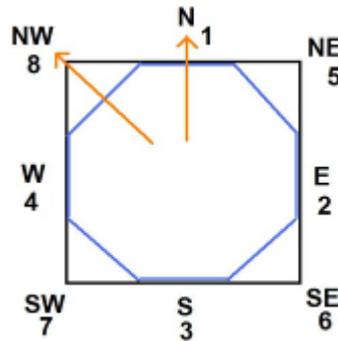
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

equazione di continuità

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} = i_f - J$$

equazione dinamica

dove  $y$  rappresenta il tirante idrico e  $U$  rappresenta la velocità media nella sezione in una delle otto direzioni del flusso della cella.



L'equazione di continuità, esprime il bilancio delle masse entranti ed uscenti da una generica cella invece l'equazione dell'energia, esprime, per quella medesima cella, il bilancio energetico. Questa è differenziata dal moto permanente per l'introduzione delle derivate parziali rispetto tempo. La portata è variabile sia nello spazio che nel tempo. Le perdite di carico sono basate sull'equazione di Manning. Per il processo alluvionale le equazioni del moto in FLO-2D sono applicate calcolando la velocità media di flusso attraverso il confine della griglia di calcolo una direzione alla volta delle otto potenziali disponibili come condizioni al contorno di queste otto, quattro sono nel verso ortogonale degli assi principali (Nord-est sud e ovest) e quattro in direzione diagonale (NE-SE-SW e NW). Ciascun calcolo di velocità è essenzialmente unidimensionale in natura e viene risolto indipendentemente dalle altre sette direzioni. La stabilità di questo schema numerico è basata su un rigido criterio per il controllo della misura della variabile computazionale del passo temporale.

La procedura di calcolo dell'algoritmo consiste in:

- calcolo dei parametri caratteristici idraulici (tirante, pendenza e Manning) sono mediati sul contorno tra i due elementi della griglia,
- ogni cella è associata univocamente ad un valore di elevazione, un coefficiente di scabrezza di Manning ed un tirante idrico;
- il tirante idrico per il calcolo della velocità lungo i confini della cella è stimato dal precedente valore del timestep incrementato in maniera lineare con la formula di Manning;

$$d_x^{i+1} = d_x^i + d_{x+1}^i$$

- la prima stima della velocità è computata utilizzando l'equazione dell'onda diffusiva ( $S_f = S_o - \partial h / \partial x$ );
- il valore di velocità individuato viene utilizzato come primo valore per il metodo di Newton-

Raphson (metodo delle tangenti) per la risoluzione dell'equazione dell'onda dinamica completa. Le velocità  $V$  nelle singole direzioni sono determinate separatamente;

- la portata in ogni singola direzione viene computata moltiplicando la velocità individuata con l'area della sezione idraulica corretta con un parametro che tiene conto della riduzione dovuta ad ostacoli (WRFs);
- Anche gli altri parametri idraulici sono mediati tra le celle adiacenti in direzione del flusso per calcolare la velocità, scabrezza, sezione bagnata, tirante e perimetro bagnato;
- L'incremento di portata nel passo temporale lungo le otto direzioni viene sommato e distribuito negli accumuli locali e successivamente trasformato in aumento di tirante idrico;

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw}$$

$$\Delta d_x^{i+1} = \Delta Q_x^{i+1} \Delta t / A_{surf}$$

Il processo deve essere verificato se supera criterio di stabilità numerica senza il quale la simulazione è riportata all'istante precedente e aumentato il time step fino alla determinazione della velocità che soddisfa i criteri di stabilità:

Ossia:  $\Delta t < \zeta \text{ So } \Delta x^2 \div q_0$

dove:

- $\Delta t$  = Passo temporale
- $\zeta$  = Coeffic. empirico ( $0.10 < \zeta < 1.0$ )
- $\text{So}$  = Pendenza del fondo
- $\Delta x$  = Dimensione della cella
- $q_0$  = Portata specifica per il canale

### 6.1.3. Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento

Le valutazioni idrauliche condotte in questo studio, come vedremo, hanno consentito di individuare le aree interessate dall'inondazione in riferimento alle piene relative ad un tempo di ritorno di 200 anni.

L'indicazione di allagamento di una superficie non è di per sé un fattore di pericolosità, particolari condizioni di allagamento però possono mettere in condizioni di pericolo le persone presenti nelle aree in cui essi si verificano.

Oltre al tirante idrico, i fattori che influiscono sul livello di pericolo sono la velocità di scorrimento idrico e la persistenza del fenomeno. Infatti un allagamento che presenta un tirante idrico di 0,1 metri risulta diverso da quello derivante da 2 metri, anche se si verifica con lo stesso tempo di ritorno. Al contrario, se il primo possiede una elevata velocità di scorrimento, potrebbe diventare più pericoloso del secondo valore se fosse quest'ultimo quasi statico.

L'Autorità di Bacino della Puglia non dà indicazioni a riguardo, tuttavia altre Autorità di Bacino propongono una serie di approcci per procedere alla perimetrazione delle aree di allagamento.

L'Autorità di Bacino del Tevere ha proposto un diagramma che mette in relazione i due parametri

fondamentali nella determinazione del livello di pericolosità dell'inondazione, tirante e velocità.

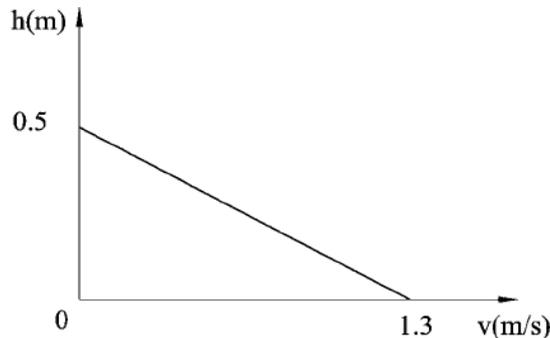
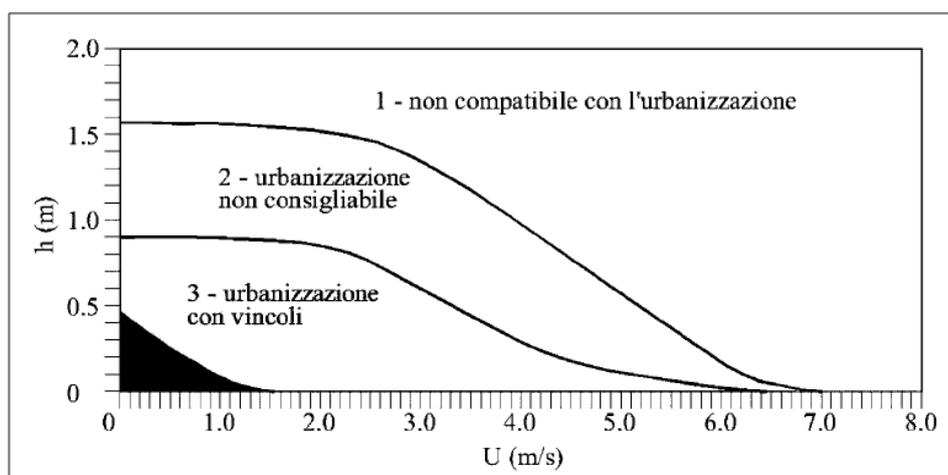


Grafico 9 - Diagramma della vulnerabilità (autorità di Bacino del Tevere)

Nel caso dell'Autorità del Tevere la superficie esondata è stata suddivisa in sotto-zone caratterizzate da un medesimo valore della spinta idrostatica. Il valore della spinta è funzione della velocità di scorrimento  $U$ , e del tirante idrico  $h$ ; nel grafico sottostante ( $U-h$ ) sono identificate porzioni caratterizzate da stesso valore della spinta. A seconda della coppia  $U-h$  ogni punto geografico dell'area allagata è catalogato con il riferimento (1, 2, 3, 4) relativo alla porzione del grafico all'interno del quale ricade il punto ( $U-h$ ).

Vengono così definite aree "marginali", quelle ricadenti nella porzione 4 del grafico precedente o colorato in nero nel grafico successivo; qui le condizioni di rischio in termini di incolumità delle persone risultano accettabili anche per minori e disabili con accompagnamento.

Si giunge quindi ad una distinzione generale delle aree a pericolosità in tre classi: dirette, indirette e marginali. I primi due termini derivano da considerazioni prettamente idrauliche, già esposte in precedenza e funzione delle caratteristiche del deflusso, il terzo esprime una condizione di effettiva trascurabilità del rischio.



fonte: A.B. Tevere, 2002

**In definitiva viene messo in evidenza il fatto che le condizioni di rischio non dipendono solo dalla presenza/assenza d'acqua e dell'entità del tirante idrico ma anche il fattore**

**velocità di scorrimento (valutata localmente) gioca un ruolo nell'attribuzione del livello di danno effettivo.**

Altro esempio, da prendere come riferimento, sono le indicazioni dell'Autorità di Bacino dell'Adige che ha individuato 4 aree di pericolosità idraulica (molto elevata, elevata, media, moderata) in base allo schema seguente:

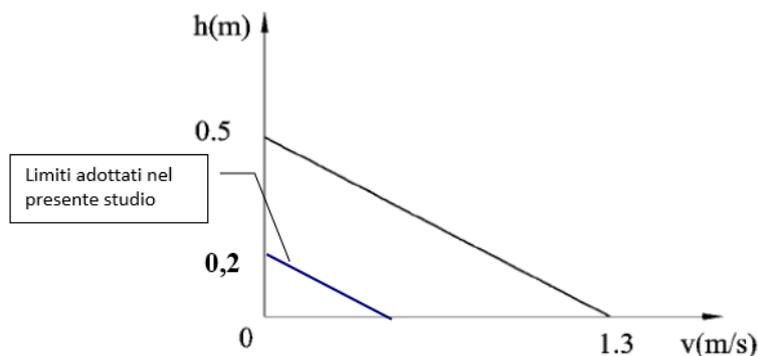
- *aree di pericolosità idraulica molto elevata (P4): aree allagate in occasione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 30 anni nel quale risulti o la presenza di una lama d'acqua sul piano di campagna superiore ad 1m o una velocità massima di trasferimento superiore ad 1m/s;*
- *aree di pericolosità idraulica elevata (P3): aree allagate o in occasione di un evento di piena con tempo di ritorno di 30 anni e condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano di campagna tra 50 cm ed 1m, o per un evento più raro (Tr=100 anni) con condizioni come quelle stabilite per pericolosità molto elevata (lama d'acqua massima maggiore di 1m oppure velocità superiore ad 1 m/s);*
- *aree di pericolosità idraulica media (P2): aree allagate per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni nelle quali si instaurino condizioni di lama d'acqua massima sul piano di campagna compresa tra 0 cm ed 1 m;*
- *aree di pericolosità idraulica moderata (P1): aree esondabili con eventi di piena meno frequenti (Tr=200 anni) in qualunque condizioni di lama d'acqua e velocità sul piano di campagna.*

Sulla base di questa distinzione sono state perimetrare aree a diversa pericolosità, attraverso un modello di propagazione dell'onda di piena. Ovviamente le ultime due classi di pericolosità danno luogo ad un rischio NON elevato e quindi non pericoloso per l'incolumità di persone o cose.

Nel caso in oggetto si è preferito, cautelativamente, assumere come limiti di rappresentazione della pericolosità, e quindi della vulnerabilità idraulica, i seguenti limiti:

- **tirante idrico > 0,2 m**
- **velocità > 0,4 m/s.**

Che risultano comunque molto cautelativi rispetto ai limiti proposti dalla letteratura tecnica del settore e dalle Autorità di Bacino sopra indicate.



## 6.2. Applicazione dei modelli di calcolo idraulico

### 6.2.1. Rilievo topografico

Allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici descritti nei paragrafi precedenti si è reso necessario un rilievo topografico di dettaglio in sostituzione del rilievo 1:5000 della CTR della Regione Puglia. Si è fatto innanzitutto riferimento ad un rilievo LiDAR su base aerea che ha consentito di avere a disposizione un dato di elevatissimo dettaglio ed uniformemente distribuito sul territorio con una densità elevatissima (un punto per ogni metro quadrato di superficie). Il LiDAR, tuttavia, non consente di avere dettagli elevati per gli elementi verticali in aree, per esempio, fortemente vegetate. Pertanto si è reso necessario integrarlo con un rilievo GPS eseguito in modalità RTK, al fine di avere la massima precisione sulle sezioni idrauliche dei canali e dei manufatti. Il rilievo, complessivamente, ha avuto la finalità di rappresentare in maniera estremamente dettagliata, con un numero elevatissimo di quote al suolo, la geometria fondamentale dei luoghi e delle aste di reticolo analizzate. Si riportano nel seguito alcune immagini rappresentative del dato topografico utilizzato.

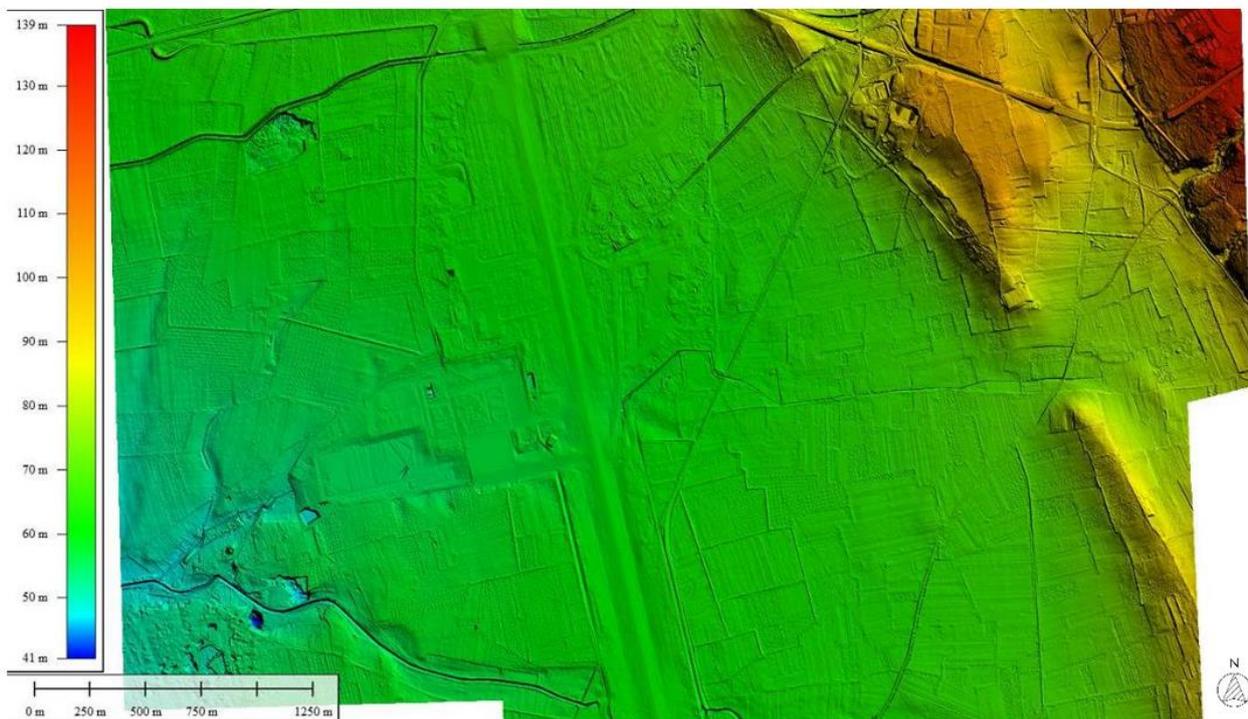
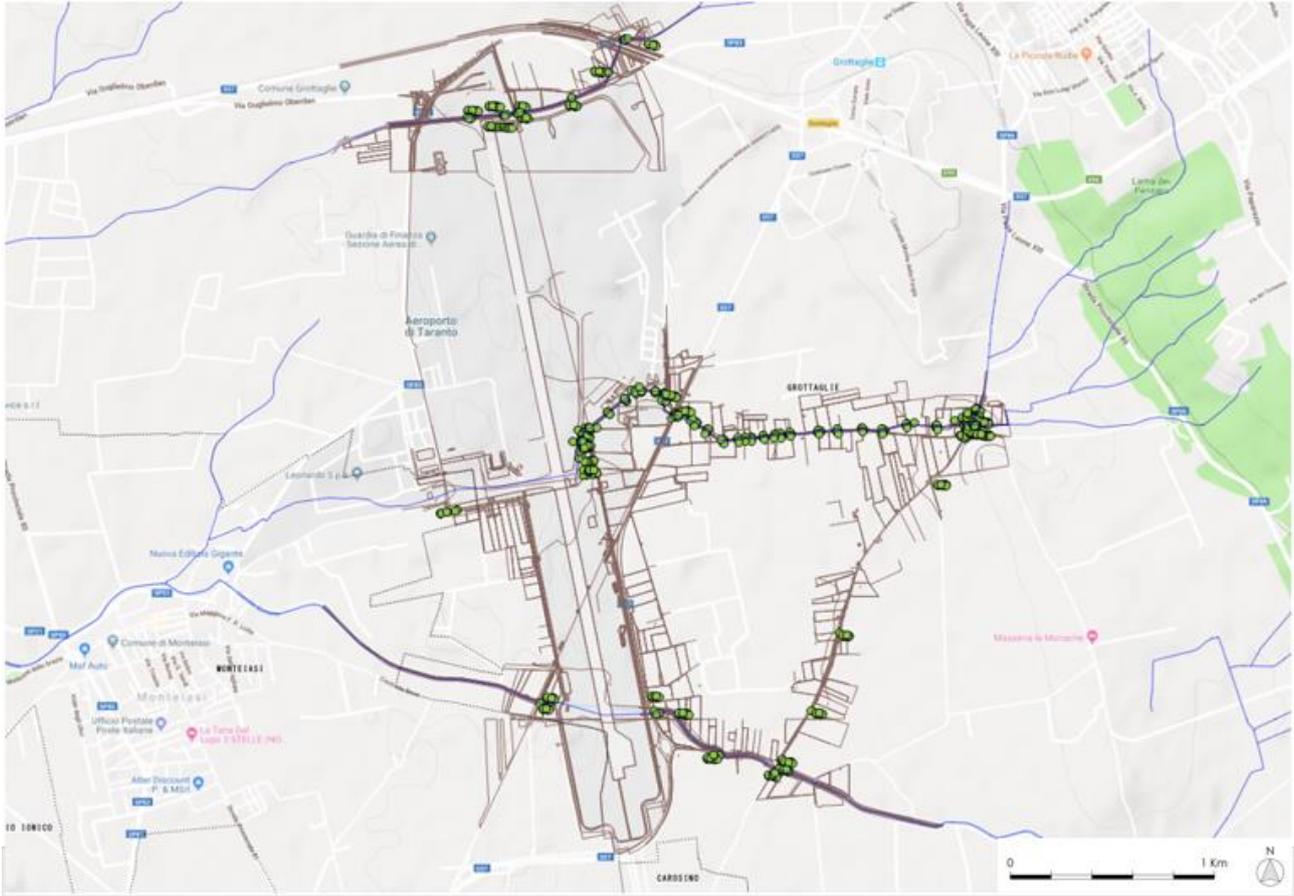


Figura 21 - Immagine del rilievo lidar (DTM) in ambiente gis



*Figura 22 - Punti rilevati con GPS*

**Foto del processo di rilevazione con GPS**



*Figura 23 - Tratto di monte dell'imbocco del Fosso Madonna del Prato*



*Figura 24 - Tratto di monte dell'imbocco del Fosso Macchione*



*Figura 25 - Tratto di monte del Fosso Macchione*



*Figura 26 - Attraversamento del Fosso Madonna del Prato*



*Figura 27 - Partitore a monte del Fosso Madonna del Prato (vista verso valle canale deviatore)*



*Figura 28 - Imbocco attraversamento Fosso delle Monache*



*Figura 29 - Tratto di monte Fosso delle Monache*

### 6.2.2. Analisi idraulica: propagazione monodimensionale

L'analisi idraulica monodimensionale è stata eseguita al fine di poter verificare la capacità di deflusso dei tre fossi oggetto di studio, nella configurazione geometrica che contempra tutte le opere idrauliche allo stato attuale già realizzate, in particolare dei tratti a contorno chiuso al di sotto dell'area aeroportuale.

Essa è stata condotta in moto permanente inserendo quale input il solo picco dell'idrogramma di piena per ogni tempo di ritorno analizzato.

La geometria del modello è stata implementata facendo riferimento in prima battuta al rilievo lidar, affinando e precisando ogni sezione sulla base del rilievo dedicato eseguito con strumentazione GPS in modalità RTK. Sono stati poi successivamente inseriti gli attraversamenti a contorno chiuso in corrispondenza dell'intersezione con l'aeroporto.

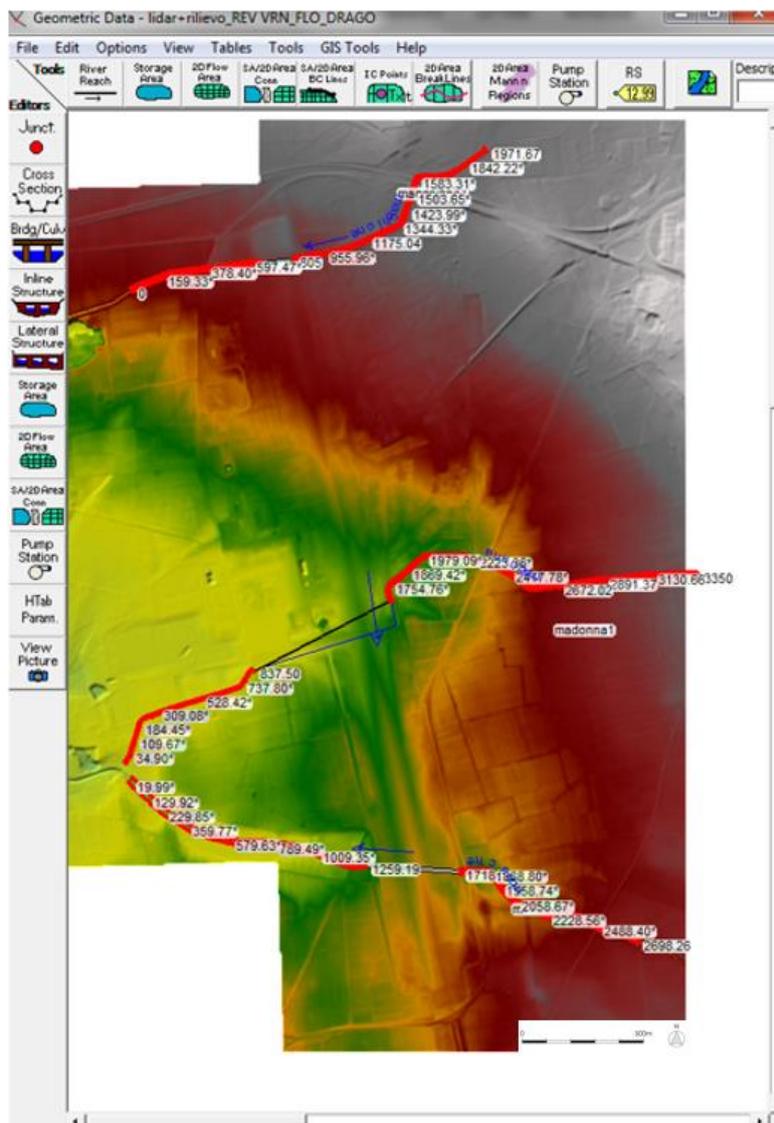


Figura 30 - Figura rappresentativa del geometric data editor di Hec Ras. Sono indicati gli assi dei tre fossi e le numerose sezioni rilevate e interpolate.

Si è utilizzato un valore di scabrezza di Manning conforme alle indicazioni fornite all'interno delle tabelle dei manuali dello stesso modello e cioè pari a 0.02.

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<b>Brass, smooth:</b>	0.009	0.010	0.013
<b>Steel:</b>			
Lockbar and welded	0.010	0.012	0.014
Riveted and spiral	0.013	0.016	0.017
<b>Cast Iron:</b>			
Coated	0.010	0.013	0.014
Uncoated	0.011	0.014	0.016
<b>Wrought Iron:</b>			
Black	0.012	0.014	0.015
Galvanized	0.013	0.016	0.017
<b>Corrugated Metal:</b>			
Subdrain	0.017	0.019	0.021
Storm Drain	0.021	0.024	0.030
<b>Lucite:</b>	0.008	0.009	0.010
<b>Glass:</b>	0.009	0.010	0.013
<b>Cement:</b>			
Neat, surface	0.010	0.011	0.013
Mortar	0.011	0.013	0.015
<b>Concrete:</b>			
Culvert, straight and free of debris	0.010	0.011	0.013
Culvert with bends, connections, and some debris	0.011	0.013	0.014
Finished	0.011	0.012	0.014
Sewer with manholes, inlet, etc., straight	0.013	0.015	0.017
Unfinished, steel form	0.012	0.013	0.014
Unfinished, smooth wood form	0.012	0.014	0.016
Unfinished, rough wood form	0.015	0.017	0.020
<b>Wood:</b>			
Stave	0.010	0.012	0.014
Laminated, treated	0.015	0.017	0.020
<b>Clay:</b>			
Common drainage tile	0.011	0.013	0.017
Vitrified sewer	0.011	0.014	0.017
Vitrified sewer with manholes, inlet, etc.	0.013	0.015	0.017
Vitrified Subdrain with open joint	0.014	0.016	0.018
<b>Brickwork:</b>			
Glazed	0.011	0.013	0.015
Lined with cement mortar	0.012	0.015	0.017
Sanitary sewers coated with sewage slime with bends and connections	0.012	0.013	0.016

Come condizione al contorno di valle è stata inserita, in una sezione sufficientemente lontana dell'area dell'aeroporto, tale da non influenzare il regime idraulico in quei tratti, la condizione di stato critico.

Sono quindi state eseguite le simulazioni in moto permanente considerando i tombini ben mantenuti senza depositi che possono ostruire la sezione aumentando la scabrezza.

Dall'esame degli output forniti dal modello è possibile effettuare adeguate considerazioni circa la pericolosità idraulica del sito e le modalità per cui la stessa si è verificata.

I tre fossi presentano già molte problematiche con la simulazione eseguita per tempo di ritorno di 30 anni. In tale circostanza le tre piene attraversano il tratto tombato con un franco di sicurezza interno minimale, per il fosso delle Monache il tratto terminale va addirittura in pressione.

Per eventi con tempo di ritorno di 200 anni la situazione peggiora significativamente. Il fosso Macchione, che in questo caso non ha franco di sicurezza, subisce un rigurgito dovuto al tratto tombato che fa risentire della sua presenza un tratto di canale a monte sino a oltre 100 metri.

Per gli eventi con tempo di ritorno di 500 anni si nota un ulteriore peggioramento, dunque l'insufficienza idraulica del tratto tombato.

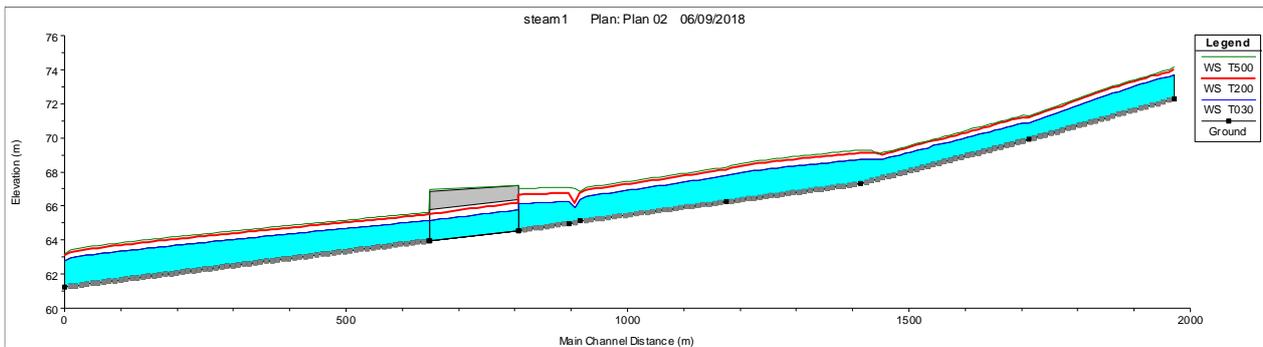


Grafico 10 - Fosso Macchione: profilo di moto permanente con indicazione di tutte e tre le piene

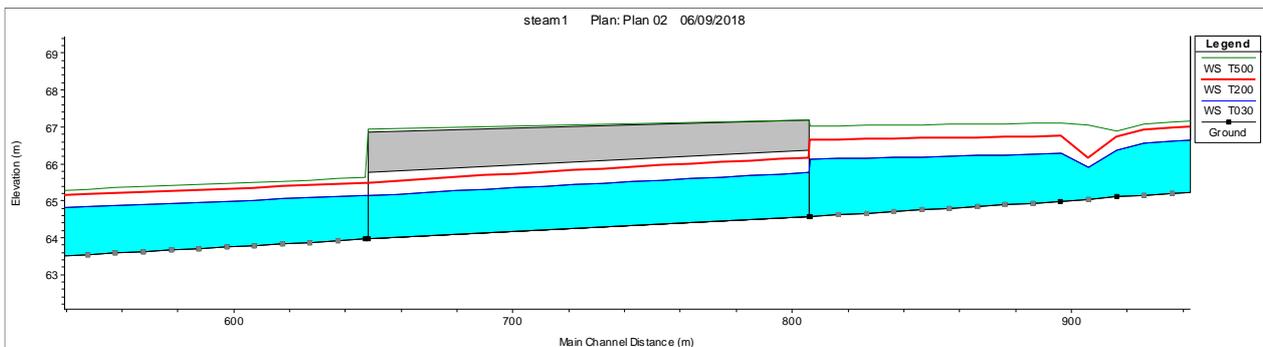


Grafico 11 - Fosso Macchione: particolare del tratto tombato nel profilo di moto permanente con indicazione dei franchi di sicurezza nelle sezioni immediatamente a monte:  $TR030=0.23$  metri,  $TR200=-0.27$  metri

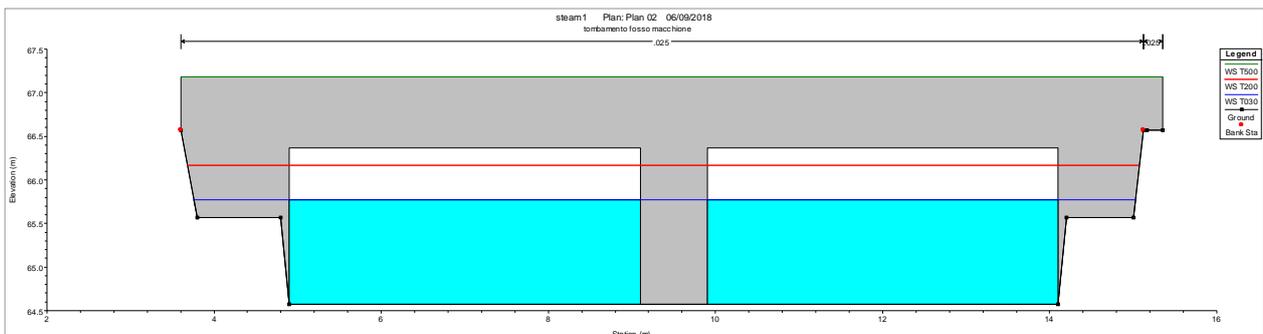


Grafico 12 - Fosso Macchione: particolare del tratto di paramento di monte della sezione iniziale immediatamente a monte del tratto tombato, con indicazione dei franchi di sicurezza nella sezione interna:  $TR030=0.6$  metri,  $TR200=0.21$  metri

Per il Fosso Madonna del Prato, la cui simulazione è stata condotta facendo riferimento allo stesso valore di portata per ogni tempo di ritorno ipotizzando, in considerazione della presenza del partitore, che consente di far transitare verso valle la stessa portata massima e ne derivi la differenza sul fosso delle Monache attraverso il canale deviatore, il tratto tombato non risulta avere sufficienti franchi di sicurezza per consentire il transito verso valle della piena.

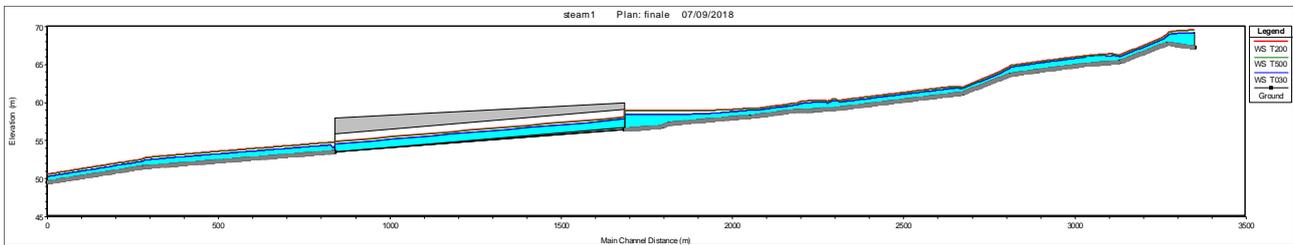


Grafico 13 - Fosso Madonna del Prato: profilo di moto permanente con indicazione di tutte e tre le piene (in questo caso la bicentenaria e la cinquecentesca sono coincidenti)

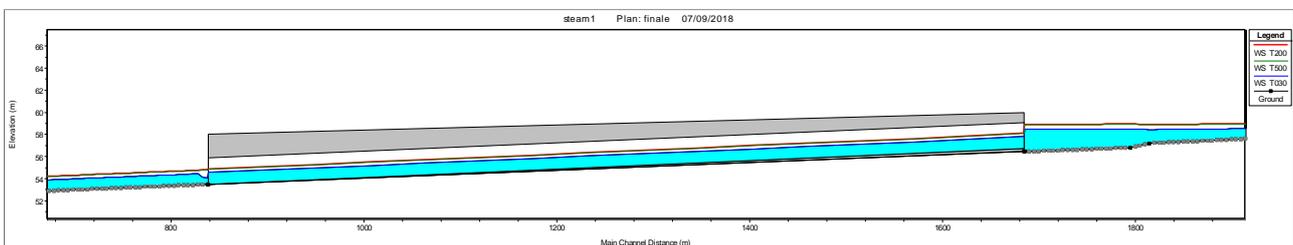


Grafico 14 - Fosso Madonna del Prato: profilo di moto permanente in corrispondenza del tratto tombato. I franchi di sicurezza sono:  $TR_{030} = 0.65$  metri,  $TR_{200} = TR_{500} = 0.21$  metri

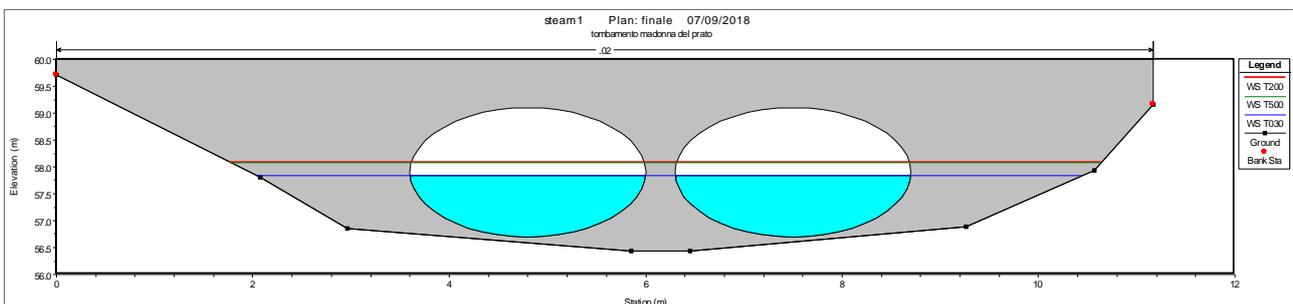


Grafico 15 - Fosso Madonna del Prato: particolare del tratto di paramento di monte della sezione iniziale immediatamente a monte del tratto tombato che realizza un franco di sicurezza interno pari a  $TR_{030} = 1.27$  metri,  $TR_{200} = TR_{500} = 1.02$  metri

Anche in questo caso il tratto tombato non risulta in grado di far transitare verso valle i deflussi di piena, in condizioni ottimali.

Il Fosso delle Monache oltre alla sua portata idrologica riceve un'aliquota dal partitore proveniente dal Fosso Madonna del Prato. La suddetta aliquota è stimabile in valori molto bassi rispetto alle sue piene naturali, per eventi con tempo di ritorno di 30 anni, il contributo deviato è praticamente nullo,

per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, 10 m<sup>3</sup>/sec per eventi con tempo di ritorno di 500 anni all'incirca 15 m<sup>3</sup>/sec.

Nonostante le significative dimensioni, il tratto tombato non riesce a garantire il transito delle portate verso valle, in condizioni di sicurezza.

Per gli eventi con tempo di ritorno di 30 anni la piena risulta già essere molto influenzata, al punto da transitare al suo interno ed uscire quasi in pressione.

Per gli eventi bicentenari e cinquecentenari la piena è contenuta all'interno dell'opera di attraversamento mettendo in pressione le due "canne". I due deflussi non sormontano e non invadono la pista essendo contenuti nella zona immediatamente a monte dell'attraversamento.

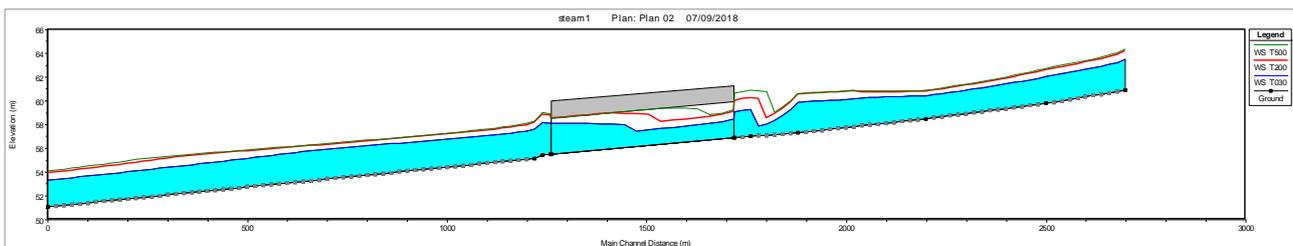


Grafico 16 - Fosso delle Monache: profilo di moto permanente con indicazione di tutte e tre le piene

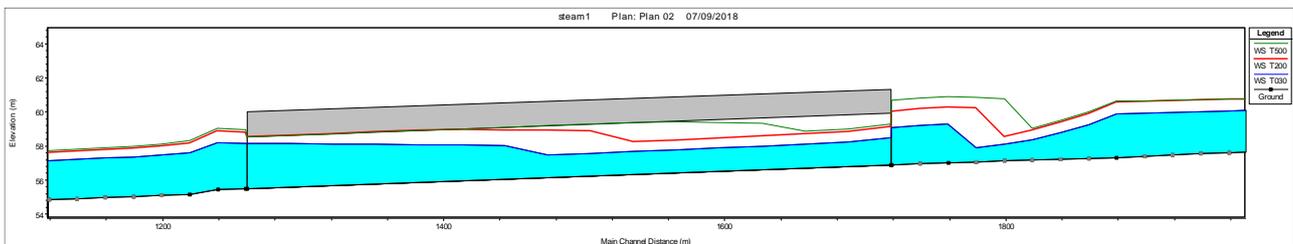


Grafico 17 - Fosso delle Monache: particolare del tratto tombato nel profilo di moto permanente con indicazione dei franchi di sicurezza nelle sezioni immediatamente a monte: TR030= 0.86 metri, TR200= -0.06 metri, TR500= -0.74 metri

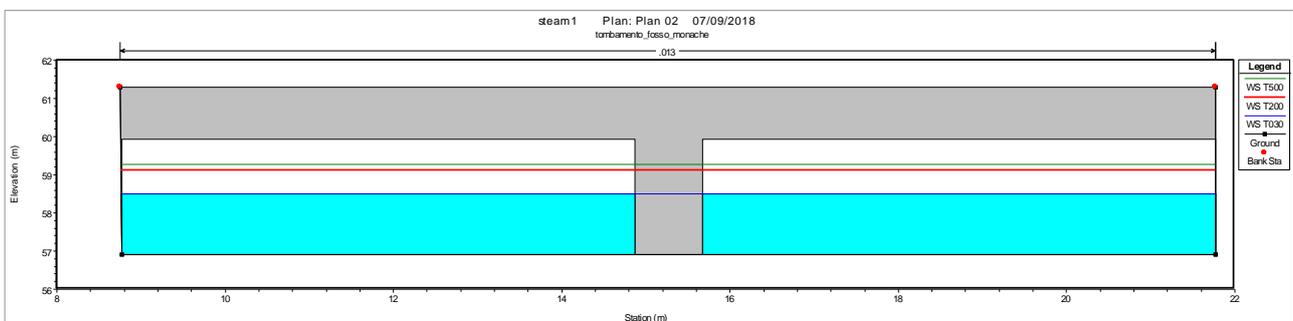


Grafico 18 - Fosso delle Monache: particolare del tratto di paramento di monte della sezione iniziale immediatamente a monte del tratto tombato che realizza un franco di sicurezza interno pari a TR030= 1.53 metri, TR200= 0.83 metri, TR500= 0.64 metri.

Riassumendo i franchi di sicurezza che si realizzano, si riporta la seguente tabella:

	Franco di sicurezza per Tr=30 anni [m]		Franco di sicurezza per Tr=200 anni [m]		Franco di sicurezza per Tr=500 anni [m]	
	Interno	esterno	interno	esterno	interno	esterno
Fosso Macchione	0.60	0.23	0.21	-0.27	0.00	-0.62
Fosso Madonna del Prato	1.27	0.65	1.02	0.21	1.02	0.21
Fosso delle Monache	0.50	0.86	0.00 (ultimo tratto)	-0.06	0.00 (ultimo tratto)	-0.74

Tabella 10 - Tabella dei franchi di sicurezza rispetto l'intradosso impalcato (Per franco interno si intende la distanza MINIMA dal pelo libero all'intradosso del tombino in una sezione interna al tombino stesso, per franco esterno si intende la distanza nella una sezione immediatamente a monte dell'imbocco)

	Franco per Tr=30 anni	Franco per Tr=200 anni	Franco per Tr=500 anni
	[m]	[m]	[m]
Fosso Macchione	1.04	0.54	0.19
Fosso Madonna del Prato	2.17	1.11	1.11
Fosso delle Monache	1.89	1.30	0.62

Tabella 11-Tabella dei franchi di sicurezza rispetto la quota pista per il modello monodimensionale

L'Hec Ras ha anche la possibilità di fornire in alcune sezioni, grafici e diagrammi molto utili per la lettura delle dinamiche del fenomeno analizzato. Per esempio, molto utili, risultano i grafici rappresentativi delle scale di deflusso dei tratti tombati, anche in considerazione che i suddetti grafici consentiranno di implementare la geometria del modello bidimensionale.

Si riportano nel seguito le scale di deflusso di ogni tratto tombato, poi utilizzate per definire le condizioni al contorno interne del modello bidimensionale.

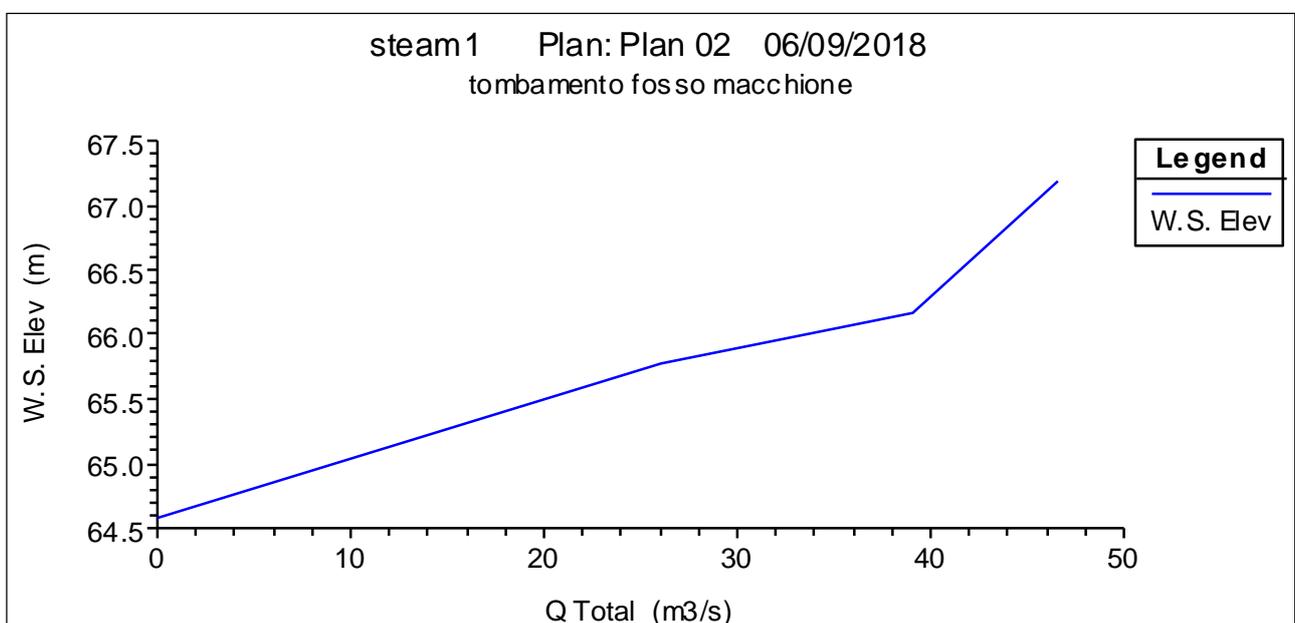


Grafico 19 - Scala di deflusso bicentenaria per il tratto tombato del Fosso Macchione

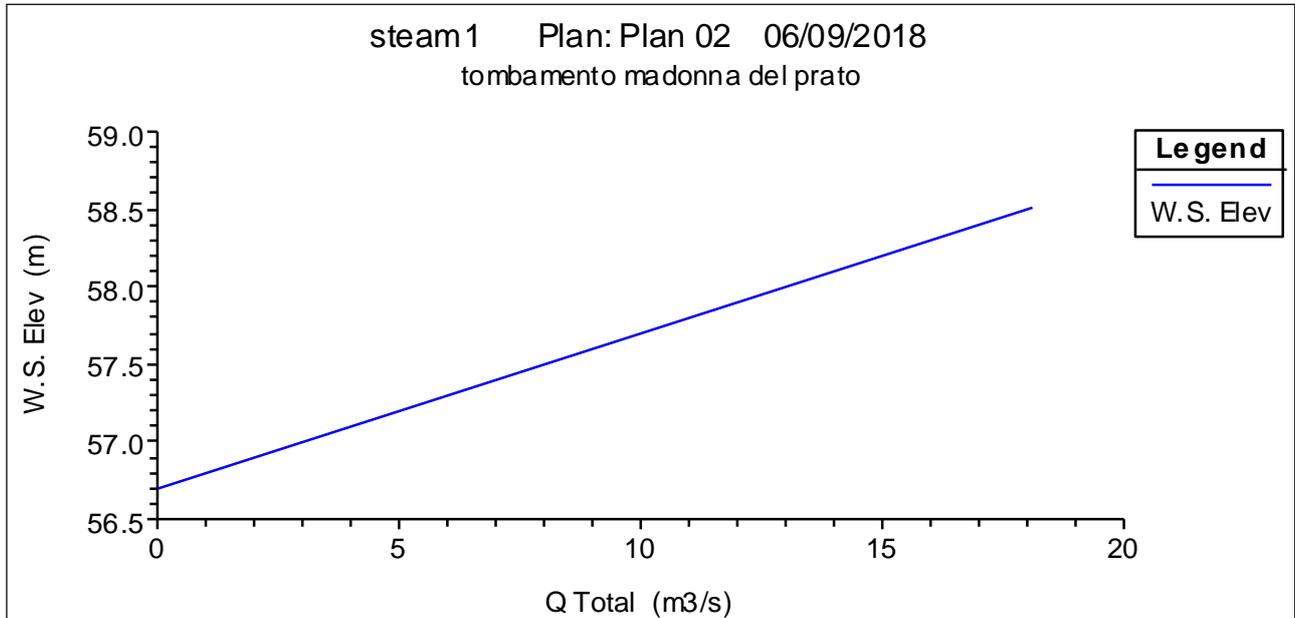


Grafico 20 - Scala di deflusso bicentenaria per il tratto tombato del Fosso Madonna del Prato

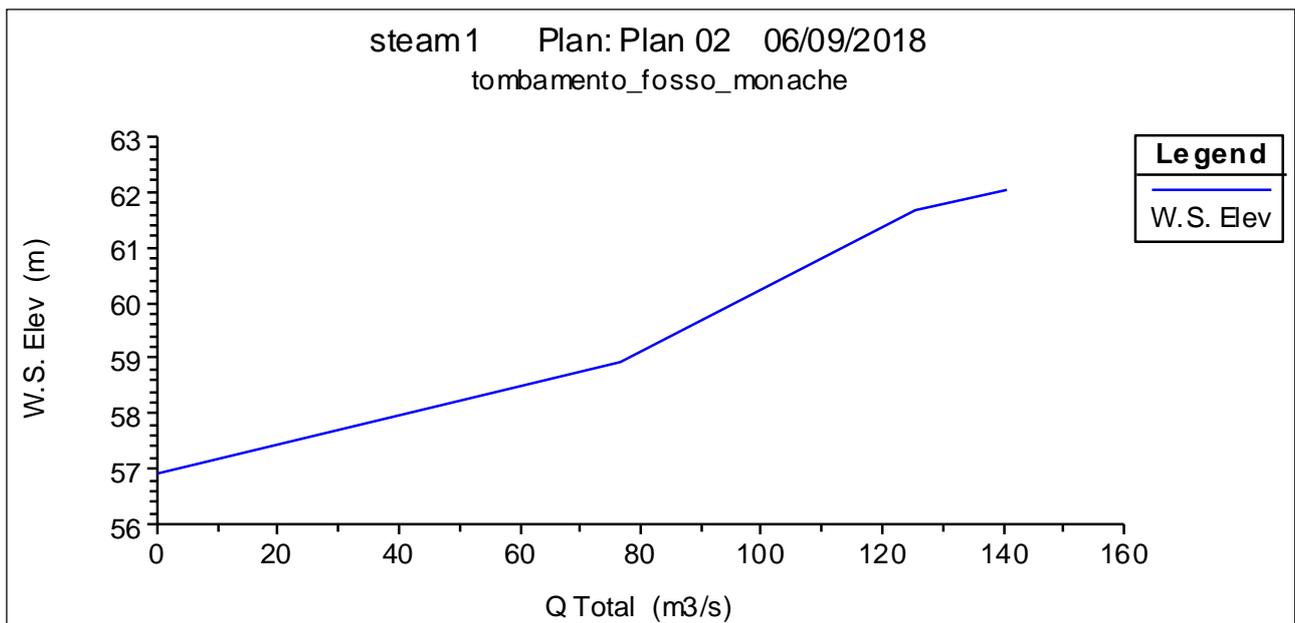


Grafico 21 - Scala di deflusso bicentenaria per il tratto tombato del delle Monache

Si riporta nel seguito la tabella riassuntiva fornita come output dal software di calcolo, in cui possono essere lette, sezione per sezione, tutte le grandezze idrodinamiche necessarie della piena.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
macchione1	1971.67	T030	26.07	72.29	73.70	73.70	74.17	0.004691	3.01	8.66	9.37	1.00
macchione1	1971.67	T200	39.03	72.29	73.99	73.99	74.59	0.004632	3.45	11.31	9.37	1.00
macchione1	1971.67	T500	46.60	72.29	74.14	74.14	74.82	0.004583	3.65	12.76	9.37	1.00
macchione1	1712.76	T030	26.07	69.90	70.77	71.03	71.67	0.011512	4.21	6.19	8.30	1.56
macchione1	1712.76	T200	39.03	69.90	71.00	71.35	72.15	0.011232	4.75	8.21	8.93	1.58
macchione1	1712.76	T500	46.60	69.90	71.12	71.51	72.40	0.011089	5.00	9.32	9.25	1.59
macchione1	1414.03	T030	26.07	67.30	68.23	68.42	68.97	0.008762	3.81	6.84	8.73	1.38
macchione1	1414.03	T200	39.03	67.30	68.47	68.73	69.42	0.008795	4.33	9.01	9.43	1.41
macchione1	1414.03	T500	46.60	67.30	68.59	68.89	69.66	0.008792	4.57	10.20	9.80	1.43
macchione1	1175.04	T030	26.07	66.24	67.64	67.64	68.15	0.004456	3.15	8.29	8.29	1.00
macchione1	1175.04	T200	39.03	66.24	67.99	67.99	68.59	0.004240	3.45	11.33	9.46	1.01
macchione1	1175.04	T500	46.60	66.24	68.16	68.16	68.81	0.004150	3.58	13.01	10.04	1.01
macchione1	916.13	T030	26.07	65.11	66.35	66.38	66.87	0.004744	3.19	8.19	8.43	1.03
macchione1	916.13	T200	39.03	65.11	66.70	66.71	67.31	0.004290	3.45	11.31	9.48	1.01
macchione1	916.13	T500	46.60	65.11	66.86	66.88	67.53	0.004301	3.63	12.84	9.95	1.02
macchione1	896.21	T030	26.07	64.98	65.61	65.91	66.61	0.016970	4.43	5.88	9.46	1.79
macchione1	896.21	T200	39.03	64.98	66.69	66.21	66.93	0.001487	2.19	17.81	11.90	0.57
macchione1	896.21	T500	46.60	64.98	67.03	66.34	67.26	0.001143	2.14	21.82	12.00	0.51
macchione1	806.59	T030	26.07	64.57	66.14	65.52	66.28	0.001010	1.69	15.42	11.38	0.46
macchione1	806.59	T200	39.03	64.57	66.64	65.84	66.81	0.000855	1.84	21.22	11.75	0.43
macchione1	806.59	T500	46.60	64.57	66.99	65.97	67.16	0.000705	1.85	25.30	11.75	0.40
macchione1	805		Culvert									
macchione1	647.26	T030	26.07	63.96	65.00		65.28	0.002837	2.35	11.09	11.67	0.77
macchione1	647.26	T200	39.03	63.96	65.30		65.66	0.002823	2.67	14.64	12.54	0.79
macchione1	647.26	T500	46.60	63.96	65.44		65.85	0.002843	2.82	16.50	12.97	0.80
macchione1	0	T030	26.07	61.24	62.75	62.75	63.21	0.004445	3.02	8.64	9.48	1.01
macchione1	0	T200	39.03	61.24	63.06	63.06	63.62	0.004138	3.29	11.85	10.71	1.00
macchione1	0	T500	46.60	61.24	63.22	63.22	63.82	0.004054	3.44	13.53	11.22	1.00

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
madonna1	2811.61	T500	18.08	63.66	64.83	64.91	65.39	0.006364	3.34	5.41	6.33	1.15
madonna1	2672.02	T030	12.35	61.20	61.85	62.12	62.71	0.018650	4.12	3.00	6.06	1.87
madonna1	2672.02	T200	18.08	61.20	61.99	62.33	63.10	0.018783	4.68	3.86	6.40	1.92
madonna1	2672.02	T500	18.08	61.20	61.99	62.33	63.10	0.018783	4.68	3.86	6.40	1.92
madonna1	2293.15	T030	12.35	59.12	60.20		60.43	0.002619	2.11	5.84	7.11	0.75
madonna1	2293.15	T200	18.08	59.12	60.41	60.25	60.71	0.002850	2.45	7.38	7.57	0.79
madonna1	2293.15	T500	18.08	59.12	60.41	60.25	60.71	0.002850	2.45	7.38	7.57	0.79
madonna1	2273.21	T030	12.35	59.12	60.09	59.88	60.29	0.002448	1.99	6.21	7.07	0.68
madonna1	2273.21	T200	18.08	59.12	60.28	60.08	60.57	0.002867	2.39	7.57	7.09	0.74
madonna1	2273.21	T500	18.08	59.12	60.28	60.08	60.57	0.002867	2.39	7.57	7.09	0.74
madonna1	2233.33	T030	12.35	58.96	60.02		60.17	0.001695	1.74	7.12	8.55	0.61
madonna1	2233.33	T200	18.08	58.96	60.24		60.44	0.001766	1.99	9.09	9.06	0.63
madonna1	2233.33	T500	18.08	58.96	60.24		60.44	0.001766	1.99	9.09	9.06	0.63
madonna1	2193.45	T030	12.35	58.96	59.75	59.75	60.07	0.005007	2.49	4.95	7.91	1.01
madonna1	2193.45	T200	18.08	58.96	59.94	59.94	60.34	0.004733	2.78	6.51	8.38	1.01
madonna1	2193.45	T500	18.08	58.96	59.94	59.94	60.34	0.004733	2.78	6.51	8.38	1.01
madonna1	2053.87	T030	12.35	58.13	59.02		59.26	0.003243	2.16	5.72	8.15	0.82
madonna1	2053.87	T200	18.08	58.13	59.23		59.53	0.003109	2.41	7.50	8.66	0.83
madonna1	2053.87	T500	18.08	58.13	59.23		59.53	0.003109	2.41	7.50	8.66	0.83
madonna1	2013.99	T030	12.35	58.01	58.86	58.80	59.13	0.003785	2.27	5.43	8.06	0.88
madonna1	2013.99	T200	18.08	58.01	59.10		59.40	0.003231	2.44	7.41	8.64	0.84
madonna1	2013.99	T500	18.08	58.01	59.10		59.40	0.003231	2.44	7.41	8.64	0.84
madonna1	1814.58	T030	12.35	57.21	58.45		58.55	0.000931	1.42	8.73	8.99	0.46
madonna1	1814.58	T200	18.08	57.21	58.89		58.99	0.000639	1.41	12.86	9.75	0.39
madonna1	1814.58	T500	18.08	57.21	58.89		58.99	0.000639	1.41	12.86	9.75	0.39
madonna1	1794.64	T030	12.35	56.82	58.48		58.52	0.000315	0.98	12.62	9.70	0.27
madonna1	1794.64	T200	18.08	56.82	58.91		58.97	0.000285	1.06	17.01	10.46	0.27
madonna1	1794.64	T500	18.08	56.82	58.91		58.97	0.000285	1.06	17.01	10.46	0.27
madonna1	1684.97	T030	12.35	56.44	58.45	57.36	58.49	0.000217	0.88	14.10	9.45	0.23
madonna1	1684.97	T200	18.08	56.44	58.89	57.57	58.94	0.000220	0.98	18.38	10.15	0.23
madonna1	1684.97	T500	18.08	56.44	58.89	57.57	58.94	0.000220	0.98	18.38	10.15	0.23
madonna1	1684		Culvert									
madonna1	837.50	T030	12.35	53.50	54.06	54.32	54.97	0.020294	4.24	2.91	5.25	1.82
madonna1	837.50	T200	18.08	53.50	54.77		55.15	0.003570	2.70	6.69	5.27	0.77
madonna1	837.50	T500	18.08	53.50	54.77		55.15	0.003570	2.70	6.69	5.27	0.77
madonna1	279.17	T030	12.35	51.50	52.32	52.32	52.74	0.006056	2.85	4.33	5.26	1.00
madonna1	279.17	T200	18.08	51.50	52.56	52.56	53.10	0.006076	3.24	5.58	5.27	1.00
madonna1	279.17	T500	18.08	51.50	52.56	52.56	53.10	0.006076	3.24	5.58	5.27	1.00
madonna1	0	T030	12.35	49.50	50.30	50.32	50.74	0.006623	2.94	4.20	5.27	1.05
madonna1	0	T200	18.08	49.50	50.56	50.56	51.10	0.006116	3.25	5.57	5.28	1.01
madonna1	0	T500	18.08	49.50	50.56	50.56	51.10	0.006116	3.25	5.57	5.28	1.01

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
monache1	2698.26	T030	76.81	60.90	63.51	63.51	64.30	0.001622	3.93	19.52	12.45	1.00
monache1	2698.26	T200	125.40	60.90	64.17	64.17	65.17	0.001534	4.43	28.32	14.27	1.00
monache1	2698.26	T500	140.46	60.90	64.35	64.35	65.40	0.001514	4.54	30.92	14.81	1.00
monache1	2498.39	T030	76.81	59.79	62.04	62.50	63.57	0.004394	5.48	14.02	10.96	1.55
monache1	2498.39	T200	125.40	59.79	62.60	63.17	64.49	0.003942	6.10	20.57	12.51	1.52
monache1	2498.39	T500	140.46	59.79	62.75	63.35	64.74	0.003840	6.24	22.51	12.94	1.51
monache1	2198.58	T030	76.81	58.50	60.44	60.90	61.91	0.005542	5.38	14.28	14.40	1.72
monache1	2198.58	T200	125.40	58.50	60.79	61.45	62.89	0.005869	6.42	19.53	15.71	1.84
monache1	2198.58	T500	140.46	58.50	60.88	61.60	63.15	0.005905	6.67	21.07	16.07	1.86
monache1	1878.79	T030	76.81	57.32	59.89	60.04	60.81	0.002297	4.25	18.08	12.93	1.15
monache1	1878.79	T200	125.40	57.32	60.56	60.65	61.62	0.001862	4.55	27.53	14.93	1.07
monache1	1878.79	T500	140.46	57.32	60.62	60.81	61.86	0.002118	4.93	28.47	15.02	1.14
monache1	1758.87	T030	76.81	57.02	59.27	58.32	59.49	0.000332	2.05	37.44	16.62	0.44
monache1	1758.87	T200	125.40	57.02	60.25		60.53	0.000298	2.33	53.73	16.62	0.41
monache1	1758.87	T500	140.46	57.02	60.88		61.12	0.000223	2.19	64.14	16.63	0.36
monache1	1718.90	T030	76.81	56.90	59.08	58.42	59.45	0.000643	2.71	28.38	13.01	0.59
monache1	1718.90	T200	125.40	56.90	60.00	59.01	60.49	0.000606	3.11	40.35	13.01	0.56
monache1	1718.90	T500	140.46	56.90	60.68	59.17	61.09	0.000431	2.86	49.18	13.02	0.47
monache1	1718		Culvert									
monache1	1259.19	T030	76.81	55.49	58.14		58.39	0.000357	2.22	34.58	13.09	0.44
monache1	1259.19	T200	125.40	55.49	58.77		59.21	0.000511	2.93	42.78	13.10	0.52
monache1	1259.19	T500	140.46	55.49	58.93		59.43	0.000557	3.13	44.94	13.10	0.54
monache1	1239.20	T030	76.81	55.43	58.19		58.37	0.000227	1.86	41.37	15.08	0.36
monache1	1239.20	T200	125.40	55.43	58.85		59.16	0.000320	2.44	51.40	15.10	0.42
monache1	1239.20	T500	140.46	55.43	59.03		59.38	0.000346	2.60	54.08	15.10	0.44
monache1	1219.22	T030	76.81	55.17	57.62	57.62	58.31	0.001726	3.67	20.94	15.39	1.00
monache1	1219.22	T200	125.40	55.17	58.16	58.16	59.08	0.001618	4.25	29.52	16.11	1.00
monache1	1219.22	T500	140.46	55.17	58.31	58.31	59.30	0.001599	4.40	31.96	16.31	1.00
monache1	0	T030	76.81	51.09	53.32	53.71	54.66	0.003334	5.12	14.99	11.13	1.41
monache1	0	T200	125.40	51.09	53.92	54.39	55.54	0.003043	5.64	22.21	13.18	1.39
monache1	0	T500	140.46	51.09	54.11	54.57	55.75	0.002853	5.67	24.76	13.88	1.36

Si precisa che i risultati ottenuti, pur riferiti a simulazioni con valori di scabrezza propri di superfici non perfettamente mantenuti, non tengono conto di probabile materiale trasportato dai deflussi di piena e delle possibili ostruzioni che gli stessi possono costituire in corrispondenza delle opere idrauliche di attraversamento.

Pertanto è indispensabile che le opere vengano costantemente e dettagliatamente mantenute nel tempo.

Le analisi condotte con il modello monodimensionale NON si tiene conto dell'eventuale espansione della piena a monte degli attraversamenti, ottenendo di scolare un volume tale da consentire comunque il passaggio della piena con tiranti inferiori di quello determinato in precedenza; per tale motivo le analisi sono condotte anche su dominio bidimensionale.

### 6.2.3. Analisi idraulica: propagazione bidimensionale

Allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici di propagazione dei deflussi esondanti dai fossi si sono adottate le informazioni piano altimetriche rese disponibili dal rilievo topografico sopra descritto, utilizzando le informazioni piano altimetriche disponibili in formato ASCII. Il DEM ricavato è stato processato attraverso il PREPROCESSING GRID DEVELOPER SYSTEM (GDS), componente del Flo-2D. Il GDS consente di elaborare il DEM inserendo tutti gli elementi necessari per la costruzione della geometria di calcolo. Il GDS opera su un grid di dimensione di cella predefinita, ovviamente la dimensione della cella è correlata alla stabilità del sistema in funzione del time-step di calcolo, delle condizioni al contorno, ecc. Nel caso in esame è stata utilizzata una griglia di calcolo la cui dimensione di cella è stata prefissata pari a **10 metri** per l'analisi idraulica dell'intero territorio nel tratto attraversato dal reticolo descritto nel primo paragrafo di questa relazione.

Le simulazioni idrauliche, come già accennato in precedenza, sono state condotte inserendo come input del modello gli idrogrammi di piena relativi al tempo di ritorno di riferimento ed effettuando le elaborazioni in condizioni di moto vario. Gli idrogrammi di piena sono stati inseriti negli impluvi riferiti a ciascuno dei sottobacini considerati nella fase della costruzione del modello con il GDS; come condizione al contorno di valle si è inserita quella di moto uniforme sulla costa.

I luoghi su cui si è simulata la propagazione risultano sostanzialmente ad uso del suolo identico, tuttavia la propagazione si può estendere sino all'interno delle aree urbanizzate, coinvolgendo tessuti urbani e aree ad uso antropico molto diverse. Si è pertanto optato per una distribuzione variabile dei coefficienti di scabrezza di Manning utilizzando come riferimento le tabelle riportate nei manuali HEC-RAS, riferite alle piane alluvionali.

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<b>A. Natural Streams</b>			
<b>1. Main Channels</b>			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
<b>2. Flood Plains</b>			
a. Pasture no brush	0.025	0.030	0.035
1. Short grass	0.030	0.035	0.050
2. High grass			
b. Cultivated areas	0.020	0.030	0.040
1. No crop	0.025	0.035	0.045
2. Mature row crops	0.030	0.040	0.050
3. Mature field crops			
c. Brush	0.035	0.050	0.070
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.060
2. Light brush and trees, in winter	0.040	0.060	0.080
3. Light brush and trees, in summer	0.045	0.070	0.110
4. Medium to dense brush, in winter	0.070	0.100	0.160
5. Medium to dense brush, in summer			
d. Trees	0.030	0.040	0.050
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.050	0.060	0.080
2. Same as above, but heavy sprouts	0.080	0.100	0.120
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.100	0.120	0.160
4. Same as above, but with flow into branches			
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
<b>3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged</b>			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Tabella 12 - Tabella dei coefficienti di scabrezza di manning – fonte manunale HEC RAS

#### GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO:

Allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici si sono adottate le informazioni piano altimetriche rese disponibili dalla Regione Puglia attraverso la Cartografia Tecnica Regionale integrata dai rilievi topografici di dettaglio appositamente effettuati, utilizzando le informazioni piano altimetriche disponibili in formato ASCII. Il DEM ricavato è stato processato attraverso il PREPROCESSING GRID

DEVELOPER SYSTEM (GDS), componente del Flo-2D. Il GDS consente di elaborare il DEM inserendo tutti gli elementi necessari per la costruzione della geometria di calcolo. Il GDS opera su un grid di dimensione di cella predefinita, ovviamente la dimensione della cella è correlata alla stabilità del sistema in funzione del time-step di calcolo, delle condizioni al contorno, ecc. Nel caso in esame è stata utilizzata inizialmente una griglia di calcolo la cui dimensione di cella è stata prefissata pari a 5 metri; successivamente a seguito di numerose girate, è stata adottato un valore di lato della cella di 10 metri per snellire le lunghissime iterazioni computazionali del software e accorciare i tempi di elaborazione per l'analisi idraulica dell'intero territorio nel tratto attraversato dal reticolo descritto nel primo paragrafo di questa relazione.

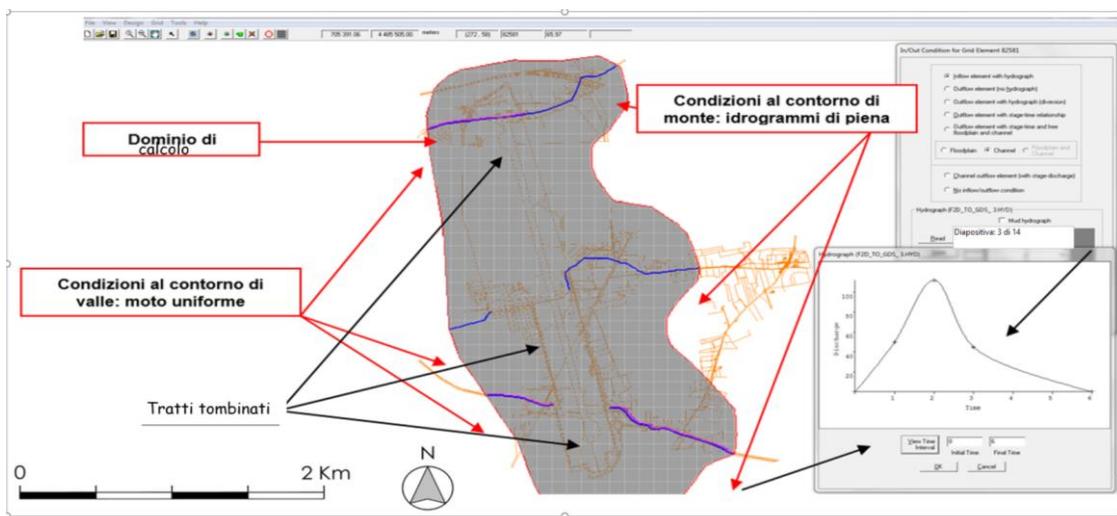


Figura 31 - Geometria del modello idraulico complessivo con indicazione degli elementi più significativi

Il modello rappresentato è stato integrato con i tratti (di colore blu) che rappresentano le aste fluviali dei tre fossi per cui sono state caricate le geometrie già utilizzate nell'HECRAS.

#### SIMULAZIONE IDRAULICA ESEGUITA

Le analisi idrauliche hanno consentito di ricavare, cella per cella in ognuna delle configurazioni geometriche utilizzate, per tempi di ritorno di 30,200 e 500 anni, una serie di grandezze idrodinamiche fondamentali per le valutazioni conseguenti tra cui la determinazione dei livelli di pericolosità idraulica connessi.

Alcune delle grandezze idrodinamiche ricavate, cella per cella, istante per istante sono:

- livello del tirante idrico
- velocità della corrente
- numero di Froude
- spinta idrodinamica

- pressione statica
- energia specifica

Nel caso in esame, in funzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate, sono state estratte le seguenti mappe che riguardano l'andamento dei massimi temporali dei tiranti idrici- Nelle tavole allegata è rappresentata invece la soglia di calcolo definita nel relativo paragrafo, utilizzando una combinazione fra i valori di velocità e i valori del relativo tirante idrico, ciò ha permesso di definire le mappe della pericolosità idrauliche per tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Dalle analisi condotte si determina che Fosso Macchione, risulta idoneo alla veicolazione delle piene di riferimento ma non con il franco di sicurezza idoneo ( $< 1.00$  m). AdB accetta normalmente franchi di sicurezza pari ad almeno 1m. Il restringimento dovuto all'attraversamento produce un'area di esondazione, per tempi di ritorno di 200 e 500 anni, esterna al perimetro del sedime aeroportuale NON interessandola pista (il franco di sicurezza esterno si stima nullo); La rifunzionalizzazione del canale di monte appena ultimata produce un incremento del fattore di sicurezza nella zona.

Secondo la simulazione effettuata, ricordando a canale ben mantenuto, L'area di esondazione non interessa l'area Militare.

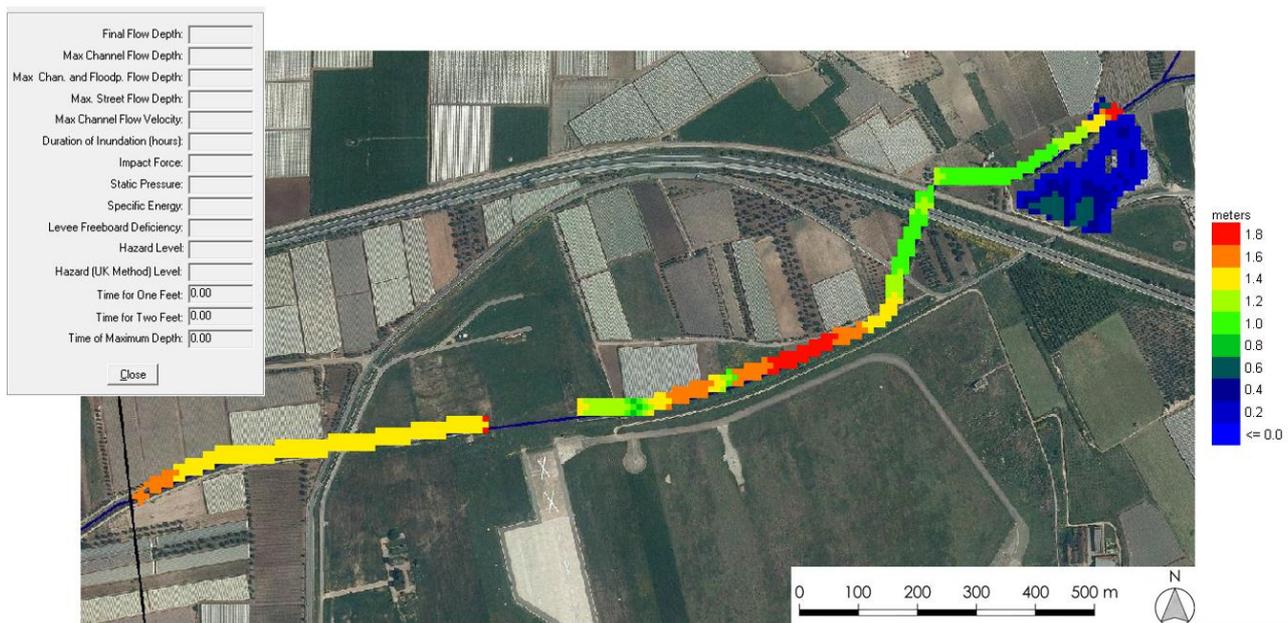


Figura 32 - Fosso Macchione: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 30 anni

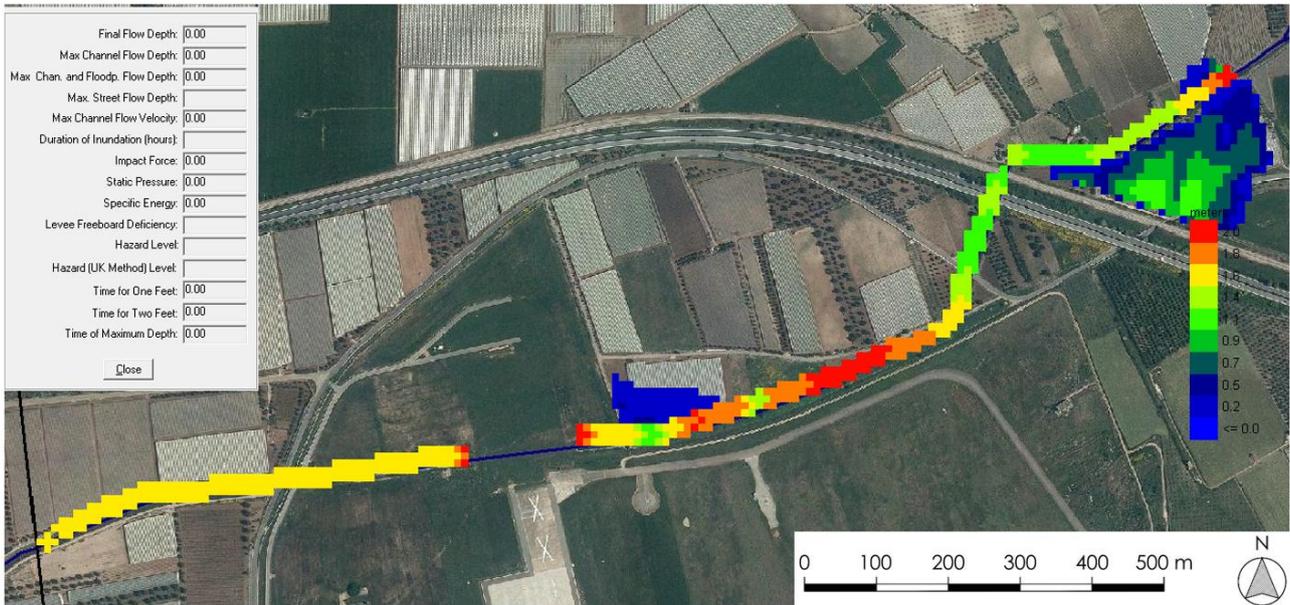


Figura 33 - Fosso Macchione: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 200 anni

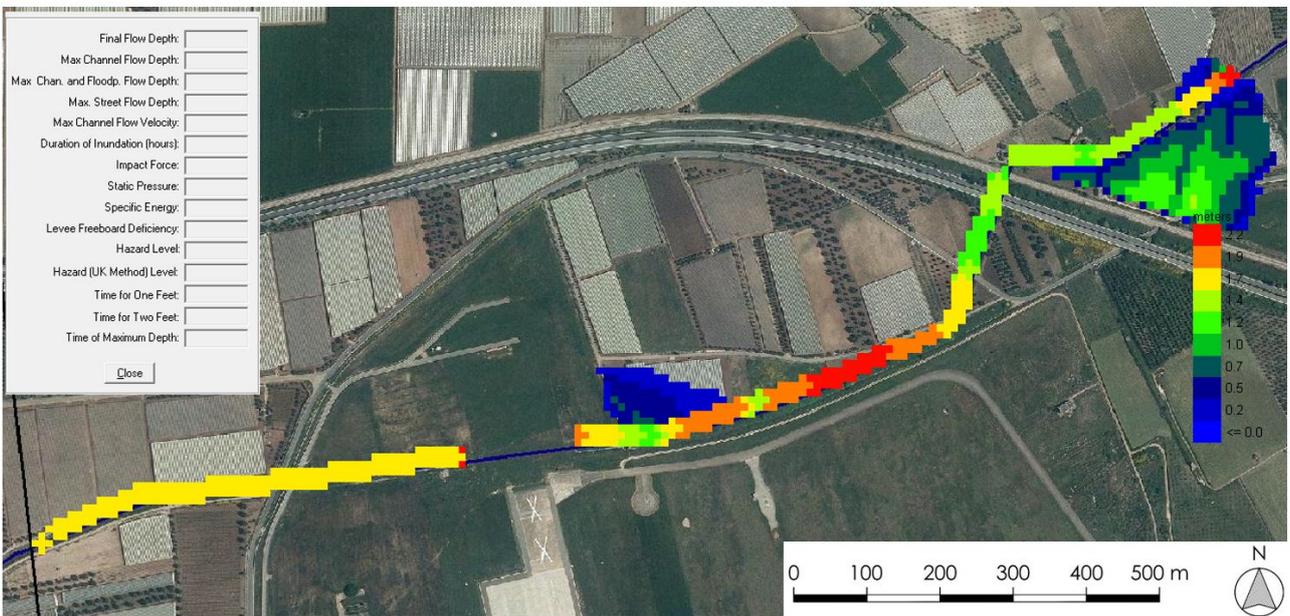


Figura 34 - Fosso Macchione: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 500 anni

Le modellazioni effettuate per Madonna del Prato dalle analisi condotte confermano che la portata di 18.30 mc/s scolmata dal partitore di valle riesce a transitare attraverso i manufatti realizzati senza alcun fenomeno di allagamento, ma con un franco superiore al metro nelle due tubazioni tombate. Le analisi condotte per il tempo di ritorno di 200 anni coincidono con quelle per il tempo di ritorno di 500 anni per via della presenza del partitore di monte che limita l'afflusso verso il tombino con

una portata fissa di taglio.

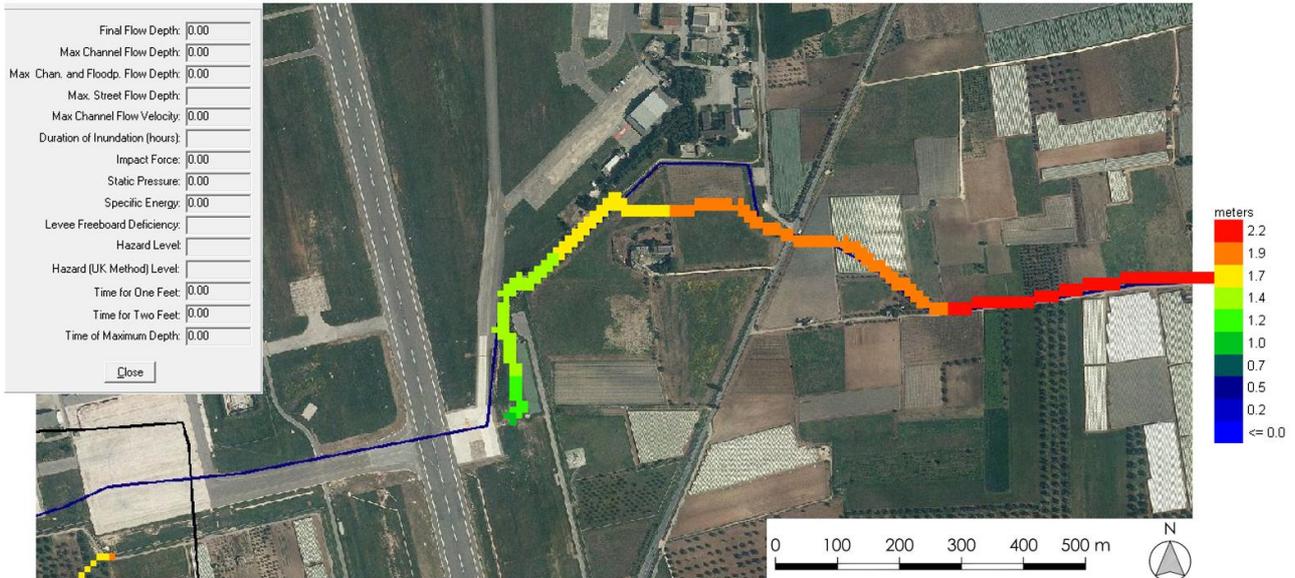


Figura 35 - Fosso Madonna del Prato: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 30 anni

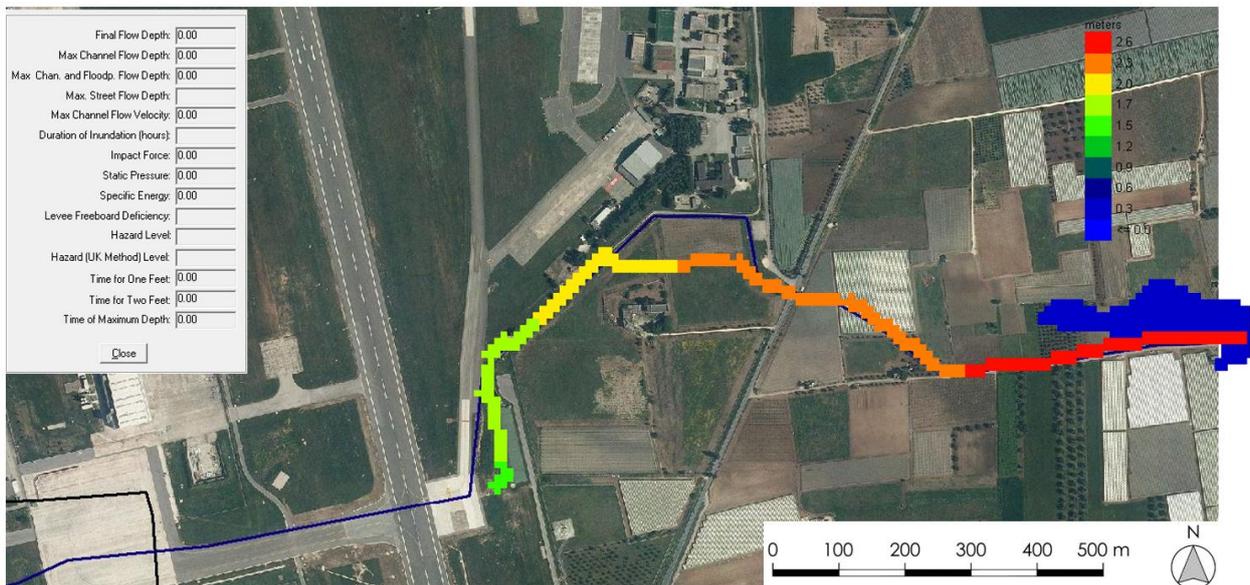


Figura 36 - Fosso Madonna del Prato: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 200 anni

Le modellazioni effettuate per Fosso delle Monache evidenzia che la piena trentennale risulta contenuta all'interno dell'alveo del canale, mentre la piena duecentennale produce un'esondazione nella zona immediatamente a monte dell'attraversamento dovuto alla sua limitata capacità di veicolazione, non interessando la pista. La piena cinquecentennale invece determina un'area di esondazione adiacente la pista, senza interessarla, ma con valori trascurabili del tirante idrico

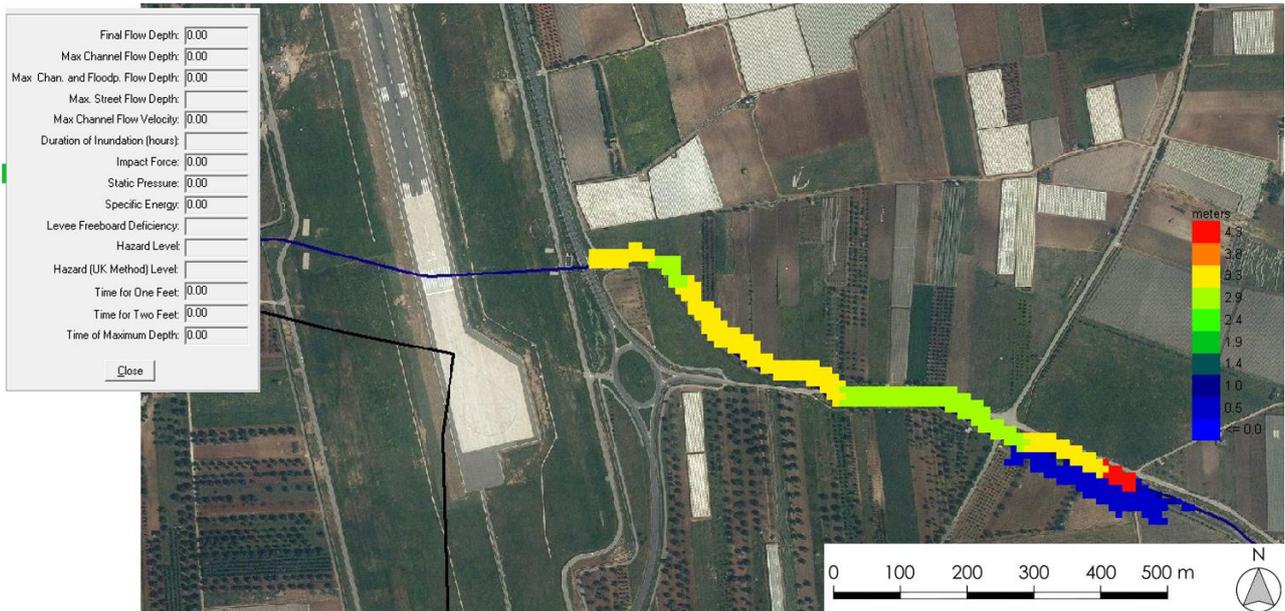


Figura 37 - Fosso delle Monache: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 30 anni

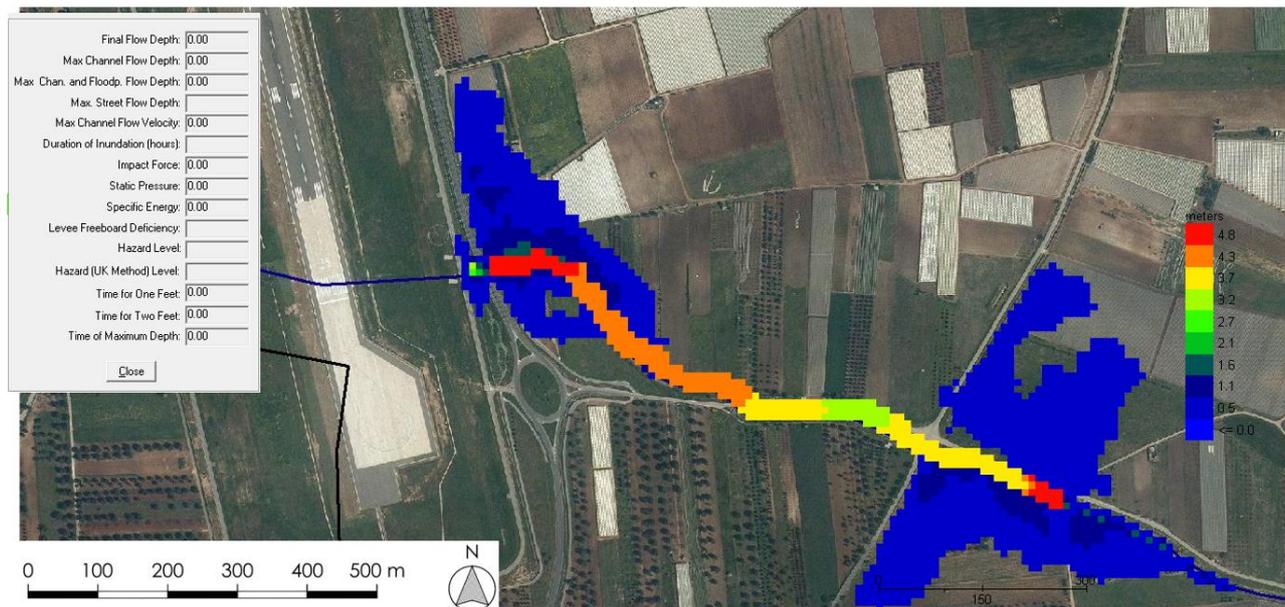


Figura 38 - Fosso delle Monache: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 200 anni

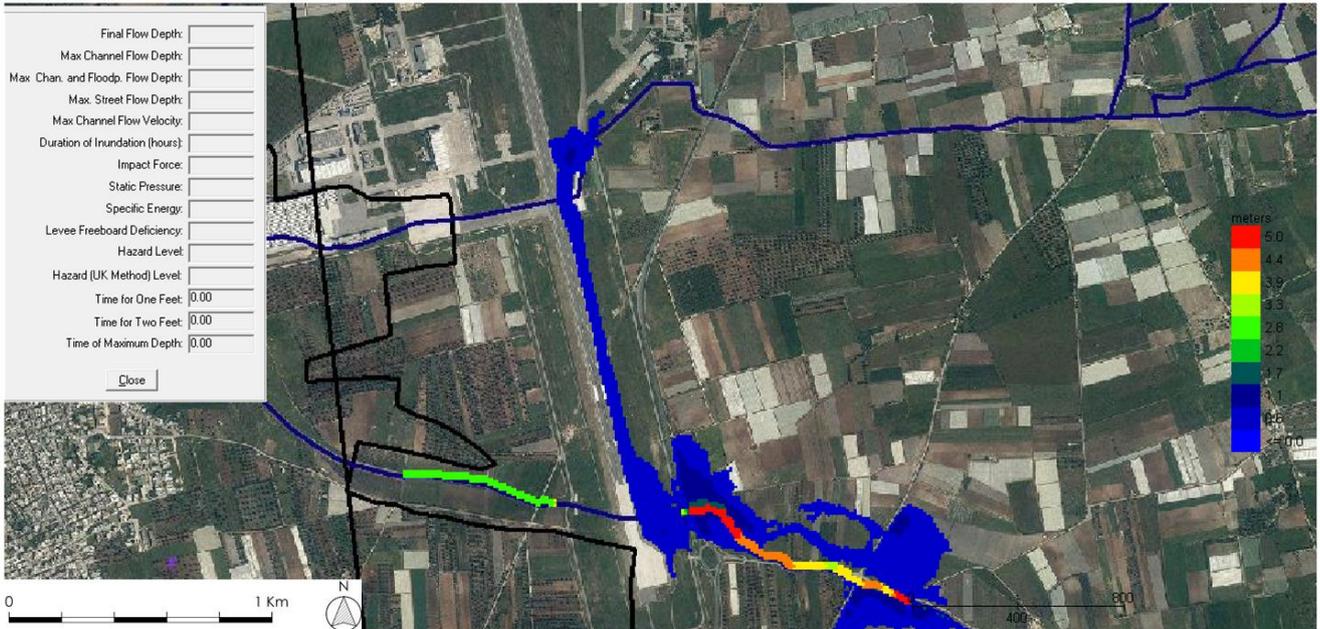


Figura 39 - Fosso delle Monache: Output rappresentativo dei tiranti (gradazione dal rosso al blu) per l'evento simulato con tempo di ritorno di 500 anni

Si visualizza, come nel caso del modello monodimensionale, la tabella dei franchi rispetto alla pista

	Franco per Tr=30 anni	Franco per Tr=200 anni	Franco per Tr=500 anni
	[m]	[m]	[m]
Fosso Macchione	0.90	0.50	0.20
Fosso Madonna del Prato	1.80	1.00	1.00
Fosso delle Monache	2.00	0.8	0

Tabella 13 - Tabella dei franchi di sicurezza rispetto la quota pista per il modello bidimensionale

## 7. CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLA SICUREZZA IDRAULICA

Le analisi condotte hanno verificato la sicurezza idraulica relativa al regime idraulico dei tre reticoli interferenti con il sedime aeroportuale, partendo dai dati di progetto delle infrastrutture di attraversamento esistenti (progetto esecutivo) integrandole con i dati di progetto degli studi condotti sul Fosso Madonna del Prato che ha prodotto la modifica PAI del 2015, con i dati ufficiali a disposizione, integrandolo con rilievo LIDAR e planoaltimetrico effettuato in campo delle sezioni tipo e singolarità dei manufatti.

Le indagini condotte hanno evidenziato che i reticoli risultano regolarmente regimentati a monte dell'aeroporto a seguito dei recenti lavori di rifunzionalizzazione.

Dal punto di vista idraulico, **per il modello monodimensionale** i manufatti di attraversamento dimensionati nel 2005 con una portata Q50, (Fosso macchione) Q200 (Fosso Madonna del Prato e delle Monache), risultano ad oggi comunque idonei al transito della piena bicentennale e cinquecentennale calcolate con le nuove portate, **ma con franchi di sicurezza < 1m**.

Per franco di sicurezza si intende la distanza del pelo libero della piena rispetto all'intradosso del tombino che ad oggi si assume come minimo il valore di 1 m (ex prescrizione AdB Puglia).

Tale caratteristica era già nota durante il dimensionamento nel progetto esecutivo del 2005.

In particolare confrontando le portate di dimensionamento e verifica delle analisi effettuate nel progetto esecutivo (2005) con quelle adottate nel presente lavoro si evidenziano le differenze:

RETICOLI	PORTATE ADOTTATE NEL PRESENTE LAVORO 2018 [mc/s]			PORTATE ADOTTATE NEL PROGETTO ESECUTIVO 2005 [mc/s]		
	TR 30	TR 200	TR 500	TR 50	TR 100	TR 200
Fosso Macchione	26.74	<b>39.03</b>	46.6	30.6	35.2	<b>39.9</b>
Fosso Madonna del Prato	12.35	<b>20.6</b>	20.6	22.6 ( <b>18.30</b> )		
Fosso Monache	83	<b>135.6</b>	163	86	100	<b>112</b>

Si confrontano allo stesso modo i franchi di sicurezza MINIMI individuati all'interno dei manufatti:

RETICOLI	FRANCO DI SICUREZZA MINIMO NEL PRESENTE STUDIO 2018 [m]			FRANCO DI SICUREZZA MINIMO NEL PROGETTO ESECUTIVO 2005 [m]		
	TR 30	TR 200	TR 500	TR 50	TR 100	TR 200
Fosso Macchione	0.6	<b>0.21</b>	0	0.29	0.55	<b>0.38</b>
Fosso Madonna del Prato	1.27	<b>1.02</b>	1.02	<b>0.53</b>		
Fosso Monache	0.5	<b>0</b>	0	1.22	1.06	<b>0.92</b>

Si riporta di seguito il confronto del franco rispetto alla pista (*differenza tra quota pista e tiranti interni minimi, con la sostituzione di questi ultimi con la quota piezometrica nei tratti in pressione*):

RETICOLI	FRANCO ALLA PISTA NEL PRESENTE STUDIO 2018 [m]			FRANCO RISPETTO ALLA PISTA NEL PROGETTO ESECUTIVO 2005 [m]		
	TR 30	TR 200	TR 500	TR 50	TR 100	TR 200
Fosso Macchione	1.42	1.03	0.8	0.89	1.15	0.98
Fosso Madonna del Prato	2.17	1.11	1.11	1.43		
Fosso Monache	1.89	0.62	0.42	2.22	2.06	1.92

Nel caso di Fosso Macchione, la piena duecentennale presenta un franco di sicurezza rispetto all'intradosso del tombino di circa 0.21 m, mentre una distanza dalla quota della pista di circa 1.03 m. Il deflusso presenta un risalto idraulico a monte del tombino, dovuto alla pila centrale dell'attraversamento, che presenta una quota che NON supera quella dell'estradosso dell'impalcato. Al fine di consentire il transito della Q200 in condizioni di sicurezza idraulica risulterebbe necessario ampliare la sezione di transito dell'attraversamento, diminuendo i tiranti del deflusso.

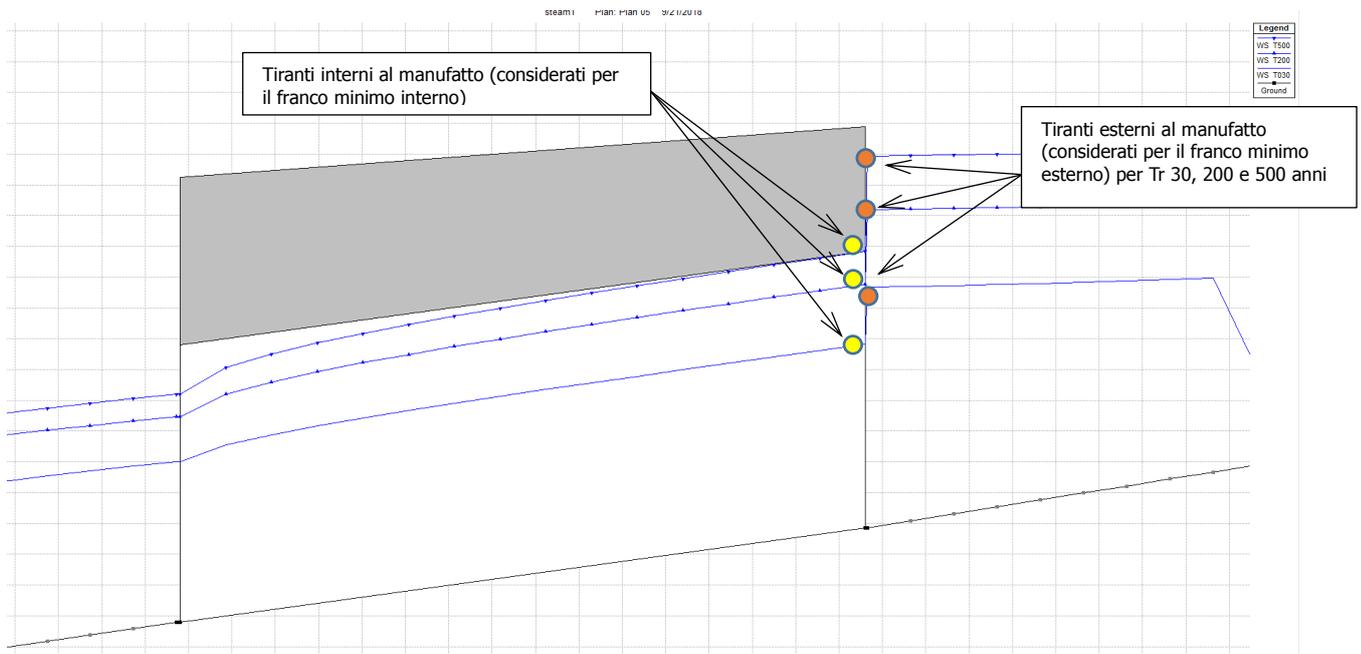


Grafico 22 - Fosso Macchione: Particolare tombino nei 3 tempi di ritorno

Nel caso di *Fosso Madonna del Prato*, la piena duecentennale presenta un franco di sicurezza costante all'interno dell'attraversamento di circa 1.02 m idoneo al transito della piena in sicurezza al di sotto delle condotte tombate con una distanza dalla quota della pista di circa 2.17 m. Per contro, il profilo idraulico presenta un risalto immediatamente a monte dovuto al cambio di geometria della sezione che accorcia il suddetto franco di sicurezza rispetto all'intradosso del tombino (limitatamente alla sezione di imbocco) a circa 0.25 m corrispondente ad un franco rispetto alla pista di 1.11 m.

Al fine di consentire il transito della Q200 in condizioni di sicurezza idraulica risulterebbe necessario diminuire la portata in transito fino a quella limite che consente di avere un franco di sicurezza di 1 ma anche sull'imbocco a monte.

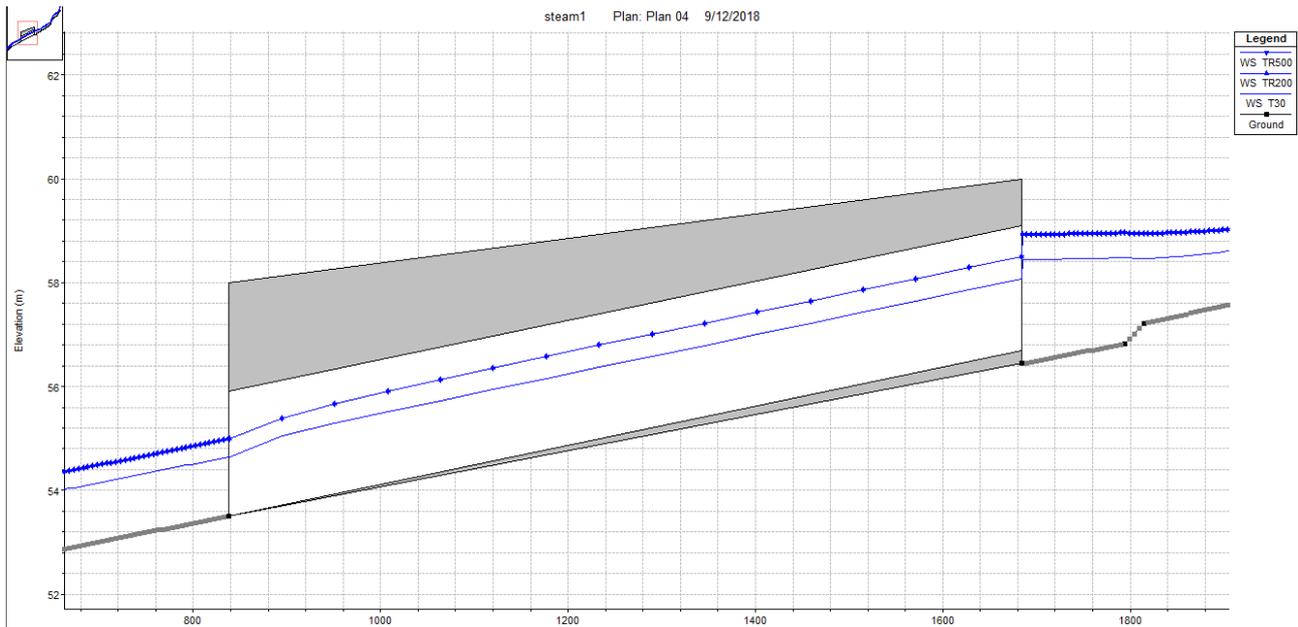


Grafico 23 - Fosso Madonna del Prato: Particolare tombino nei 3 tempi di ritorno

Nel caso di Fosso delle Monache, l'attraversamento è in pressione nell'ultimo tratto, quindi presenta un franco di sicurezza nullo e una piezometrica che comunque NON raggiunge la quota della pista con un franco rispetto ad essa di circa 0.66 m (Tr=200 anni). Il profilo idraulico presenta un primo risalto nei pressi della sezione immediatamente a monte dell'imbocco, dovuto al restringimento della sezione (passa da trapezoidale con larghezza massima di 15 m a rettangolare con larghezza di 13 m, mentre il secondo risalto (che determina il tratto in pressione) è dovuto al cambio di sezione a valle.

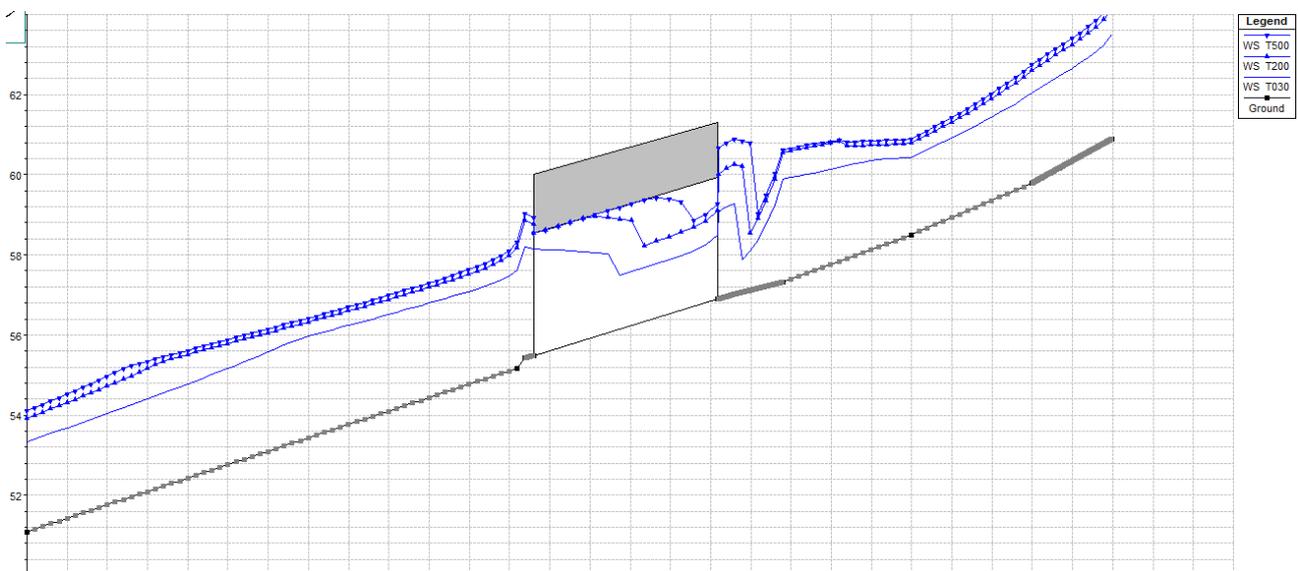


Grafico 24 - Fosso delle Monache: Particolare tombino nei 3 tempi di ritorno

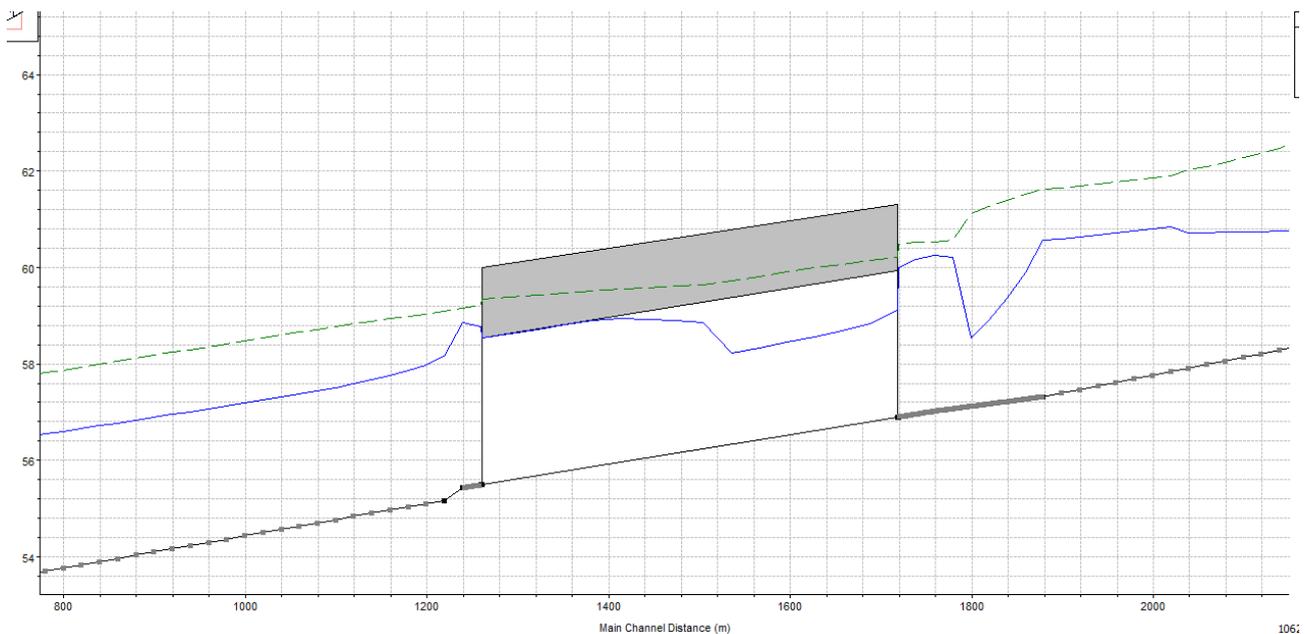


Grafico 25 - Fosso delle Monache: Particolare profilo tr 200 anni (in celeste) e linea dell'energia (in verde)

Tutti i reticoli NON presentano idonei franchi di sicurezza, con il pericolo che l'interrimento dei canali e/o detriti sul fondo alveo che riducono la sezione bagnata, possono favorire l'esondazione del canale o mettere in pressione il manufatto.

Ricapitolando, secondo l'analisi eseguita, il tratto finale del tombino del **Fosso delle Monache risulta in pressione per tempi di ritorno di 200 e 500 anni, mentre Fosso Macchione solo per la piena cinquecentennale.**

Mentre il modello monodimensionale esalta i tiranti idrici ma valutando una sola direzione del deflusso (da monte verso valle), il modello bidimensionale tiene conto invece della propagazione nelle direzioni trasversali.

**Anche valutando i risultati ottenuti con il modello bidimensionale, si evince che la pista non viene mai interessata, verificandosi comunque delle esondazioni a monte.**

I risultati della modellazione con la determinazione del floodplain (senza l'applicazione delle soglie di taglio, come dimostrato nel paragrafo precedente) dimostrano che, a differenza di quanto riportato nel modello monodimensionale, **comunque la pista e il sedime aeroportuale non vengono mai interessati da fenomeni di allagamento, confinando tutti i fenomeni esondativi a monte degli attraversamenti o in aree adiacenti come nel caso del Fosso delle Monache** per l'evento tr 500 anni l'esondazione supera la quota dell'impalcato ma, per la morfologia del sedime aeroportuale, si confina nelle immediate vicinanze della pista senza interessarla direttamente.

Tali fenomeni potranno essere ulteriormente aggravati dall'assenza (o scarsa) manutenzione degli imbocchi dei manufatti di attraversamento che svolgono un ruolo importante per via della presenza

delle cancellate realizzate trasversalmente al flusso idraulico e che garantiscono la sicurezza contro l'accesso al sedime aeroportuale.

Infatti, in corrispondenza delle sezioni di ingresso e di uscita dall'Aeroporto le opere di attraversamento sono protette da griglie antintrusione che in caso di "allerta meteo", sono aperte a cura dei responsabili della sicurezza dell'Aeroporto.

A tal proposito, già nello studio del 2015, il parere dell'autorità di Bacino della Puglia 0008508 del 12/05/2015 relativamente alla ripermimetrazione del Fosso Madonna del Prato, prescriveva:

*"a) ...la pulizia dei siti anteposti alle cancellate, citate nei relativi verbali, con cadenza almeno trimestrale e a rendere disponibile all' Autorità di Bacino con cadenza annuale adeguata certificazione delle attività svolte;*

*b) prima che entri definitivamente in esercizio (attraverso la chiusura dei relativi collaudi tecnico-amministrativi) l'insieme delle opere in via di costruzione per la messa in sicurezza idraulica delle infrastrutture aeroportuali di Grottaglie, a rendere automatica, in caso di piena, l'apertura delle cancellate (attualmente presenti sui Fossi Madonna del Prato e Monache, a garanzia della sicurezza dell'Aeroporto) attraverso idonei dispositivi asserviti al controllo di adeguate variabili idrologiche e idrauliche, al fine di evitare che le materie di qualsiasi consistenza trascinate dalle correnti idrauliche."*



Figura 40 - Fosso Macchione: Cancellate di sicurezza a monte del tombino di attraversamento



*Figura 41 - Fosso Madonna del Prato: Cancellate di sicurezza a monte del tombino di attraversamento*



*Figura 42 - Fosso delle Monache: Cancellate di sicurezza a monte del tombino di attraversamento*

Come si evince dalle foto, la situazione manutentiva risulta effettuata (per Fosso delle Monache in fase di svolgimento al momento delle foto).

Al fine di garantire il passaggio del deflusso di piena in caso di evento meteorico significativo, secondo le informazioni raccolte in fase di sopralluogo, il personale addetto raggiunge ogni punto di imbocco e apre le cancellate che sono ad anta a battente con apertura nel senso della corrente idrica, agendo direttamente dai lucchetti posti sulle ante stesse, pertanto costretti a raggiungere velocemente il fondo con seri rischi.

Al fine automatizzare le operazioni, fondamentali per il regolare deflusso al di sotto degli attraversamenti, e garantirne la sicurezza degli operatori, nonché l'efficacia della regolazione si rende necessario implementare i dispositivi con un intervento di revamping delle chiusure di sicurezza, inserendo ad esempio in luogo alle cancellate ad anta battente, delle **paratoie mobili**,

motorizzate con telaio in acciaio AISI 304 e **scudo grigliato** (con stessa maglia delle attuali cancellate) in grado di attivarsi in remoto su comando dell'operatore che in breve tempo avvia l'operazione dalla sede di controllo. L'operatore può supportato, oltre che dalle **telecamere, anche da un misuratore ad ultrasuoni o radar o similare**, che indica il passaggio di acqua e il corrispondente livello idrico, segnalando il verificarsi dell'evento significativo che determina l'apertura automatica (o manuale) delle paratoie.



In caso di malfunzionamento degli attuatori meccanici o del motore oppure in assenza di energia elettrica, la paratoia è dotata di volantino per il sollevamento manuale, da attivare sempre al di sopra del manufatto in condizioni di sicurezza.

Tale implementazione, previene la discesa dell'operatore direttamente in alveo durante la piena, che come noto, risulta molto più pericolosa in fase di inizio dell'evento ovvero in fase crescente dell'idrogramma in arrivo.

L'intervento sopra descritto rappresenta una delle possibilità di intervento; la soluzione più idonea verrà valutata nell'ambito di uno specifico progetto.

A titolo esemplificativo, e non esaustivo, sono stati simulati degli scenari a vantaggio di sicurezza per valutare complessivamente il rischio a seguito di eventi non prevedibili (e comunque rari) che si potrebbero verificare, rappresentando:

- 1) fenomeni di intasamento delle griglie antintrusione di monte ipotizzando una percentuale di intasamento del 70%.
- 2) Fenomeni di interrimento del canale con ostruzione da detriti innalzando la quota alveo di circa 40 cm

Nel primo caso, si rappresenta di seguito l'effetto dell'ostruzione dovuta alla mancata apertura che determina una riduzione efficace del passaggio libero del deflusso di circa il **70%** dovuto all'accumulo del materiale sulle griglie (chiuse).

Per Fosso Macchione, la riduzione della sezione libera dovuta ai detriti produce una esondazione che interessa l'area di sedime aeroportuale NON interessando la pista;

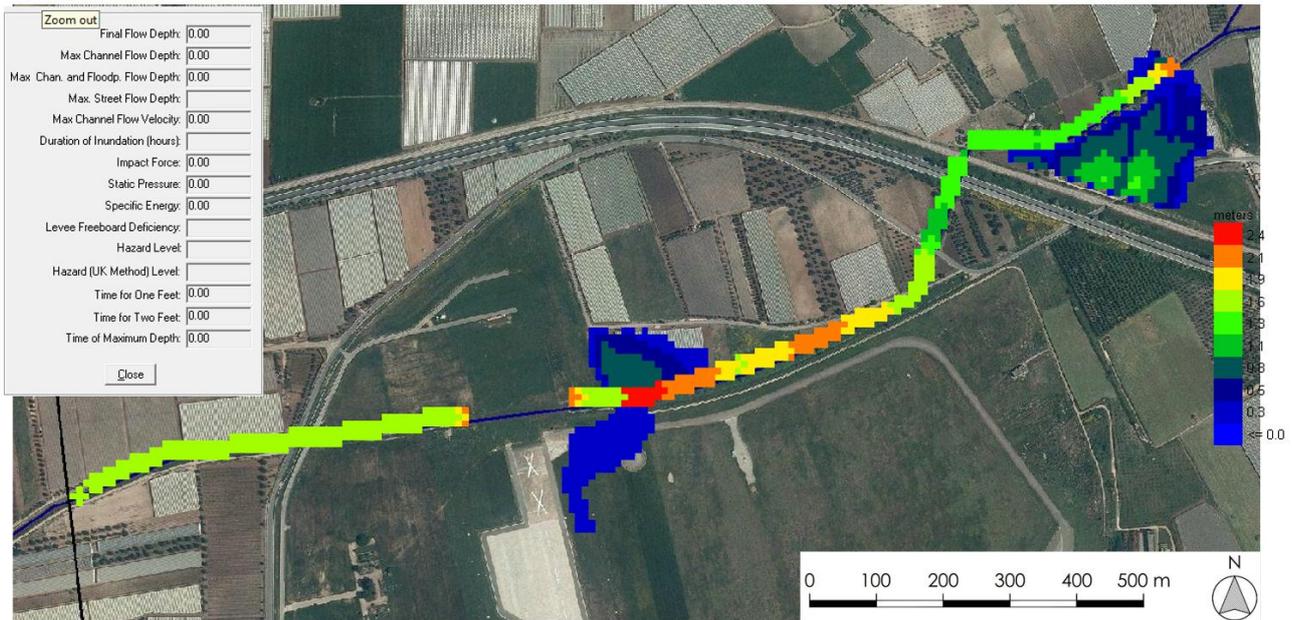


Figura 43 - Fosso Macchione: simulazione della parziale ostruzione cancellate di imbocco

Per Fosso Madonna del Prato, l'ostruzione determinerebbe l'innalzamento a tutto il canale provocando esondazioni maggiori nel tratto di monte ma NON interessando la pista;

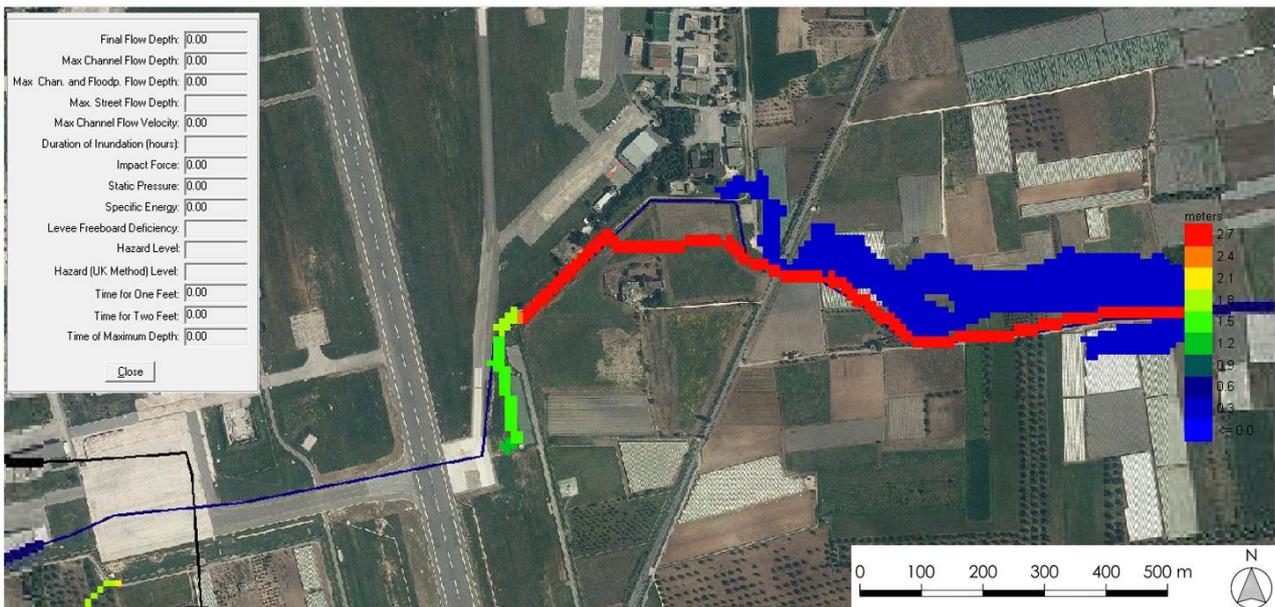


Figura 44 - Fosso Madonna del Prato: simulazione della parziale ostruzione cancellate di imbocco

Per Fosso delle Monache l'insufficienza dovuta all'ostruzione provocherebbe un'area di allagamento che oltre ad interessare il sedime aeroportuale, occuperebbe anche una parte di pista ma con valori di tirante minimi (< 10 cm) come si evince dalla figura di seguito allegata.

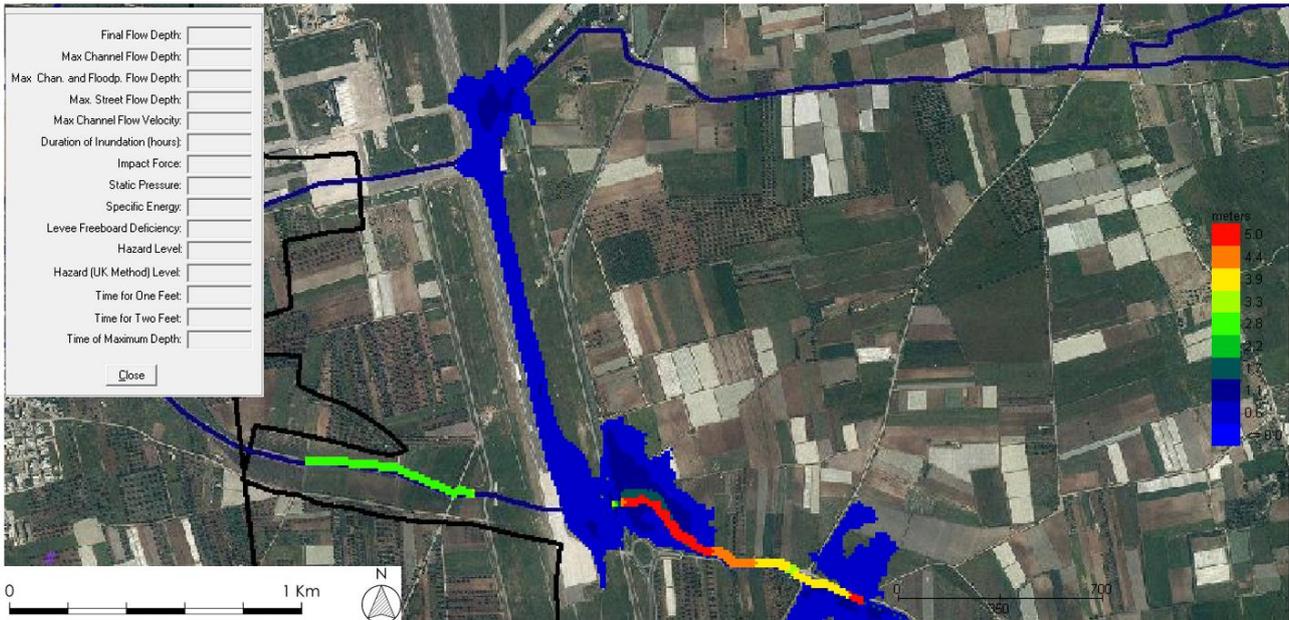


Figura 45 - Fosso delle Monache: simulazione della parziale ostruzione cancellate di imbocco

Nel secondo caso viene simulata l'ostruzione della sezione del tombino dovuta al transito di corpi grossolani oppure interrimento del canale, prevedendo un innalzamento dell'alveo di circa 40 cm. I risultati dimostrano che l'esonazione per tempo di ritorno di 200 anni a seguito di un intasamento del 70%, potrebbe interessare la pista, seppur con tiranti dell'ordine della decina di centimetri.

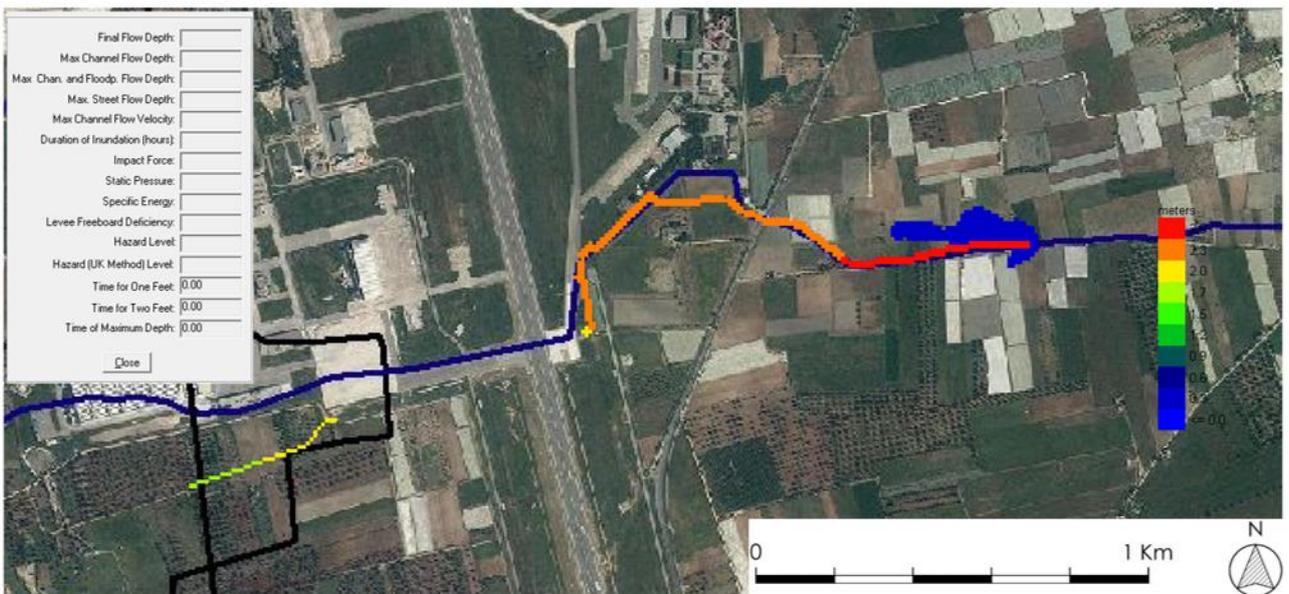


Figura 46 - Fosso Madonna del Prato: simulazione della parziale ostruzione del tombino

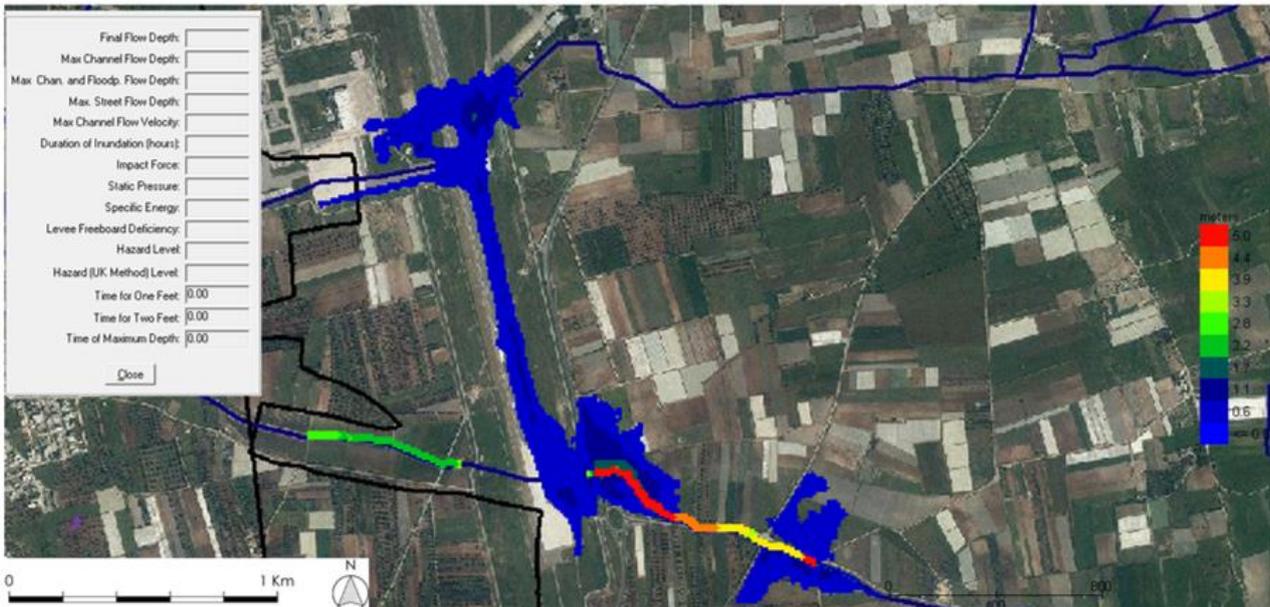


Figura 47 - Fosso delle Monache: simulazione della parziale ostruzione del tombino

**Si specifica che le simulazioni sopra descritte NON possono concorrere alla formazione dell'eventuale perimetrazione PAI che, come usualmente avviene, fa riferimento invece a risultati della modellazione bidimensionale che contemplan*o* i canali liberi da detriti quindi senza ostruzioni provocate da elementi esterni.**

L'implementazione dei sistemi di apertura come sopra descritto, comporteranno anche l'adeguamento e la revisione del "Scheda di sicurezza dell'Aeroporto di Taranto – Grottaglie" aggiornandola con le nuove procedure per gli operatori.

I sistemi di protezione per questi eventi (ostruzioni tombino e griglie a monte dell'imbocco) al fine di scongiurare esondazioni non previste verso la pista è quello di realizzare un piccolo argine contermine alla pista sia per un tratto di circa 80 m partendo dall'attraversamento di Fosso delle Monache verso Fosso Madonna del Prato lungo il perimetro est sia nei pressi del tombino di Fosso Macchione, entrambi con altezza non inferiore ai 0.50 m per garantire la divagazione della piena cinquecentennale verso la pista aeroportuale

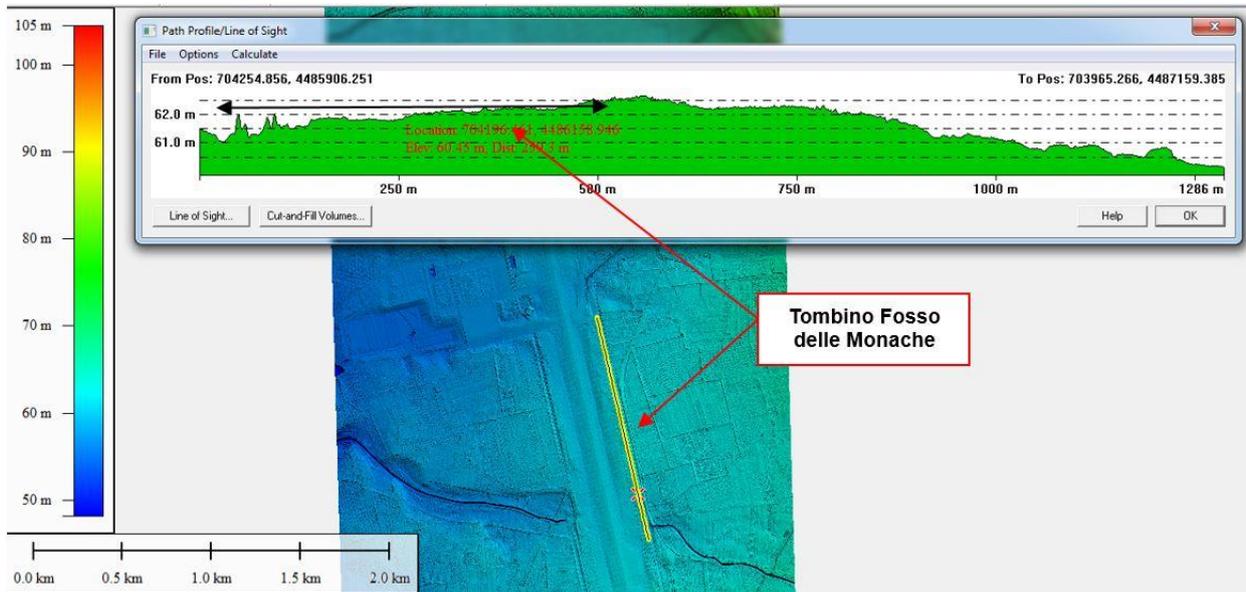
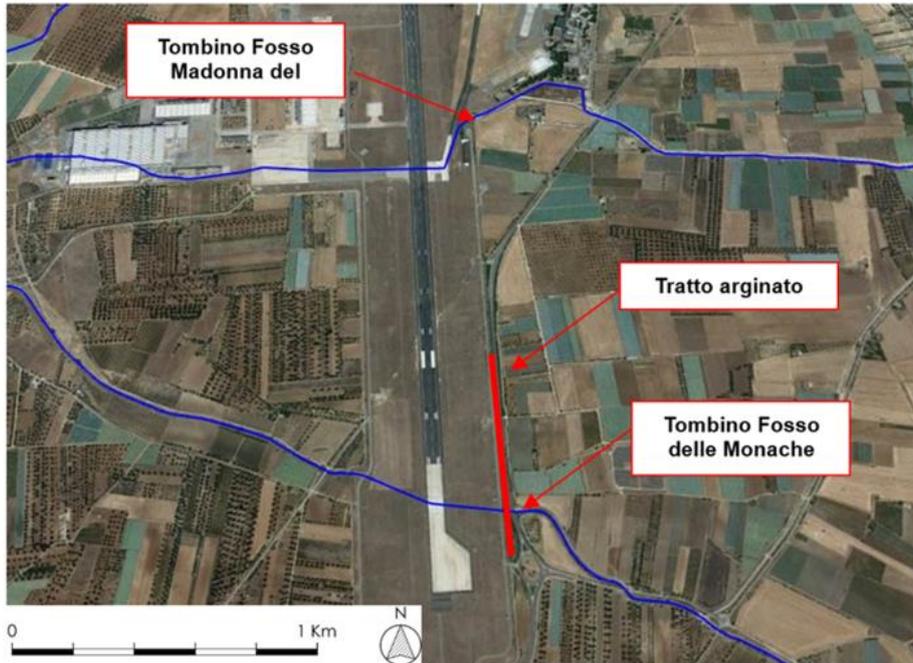


Figura 48 - Individuazione del possibile tratto arginato per il Fosso delle Monache

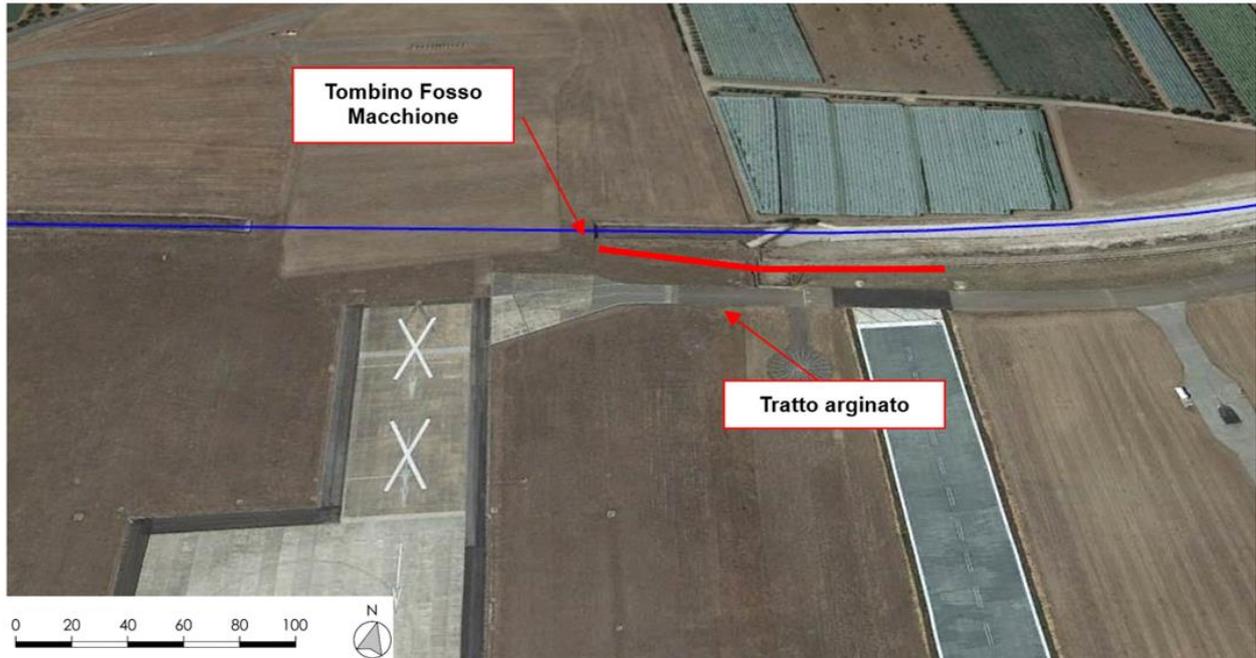


Figura 49 - Individuazione del possibile tratto arginato per il Fosso Macchione

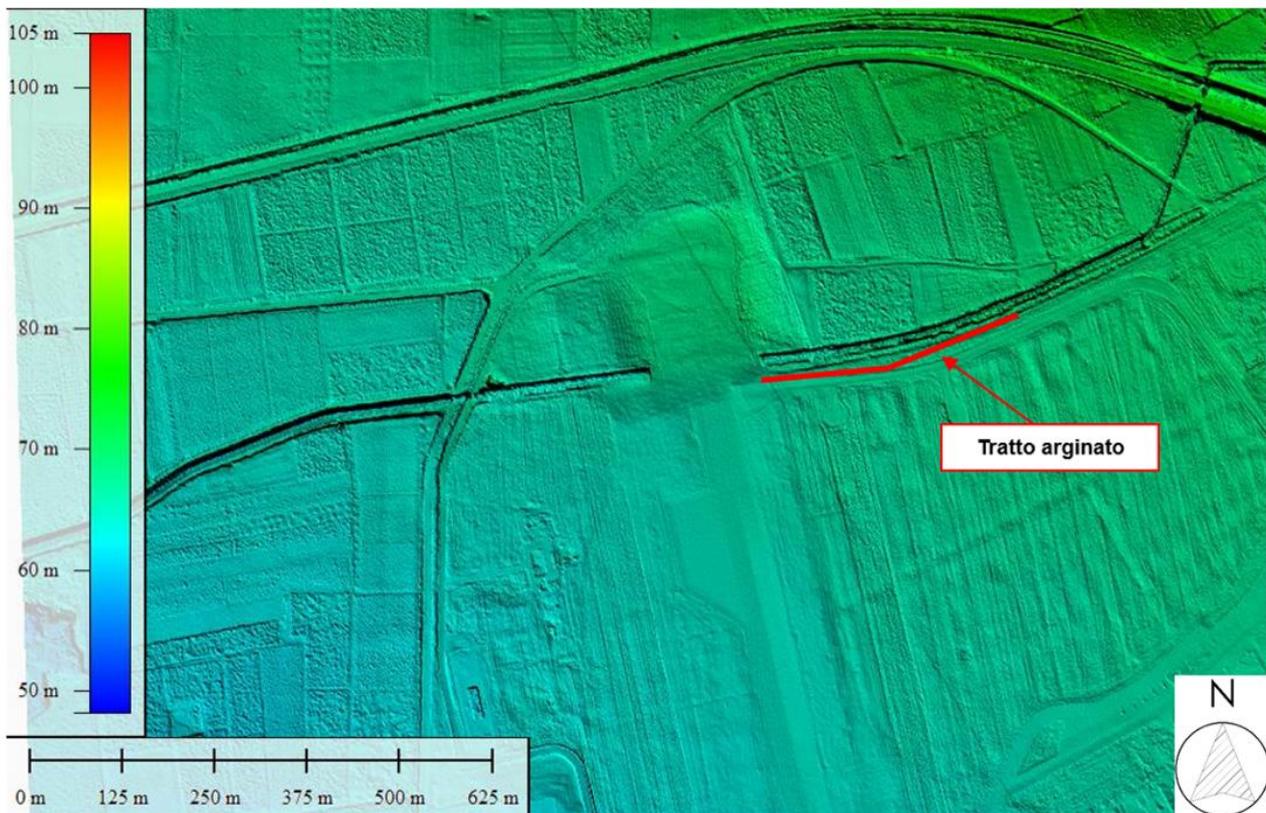


Figura 50 - Individuazione del possibile tratto arginato per il Fosso Macchione su base LIDAR

## 8. NUOVA PERIMETRAZIONE

A valle delle analisi condotte si è rappresentata la nuova mappa delle pericolosità idraulica a seguito della rifunzionalizzazione dei canali di monte dei tre tombini di attraversamento che invece sono rimasti inalterati dall'epoca della loro realizzazione.

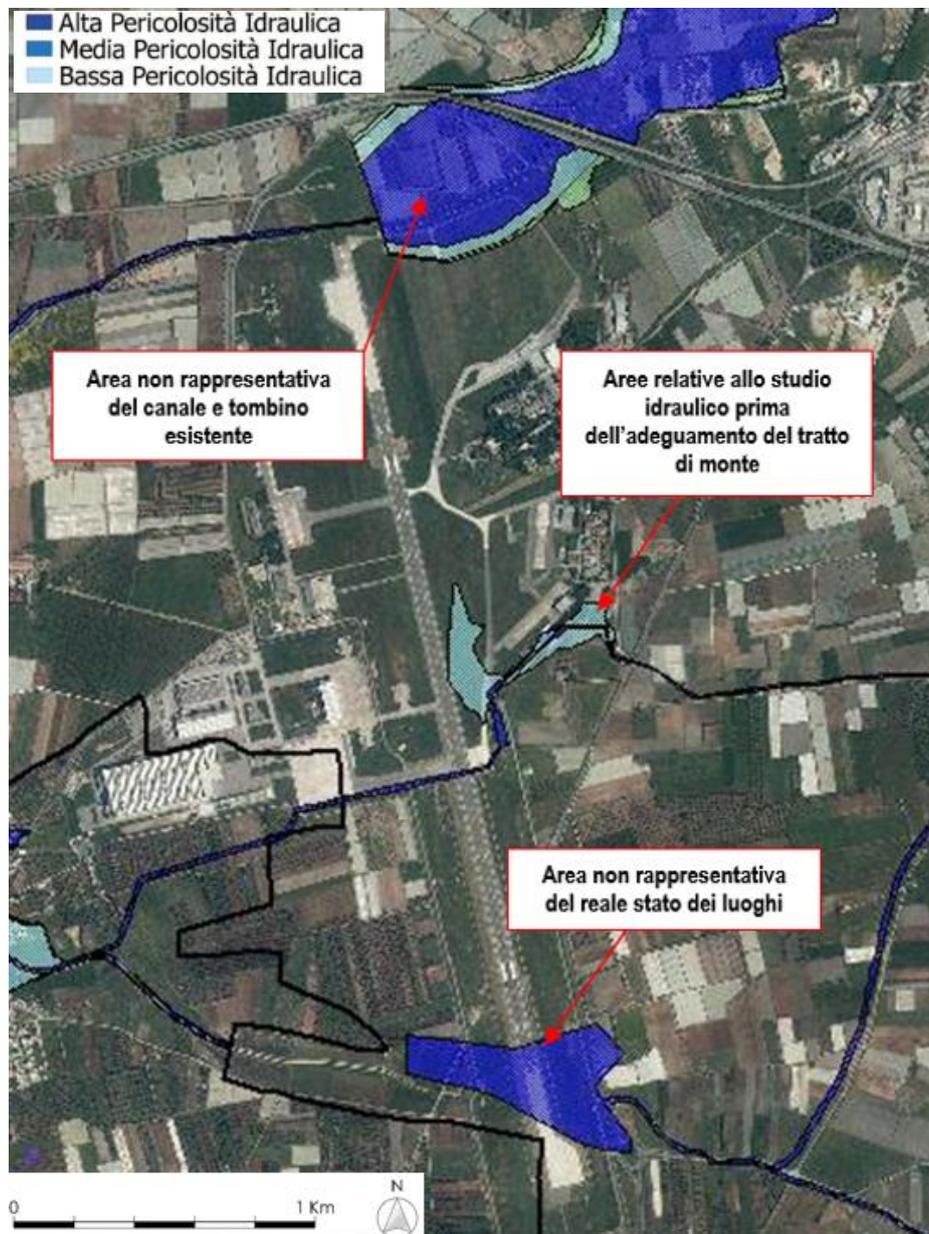


Figura 51 - PAI vigente

Le aree ad alta pericolosità idraulica riportate sulla pista in prossimità dell'attraversamento del Fosso delle Monache, non corrispondono più alla realtà, così come l'enorme area a diversa pericolosità

idraulica nei pressi del Fosso Macchione. Per quanto riguarda *Fosso Madonna del Prato*, la perimetrazione vigente, non è più reale in quanto è stato rifunzionalizzato e rettificato il canale a monte del tombino.

Dalle analisi idrauliche effettuate si sono individuati i franchi di sicurezza (**in condizioni di tombini puliti**) individuati rispetto all'intradosso interno e rispetto alla pista con l'adozione delle portate per Tr 30, 200 e 500 anni, così come disposto dalle NTA del PAI Puglia.

	Franco di sicurezza per Tr=30 anni [m]		Franco di sicurezza per Tr=200 anni [m]		Franco di sicurezza per Tr=500 anni [m]	
	Interno	esterno	interno	esterno	interno	esterno
Fosso Macchione	0.60	0.23	0.21	-0.27	0.00	-0.62
Fosso Madonna del Prato	1.27	0.65	1.02	0.21	1.02	0.21
Fosso delle Monache	0.50	0.86	0.00 (ultimo tratto)	-0.06	0.00 (ultimo tratto)	-0.74

Tabella 14 - Tabella dei franchi di sicurezza rispetto l'intradosso impalcato (Per franco interno si intende la distanza MINIMA dal pelo libero all'intradosso del tombino in una sezione interna al tombino stesso, per franco esterno si intende la distanza nella una sezione immediatamente a monte dell'imbocco)

	Franco per Tr=30 anni	Franco per Tr=200 anni	Franco per Tr=500 anni
	[m]	[m]	[m]
Fosso Macchione	1.04	0.54	0.19
Fosso Madonna del Prato	2.17	1.11	1.11
Fosso delle Monache	2.20	1.30	0.62

Tabella dei franchi di sicurezza rispetto la quota pista per il modello monodimensionale: differenza tra il tirante esterno e la quota pista)

Per il fosso delle Monache, l'analisi bidimensionale dimostra una esondazione verso il sedime dell'area aeroportuale,

L'immagine di seguito riportata si riferisce alla nuova proposta per una revisione della perimetrazione più adatta allo stato dei luoghi.

Dovrà essere attivata la procedura presso l'ex Autorità di Bacino della Puglia per un ulteriore aggiornamento del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.



Figura 52 - Nuove aree perimetrare

## 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE - POSSIBILI SOLUZIONI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Si premette che:

1. l'opera di tombamento nel progetto del 2005 del Fosso Macchione è stata dimensionata per la seguente portata  $Q = 30.6 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza di  $TR=50$  anni e poi verificata per portate corrispondenti a  $TR= 100$  e  $200$  anni rispettivamente.
2. L'opera di tombamento del Fosso delle Monache nel progetto del 2005 è stata dimensionata utilizzando quale parametro progettuale di riferimento la portata di piena bicentenaria.
3. L'opera di sistemazione del fosso Madonna del Prato nel progetto del 2005 è stata dimensionata per intercettare inizialmente una portata di  $22.6 \text{ mc/s}$  (portata tr 50 anni) scolare circa  $4.3 \text{ mc/s}$  in una vasca di laminazione e far transitare nella parte tombata una portata di  $18.30 \text{ mc/s}$ .
4. Successivamente è stato approvato e, allo stato attuale, già realizzato un progetto di regimentazione dei deflussi riferiti al fosso Madonna del Prato. Detto progetto, dopo aver ricalcolato il valore di portata bicentenaria pari a  $28.68 \text{ m}^3/\text{sec}$  per tale fosso, ha previsto la realizzazione di un partitore per separare i deflussi del bacino idrografico naturale, lasciando defluire verso il corso naturale dello stesso fosso, per un tempo di ritorno di 200 anni,  $18.08 \text{ m}^3/\text{sec}$  e derivando verso il fosso delle Monache  $10.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Il presente studio, invece, ha valutato il rischio idraulico allo stato attuale prendendo in considerazione portate associate a  $TR$  pari a 200 anni, ricalcolandole con le modalità indicate nella relazione del Piano del PAI Puglia e verificando il franco di sicurezza nei vari attraversamenti esistenti. Di seguito si propongono possibili interventi di mitigazione finalizzati a garantire il franco di sicurezza minimo richiesto da AdB pari a 1m.

Il rischio rappresentato dall'assenza del franco di sicurezza, può essere mitigata, aumentando la capacità di deflusso (o limitandola) dei tombini oggetto di indagine.

La portata massima transitabile negli attraversamenti che consente un franco di sicurezza di 1.00 m rispetto anche la sezione di imbocco risulta rispettivamente pari a:

RETICOLI	Portata tr 200 anni calcolata	Portata limite che consente 1 m di franco di sicurezza con l'attuale geometria
	[mc/s]	[mc/s]
Fosso Macchione	39.03	15.00
Fosso Madonna del Prato	20.60	8.68
Fosso Monache	135.60	50.00

Come si nota al fine di consentire la massima sicurezza sarebbe necessario dimezzare le portate in transito verso gli attraversamenti esistenti se si volesse conservare la stessa geometria, cosa fattibile solo per il Fosso Madonna del Prato in quanto servito da un partitore di monte che regola la portata in ingresso ai manufatti.

In alternativa alla laminazione (che comunque comporterebbe la realizzazione di vasche con volumi significativi a monte) si potrebbe modificare la geometria dell'attraversamento aumentando la superficie libera.

Di seguito si sintetizzano, per ogni attraversamento, un'ipotesi di realizzazione degli interventi per INCREMENTARE la sicurezza idraulica del sedime aeroportuale.

### 8.1. **Automatizzazione sistemi di apertura delle griglie**

Al fine automatizzare le operazioni finalizzate all'apertura delle griglie agli imbocchi dei tombinamenti, si rende necessario implementare i dispositivi con un intervento di revamping delle chiusure di sicurezza, inserendo ad esempio in luogo alle cancellate ad anta battente, delle **paratoie mobili**, motorizzate. La migliore soluzione dovrà comunque essere valutata nell'ambito di uno specifico progetto.

### 8.2. **Tratti arginati –Fosso Macchione e fosso delle Monache**

Per mitigare l'eventuale possibile esondazione dovuta all'effetto dell'ostruzione per la mancata apertura delle griglie si propone la realizzazione di due tratti arginati in corrispondenza del Fosso delle Monache e del Fosso Macchione nelle posizioni indicate nelle seguenti immagini.

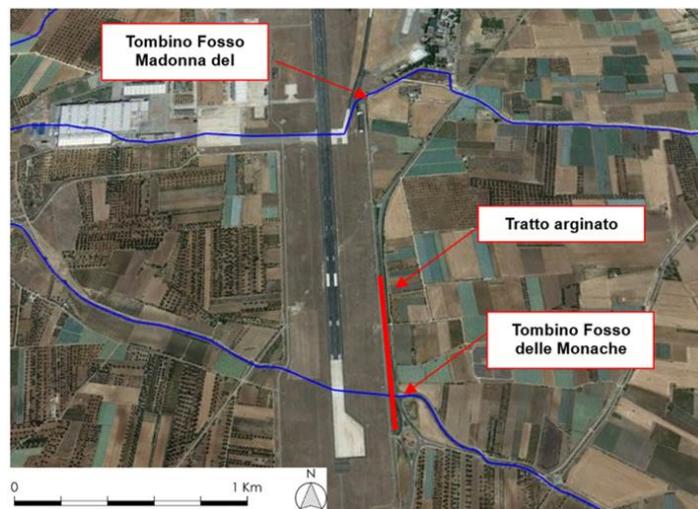


Figura 53 - Individuazione del possibile tratto arginato per il Fosso delle Monache

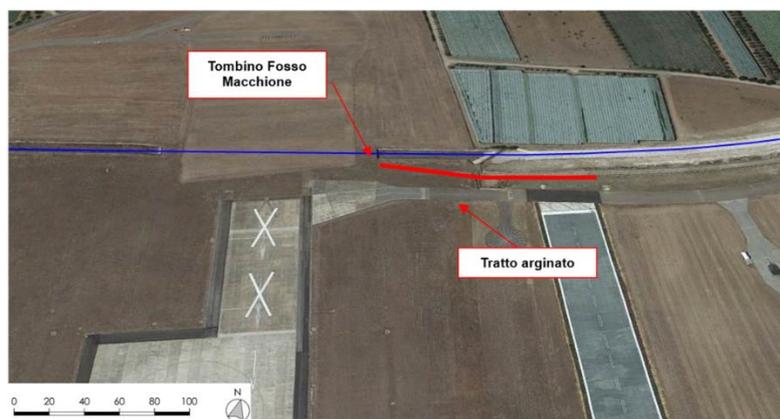


Figura 54 - Individuazione del possibile tratto arginato per il Fosso Macchione

### 8.3. Attraversamento Fosso Macchione

Nel caso di Fosso Macchione, l'ipotesi più fattibile è rappresentata dall'aumento del tombino di attraversamento con un manufatto analogo rispetto a quello attuale di larghezza 6.00 m circa e altezza libera netta di 1.80 m

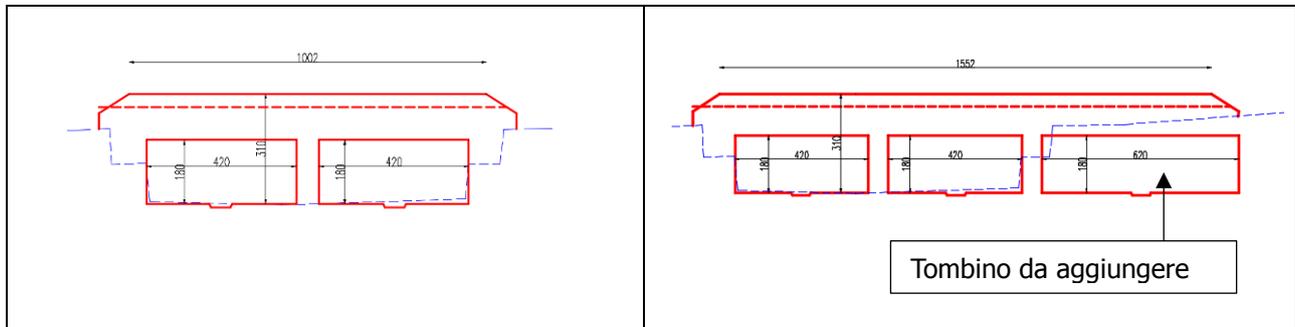


Figura 55 - Attraversamento Fosso Macchione: Ipotesi di allargamento manufatto

Ovviamente l'intervento prevede anche un allargamento della zona di imbocco e quella di sbocco con raccordo all'attuale Canale verso valle.

La soluzione dal punto di vista tecnico non è significativamente interferente con la pista anche se comunque saranno utilizzate le procedure di sicurezza. Inoltre l'allargamento avverrebbe verso nord in zona lontana dalle operazioni aeroportuali.

### 8.4. Attraversamento Fosso Madonna del Prato

Nel caso in oggetto, risulta valida l'ipotesi di diminuire la portata verso valle agendo sul partitore e ridimensionando la luce di fondo al fine di consentire la derivazione verso il manufatto di attraversamento di 8.68 mc/s e dirottare gli ulteriori 20 mc/s verso Fosso delle Monache così come schematicamente indicato nell'immagine sotto riportata.

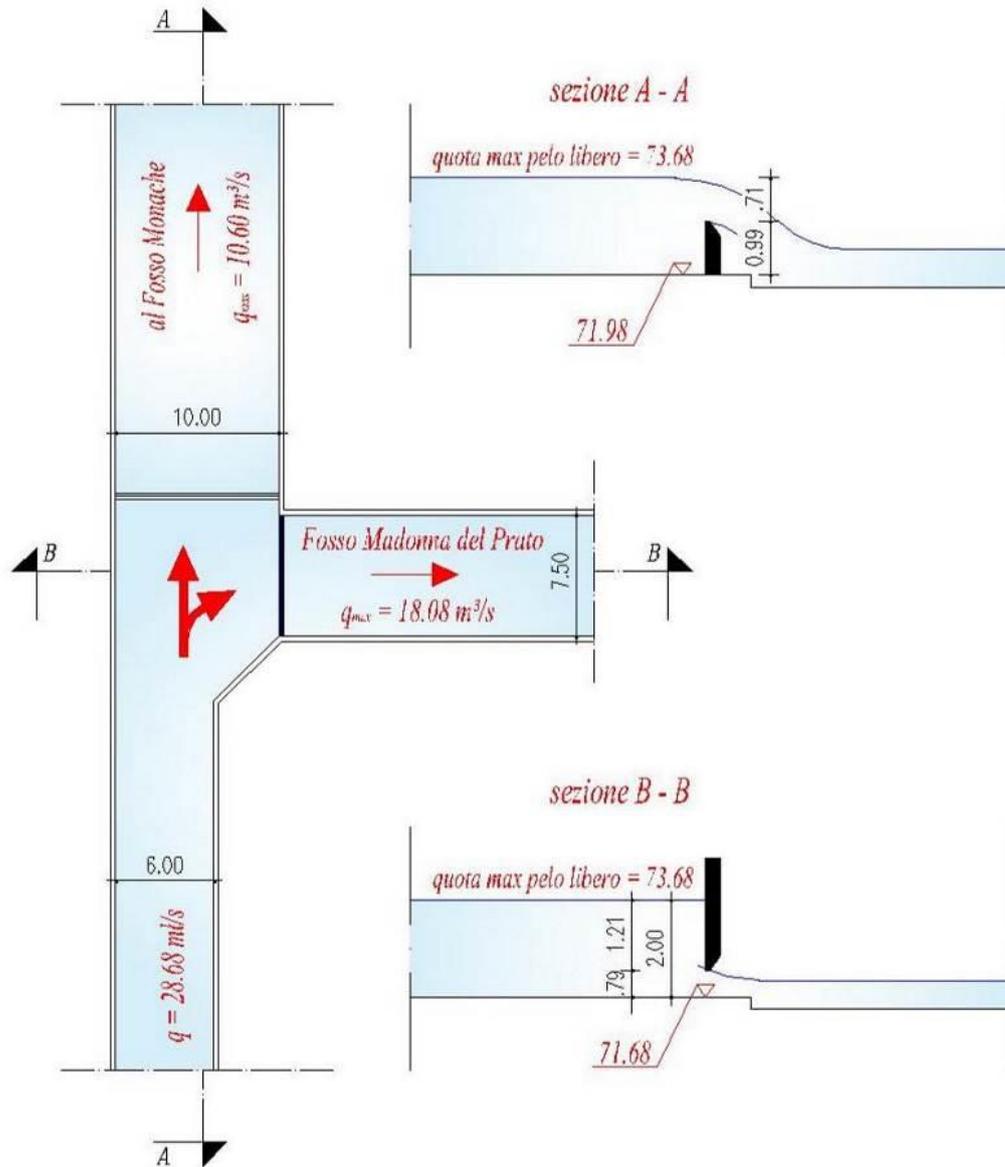


Grafico 26 - schema del manufatto di partizione della portata tra il Fosso Madonna del Prato e il Canale Deviatore, nella situazione di mitigazione del rischio

In questo caso il profilo del tirante idrico consentirebbe un franco di sicurezza sulla sezione di imbocco pari a 1.00 m e all'interno del manufatto pari a 1.50 m.

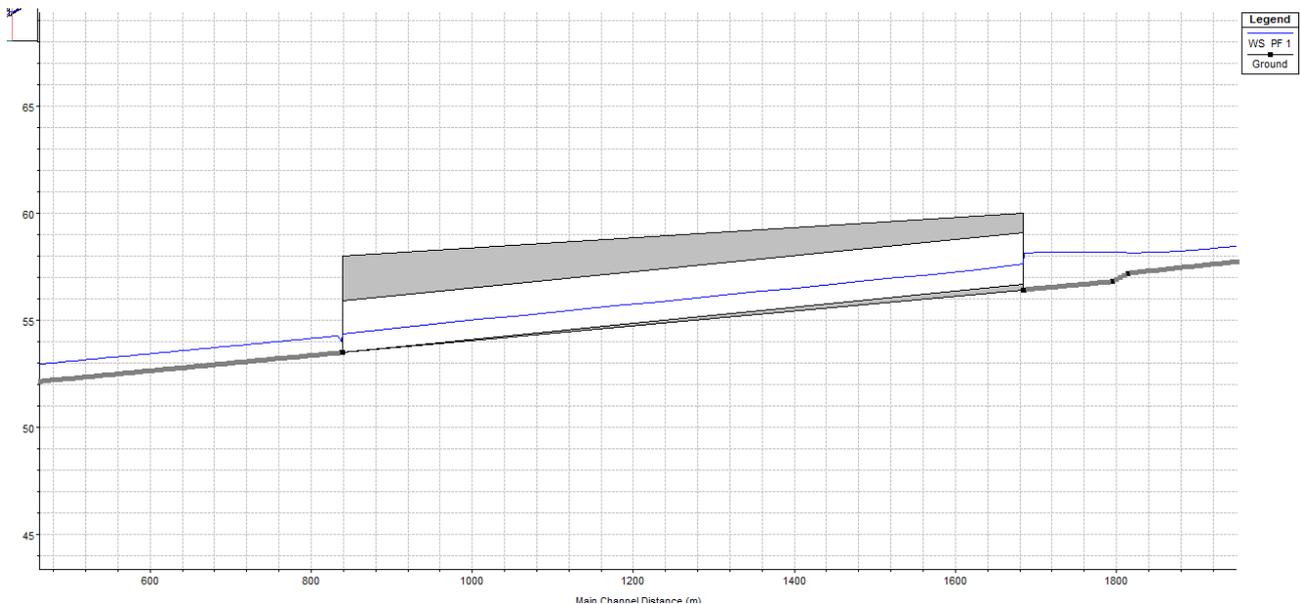


Grafico 27 - Attraversamento Madonna del Prato: Profilo idraulico a seguito regolazione della portata di monte a quella limite stabilita (8.68 mc/s)

Dal punto di vista tecnico, tale soluzione NON interferisce con il sedime aeroportuale ma potrà essere effettuata solo a seguito della rifunzionalizzazione dell'ultimo tratto del Fosso delle Monache che riceverebbe la portata scolmata (20 mc/s).

### 8.5. Attraversamento Fosso delle Monache

Per quanto riguarda Fosso delle Monache, la soluzione è più complessa sia dal punto di vista idraulico, sia dal punto di vista della fattibilità tecnica.

I problemi del NON raggiungimento della sicurezza idraulica (franco di sicurezza nullo) all'interno del manufatto di attraversamento risultano duplici:

- 1) **Cambio di geometria a valle dello sbocco del manufatto di attraversamento** (rifunzionalizzazione), che produce un risalto idraulico i cui effetti si ripercuotono a monte (anche se in regime di corrente veloce la lunghezza del risalto raggiunge il manufatto) mettendo in pressione l'ultimo tratto del tombino.



Figura 56 - Fosso delle Monache: cambio geometria sezione a valle dello sbocco del tombino esistente

Rifunzionalizzando il canale per un tratto di circa 400 m si sposterebbe il risalto verso valle lasciando il tombino con un franco di sicurezza interno pari a 1.50 m come si evince dalla figura di seguito allegata.

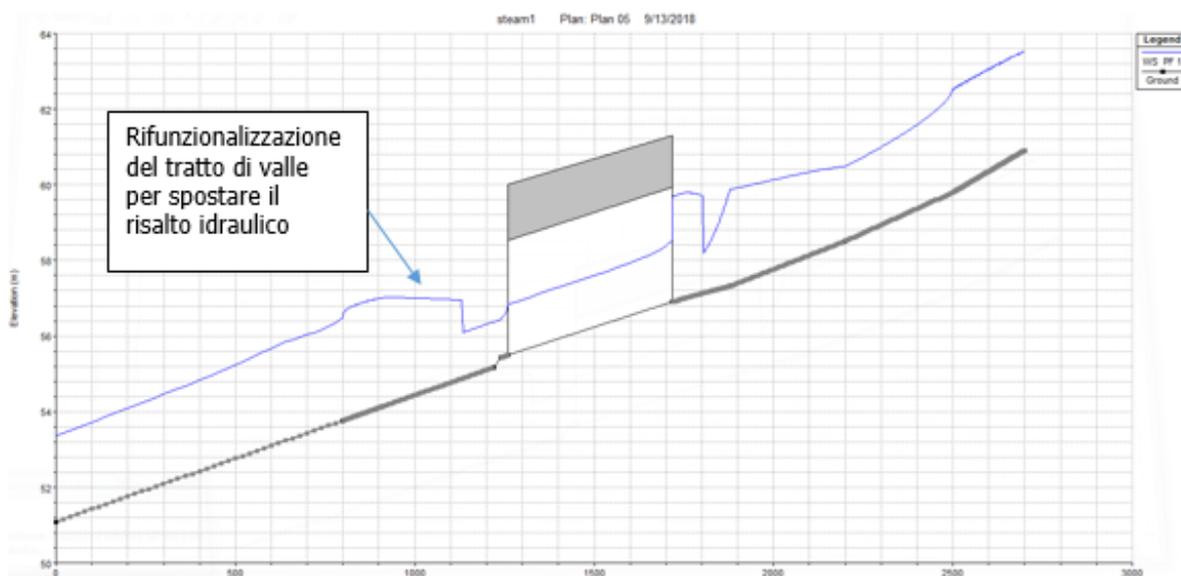


Grafico 28 - Fosso delle Monache: Profilo idraulico a seguito della riprofilatura del tratto di valle al tombino

Questo intervento NON garantisce la sicurezza anche dell'imbocco ma è propedeutico al secondo descritto successivamente.

- 2) Realizzazione di un canale deviatore a monte dell'attraversamento in grado di scolare una portata  $Tr\ 200$  di  $86\ mc/s$  lasciando la portata limite di  $50\ mc/s$  verso il tombino esistente. In questa maniera il risalto all'imbocco del tombino attuale si verificherebbe ugualmente ma con un franco di sicurezza di sicurezza circa  $1.00\ m$

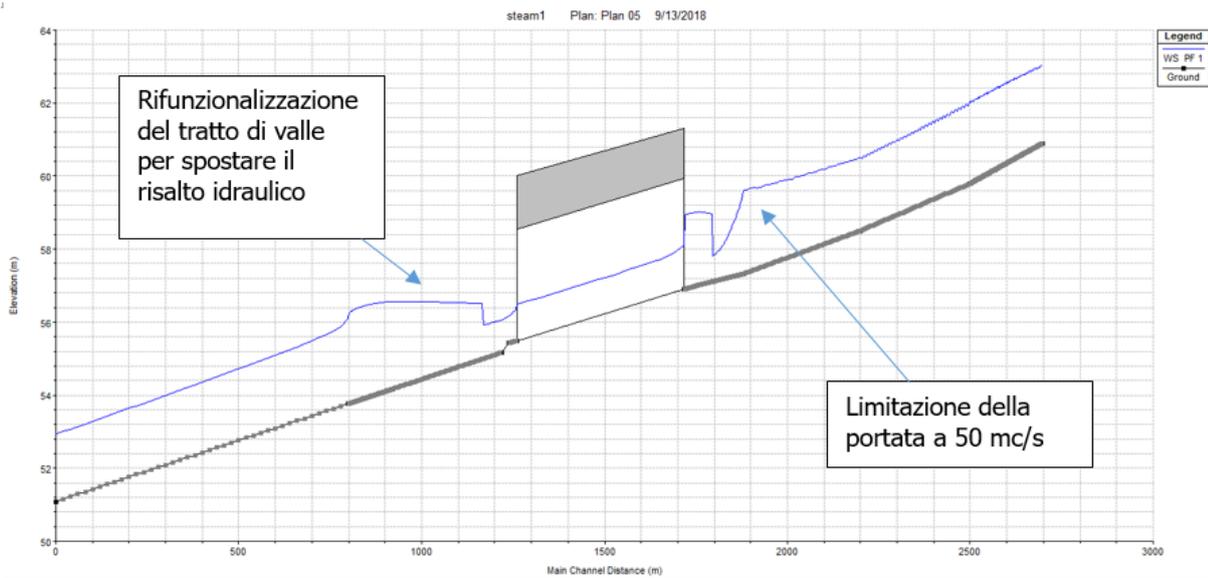


Grafico 29 - Fosso delle Monache: Profilo idraulico a seguito della riduzione della portata influente nel tombino (50 mc/s)

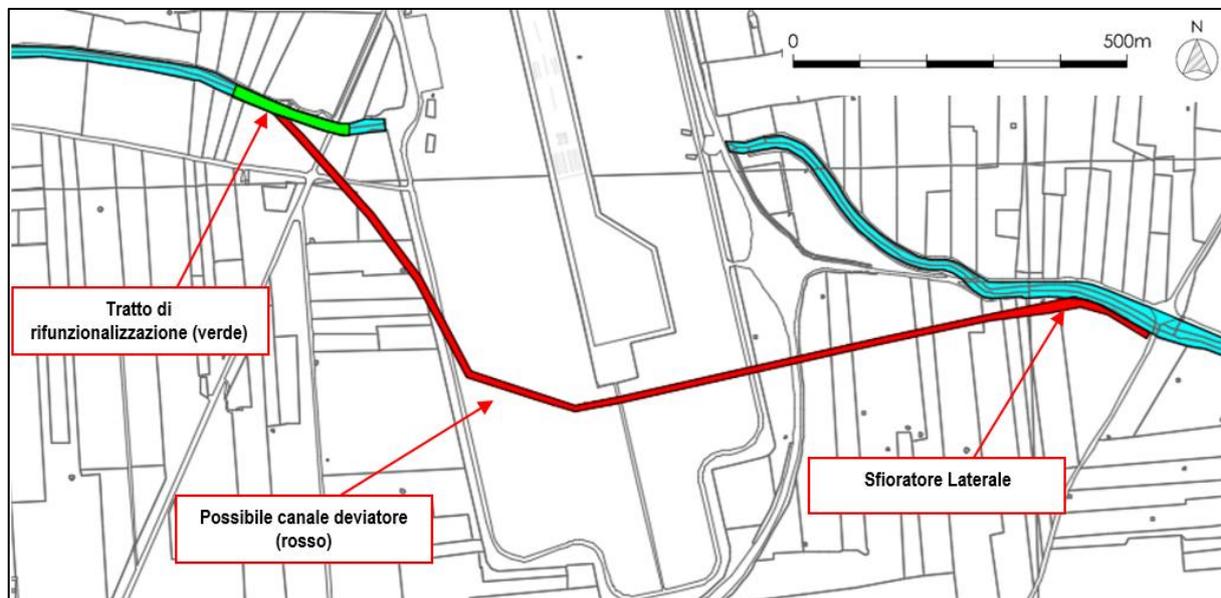


Figura 57 - Fosso delle Monache: ipotesi canale deviatore di scollamento portata

**In alternativa al canale deviatore, si potrebbe prolungare il setto intermedio dell'attuale tombino di attraversamento (causa del risalto di monte) per far avvenire tale fenomeno lontano dall'imbocco in una zona scoperta e garantire comunque il franco di sicurezza all'interno del manufatto.**

Questo intervento risulta meno oneroso del primo.

Tutte le ipotesi previste necessitano di un'approfondita progettazione idraulica che valuti dal punto di vista tecnico economico tutte le soluzioni.

## 9. CONSIDERAZIONI SULL'INVARIANZA IDRAULICA RELATIVA ALLE ACQUE METEORICHE DI PIATTAFORMA

Dal punto di vista della gestione delle acque meteoriche, il progetto di sviluppo prevede la realizzazione di nuove superfici impermeabili con relativo sistema di smaltimento delle acque meteoriche zenitali di piattaforma, interconnesso con quello esistente.

A fronte delle problematiche legate alla disciplina regionale relativa al trattamento e smaltimento delle acque meteoriche (Regolamento Regionale 26/2013 e D.Lgs 152/06 e s.m.i), acquista importanza anche la verifica del bilancio idrogeologico del nuovo progetto che potrebbe essere assimilato alla verifica dell'invarianza idraulica.

La Regione Puglia non disciplina espressamente l'invarianza idraulica, così come definita per altre Regioni italiane che prevedono appositi regolamenti per il calcolo e la verifica, in funzione della criticità dell'area e al coefficiente di deflusso della nuova superficie.

Il concetto di invarianza assume un'importanza strategica qualora il corpo ricettore sia configurato in una rete di smaltimento con limitazioni di portata di veicolazione (fiume, reticolo idrografico, reti di scolo ecc...) ovvero per salvaguardare la capacità di deflusso della rete e impedire l'incremento della pericolosità idraulica a valle.

In tal senso, la verifica non positiva, prevede la realizzazione di opere di compensazione costituite da interventi di laminazione della portata massima con scarico dell'eventuale accumulo dopo l'evento piovoso in maniera tale da garantire il "taglio" della punta dell'idrogramma scaricato nel corpo ricettore e garantire il rispetto delle prescrizioni dell'Ente Gestore.

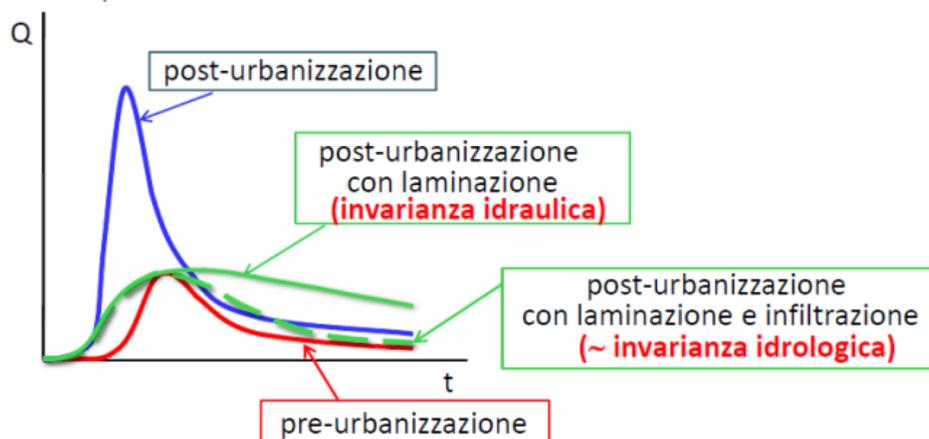


Grafico 30 - Rappresentazione schematica del concetto di invarianza idraulica (da "Criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica Varese" - Geol. Marco Cinotti - Ing. Alessandro Balbo - Ing. Giacomo Galimberti)

I concetti espressi nei vari Regolamenti Regionali si differenziano in:

**INVARIANZA IDRAULICA:** le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione

**INVARIANZA IDROLOGICA:** sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricate dalle aree

urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;

**DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE:** sistema di gestione delle acque meteoriche urbane, costituito da un insieme di strategie, tecnologie e buone pratiche volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano, a contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici ricettori mediante il controllo alla sorgente delle acque meteoriche e a ridurre il degrado qualitativo delle acque.

Il Regolamento Regione Puglia 26/2013 (*Disciplina delle acque meteoriche di dilavamento e di prima pioggia* in attuazione dell'art. 113 del D.lgs. n. 152/06 e ss.mm. ed ii.) prescrive all'art 2 comma 6 che *"Gli scarichi e le immissioni di acque meteoriche di dilavamento di cui al presente regolamento, non devono recare pregiudizio al raggiungimento e/o mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale dei corpi idrici ricettori ed alla sicurezza idraulica e geomorfologica delle aree interessate"*. La presente disposizione, seppur non esplicitando i metodi di calcolo e le varie condizioni limite da rispettare, rappresenta per il progettista un elemento di valutazione della sicurezza idraulica dell'intero territorio contermine che potrebbe essere influenzato dall'immissione degli scarichi idrici delle nuove superfici a realizzarsi.

A tal proposito, il **progetto di sviluppo** dell'Aeroporto di Grottaglie, presenta le seguenti caratteristiche:

- tutte le nuove superfici previste presentano sistemi di intercettazione del deflusso meteorico, sia indipendente sia interconnesso con la rete esistente;
- Tutte le reti possiedono a valle un sistema di trattamento delle acque di prima pioggia costituito da un volume idoneo all'accumulo dei primi 5 mm di precipitazione e il trattamento successivo con scarico dopo l'evento piovoso nel corpo ricettore, configurandosi come un'opera di laminazione della piena;
- Tutti gli scarichi previsti (sia nuovi che esistenti) prevedono un sistema di trattamento in continuo delle acque meteoriche di dilavamento per garantire i livelli di protezione ambientale massimi, sebbene risultano superfici "non pericolose" di cui alla disciplina del Capo I del RR 26/2013.
- Tutti gli scarichi delle acque meteoriche **delle nuove superfici** avvengono sugli strati superficiali del suolo a mezzo trincee drenanti proporzionate in funzione della portata massima delle acque di dilavamento e della permeabilità del suolo determinata a mezzo di prove di percolazione da effettuare in sede esecutiva.
- Attualmente le immissioni nei canali tombati sono N° 7 di cui: n°1 nel canale Fosso Macchione, n° 2 nelle tubazioni interrato di Fosso Madonna del Prato e n°4 nei canali interrati di *Fosso delle Monache*. Nel progetto di sviluppo è prevista la dismissione delle due immissioni nel *Fosso Madonna del Prato*, collettandole alle nuove trincee drenanti. Questa operazione diminuisce il carico idraulico del canale verso valle.

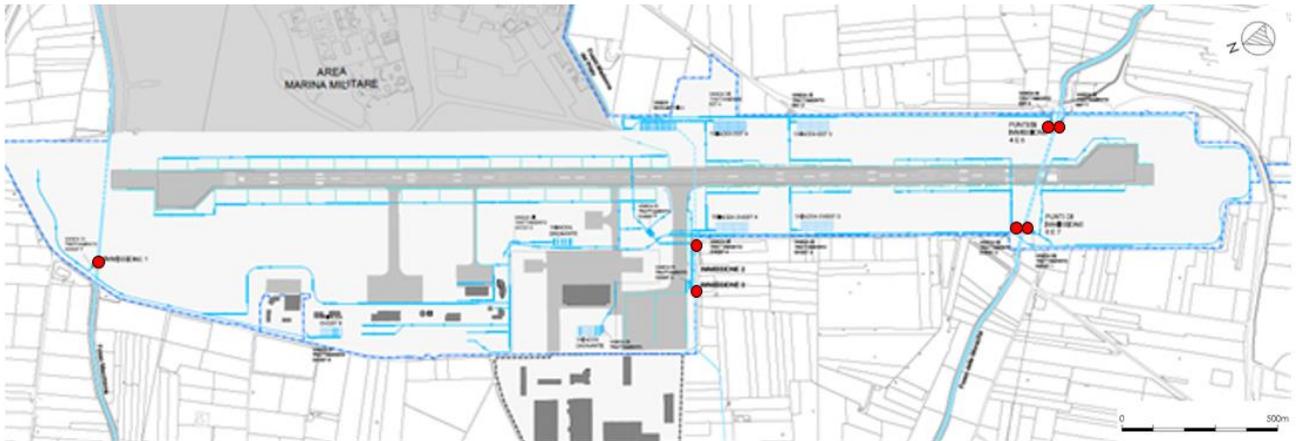


Figura 58 - Individuazione dei punti di immissione nei reticoli idrografici (canali tombati) allo stato di fatto (in rosso)

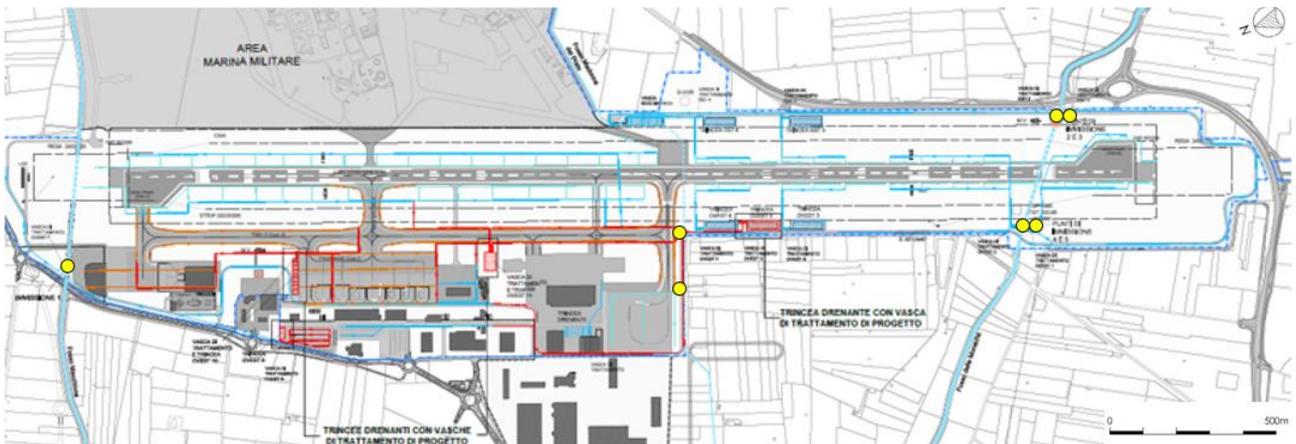


Figura 59 - Individuazione dei punti di immissione nei reticoli idrografici (canali tombati) allo stato di progetto (in giallo)

- Inoltre sono state previste ulteriori n°4 trincee drenanti ripartendo il carico idraulico (aumentato per l'incremento delle superfici impermeabili) sui siti di smaltimento per equilibrare anche la dispersione senza gravare localmente e aumentare il rischio di interferenza tra i vari recapiti.
- Potrà essere valutata l'opportunità di spostare le n°2 immissioni presenti nei canali interrati (tratto di valle) di *Fosso delle Monache* in un tratto più a valle dello stesso fosso (tratto a cielo libero).

Per quanto sopra si evince che il progetto di sviluppo consente una riduzione del deflusso nei reticoli idrografici verso valle potenziando e distribuendo lo smaltimento sugli strati superficiali del suolo attraverso trincee drenanti dimensionate in funzione della portata massima delle acque di dilavamento.