

IMPIANTO AGRIVOLTAICO
SITO NEI COMUNI DI BRINDISI E CELLINO SAN MARCO
IN PROVINCIA DI BRINDISI

Valutazione di Impatto Ambientale

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

Commissione Tecnica PNRR-PNIEC

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020

Idea progettuale, modello insediativo e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Elaborazioni grafiche: **Eclettico Design**

Assistenza legale: **Studio Legale Sticchi Damiani**

Progettisti:

Responsabili VIA: **CRETA S.r.l.**

Arch. Sandra Vecchietti

Arch. Filippo Boschi

Arch. Anna Trazzi

Arch. Giulia Bortolotto

Arch. Mattia Zannoni

Contributi specialistici:

Acustica: **Dott. Gabriele Totaro**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Agronomia: **Dott. Agr. Giuseppe Palladino**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Archeologia: **Dott.ssa Michela Rugge**

Asseverazione PEF: **Omnia Fiduciaria S.r.l.**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Arke' Ingegneria S.r.l. (DT -Ing. L.Fanelli)**

Piano Economico Finanziario: **Dott. Marco Marincola**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella	VIA_3/	Identificatore:	Relazione idrologica-idraulica - Brindisi
Sottocartella	DOC_SPEC/	DOCSPEC10	
Descrizione	Relazione idrologica-idraulica - Impianto di Brindisi		
Nome del file:		Tipologia	Scala
DOCSPEC10.pdf		Relazione	-

Autori elaborato: Arke' Ingegneria S.r.l. (DT -Ing. L.Fanelli)

Rev.	Data	Descrizione
00	01/02/22	Prima emissione
01		
02		

Spazio riservato agli Enti:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
2.1	Inquadramento geografico	4
2.1	L'intervento proposto	6
2.1.1	Il progetto agrivoltaico: le sue componenti sinergiche.....	6
2.1.2	Dati di sintesi dell'intervento proposto.....	7
2.1.3	Ulteriori elementi che caratterizzano il progetto	8
3	ANALISI IDROLOGICA	9
3.1	Introduzione	9
3.2	Caratterizzazione del bacino idrografico analizzato	9
3.3	Procedure regionali di valutazione della precipitazione	10
3.3.1	Terzo livello di regionalizzazione.....	13
3.4	Analisi idrologica: metodologia CN SCS.....	14
3.4.1	L'idrogramma di Mockus.....	16
3.4.2	Determinazione della portata al colmo di piena col metodo CN SCS	18
4	ANALISI IDRAULICA.....	20
4.1	Teoria del modello idraulico bidimensionale	20
4.1.1	Modello numerico bidimensionale TufLOW	20
4.2	Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento	26
4.3	Costruzione del modello.....	28
4.3.1	Implementazione del modello geometrico	28
4.3.2	Analisi dei risultati	31
5	RISULTATI E CONCLUSIONI	34

INDICE Tabelle

Tab. 3.1	Parametri geomorfologici dei bacini.....	10
Tab. 3.2	Parametri dell'espressione asintotica.....	12
Tab. 3.3	Valori di KT Puglia Centro-Meridionale.....	12
Tab. 3.4	Parametri delle curve di 3° livello	13
Tab. 3.5	Valori del CN in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo.	16
Tab. 3.6	Valori dei parametri CN(I), CN (II) e CN (III)	16
Tab. 3.7	Tempo di ritardo e portata al colmo di piena per i tempi di ritorno di riferimento.	19
Tab. 4.1	Coefficienti di scabrezza	31

Codice	Titolo	
A01	Relazione idrologico-idraulica	Pag. 1 di 35

INDICE Figure

Fig. 2.1 Area di intervento	4
Fig. 2.2 Foto 1 sopralluogo	5
Fig. 2.3 Foto 2 sopralluogo	5
Fig. 3.1 Delimitazione del bacino idrografico (Elab. A02 – Planimetria bacini)	9
Fig. 3.2 Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno	12
Fig. 3.3 Zone omogenee, 3° livello	13
Fig. 3.4 Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS.	17
Fig. 3.5 Idrogrammi di piena	19
Fig. 4.1 Schema di una cella nel TUFLOW	23
Fig. 4.2 Esempio di una rappresentazione bidimensionale poco accurata di un corso d'acqua	24
Fig. 4.3- Esempio di modellazione mono-bidimensionale	24
Fig. 4.4 Schemi di link tra il modello bidimensionale TUFLOW ed il modello monodimensionale ESTRY	25
Fig. 4.5 Diagramma della vulnerabilità (autorità di Bacino del Tevere).....	26
Fig. 4.6 Classificazione della pericolosità secondo l'approccio dell'AdB Tevere.....	27
Fig. 4.7 Filtro utilizzato nel presente studio.....	28
Fig. 4.8 Inquadramento del dtm adottato per la costruzione della griglia di calcolo	29
Fig. 4.9 Griglia computazionale con celle quadrate di lato pari a 5 metri	30
Fig. 4.10 Condizioni al contorno su Ortofoto.....	30
Fig. 4.11 Mappa dei massimi tiranti idrici e velocità massime – Tr 30	31
Fig. 4.12 Mappa dei massimi tiranti idrici e velocità massime – Tr 200	32
Fig. 4.13 Mappa dei massimi tiranti idrici e velocità massime – Tr 500	32
Fig. 5.1 Planimetria aree inondabili	34

Codice	Titolo	Pag. 2 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

1 PREMESSA

Il presente documento viene redatto a corredo del progetto di un **“Impianto agrivoltaico”** per l’attivazione dell’iter di acquisizione dell’Autorizzazione Unica (AU), ai sensi dell’art. 12 D.Lgs 387/2003 ed in particolare per l’acquisizione del parere dell’Autorità di Bacino Distrettuale – Appenino Meridionale.

Per condurre le modellazioni è stata condotta una campagna di rilievi che ha permesso in uno al modello digitale del terreno (DTM 8x8 m), nelle disponibilità della scrivente, di ricostruire l’altimetria dello stato dei luoghi necessaria all’implementazione dei modelli.

Nei paragrafi che seguono oltre ad illustrare brevemente gli interventi in progetto e lo stato dei luoghi, si riportano i vari step seguiti e le fasi di sviluppo dello studio idraulico:

- Definizione degli idrogrammi di piena e delle portate immesse nei modelli di calcolo
- Studio idraulico con modello bidimensionale

Codice	Titolo	
A01	Relazione idrologico-idraulica	Pag. 3 di 35

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

2.1 Inquadramento geografico

L'area interessata dagli interventi ricade in agro del comune di Brindisi e si sviluppa in adiacenza alla strada SS605.

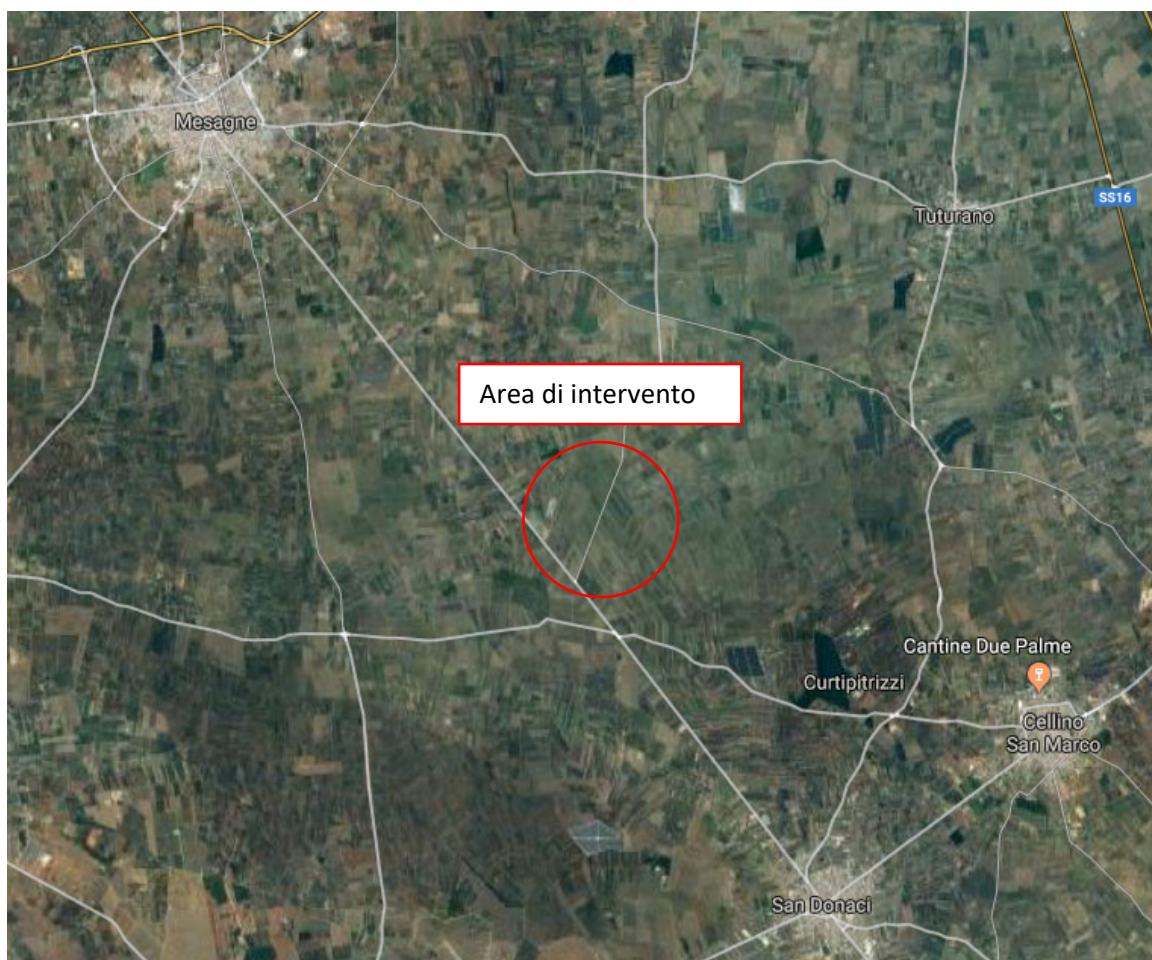


Fig. 2.1 Area di intervento

Catastalmente l'area ricade nel Foglio di mappa n. 495 - Mesagne.

Morfologicamente il territorio in esame si presenta prevalentemente pianeggiante con quote variabili tra 72 m s.l.m. e 76 m s.l.m.

A seguire si riportano delle foto rappresentative dello stato dei luoghi.

Codice	Titolo	Pag. 4 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	



Fig. 2.2 Foto 1 sopralluogo



Fig. 2.3 Foto 2 sopralluogo

Codice	Titolo	Pag. 5 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

2.1 L'intervento proposto

Il progetto è volto alla realizzazione e messa in esercizio di un impianto agrivoltaico, che vede combinarsi la piantumazione e coltivazione di 6.456 piante di olivo tollerante a Xylella con la produzione annua di 27.103,88 MWh di energia, grazie a un impianto fotovoltaico elevato da terra della potenza nominale di 16,63 MWp, e relative opere di connessione, fino alla SSE, nei Comuni di Brindisi e Cellino San Marco in Provincia di Brindisi. La soluzione agrivoltaica scelta prevede l'alternanza di file di pannelli fotovoltaici elevati da terra a filari di olivi della varietà FS-17 o Favolosa.

2.1.1 Il progetto agrivoltaico: le sue componenti sinergiche

Il progetto agrivoltaico sito nei Comuni di Brindisi e Cellino San Marco, insieme agli altri impianti proposti nella provincia di Brindisi, si basa su un innovativo modello produttivo integrato che, utilizzando le migliori e più avanzate tecnologie disponibili, intende raccogliere la sfida lanciata dalla filiera agroindustriale pugliese sul fronte dell'efficiamento produttivo, sfruttando una piena sinergia con la produzione di energia rinnovabile.

Due sono quindi le componenti in gioco che caratterizzano il progetto agrivoltaico:

1. *Il progetto agricolo* – prevede la coltivazione biologica, con sistema di sub-irrigazione, dell'olivo, quale coltura arborea che offre le più alte garanzie di conseguimento delle potenzialità sinergiche con il fotovoltaico. È prevista la piantumazione di 6.456 piante di olivo su una porzione di terreno di 87.332 mq, mentre un'area di circa 70.309 mq vedrà la coltivazione di altre colture ad elevato grado di meccanizzazione. È, inoltre, prevista la realizzazione di un'azienda agricola per la gestione delle suddette colture su un'ulteriore area di 1.070 mq;
2. *L'impianto fotovoltaico* – a supporto e integrazione della produzione agricola, che a questa si alterna sul terreno agricolo, della potenza nominale di 16,63 MWp, ottenuta dall'impiego di 33.280 moduli fotovoltaici da 500 Wp da installare su strutture metalliche a sistema fisso su vele infisso a terra, costituite da moduli disposti secondo l'asse est-ovest con un interasse tra le vele paria a 4,40 m (distanza necessaria all'alternanza con la coltura olivo), per una estensione complessiva di 159.767 mq. Completano l'impianto fotovoltaico un cavidotto interrato di circa 7,6 km di lunghezza da realizzarsi prevalentemente su strada pubblica e la sottostazione utente presso una SSE Terna di nuova costruzione.

Codice	Titolo	Pag. 6 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

2.1.2 Dati di sintesi dell'intervento proposto

Impianto di Brindisi

		<i>mq</i>	<i>ha/are/ca</i>
(A)	Estensione totale area di analisi	162.892,79	16.28.93
(B)	Estensione area impianto agrivoltaico	156.052,79	15.60.53
(B1)	Estensione componente agricola	54.325,02	05.43.25
	<i>a) Area dedicata alla coltura biologica dell'olivo</i>	<i>53.925,02</i>	<i>05.39.25</i>
	<i>b) Azienda agricola</i>	<i>400,00</i>	<i>00.04.00</i>
(B2)	Estensione componente fotovoltaico	101.727,77	10.17.28
	<i>a) Superfici Totali moduli/vele</i>	<i>41.888,70</i>	<i>04.18.89</i>
	<i>b) Superfici Totali copertura cabine</i>	<i>283,36</i>	<i>00.02.83</i>
	<i>c) Superfici Totali viabilità interna</i>	<i>14.309,20</i>	<i>01.43.09</i>
	<i>d) Superfici Totali fasce di mitigazione</i>	<i>45.246,51</i>	<i>04.52.47</i>
(C)	Estensione aree vincolate e di rispetto	6.840,00	00.68.40
		%	
(B1/B)	% Componente agricola	34,81%	
(B2/B)	% Componente fotovoltaico	65,19%	

Impianto di Cellino San Marco

		<i>mq</i>	<i>ha/are/ca</i>
(A)	Estensione totale area di analisi	180.000,00	18.00.00
(B)	Estensione area impianto agrivoltaico	162.426,00	16.24.26
(B1)	Estensione componente agricola	104.386,83	10.43.87
	<i>a) Area dedicata alla coltura biologica dell'olivo</i>	<i>33.406,61</i>	<i>03.34.07</i>
	<i>b) Area esterna all'impianto agrivoltaico dedicata a colture ad elevato grado di meccanizzazione diverse dall'olivo</i>	<i>70.310,22</i>	<i>07.03.10</i>
	<i>c) Azienda agricola</i>	<i>670,00</i>	<i>00.06.70</i>
(B2)	Estensione componente fotovoltaico	58.039,17	05.80.39
	<i>a) Superfici Totali moduli/tracker</i>	<i>26.396,53</i>	<i>02.63.96</i>
	<i>b) Superfici Totali copertura cabine</i>	<i>161,68</i>	<i>00.01.62</i>
	<i>c) Superfici Totali viabilità interna</i>	<i>6.980,96</i>	<i>00.69.81</i>
	<i>d) Superfici Totali fasce di mitigazione</i>	<i>24.500,00</i>	<i>02.45.00</i>

Codice	Titolo	Pag. 7 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

(C)	Estensione aree vincolate e di rispetto	17.574,00	01.75.74
		%	
(B1/B)	% Componente agricola	64,27%	
(B2/B)	% Componente fotovoltaico	35,73%	

2.1.3 Ulteriori elementi che caratterizzano il progetto

Il progetto:

- costituisce un'opera di preminente interesse pubblico, come confermato dalla più recente e autorevole giurisprudenza del Consiglio di Stato, secondo cui “[l]a produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili è infatti un'attività di interesse pubblico che contribuisce anch'essa non solo alla salvaguardia degli interessi ambientali ma, sia pure indirettamente, anche a quella dei valori paesaggistici” (cfr., **Cons. St., IV, Sent. n. 2983/2021**), nonché alla luce **dell'art. 18 del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77**, convertito in Legge 29 luglio 2021, n. 108, un'opera di pubblica utilità strategica per gli obiettivi previsti dal PNRR e approvati in sede euro-unitaria;
- è localizzato in area agricola e **non intercetta vincoli paesaggistici o archeologici**, nonché in un **sito idoneo** ai sensi del d.m. 10.9.2010 e del regolamento regionale n. 24/2010;
- coniuga, **in linea con la normativa di riferimento e le più recenti tendenze regolamentari** (d.m. 10.9.2010, PNRR, articolo 31 del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, D.G.R. n. 400 del 15.3.2021), l'attività di produzione di energia da fonti rinnovabili con l'attività agricola;
- è caratterizzato da **imponenti misure di mitigazione** (tali da costituire un corridoio ecologico coerente con il contesto paesaggistico) e **innovative misure di compensazione ambientale** (consistenti nel recupero di vecchie masserie e nel ripristino ecologico di aree in stato di abbandono).

Codice	Titolo	Pag. 8 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 Introduzione

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena che, per prefissati tempi di ritorno, interessano un bacino idrografico e, di conseguenza, le sue infrastrutture, centri abitati, elementi vulnerabili. In Puglia le stazioni di misura idrometriche sono in numero assai limitato, se confrontato con quelle di misure pluviometriche; pertanto il calcolo della portata di piena deve spesso essere realizzato attraverso un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Ai sensi del DPCM 29 settembre 1998, ai fini della perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, "ove possibile, è consigliabile che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno...dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDCI-CNR". Nel caso dei bacini idrografici oggetto di tale studio, si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto VAPI (Valutazione Piene), per la determinazione delle altezze critiche di precipitazione e delle curve di possibilità pluviometrica, utilizzate per il calcolo della portata al colmo di piena. Lo studio che si propone riguarda la stima della portata al colmo di piena per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

3.2 Caratterizzazione del bacino idrografico analizzato

Il primo step, per poter procedere con lo studio idrologico, è quello di individuare il bacino idrografico relativamente al reticolo idrografico in esame ed i suoi sottobacini. Nel caso in studio il bacino idrografico sottoposto ad analisi è quello individuato in figura.

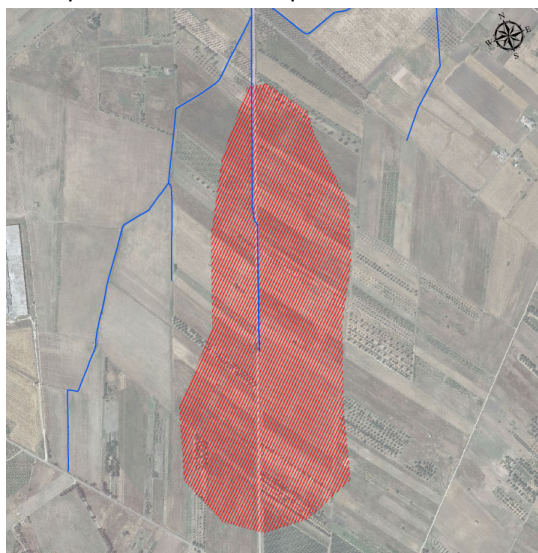


Fig. 3.1 Delimitazione del bacino idrografico (Elab. A02 – Planimetria bacini)

Codice	Titolo	Pag. 9 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

Il bacino è la superficie topografica dalla quale le acque di pioggia, defluendo naturalmente, confluiscono nella sezione d'interesse chiamata sezione di chiusura. La linea che delimita un bacino imbrifero è una linea sempre ortogonale alle curve di livello e passante per i punti singolari di displuvio. L'identificazione del bacino idrografico in esame è stata eseguita dopo aver individuato la rete idrografica, costituita dalle linee d'impluvio secondo le quali defluiscono naturalmente le acque nel territorio in esame.

La delimitazione del bacino idrografico è stata eseguita mediante utilizzo delle curve di livello e punti quotati.

La determinazione dei bacini, consente di passare all'individuazione dei principali parametri morfologici geologici e climatici, utili alla caratterizzazione delle variabili idrologiche utilizzate nei modelli di calcolo per la stima dei deflussi attesi.

Nella tabella seguente si riportano le grandezze geomorfologiche di interesse del bacino in esame.

	A [km ²]	H _{max} [m s.l.m.]	H _{min} [m s.l.m.]	H _{med} [m s.l.m.]	i _{med} [%]	L _{asta} [m]	CN(II)	CN(II) _{pes}
Bacino	0.54	75	69	73	0.70	0.80	82.30	82.41

Tab. 3.1 Parametri geomorfologici dei bacini

Con

A = superficie del bacino (km²);

H_{max} = quota massima bacino (m)

H_{min} = quota minima bacino (m)

H_{med} = quota media bacino (m)

i_{media} = pendenza media del bacino (%)

L = lunghezza dell'asta idrografica principale allungata fino allo spartiacque;

3.3 Procedure regionali di valutazione della precipitazione

Nelle applicazioni idrologiche, come detto, si presenta spesso la necessità di stimare valori di una determinata grandezza, per esempio la precipitazione, in siti privi di stazioni di misura, oppure con dati misurati che si giudicano insufficienti per numero e qualità.

A ciò rispondono le procedure regionali, sia quelle classiche, sia quelle proposte con i più recenti studi inerenti all'elaborazione statistica di dati spaziali.

Questi ultimi tendono a definire modelli matematici finalizzati ad una interpretazione delle modalità con cui variano nello spazio le diverse grandezze idrologiche.

L'analisi regionale degli estremi idrologici massimi, può essere condotta suddividendo l'area di studio in zone geografiche omogenee nei confronti dei parametri statistici che si è deciso di adottare.

Codice	Titolo	Pag. 10 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987). In questa distribuzione i parametri fondamentali sono: $\Theta_1, \Lambda_1, \Theta_2, \Lambda_2$, che rappresentano il parametro di scala ed il numero medio di osservazioni della variabile casuale Y provenienti dalla componente ordinaria e dalla componente secondaria. Si ottiene:

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1 \qquad \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$$

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali si possano considerare costanti i valori dei parametri Θ^* e Λ^* .

Tali parametri devono essere stimati da un elevato numero di dati; questo comporta l'assunzione di una regione omogenea molto ampia. Le sottozone omogenee, caratterizzate oltre che dalla conoscenza di Θ^* e Λ^* anche dalla conoscenza di Λ_1 , sono individuate nel secondo grado di regionalizzazione; anche in questo livello si ipotizza che l'area indagata costituisca una zona omogenea. Si considerano solo le serie più numerose, in quanto la stima dei parametri suddetti è condizionata dalla presenza di dati di pioggia straordinari che hanno probabilità molto bassa di verificarsi in un periodo molto breve.

L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di sei zone e delle rispettive curve di possibilità climatica.

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, è utile rappresentare la legge $F(X_t)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata X_t 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:

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

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

La dipendenza del fattore di crescita con la durata si può ritenere trascurabile, infatti, calcolando sulle stazioni disponibili le medie pesate dei coefficienti di asimmetria, C_a , e dei coefficienti di variazione, C_v , alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria. L'indipendenza dalla durata di $K_{t,T}$ (nel seguito indicato con KT), autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

In base ai valori regionali dei parametri Θ^* , Λ_2 e Λ_1 , si ottiene la curva di crescita per la zona della Puglia centro – meridionale riportata in fig. 3.2.

Codice	Titolo	Pag. 11 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

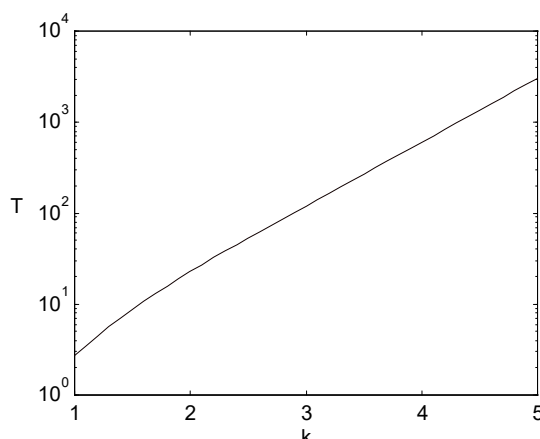


Fig. 3.2 Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

Il valore di K_T può essere calcolato in funzione di T attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

$$KT = a + b \ln T$$

in cui :

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

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

$C = 0.5772$, (costante di Eulero),

$$T_o = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right)$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b , e i relativi valori η e T_o , che consentono di determinare le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	T_o	η
Puglia centro-meridionale	0.1599	0.5166	-0.6631	4.1053

Tab. 3.2 Parametri dell'espressione asintotica

Va tuttavia osservato che l'uso di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per $T < 50$ anni e superiori al 5% per $T < 100$ anni.

Per semplificare la valutazione del fattore di crescita, nella tabella 3 sono riportati i valori di K_T relativi ai valori del periodo di ritorno adottati nella determinazione delle aree soggette a rischio di inondazione.

anni	30	200	500
K_T	2	2.9	3.38

Tab. 3.3 Valori di K_T Puglia Centro-Meridionale

Codice	Titolo	Pag. 12 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

3.3.1 Terzo livello di regionalizzazione

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata 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, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

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

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito viene generalizzata nella forma:

$$\mu(X_t) = a t^{(Ch+D+\log\alpha-\log a)/\log 24}$$

in cui α è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_1)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea; $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità. Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per la zona di interesse i valori dei parametri sono riportati in tabella.

Zona	α	a	C	D	N
6	"	33.7	0.0022	4.1223	-

Tab. 3.4 Parametri delle curve di 3° livello

Nella fig. 3.3 si riporta la suddivisione della regione in aree omogenee.

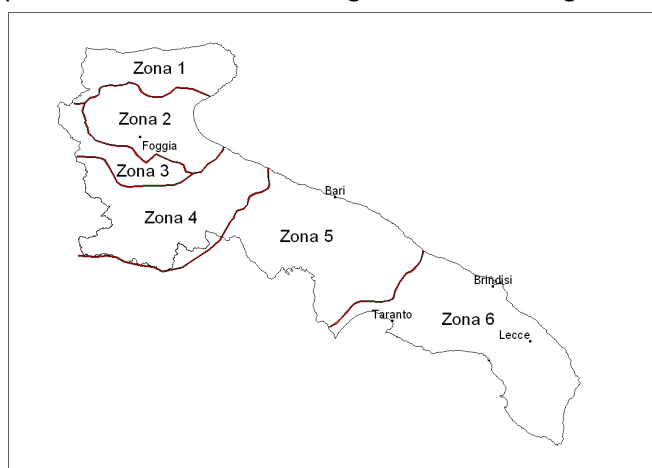


Fig. 3.3 Zone omogenee, 3° livello

Codice	Titolo	Pag. 13 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, in zona 6; pertanto, l'equazione da applicare è la seguente:

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

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 Km², e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore). La dimensione areale dei bacini in studio comporta che il relativo fattore di riduzione tenda all'unità; pertanto, a vantaggio di sicurezza, tale parametro non viene preso in considerazione nella valutazione della Curva di Possibilità Pluviometrica.

3.4 Analisi idrologica: metodologia CN SCS

Per giungere alla valutazione della portata nelle sezioni di interesse, si è utilizzato il metodo CN SCS.

Il metodo usualmente denominato "curve number" ed elaborato dal Soil Conservation Service assume che la produzione del volume di deflusso superficiale, Q, sia data dalla seguente espressione:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{(P-I)}$$

in cui: F = volume specifico infiltrato;

S = volume specifico di saturazione di un terreno;

P = precipitazione;

I = assorbimento iniziale;

quindi, tenendo conto dell'equazione di continuità:

$$F = P - I - Q$$

dalla precedente, si ottiene :

$$Q = \frac{(P-I)^2}{(P-I+S)}$$

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, fattori che vengono espressi, per mezzo del CN, attraverso la seguente relazione:

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

in cui:

Codice	Titolo	Pag. 14 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

S_0 è un fattore di scala, pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm;

CN è il parametro di cui sopra, che può essere un valore compreso fra zero e cento.

Tale modello, quindi, prende in considerazione le due variabili I ed S. In realtà, il termine I rappresenta un volume specifico di pioggia, generalmente sottratto a priori al bilancio in esame, che descrive in modo globale diversi processi, quali l'intercettazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali, l'imbibimento iniziale del terreno. Nella procedura SCS-CN standard, I viene valutato come una quota parte di S, specificatamente il 20%.

Resta, infine, da definire come si determina il parametro CN. Tale parametro, come abbiamo già accennato, è funzione della permeabilità, dello stato di umidità del suolo al momento dell'evento meteorico in esame e dell'uso del suolo.

Nel presente studio, la valutazione di tale parametro è stata eseguita secondo le indicazioni del Maione sia per quel che riguarda le espressioni matematiche, sia per la tabella uso del suolo-permeabilità, sia per la valutazione dell'umidità del suolo, supportate da valutazioni conseguenti ad indagini effettuate in loco. Riportiamo di seguito uno schema della metodologia adottata:

- 1) Classificazione del suolo secondo quattro classi di permeabilità ottenute dal confronto delle formazioni geologiche presenti nel bacino con tabelle di conversione estratte da studi precedenti:
 - A: molto permeabile,
 - B: poco permeabile,
 - C: quasi impermeabile,
 - D: impermeabile.
- 2) Determinazione dell'uso del suolo;
- 3) Determinazione dell'umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico e riconoscimento di tre classi (classi AMC, Antecedent Moisture Condition), in funzione della pioggia caduta nei cinque giorni precedenti.
- 4) Tenendo conto della stagione in cui ricade l'evento in esame, rispetto al periodo di crescita delle piante, si hanno le seguenti espressioni per la valutazione del CN:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Il CN(II) è definito dalla tabella a doppio ingresso uso del suolo-permeabilità.

Codice	Titolo	Pag. 15 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

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

Tab. 3.5 Valori del CN in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo.

L'analisi effettuata sul bacino in esame, con riferimento alla natura del suolo ed alla classificazione del CN ha messo in evidenza che più del 90% della superficie è costituita da terreni caratterizzati da bassissima permeabilità (classe D), pertanto a vantaggio di sicurezza, tra il CN (I), il CN (II) ed il CN (III) per la determinazione delle portate di piena è stato utilizzato il CN (III).

Attraverso l'utilizzo di tecniche GIS è stata calcolata una media pesata sulle aree del CN (II) e da tale media sono stati calcolati i parametri CN(I) ed al CN (III).

	CN II	CN II _{pes}	CN I	CN III
Bacino	82.3	82.4	67.36	92.23

Tab. 3.6 Valori del parametri CN(I), CN (II) e CN (III)

Tali valori consentono di ricavare il valore della pioggia netta e dell'afflusso nelle ipotesi di ietogramma rettangolare di durata pari al tempo di ritardo del bacino, nel seguito definito e determinato.

3.4.1 L'idrogramma di Mockus

Per il calcolo della portata al colmo, si è utilizzata la metodologia proposta dal Soil Conservation Service. Questo metodo considera un idrogramma approssimato di forma

Codice	Titolo	Pag. 16 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

triangolare con una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume V , in m^3 , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p \cdot t_b}{2}$$

con t_b durata dell'evento di piena.

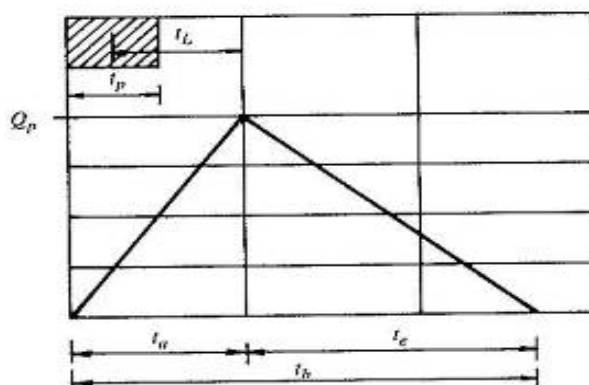


Fig. 3.4 Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS.

A seguito di analisi sperimentali dell'SCS è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Di conseguenza è possibile esprimere la portata al colmo secondo la relazione qui di seguito riportata:

$$Q_p = 0.208 \frac{V \cdot A}{t_a}$$

in cui:

V = volume di deflusso espresso in mm ;

A = area del bacino espressa in Km^2 ;

t_a = tempo di accumulo espresso in h .

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante, di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0.5 \cdot t_p + t_L$$

Codice	Titolo	Pag. 17 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in percentuale, L è la lunghezza dell'asta principale, prolungata fino alla dispiuviate espressa in Km.

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dall'SCS, è possibile affermare che il rapporto t_L/t_c è pari a 0,6, con t_c tempo di corrivazione del bacino.

3.4.2 Determinazione della portata al colmo di piena col metodo CN SCS

La durata della precipitazione che è critica per il bacino, cioè che mette in crisi la rete idrografica perché per essa si raggiunge il valore più elevato di portata, dipende dall'estensione del bacino stesso. Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

Un tempo caratteristico dell'evento di piena è il tempo di ritardo del bacino, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base, che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, ed il baricentro del pluviogramma netto. Coerentemente con la metodologia definita dal Soil Conservation Service per la definizione dell'idrogramma di piena, si è scelta, per la determinazione di questo parametro, la formulazione proposta da Mockus, sopra descritta.

La determinazione del tempo di ritardo consente di individuare le piogge critiche aventi tempo di ritorno T_R pari a 30, 200 e 500 anni. Le piogge critiche per assegnato tempo di ritorno si definiscono attraverso le curve di possibilità climatiche precedentemente definite; quindi si ricava il valore della pioggia netta, dell'afflusso netto al bacino e della portata al colmo di piena attraverso l'applicazione del metodo Curve Number - SCS già descritto. A tale proposito va sottolineato che avendo utilizzato le piogge critiche per tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni si ottengono le portate di piena aventi medesimi rispettivi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni).

Per la definizione delle portate di piena, e dei relativi idrogrammi, come specificato al punto 3.4, è stato utilizzato il valore del CN (III) relativo alle condizioni di elevata umidità, scelta effettuata in ragione della natura dei terreni caratterizzati appunto da elevata permeabilità.

Attraverso la convoluzione di tale afflusso netto con l'idrogramma definito dall'SCS, precedentemente valutato per i bacini in esame, si ottengono gli idrogrammi di piena e le portate di picco per ciascuno dei tempi di ritorno esaminati:

Codice	Titolo	Pag. 18 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

	t_L	Q_{30}	Q_{200}	Q_{500}
	h	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Bacino	0.77	3.85	6.54	7.85

Tab. 3.7 Tempo di ritardo e portata al colmo di piena per i tempi di ritorno di riferimento.

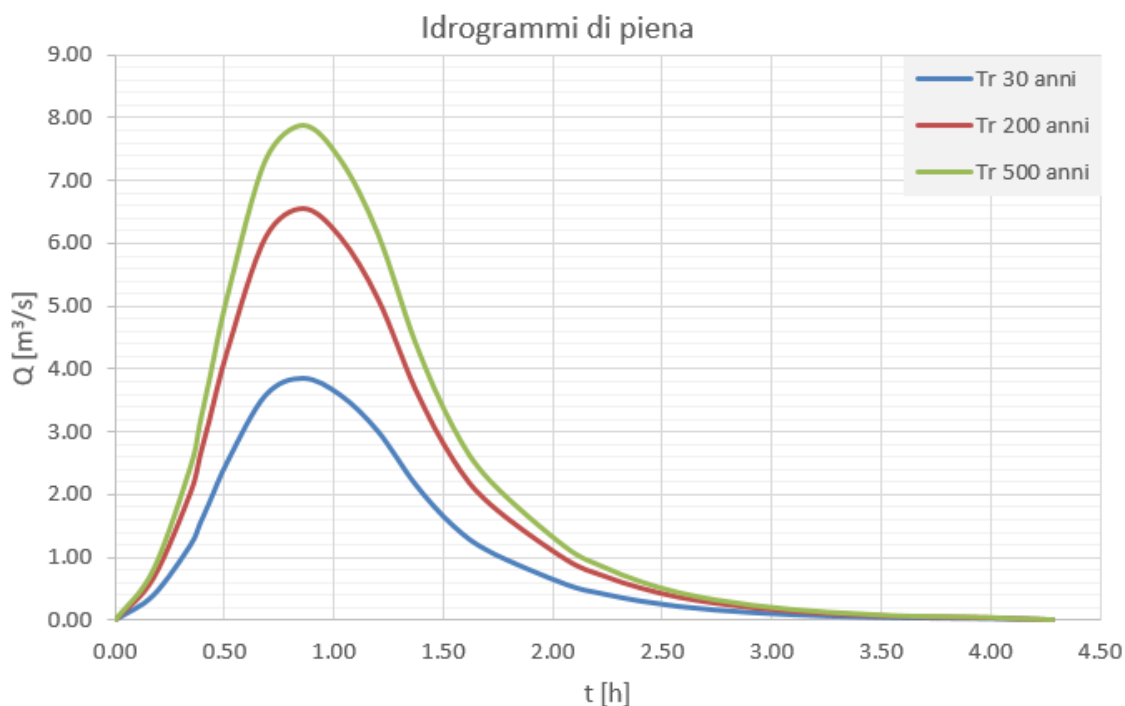


Fig. 3.5 Idrogrammi di piena

Codice	Titolo	Pag. 19 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

4 ANALISI IDRAULICA

4.1 Teoria del modello idraulico bidimensionale

L'impostazione metodologica adottata per lo studio idraulico tiene conto sia delle caratteristiche idrauliche e morfologiche del canale di progetto, sia quelle del territorio circostante pertanto si può parlare di modello bidimensionale.

Mediante l'applicazione del modello TUFLOW sono state quindi calcolate le principali grandezze idrauliche, quali i tiranti idrici e le velocità di deflusso e l'estensione delle aree interessate alla piena.

4.1.1 Modello numerico bidimensionale TufLOW

Il TUFLOW è specifico per le simulazioni idrauliche bidimensionali delle correnti a superficie libera e risulta quindi particolarmente idoneo per descrivere comportamenti idrodinamici in ambienti come aree costiere, estuari, fiumi, pianure alluvionali e aree urbane, dove le complesse direzioni di flusso non sono correttamente rappresentabili mediante i tradizionali modelli monodimensionali.

Il modello è stato sviluppato da una ricerca congiunta tra la WBM Oceanics Australia e l'Università del Queensland nel 1990. Nato come modello idraulico bidimensionale, oggi incorpora anche le funzionalità del sistema ESTRY, basato sulle equazioni complete monodimensionali, ed implementa il legame dinamico 1D/2D, che offre al modello maggiore versatilità e stabilità. Il TUFLOW è stato inoltre soggetto ad intensi test di validazione da parte del WBM Pty Ltd e altri. Il programma nel tempo continua ad evolvere per incontrare le esigenze della modellazione idrodinamica. Altre caratteristiche, che lo hanno reso oggetto della scelta di questa Autorità, sono la rappresentazione di domini multipli 2D, la rappresentazione delle strutture idrauliche 1D e 2D, la simulazione delle correnti supercritiche 1D e 2D, l'interfaccia con il GIS e gli accurati strumenti di controllo della qualità degli output.

Nello specifico, nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostri insufficiente a contenere la portata in arrivo, il volume in eccesso viene trasferito mediante opportuni link, istante per istante, alle aree adiacenti, il tutto attraverso uno schema a griglia. Il deflusso attraverso le aree esterne all'alveo viene calcolato dal modello TUFLOW 2D, bidimensionale puro.

Il modello bidimensionale e quello monodimensionale, integrati nel pacchetto TUFLOW, costituiscono un potente strumento per studi di previsione e propagazione delle onde di piena. TUFLOW non dispone di una propria interfaccia grafica, ma utilizza programmi GIS e altri software, anche open source, per la creazione, elaborazione e visione dei dati: Nel dettaglio il

Codice	Titolo	
A01	Relazione idrologico-idraulica	Pag. 20 di 35

software utilizzato per l'input e l'output dei dati è stato SMS (Surfacewater Modelling System – www.aquaveo.com)

L'approccio di tipo GIS offre molti benefici, alcuni dei quali sono di seguito elencati:

- La possibilità di lavorare direttamente in un ambiente "aperto" come il GIS;
- La presenza di una gran quantità di strumenti per la gestione dei dati, direttamente utilizzabili nella fase di costruzione del modello;
- Georeferenziazione di tutti i dati, con la possibilità di cambiare le dimensioni delle celle 2D in modo immediato;
- Maggior efficienza nella produzione di mappe, report, brochure, filmati etc;
- Possibilità di fornire al cliente tutti i dati e i risultati in formato GIS.

TUFLOW è un programma per la simulazione di deflussi mono e bidimensionali per lo studio di piene e maree. TUFLOW, è stato originariamente sviluppato per flussi bidimensionali (2D), il suo anagramma sta per Twodimensional Unsteady FLOW. Esso incorpora tutte le funzioni di ESTRY 1D sia monodimensionale che quasi2D, basato sulle equazioni monodimensionali del moto a pelo libero. Il completo algoritmo di soluzione 2D, creato da Stelling 1984 sviluppato da Syme 1991, risolve equazioni bidimensionali di continuità e conservazione della quantità di moto per superfici libere. TUFLOW è sostanzialmente orientato a stabilire il percorso del flusso delle acque lungo coste, estuari, rive, aree soggette ad allagamenti e urbanizzate dove i percorsi del flusso in natura sono essenzialmente 2D e non è possibile o sarebbe complicato rappresentarle utilizzando una modellazione 1D. Una notevole potenzialità di TUFLOW è la sua capacità di connettersi dinamicamente con il programma idrodinamico 1D (quasi2D) ESTRY. L'utente configura un modello come una combinazione di domini monodimensionali 1D connessi con domini bidimensionali 2D. Vale a dire che i domini 2D e 1D sono collegati per formare un unico modello. TUFLOW risolve le equazioni delle acque basse (SWE). Le SWE sono equazioni di flusso utilizzate per modellare le onde lunghe come ad es. flussi, maree e moti ondosi. Esse sono state ottenute utilizzando le ipotesi di velocità verticale ed orizzontale uniforme ed accelerazione verticale trascurabile (cioè una distribuzione idrostatica di pressione). Queste semplificazioni sono valide dove la lunghezza d'onda è molto più grande della profondità dell'acqua. Nel caso di onde oceaniche le SWE sono applicabili ovunque. Le 2D SWE nel piano orizzontale sono descritte dalle seguenti equazioni differenziali di conservazione della massa e della conservazione della quantità di moto in direzione X e Y in un piano cartesiano di riferimento:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + gu \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x$$

Codice	Titolo	
A01	Relazione idrologico-idraulica	Pag. 21 di 35

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - c_f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + gv \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y$$

dove:

- u e v = velocità specifiche medie in direzione x e y;
- ζ = livello idrometrico;
- H = tirante idraulico;
- t = tempo;
- x e y = distanza in direzione x e y;
- c_f = coefficiente di Coriolis;
- C = coefficiente di Chezy
- μ = coefficiente di diffusione orizzontale della quantità di moto;
- p = pressione atmosferica;
- ρ = densità dell'acqua;
- F_x e F_y = risultante delle forze esterne (ad esempio il vento) applicate in direzione x e y.

La soluzione monodimensionale in TUFLOW usa la tecnica di soluzione alle differenze finite di secondo ordine, di RungeKutta (Morrison and Smith, 1978) per le equazioni 1D SWE di continuità e conservazione della quantità di moto come mostrato dalle seguenti equazioni. Il modello si basa su un codice di calcolo a moto vario adatto per la modellazione matematica di flussi e maree. Il programma è stato sviluppato dalla WBM Oceanics Australia da più di trentacinque anni ed è stato successivamente applicato in centinaia di studi partendo dalle applicazioni ad un canale singolo per arrivare fino alle più complesse quasi2D.

Il modello si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di moto vario dei fluidi (conservazione della quantità di moto e continuità), e include i termini inerziali:

$$\frac{\partial(uA)}{\partial x} + B \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad \text{Equazione di continuità}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + k|u|u = 0 \quad \text{Conservazione della quantità di moto}$$

dove:

- u = velocità specifica media;
- ζ = livello idrometrico;
- t = tempo;
- x = distanza;
- A = area della sezione di deflusso;
- B = larghezza della lama d'acqua;
- k = coefficiente per le perdite continue = $gn^2 / R^{4/3}$

Codice	Titolo	Pag. 22 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- R = raggio idraulico
- g = accelerazione di gravità;

Le celle di calcolo sono composte da 11 punti di calcolo ciascuna, un punto ZC per il calcolo del livello idrometrico, 2 punti ZU per calcolo delle velocità lungo x, 2 punti ZV per le velocità lungo y e 4 punti ZH con significato esclusivamente grafico per la restituzione dei risultati

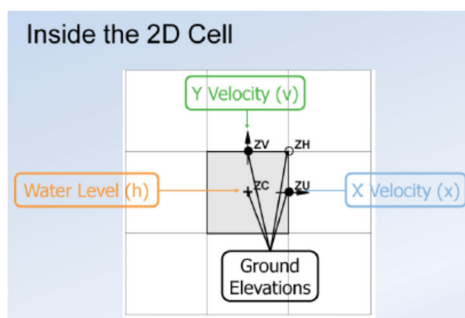


Fig. 4.1 Schema di una cella nel TUFLOW

In aggiunta ai canali a pelo libero, sono disponibili per la modellazione le seguenti opere idrauliche:

- Scatolari multipli circolari o rettangolari;
- Ponti, pile da ponte;
- Briglie, canalette di scolo lato strada, arginature etc.;
- Strutture definite dall'utente.

TUFLOW risolve simultaneamente la rete monodimensionale e uno o più domini bidimensionali fornendo un'accurata simulazione idrodinamica dei fenomeni di piena e dell'allagamento delle aree adiacenti ai corsi d'acqua. Il modello fornisce inoltre informazioni non solo sui volumi esondati e sulle altezze d'acqua raggiunte sul piano campagna, ma anche la stima delle velocità raggiunte durante il fenomeno alluvionale e dei tempi di sussistenza della piena. In particolare la modellazione dell'alveo del corso d'acqua avviene secondo uno schema monodimensionale implementato in ESTRY.

In questo modo le caratteristiche dell'alveo di morbida sarà rappresentato con la necessaria precisione laddove una modellazione bidimensionale pura comporterebbe una perdita di informazioni significativa.

Codice	Titolo	Pag. 23 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

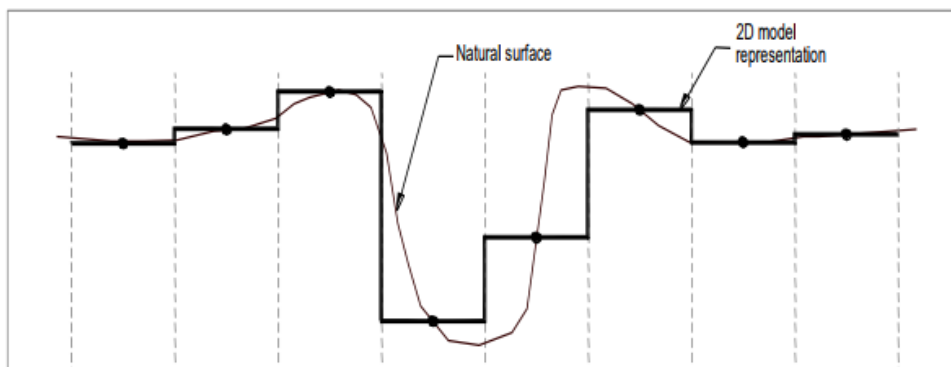


Fig. 4.2 Esempio di una rappresentazione bidimensionale poco accurata di un corso d'acqua

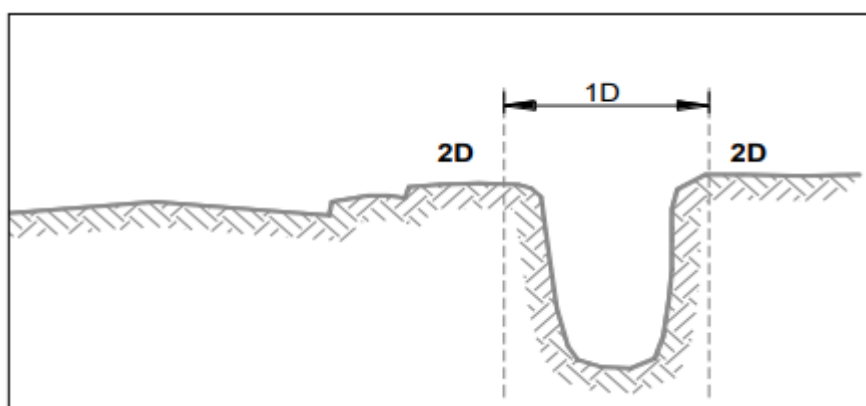


Fig. 4.3- Esempio di modellazione mono-bidimensionale

Nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostrasse insufficiente a contenere la portata in arrivo, mediante opportuni link il volume in eccesso viene trasferito, istante per istante, al territorio latistante che viene rappresentato attraverso uno schema a griglia ricavato da opportune elaborazioni condotte sul DTM. Il deflusso attraverso tali aree viene calcolato dal modello TUFLOW, bidimensionale puro. In Figura sono riportati gli schemi dei possibili meccanismi di link per l'accoppiamento dei due modelli (1D/2D).

Codice	Titolo	Pag. 24 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

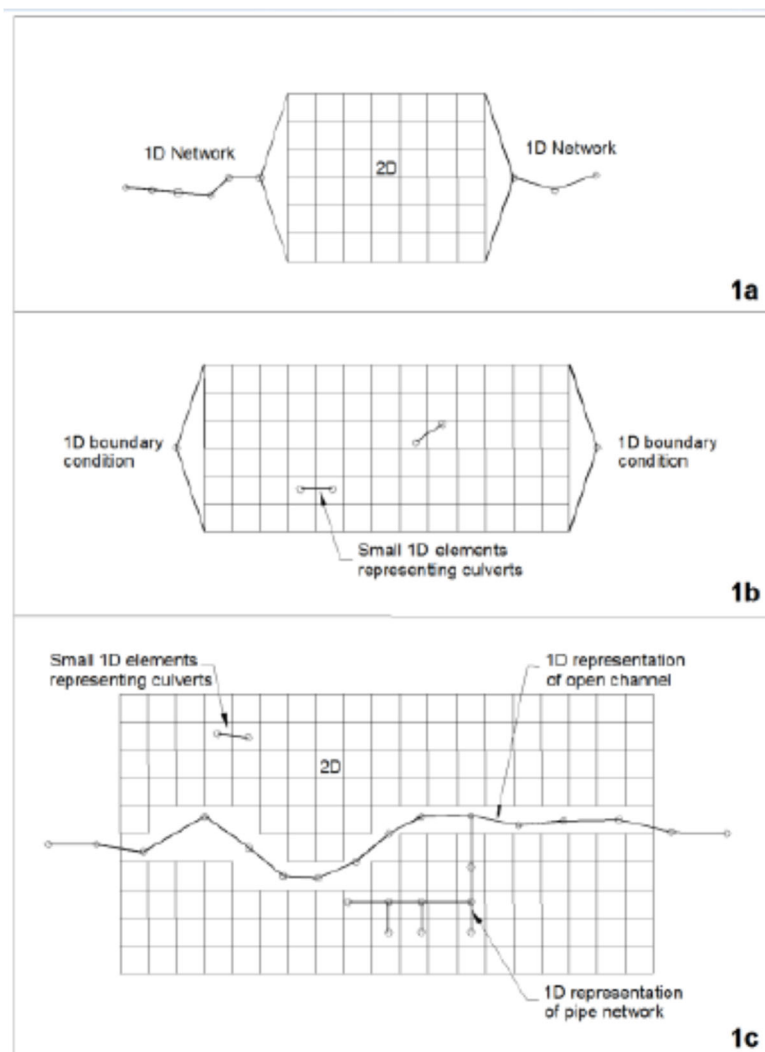


Fig. 4.4 Schemi di link tra il modello bidimensionale TUFLOW ed il modello monodimensionale ESTRY

Tuflow restituisce i risultati delle simulazioni nei domini mono e bidimensionale nelle seguenti tipologie di files:

- Files binari che vengono letti da SMS per visualizzare i risultati. Le animazioni vengono generate da SMS.
- Files .csv per le serie temporali che possono essere visualizzati in Microsoft Excel.
- Files .mif/.mid per visualizzare i risultati in formato GIS e produrre le mappe tematiche.
- Files di testo per le segnalazioni di errore o di avvertimento.

Codice	Titolo	Pag. 25 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

4.2 Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento

Le procedure esposte nei precedenti paragrafi hanno consentito di individuare le aree interessate dalle inondazioni relative alle piene aventi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni), e di determinare i parametri idraulici come i tiranti idrici e le velocità con cui è possibile valutare gli effetti delle onde di piena sul territorio punto per punto.

La determinazione dei parametri idraulici è l'elemento più importante per la definizione delle pericolosità idraulica, in quanto è bene sottolineare come la sola indicazione di allagamento di una superficie non rappresenti di per sé un fattore di pericolosità, in quanto i fattori che influiscono sul livello di pericolosità sono il livello idrico, la velocità di scorrimento e la persistenza del fenomeno. Infatti un allagamento che presenta un tirante idrico di 10 cm potrebbe sembrare meno rischioso di uno con tiranti di 2 m, anche se si dovessero verificare con lo stesso tempo di ritorno. Al contrario, se il primo dovesse possedere un'elevata velocità di scorrimento e il secondo fosse quasi statico, potrebbe risultare più pericoloso il tirante inferiore.

Allo scopo di circoscrivere la problematica dell'allagamento ed effettuare una corretta valutazione della pericolosità idraulica è opportuno valutare la stessa tenendo conto sia dei tiranti idrici che delle velocità, adottando dove possibile approcci suggeriti dall'Autorità di Bacino.

In questo caso è stato scelto l'approccio adottato dall'Autorità di Bacino del Tevere, seppur modificato, che ha proposto un diagramma che mette in relazione i due parametri fondamentali nella determinazione del livello di pericolosità dell'inondazione, tirante e velocità secondo il grafico in figura.

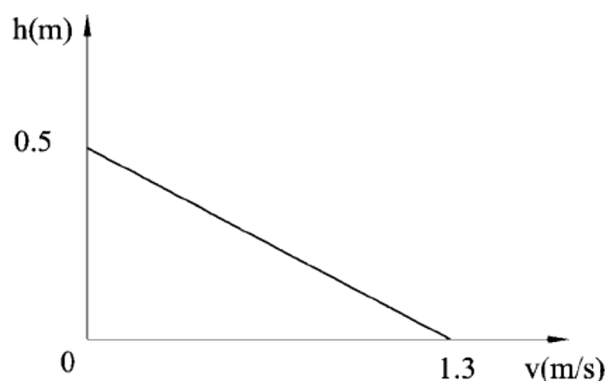


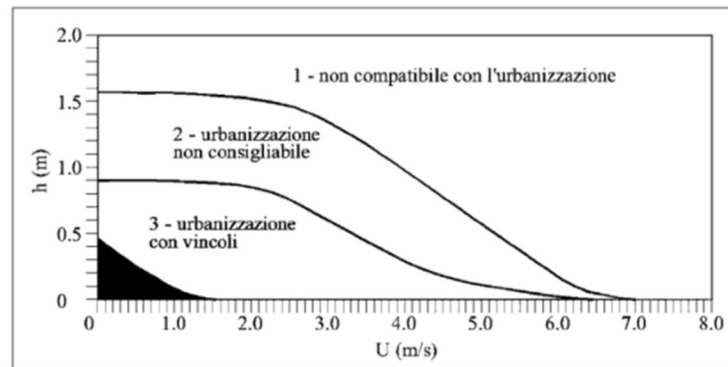
Fig. 4.5 Diagramma della vulnerabilità (autorità di Bacino del Tevere)

Secondo questo approccio 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 V , e del tirante idrico h ; nel grafico sottostante (V - h) sono

Codice	Titolo	Pag. 26 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

identificate porzioni caratterizzate da stesso valore della spinta. A seconda della coppia V-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 (V-h). Vengono così definite aree "marginali", quelle ricadenti nella porzione 4 del grafico 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

Fig. 4.6 Classificazione della pericolosità secondo l'approccio dell'AdB Tevere

In definitiva si assume che le condizioni di rischio non dipendano solo dalla presenza/assenza d'acqua e dell'entità del tirante idrico, ma anche dalla velocità di scorrimento (valutata localmente) che gioca un ruolo determinante nell'attribuzione del livello di danno effettivo.

Similmente l'Autorità di Bacino dell'Adige individua 4 aree di pericolosità idraulica (molto elevata, elevata, media, moderata) in base allo schema seguente:

1) 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;

2) 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);

Codice	Titolo	Pag. 27 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

3) 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;

4) aree di pericolosità idraulica moderata (P1): aree esondabili con eventi di piena meno frequenti ($Tr=200$ anni) in qualunque condizione di lama d'acqua e velocità sul piano di campagna.

Sulla base di tali classificazioni è possibile 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 presente studio si è preferito, cautelativamente, assumere come limiti di rappresentazione della pericolosità, e quindi della vulnerabilità idraulica, i seguenti valori:

- Tirante idrico $> 0,2$ m
- Velocità $> 0,5$ m/s

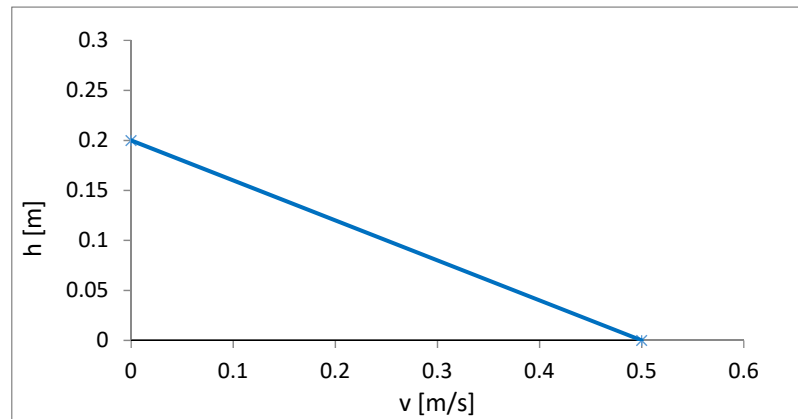


Fig. 4.7 Filtro utilizzato nel presente studio

Nel capitolo successivo si discutono le risultanze ottenute in termini di tiranti e di superfici inondabili.

4.3 Costruzione del modello

Come accennato in premessa, con lo scopo di studiare il comportamento del flusso idrico in corrispondenza dell'area di intervento e di valutare le eventuali esondazioni è stato costruito un modello bidimensionale.

4.3.1 Implementazione del modello geometrico

Noti i dati idrologici di input, si è costruita la geometria del modello idraulico che, per essere implementato in TUFLOW, necessita di: Griglia di Calcolo, Condizioni al contorno,

Codice	Titolo	Pag. 28 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

Materiale della superficie di scorrimento, Elementi geometrici quali argini, approfondimenti e riprofilatura del terreno.

Definita la lista degli elementi utili per l'implementazione del modello idraulico, si riporta una breve descrizione di ciascuno di essi. Il dato di partenza per la costruzione della griglia di calcolo è il modello digitale del terreno ottenuto dalla triangolazione dei punti rilevati e la successiva intersezione con il DTM 8x8 della regione Puglia.

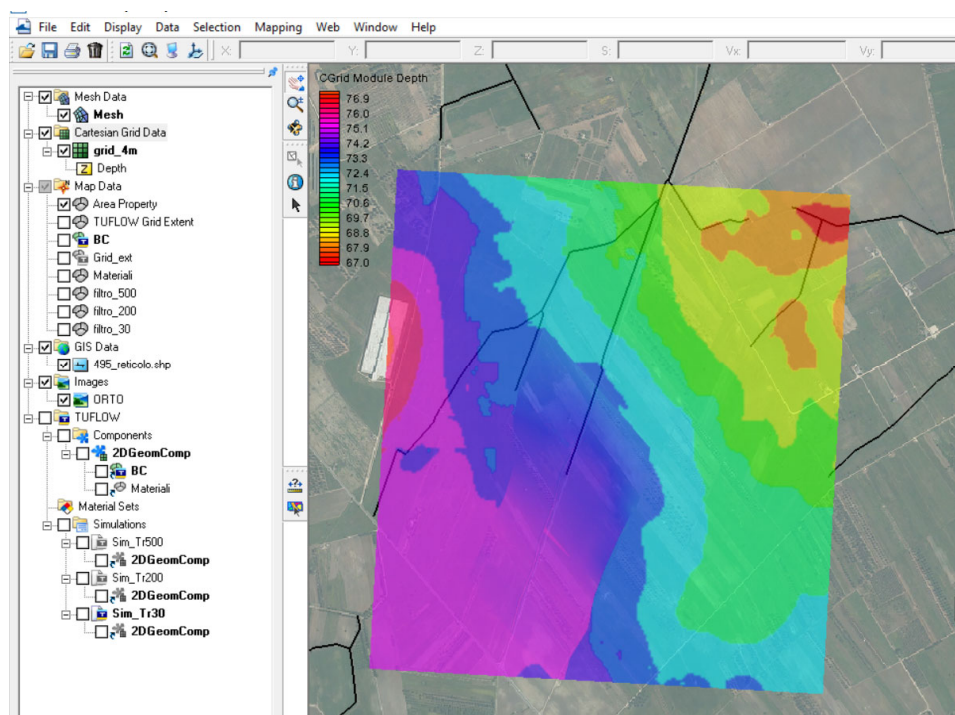


Fig. 4.8 Inquadramento del dtm adottato per la costruzione della griglia di calcolo

Noto il modello digitale del terrenosi è creata una griglia di calcolo avente celle quadrate di lato pari a 4 metri; tale valore rappresenta il giusto compromesso tra il dettaglio dello studio e i tempi computazionali.

Codice	Titolo	Pag. 29 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

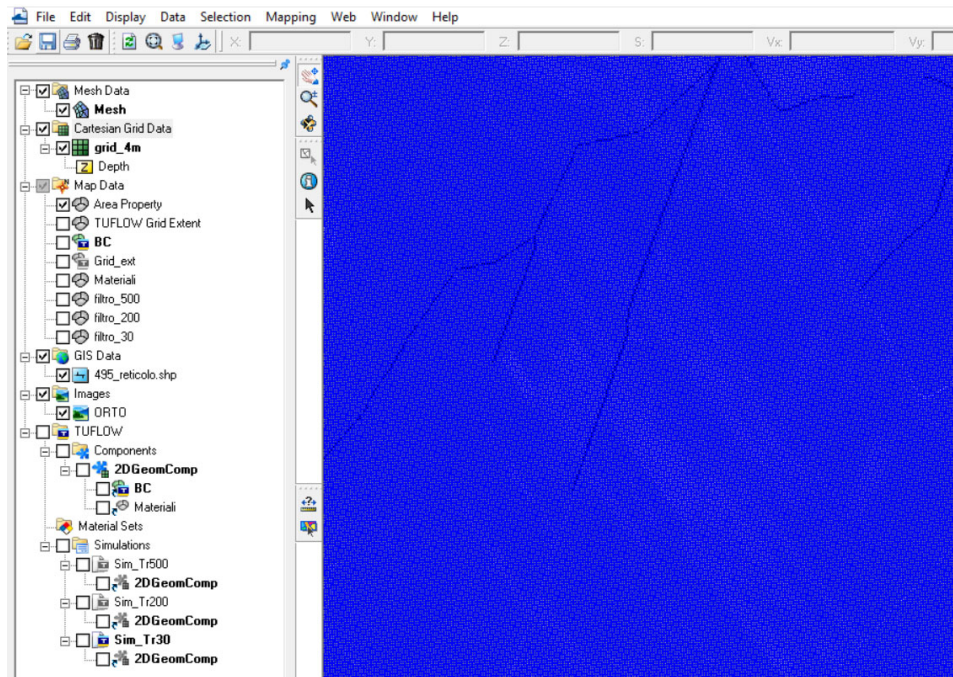


Fig. 4.9 Griglia computazionale con celle quadrate di lato pari a 5 metri

Ricavata la griglia di calcolo, si è reso necessario definire la porzione della griglia da considerare nell'analisi bidimensionale; ciò è stato fatto definendo il layer delle condizioni al contorno. Sull'arco che delimita il poligono costituente il dominio computazionale, in corrispondenza del punto di intersezione con il reticolo idrografico è stata definita la condizione al contorno Flow vs Time (QT) mediante cui è possibile inserire gli idrogrammi riportati nel capitolo 3, Figura 3.5 della presente relazione.

Per quanto riguarda invece la condizione al contorno di valle questa è stata definita con la funzione WSE vs Flow (HT) ovvero una condizione di moto uniforme a valle.



Fig. 4.10 Condizioni al contorno su Ortofoto.

Codice	Titolo	Pag. 30 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

Un altro elemento fondamentale per effettuare un'attenta simulazione idraulica è il materiale della superficie di scorrimento (*Area Property Coverage*), definito secondo la tabella riportata in basso:

Uso del suolo	Coeff. Di scabrezza di Manning n (s/m ^{1/3})
Zona agricola	0.035

Tab. 4.1 Coefficienti di scabrezza

Definito il modello si è provveduto ad effettuare la simulazione con riferimento ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni considerando una durata della simulazione di 10 ore.

4.3.2 Analisi dei risultati

Una volta effettuate le tre simulazioni è possibile visualizzare i risultati ottenuti per ciascuna di esse in termini di tiranti idrici e velocità nella configurazione massima, minima e variabile nel tempo. Si precisa che il TUFLOW può fornire sia risultati numerici mediante file di testo, sia mappe di tirante idrico, velocità e pelo libero della corrente.

Nelle figure seguenti, estratte dagli elaborati cartografici A07, A08, A09, si riportano le mappe dei massimi tiranti idrici e delle massime velocità così come ottenute dal software.

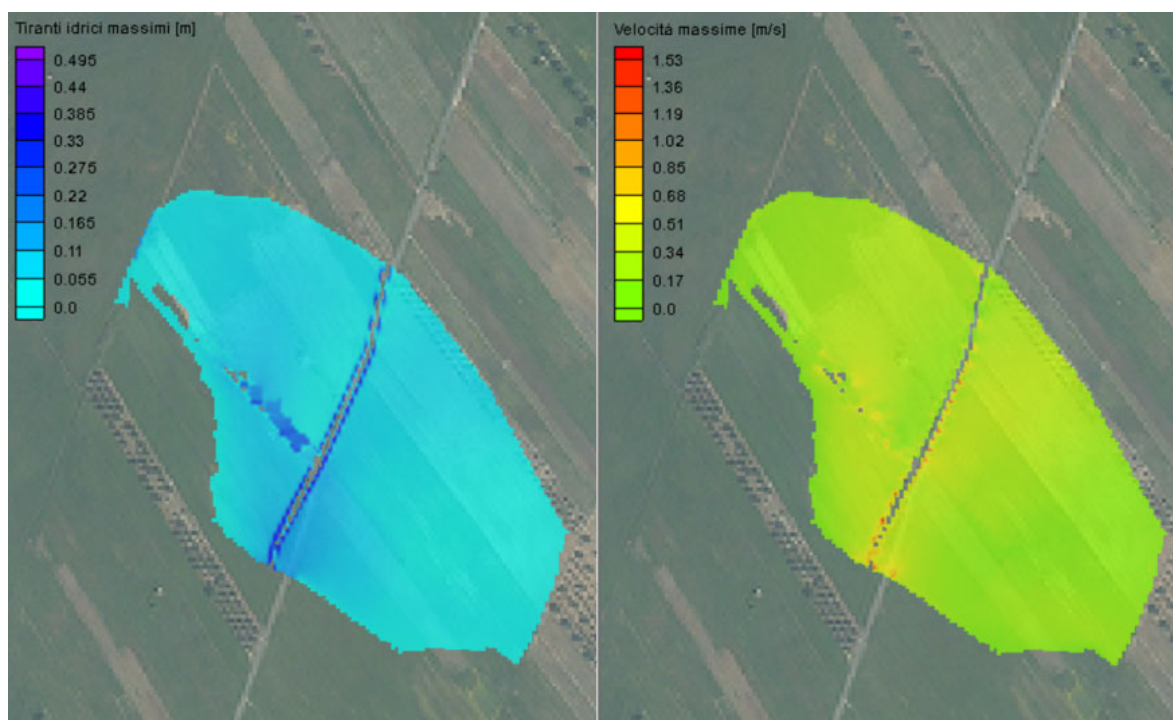


Fig. 4.11 Mappa dei massimi tiranti idrici e velocità massime – Tr 30

Codice	Titolo	Pag. 31 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

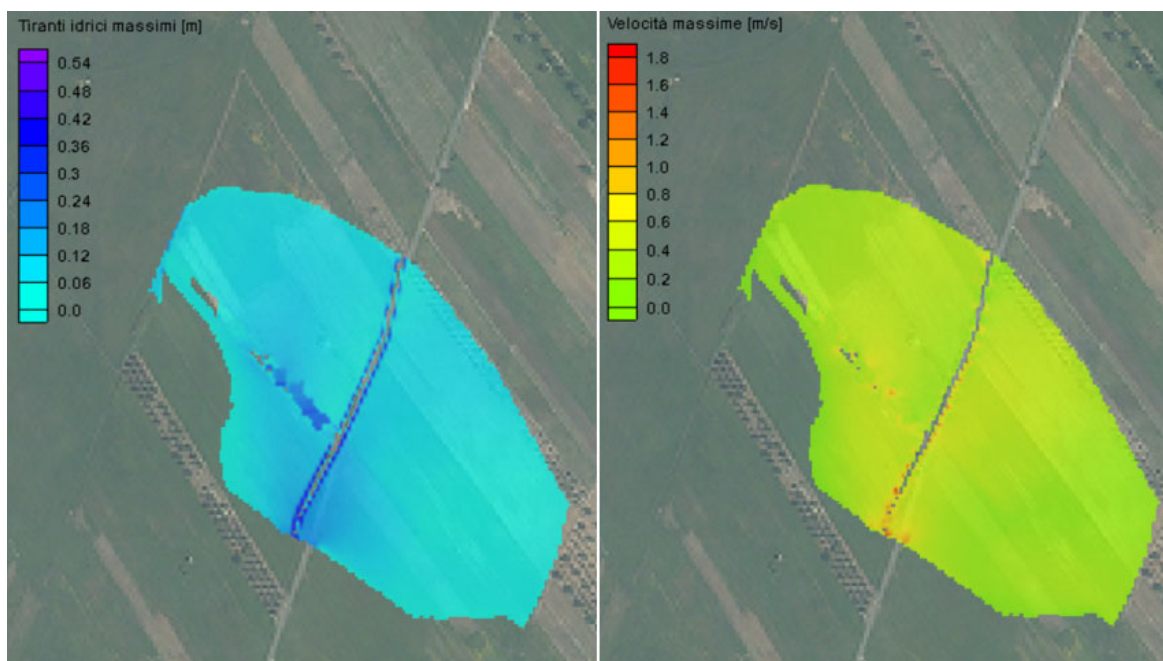


Fig. 4.12 Mappa dei massimi tiranti idrici e velocità massime – Tr 200

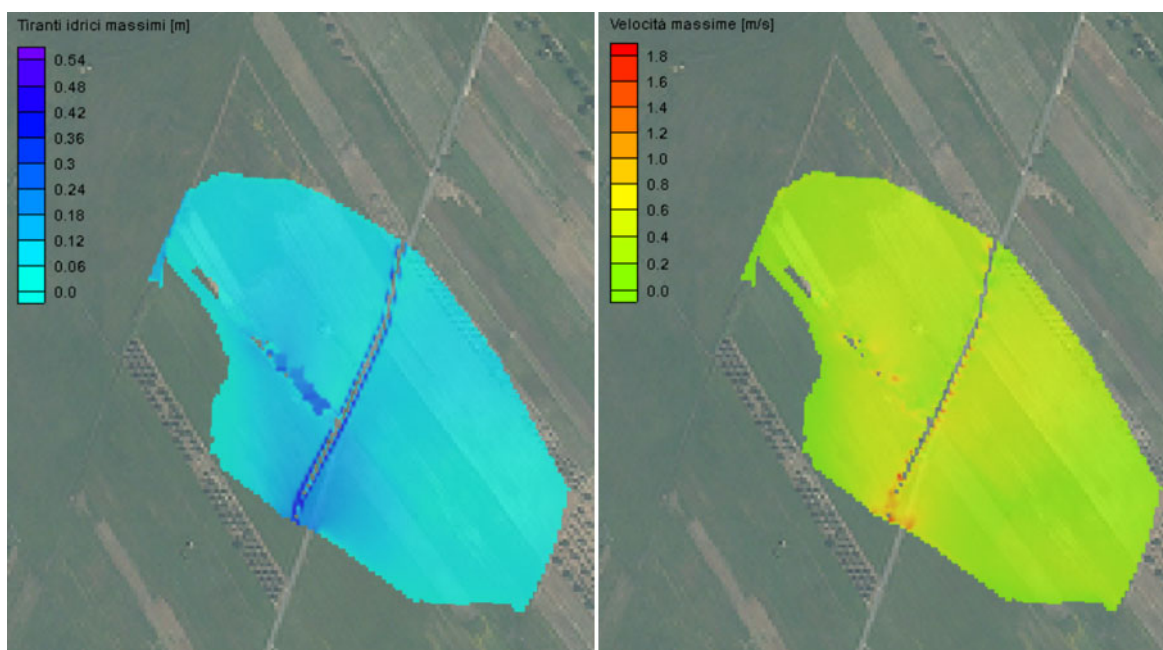


Fig. 4.13 Mappa dei massimi tiranti idrici e velocità massime – Tr 500

I risultati delle simulazioni mostrano che gli eventi simulati, provocano allagamenti contenuti in una fascia ampia ma caratterizzata da tiranti che si attestano attorno ai 10 cm ad esclusione delle aree immediatamente adiacenti all'asse stradale lungo cui corrono i fossi di

Codice	Titolo	Pag. 32 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

guardia. Allo stesso modo anche le velocità risultano modeste per la maggior parte della superficie interessata essendo comprese tra 0.10 m/s e 0.80 m/s.

Codice	Titolo	
A01	Relazione idrologico-idraulica	Pag. 33 di 35

5 RISULTATI E CONCLUSIONI

Prima di descrivere i risultati delle simulazioni è importante sottolineare un aspetto caratteristico dell'area esaminata, questa infatti, dall'osservazione dello stato dei luoghi risulta interessata, solo a valle, dalla presenza di un brevissimo tratto di reticolo (rif elaborato A0x), motivo per il quale si è resa necessaria la valutazione di compatibilità idraulica.

Fatto salvo questo aspetto, l'analisi dei risultati di tutte le simulazioni condotte, in linea generale ha rilevato come, per quasi tutta la lunghezza del tratto di impluvio studiato, l'onda di piena transiti interessando una larga fascia di territorio ma con tiranti che si attestano attorno ai 0.10 m e velocità mediamente basse caratterizzate da valori che variano tra 0.10 a 0.80 m/s (valore quest'ultimo assunto solo localmente).

La figura 5.1 mostra la distribuzione delle aree inondabili ottenute mediante l'applicazione del filtro di cui al paragrafo 4.2.



Fig. 5.1 Planimetria aree inondabili

L'applicazione del filtro permette di escludere dalle aree inondabili quelle che presentano valori di tiranti massimi e velocità massime al di sotto della retta limite (cfr. Figura 4.7).

Codice	Titolo	Pag. 34 di 35
A01	Relazione idrologico-idraulica	

Alla luce di tutto quanto sopra esposto, è possibile concludere che le aree utili per la realizzazione dell'intervento sono quelle adiacenti alle superfici perimetrare così come rappresentato negli elaborati grafici rappresentativi del layout dell'impianto.

Codice	Titolo	
A01	Relazione idrologico-idraulica	Pag. 35 di 35