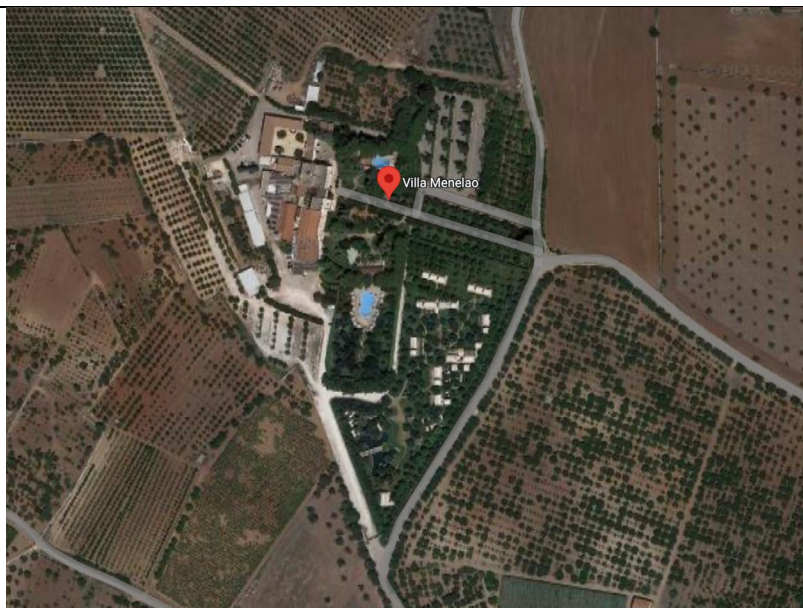




COMUNE DI TURI
PROVINCIA DI BARI

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA ED IDRAULICA
PER INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DELLA STRUTTURA
TURISTICO RICETTIVA "RELAIS VILLA MENELAO" DI VILLA
MENELAO S.R.L.**



COMMITTENTE

VILLA MENELAO S.R.L.

IL TECNICO INCARICATO

PROF. ING. VITANTONIO AMORUSO

Ordine degli Ingegneri di BARI n.2076



ELABORATO
Relazione Idrologica e Idraulica

GIUGNO 2023

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	PERIMETRAZIONE VIGENTE ADB PUGLIA.....	5
3	ANALISI IDROLOGICA	8
	3.1 Caratterizzazione del bacino oggetto di studio	8
	3.2 Procedure regionali di valutazione della precipitazione	10
	3.2.1 Terzo livello di regionalizzazione.....	11
	3.3 Stima della portata al colmo di piena	13
	3.3.1 Metodologia CN SCS	13
4	ANALISI IDRAULICA.....	19
	4.1 Teoria del modello idraulico bidimensionale in FLO-2D	19
	4.2 Teoria del modello idraulico bidimensionale in HEC-RAS	21
	4.3 Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento	23
	4.4 Descrizione del dominio computazionale	25
	4.5 Modello adottato nello studio	26
5	CONCLUSIONI.....	28
6	ELENCO ALLEGATI.....	29

1 PREMESSA

Il sottoscritto Prof. Ing. Vitantonio Amoruso, in qualità di consulente di Villa Menelao s.r.l., presenta lo studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica per intervento di Ampliamento della Struttura Turistico Ricettiva "Relais Villa Menelao" di Villa Menelao s.r.l. nel territorio comunale di Turi.

L'area oggetto di intervento è ubicata nel quadrante nord-ovest del Comune di Turi, sulla direttrice verso il Comune di Casamassima (Figura 1). Il compendio di Villa Menelao, ricadente in "Contrada Parco Ospedale" (Catasto Terreni al Foglio 6 Particella 33 27, 33, 41, 42, 74, 82, 83, 182, 184, 800 e in Catasto Fabbricati al Foglio 6 Particelle 33 Subalterni 2 e 14; Particella 801 Subalterno 1; Particella 802 Subalterno 1), è censito in Catasto al Foglio 6 Particella 33.

Dalla visione delle perimetrazioni vigenti, redatte dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Puglia, si evince che l'area di studio (Figura 2) non risulta essere perimetrata; tuttavia, vista la presenza di un reticolo indicato nel PGRA, si richiede per detto ampliamento **parere di Compatibilità Idraulica ai sensi degli artt. 6 e 10 delle NTA del PAI.**



Figura 1: Inquadramento dell'area in esame su ortofoto (in rosso)

Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica per intervento di Ampliamento della Struttura Turistico Ricettiva "Relais Villa Menelao" di Villa Menelao s.r.l.

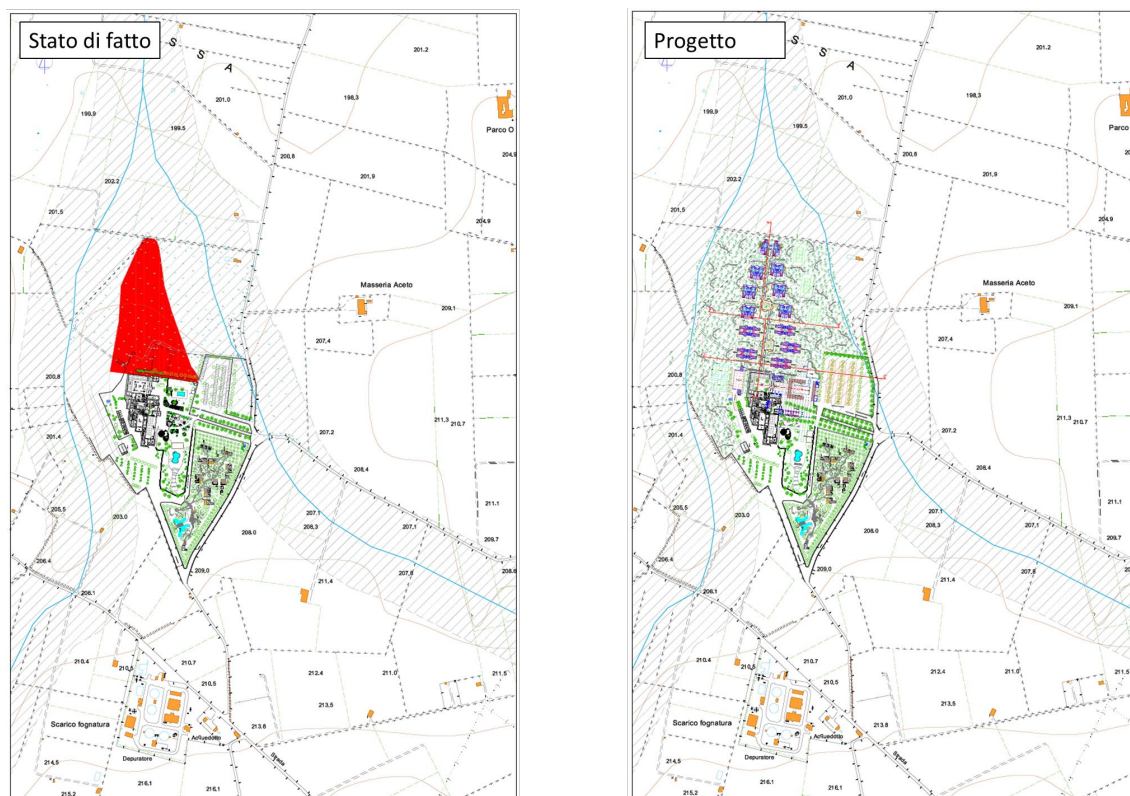


Figura 2: Intervento in oggetto

2 PERIMETRAZIONE VIGENTE ADB PUGLIA

Dalla visione delle perimetrazioni vigenti, redatte dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Puglia, si evince che l'area di studio non risulta essere perimetrata.

Dallo studio della cartografia IGM scala 1:25.000 il lotto in esame non risulta lambito da significative incisioni (Figura 3). Il reticolo idrografico è evidenziato chiaramente nel PAI e nel PGRA della Regione Puglia (Figura 4 e Figura 5).

In Figura 6 è riportato il bacino idrografico afferente all'area di intervento e i suoi due sottobacini.

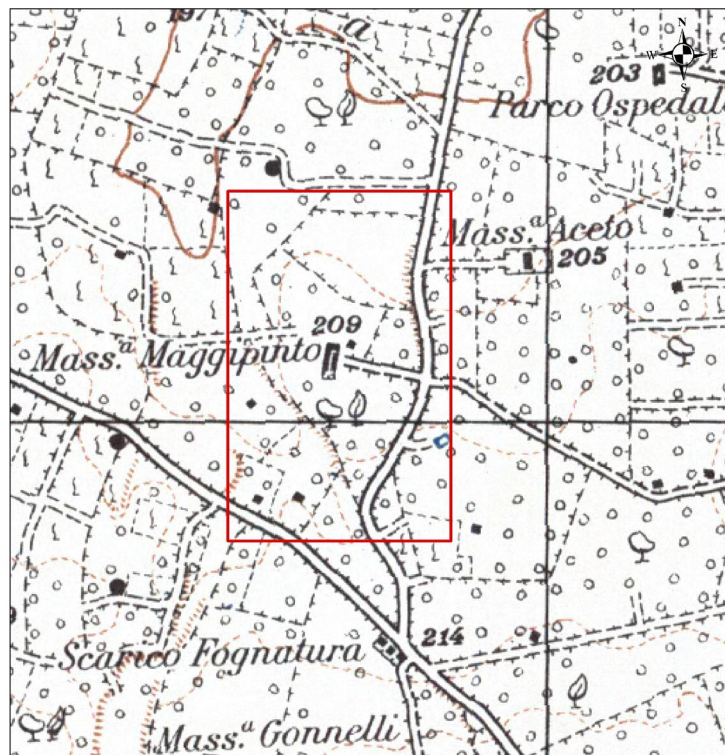


Figura 3: Stralcio della cartografia IGM 1:25.000 (area di interesse in rosso)

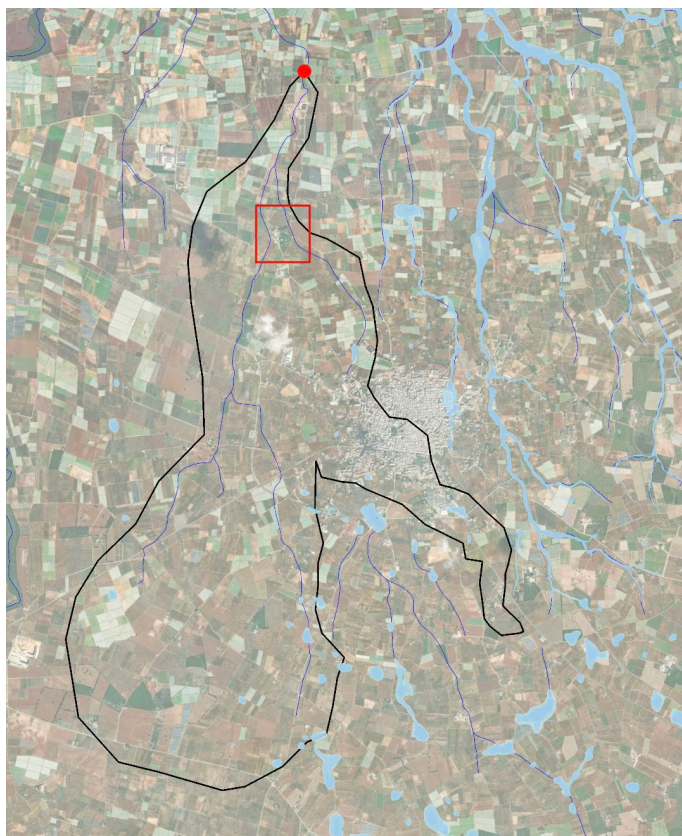


Figura 4: **Stralcio del PAI dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (area di interesse in rosso)**

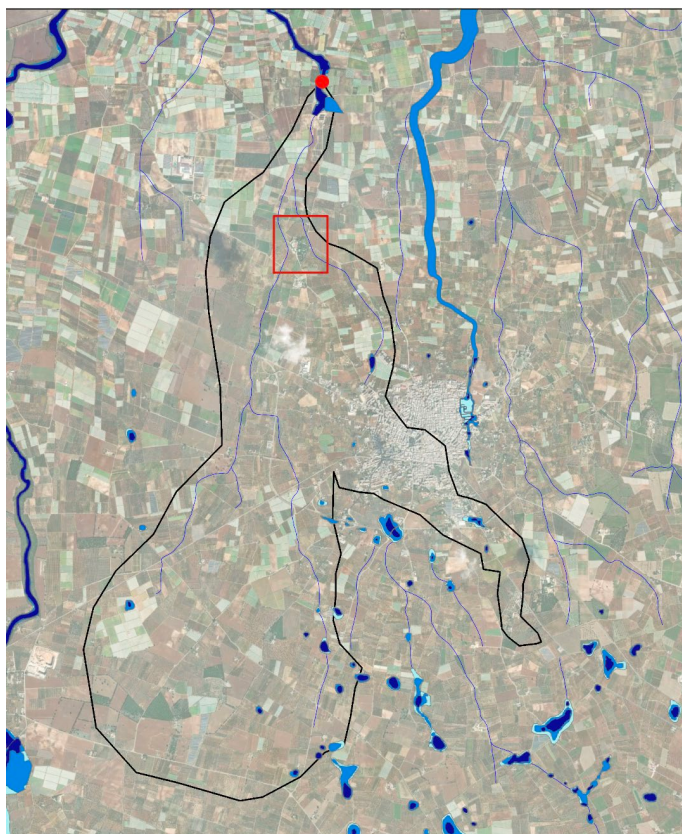


Figura 5: **Stralcio del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Puglia (area di interesse in rosso)**

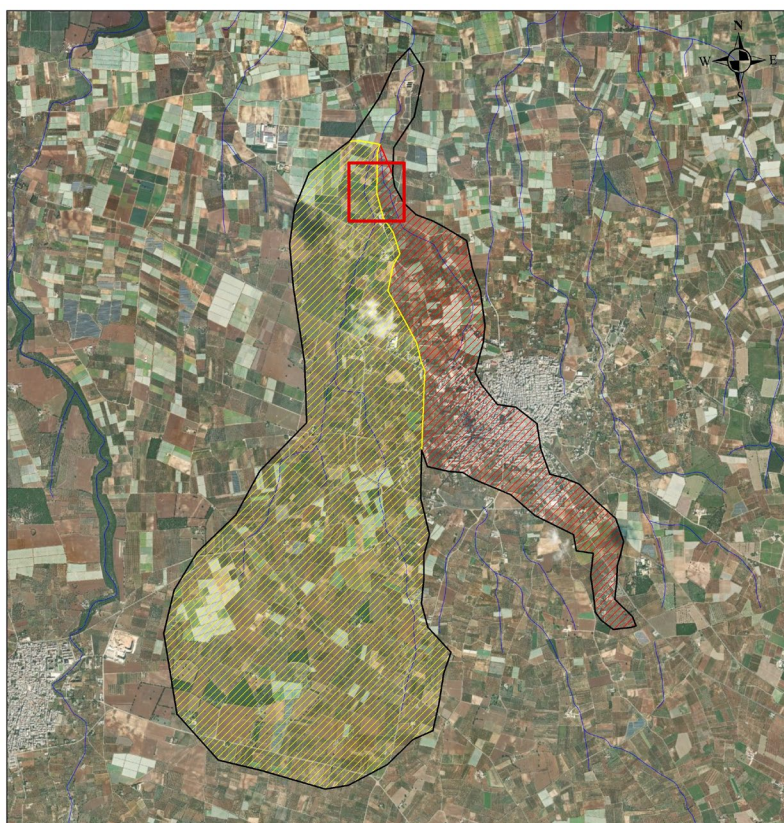


Figura 6: Bacini idrografici relativamente all'area in esame in rosso

In assenza di uno studio specifico, nel caso in esame, si dovrebbe far riferimento a quanto indicato dal Piano di Bacino - Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, in particolare dal **punto 8 dell'Articolo 6- Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali** che recita: *“Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono realmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m.”*.

L'area in esame inoltre rientra nell'**art. 10 – Fasce di pertinenza fluviale** che al comma 3 recita: *“Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermini all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m”*.

Pertanto, come recita il comma 2 del suddetto art. 10, *all'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.*

In virtù di quanto appena affermato si è ritenuto, opportuno redigere uno Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica al fine di definire le condizioni di sicurezza idraulica per il tempo di ritorno di 200 anni, come richiesto dall'art. 36 delle NTA del PAI.

3 ANALISI IDROLOGICA

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 misura 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 GNDICI-CNR”*. Nel caso del bacino idrografico oggetto di tale studio, si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto Va.Pi. (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.

3.1 Caratterizzazione del bacino oggetto di studio

Il primo step, per poter procedere con lo studio idrologico, consiste nell'individuare il bacino imbrifero relativamente alla sezione di chiusura di interesse del reticolo idrografico esistente.

Il bacino imbrifero 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. Tale linea è costituita dalla congiungente i punti di massima curvatura delle curve di livello in corrispondenza delle quali le stesse volgono la convessità verso le quote decrescenti.

L'identificazione del bacino è stata eseguita dopo aver individuato la rete idrografica, costituita dalle linee d'impluvio (o compluvio) secondo le quali defluiscono naturalmente le acque nel territorio in esame.

La delimitazione del bacino idrografico, relativo alla sezione di chiusura individuata a valle del lotto (Figura 7 e Figura 8) è stata eseguita mediante estrapolazione delle curve di livello e punti quotati dal LIDAR richiesto dal Committente. La portata determinata sull'intero bacino idrografico è stata successivamente ripartita sui due sottobacini oggetto di studio attraverso il coefficiente udometrico u e secondo le formulazioni di seguito riportate:

$$u = \frac{Q_{P,Bacino}}{A_{Bacino}}$$

$$Q_{P,Sottobacino\ destro} = u \cdot A_{Sottobacino\ destro}$$

$$Q_{P,Sottobacino\ sinistro} = u \cdot A_{Sottobacino\ sinistro}$$

Nella tabella seguente si riportano alcune grandezze caratteristiche del bacino idrografico analizzato per la definizione del dominio di calcolo.



Figura 7: Sezione di chiusura del bacino idrografico considerato (in giallo)

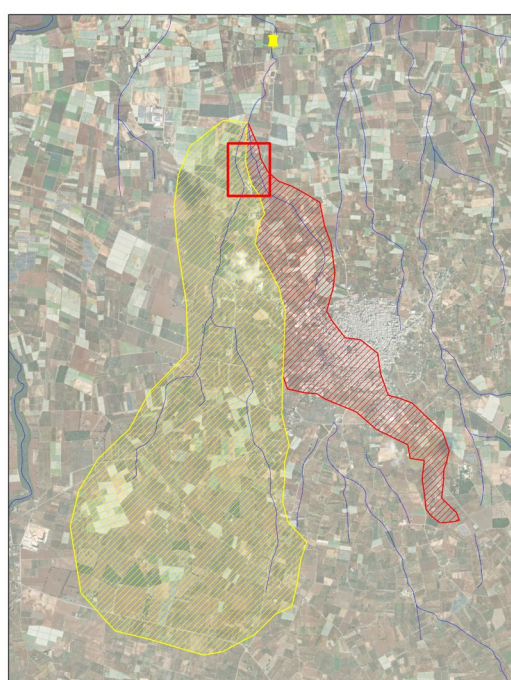
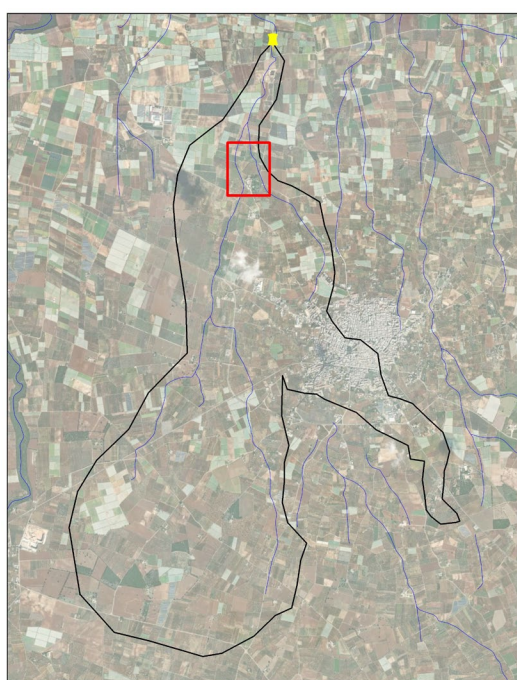


Figura 8: Bacino idrografico considerato nello studio (a sinistra) e sottobacini di pertinenza (a destra)

	Bacino Totale	Bac. sx	Bac. dx
<i>Area (kmq)</i>	20.5	15.77	4.42
<i>Flow lenght max (km)</i>	8.50	7.63	3.10
<i>Pendenza media bacino (%)</i>	2.56	2.47	2.90

Tabella 1: Dati geomorfologici del bacino idrografico in esame

3.2 Procedure regionali di valutazione della precipitazione

Nelle applicazioni idrologiche, come detto, si presenta spesso la necessità di stimare i 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, nel progetto VAPI, è condotta suddividendo l'area di studio in zone geografiche omogenee nei confronti dei parametri statistici che si è deciso di adottare.

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: Θ_1 , Λ_1 , Θ_2 , Λ_2 , che rappresentano il parametro di scala ed il numero medio annuo di eventi della variabile casuale X , provenienti rispettivamente dalla componente ordinaria e dalla componente straordinaria del processo di base. Sussistono le seguenti relazioni:

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

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si definiscano 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 livello di regionalizzazione.

Nell'elaborazione finalizzata alla definizione delle zone omogenee, si considerano solo le serie storiche 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 regionale dei dati di precipitazione massima annuale di diversa durata al primo e al secondo livello di regionalizzazione fornisce le 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 X_t di assegnata durata 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 Θ^* , Λ^* e Λ_1 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 K_T), autorizza ad

estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

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

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

in cui :

$$a = (\Theta^* \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1) / \eta$$

$$b = \Theta^* / \eta$$

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

$$C = 0.5772 \text{ (costante di Eulero)}$$

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

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b , relativi all'area in esame:

Zona omogenea	a	b
Puglia Centro-Meridionale	0.1599	0.5166

Tabella 2: Parametri a e b per la determinazione del fattore di crescita k_T

Nelle tabelle seguenti, invece, sono riportati i valori di K_T desunti dalla formula relativi ai tempi di ritorno adottati nella determinazione delle aree soggette a rischio di inondazione.

Fattore di crescita		$K_t = 0.1599 + 0.5166 \ln T$	
T	200	$K_t =$	2.90

Tabella 3: Valori di K_T per la Puglia Centro-Meridionale

3.2.1 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. L'analisi è, cioè, finalizzata alla definizione di relazioni esistenti, all'interno di aree più piccole, tra la media della distribuzione di probabilità della variabile e le caratteristiche morfologiche del territorio di riferimento, ovvero fattori fisici misurabili.

Per la Puglia, l'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di sei zone omogenee e delle rispettive curve di possibilità climatica media, come di seguito descritto.

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 media.

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

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

in cui a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_t)$ 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; 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.

Nella Figura 9 si riporta la suddivisione della regione in aree omogenee al 3° livello di regionalizzazione.

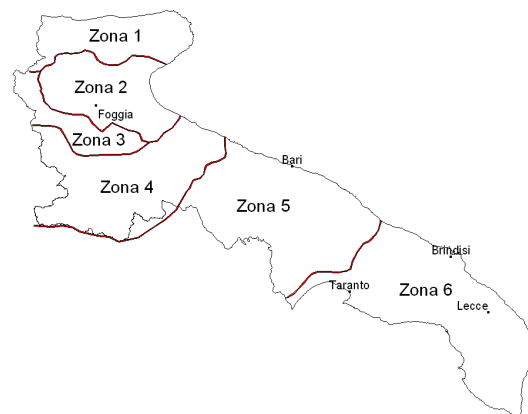


Figura 9: Zone omogenee - 3° livello

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, **in zona 5**.

Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione è pari a 0.89; per le zone di interesse i valori dei parametri sono riportati in tabella 4.

Zona	α	A	C	D
5	0.89	28.2	0.0002	4.0837

Tabella 4: Parametri della curva di possibilità pluviometrica media al 3° livello di regionalizzazione

L'equazione della curva di possibilità climatica media è la seguente:

- zona 5 $x(t) = 28.2 t^{(0.628 + 0.0002z)/3.178}$

Affinché si possano valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, ai valori ottenuti dall'equazione precedente per data durata t , vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T (valori riportati in tabella 1), ed al fattore di riduzione areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in Km^2 , 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.

L'applicazione di tale coefficiente ha la finalità di passare dall'informazione di pioggia puntuale fornita dalla curva di possibilità climatica media ad una informazione areale per tener conto che al crescere dell'area di riferimento non sono trascurabili le caratteristiche dell'evoluzione spaziale del fenomeno di precipitazione che si possono anche tradurre nella mancata contemporaneità dell'evento di pioggia sull'intera area del bacino.

3.3 Stima della portata al colmo di piena

Per giungere alla valutazione della portata nelle sezioni di interesse, si possono utilizzare differenti metodi dal cui confronto si possono determinare quelli maggiormente idonei a descrivere realisticamente dal punto di vista idraulico i bacini idrografici.

In particolare, per il bacino oggetto di studio si è utilizzato il metodo CN SCS.

3.3.1 METODOLOGIA CN SCS

Il metodo usualmente denominato "Curve Number" ed elaborato dal Soil Conservation Service, assume che la produzione del volume di deflusso superficiale o volume specifico di pioggia netta, 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:

- 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 assumere un valore compreso fra zero e cento ed aumenta al diminuire della permeabilità del suolo.

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 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. Si riporta 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, reperibile in letteratura.

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 permanenti	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tabella 5: Valori del CN in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo

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

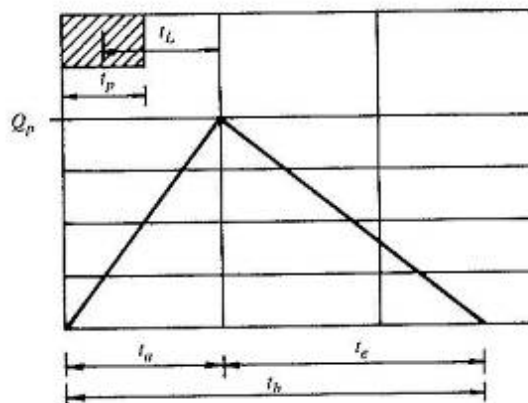


Figura 10: Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS

A seguito di analisi sperimentali del 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:

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

in cui:

- V = volume di deflusso espresso in mm, corrispondente al volume specifico (altezza) di pioggia netta ricavato con la formula e denominato precedentemente Q;
- A = area del bacino espressa in Km²;
- t_a = tempo di accumulo espresso in h.

Il tempo di accumulo, che costituisce il tempo di raggiungimento del picco dell'idrogramma, si assume in questo studio pari al tempo critico di pioggia per il bacino, ovvero il tempo di corrivazione.

Un tempo caratteristico dell'evento di piena è anche 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.

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dal SCS, è possibile affermare che il rapporto t_L/t_c è pari a 0.6, con t_L tempo di ritardo e t_c tempo di corrivazione del bacino.

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 displuviale espressa in Km.

Si riporta di seguito il tempo di ritardo e il tempo di corrivazione per i sottobacini oggetto di studio. Essi coincidono con quelli calcolati per il bacino idrografico, poiché la portata al picco di piena è stata calcolata per mezzo del coefficiente udometrico.

	Area Bacino (km ²)	t_c (h)	t_L (h)
Bacino sx	15.77	11.29	6.77
Bacino dx	4.42	11.29	6.77

Tabella 6: tempo di ritardo e di corrivazione dei bacini in oggetto

La determinazione del tempo di ritardo e di corrivazione consente di individuare le piogge critiche aventi tempo di ritorno T_r pari a 200 anni e durata pari al tempo di corrivazione stesso.

Le piogge critiche per assegnato tempo di ritorno si determinano attraverso le curve di possibilità climatica precedentemente definite; quindi si ricava il volume dell'afflusso netto al bacino, ovvero di deflusso superficiale e infine il valore della portata al colmo di piena attraverso l'applicazione del metodo Curve Number già descritto.

Per il bacino oggetto di studio, attraverso l'utilizzo di tecniche GIS, è stato calcolato il valore relativo al CN (II) pari a 65. Nella tabella di seguito sono riportati i valori delle portate al picco di piena determinate per i due sottobacini.

	Q_{200} (m^3/s)
Bacino totale	16.51
Bacino sx	12.90
Bacino dx	3.61

Tabella 7: **Portata di picco per i due sottobacini**

Determinati i valori delle portate al colmo di piena da assumere a base delle successive elaborazioni si è definita la forma dell'idrogramma di piena, che permette di valutare il volume di piena ed il tempo complessivo del fenomeno, indispensabili per pervenire alle mappe di esondazione.

Il volume dell'onda di piena è quello di Mockus, ovvero mostra il valore di portata di picco in corrispondenza del tempo di corrivazione t_c e si esaurisce in corrispondenza del tempo di ritardo t_L .

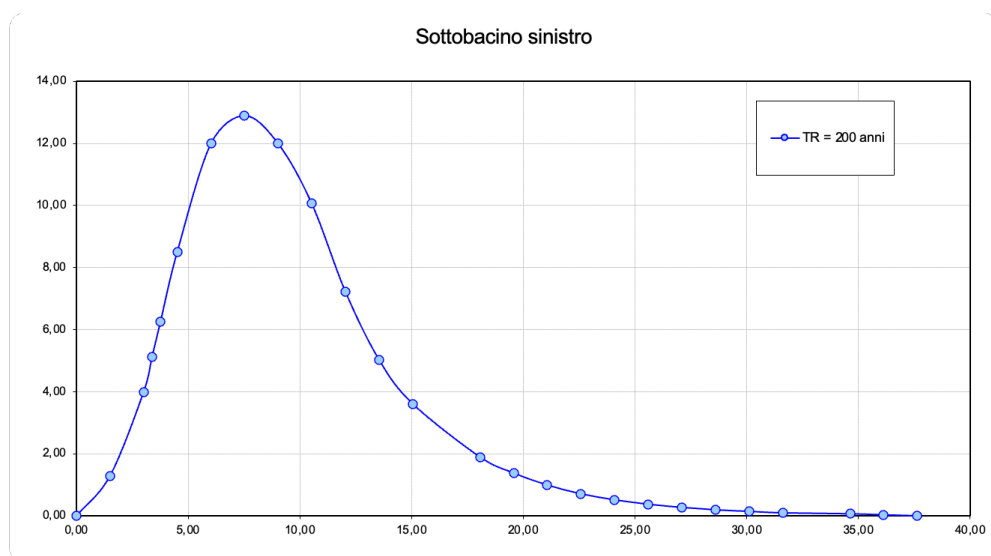


Figura 11: **Idrogramma di piena per il sottobacino Sinistro**

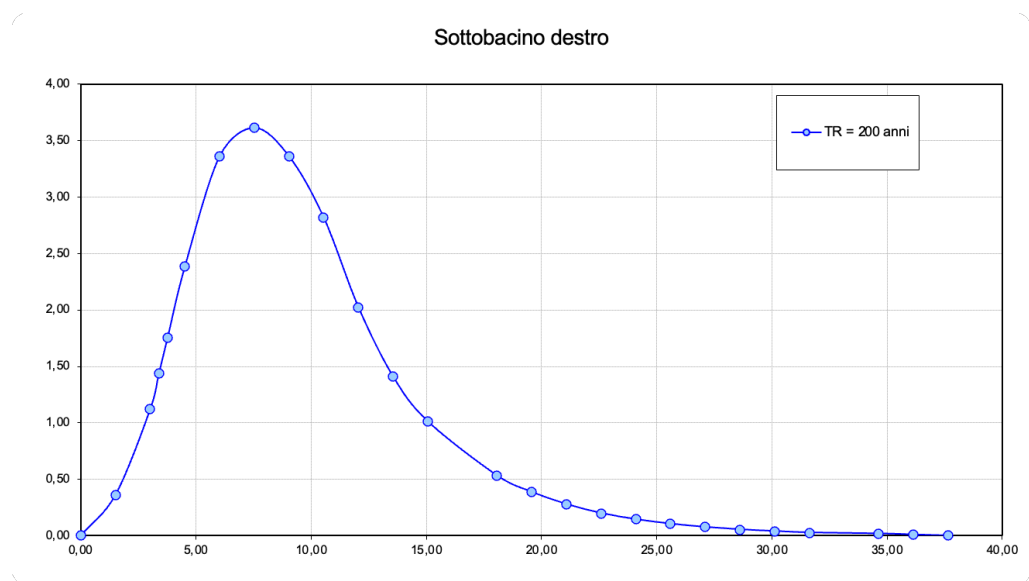


Figura 12: **Idrogramma di piena per il sottobacino Destro**

In particolare, si è assunto un idrogramma di piena triangolare con portata al colmo al tempo t_a e durata pari a $2.67 t_a$. Si riportano nella tabella a seguire i volumi di piena utilizzati nelle simulazioni con quelli derivanti dall'utilizzo del metodo di Mockus.

	Volume dell'onda di piena (m³)
Bacino sx	466751.1
Bacino dx	130779.7

Tabella 8: Valori del volume di piena

4 ANALISI IDRAULICA

Definito l'idrogramma di piena relativo al bacino di studio, si è proceduto utilizzando un modello bidimensionale per la definizione delle aree allagabili per un tempo di ritorno pari a 200 anni implementato sui software HEC-RAS e FLO-2D.

4.1 Teoria del modello idraulico bidimensionale in FLO-2D

Il modello idraulico utilizzato è il FLO-2D che permette la modellazione idraulica bidimensionale della propagazione delle piene anche quando siano interessate golene, deflussi in zone non confinate, deflussi in aree urbane, trasformazione afflussi-deflussi, deflusso delle piene in aree costiere, colate fangose e detritiche.

Il FLO-2D permette di simulare l'inondazione in una topografia complessa e con una predefinita scabrezza, basando il suo funzionamento sulla conservazione del volume della piena.

Il modello adotta l'equazione completa del moto di un'onda dinamica applicata ad uno schema centrale alle differenze finite che definisce otto potenziali direzioni di flusso per predire il procedere dell'idrogramma di piena su una griglia di elementi quadrati.

Il software obbliga una combinazione tra modello idrologico e modello idraulico e richiede per ogni simulazione di inondazione principalmente due tipi di informazione: quella associata alle quote (modello digitale del terreno, DTM) e quella idrologica.

La topografia della superficie di flusso potenziale è rappresentata da un sistema di griglie quadrate. Agli elementi di griglia sono assegnati le quote ricavate da un'interpolazione dei punti del DTM.

Attraverso il programma di pre-processor GDS (*Grid Developer System*), presente nel pacchetto FLO-2D, si genera il sistema a griglia assegnando le quote alle singole celle. Il GDS sovrappone le griglie sui punti del DTM ed interpolando per mezzo di particolari punti, detti filtri, determina le quote di ogni elemento di griglia.

Esso genera automaticamente il "*piano di piena*" (che rappresenterà schematicamente la nostra superficie di inondazione) e gli altri dati per cominciare una simulazione.

Il procedere dell'onda di piena sul dominio di flusso è controllato dalla topografia e dalla resistenza al deflusso.

La simulazione dell'inondazione che si sviluppa in due dimensioni è portata a termine tramite un'integrazione numerica delle equazioni del moto e quella di continuità.

Le equazioni costitutive su cui si basa il modello sono:

1. Equazione di continuità:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h v_x}{\partial x} = i$$

2. Equazione del moto (equazione del momento di un'onda dinamica):

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial t}$$

dove h è la profondità di flusso e V_x è la componente della velocità mediata lungo la profondità. L'eccesso di pioggia può essere diverso da zero sulla superficie di flusso. La componente di attrito del pendio S_{fx} è basata sull'equazione di Manning.

Gli altri termini includono la pendenza del letto S_{ox} , variazione di pressione e termini di accelerazione convettivi e locali.

Le equazioni del moto in FLO-2D sono definite meglio come un quasi bidimensionale. L'equazione del moto è risolta calcolando la velocità di flusso media attraverso un elemento di griglia di confine, considerando una direzione alla volta.

Ci sono otto direzioni potenziali di flusso, le quattro perimetrali (nord, sud, est, ovest) e le quattro diagonali (nordest, sudest, nordovest, sudovest).

Ogni calcolo di velocità è essenzialmente monodimensionale in natura ed è risolto indipendentemente delle altre sette direzioni.

La stabilità di questo schema numerico esplicito è basata su uno specifico criterio di controllo della misura della variabile computazionale "intervallo temporale".

La grandezza delle componenti dell'accelerazione relative alla pendenza del fondo ed ai termini di pressione è importante.

Henderson nel 1966 calcolò i termini dell'equazione del moto per un canale alluvionale ripido ed un idrogramma crescente velocemente. I risultati di Henderson sono i seguenti:

– Termini dell'equazione:	$S_o \delta y / \delta x$	$V \delta V / g \delta x$	$\delta V / g \delta t$
– Grandezza (ft/mi):	26	0.5	0.12-0.25
			0.05

dove S_o rappresenta la pendenza del fondo, $\delta y / \delta x$ è il gradiente di pressione, $V \delta V / g \delta x$ è l'accelerazione convettiva, $\delta V / g \delta t$ è l'accelerazione locale.

Egli dimostrò su varie applicazioni per diverse pendenze, che l'applicazione dell'onda cinematica ($S_o = S_f$) è sufficiente per modellare la progressione dell'onda di piena e che il contributo del gradiente di pressione e delle accelerazioni può essere trascurato.

L'aggiunta del gradiente di pressione migliorerà la simulazione del flusso su superfici caratterizzate da una complessa topografia.

L'equazione di onda diffusiva con il gradiente di pressione è necessaria se il sistema di griglie presenta depressioni topografiche.

I termini dell'accelerazione locale e convettiva sono importanti soprattutto per la soluzione di canali con pendenze nulle (secche) o con pendenze molto elevate.

Quindi è sempre usata l'equazione completa del moto, senza apportare nessuna delle semplificazioni suddette, enunciate soltanto per chiarire meglio il modello teorico che è alla base del calcolo effettuato attraverso la modellazione con il FLO-2D.

4.2 Teoria del modello idraulico bidimensionale in HEC-RAS

Per la valutazione dell'estensione delle aree inondabili si predilige l'utilizzo di modelli di moto vario su domini bidimensionali che permettono una più accurata analisi rispetto ai modelli monodimensionali estesi, fornendo risultati altamente fedeli ai valori osservati, quindi nettamente più realistici.

Il dominio bidimensionale è un'area definita dall'utente la quale viene discretizzata in maglie di calcolo di forma e dimensioni arbitrarie (mesh strutturate o non strutturate). Le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (modello digitale di riferimento); ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborata per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC-RAS.

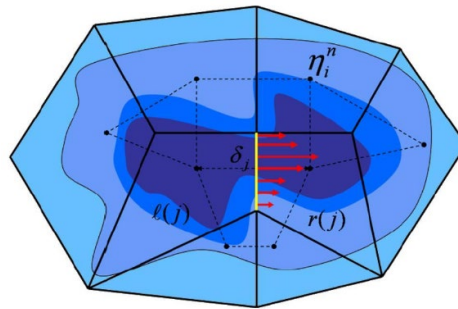


Figura 13: Rete di calcolo non strutturata

Nella Figura 13 sopra è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta al modello digitale terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo cellulari sono rappresentati dai nodi neri e sono i luoghi dove viene calcolata per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante.

Ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale in riferimento alle quali vengono applicate le equazioni del moto vario e vengono estratti i risultati in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle). Questo permette di poter utilizzare delle celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.

Le simulazioni di tale modello si basano sull'implementazione delle equazioni di De Saint Venant (DSV); che permettono di analizzare più fedelmente il flusso idrico all'interno di aree caratterizzate da morfologie complesse.

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} - q_{lat}(s, t) = 0$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \left(\frac{\partial z}{\partial x} - i + S_f \right) = 0$$

Per la risoluzione del sistema non lineare delle equazioni differenziali, il software adotta la linearizzazione proposta da Preissmann-Cunge-Chen applicata ad uno schema di calcolo implicito alle differenze finite basato su 4 punti (box scheme), illustrato nello schema seguente:

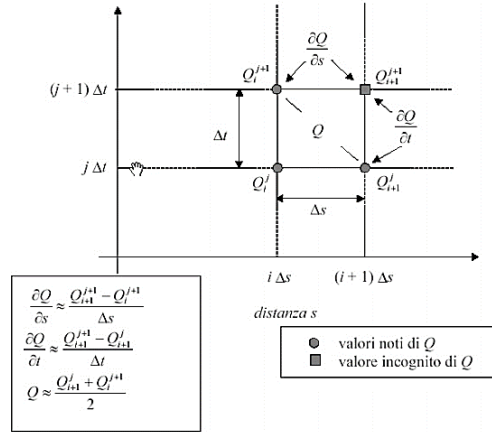


Figura 14: **Schema di calcolo**

Per la determinazione delle perdite di carico distribuite, come visto per il moto permanente, si risolve l'equazione di Chezy tenendo conto delle diverse scabrezze, secondo la seguente equazione:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Dove L è la lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate, S_f è la cadente della linea dei carichi totali, C è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1, che tiene conto delle perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della vena fluida ed i pedici 1 e 2 sono relativi alla sezione di monte ed alla sezione di valle

Riguardo alle perdite di carico concentrate, il programma considera una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica della sezione di monte risulta maggiore di quella della sezione più a valle, viceversa un'espansione. Le perdite concentrate sono espresse dalla seguente equazione:

$$h_c = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C è il coefficiente di contrazione/espansione ed i pedici 1 e 2 sono relativi alla sezione di monte ed alla sezione di valle. Le perdite di carico concentrate si hanno soprattutto in corrispondenza di ostacoli al deflusso, ovvero nel caso di ponti, dighe e altre particolarità idrauliche, per il calcolo delle quali sono stati incorporati gli stessi codici di calcolo sviluppati nel modulo relativo al moto permanente. Il programma calcola le perdite di carico come somma di tre contributi: le perdite dovute alla contrazione e all'espansione del flusso rispettivamente a monte e a valle della struttura e una perdita in corrispondenza della struttura.

4.3 Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento

Le valutazioni idrauliche condotte nel presente studio hanno consentito di delimitare le aree interessate dalle inondazioni relative alla piena di tempo di ritorno di 200 anni, determinando anche i tiranti e le velocità nei diversi punti inondatai.

Tuttavia, è bene sottolineare come l'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 la velocità di scorrimento idrico 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 una elevata velocità di scorrimento e il secondo fosse quasi statico, potrebbe risultare più pericoloso il tirante inferiore.

Anche se l'Autorità di Bacino della Puglia non fornisce indicazioni a riguardo, è possibile riferirsi ad approcci adottati da altre Autorità di Bacino che suggeriscono più oggettive modalità di perimetrazione delle aree di allagamento che tengono conto dei tiranti e delle velocità valutate nei diversi punti del bacino inondato.

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.

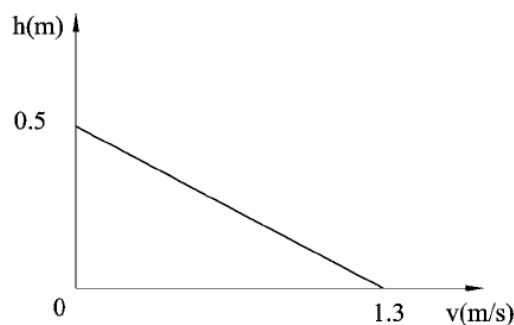
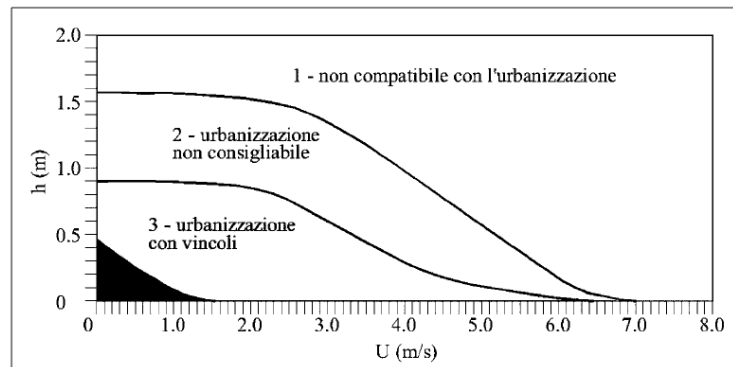


Figura 15: **Diagramma della vulnerabilità (autorità di Bacino del Tevere)**

Quindi 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 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

Figura 16: **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**);*
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 delle quali 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 $> 0,50$ m/s.**

che risultano, comunque, essere più cautelativi dei limiti proposti dalla letteratura tecnica e dalle Autorità di Bacino sopra indicate.

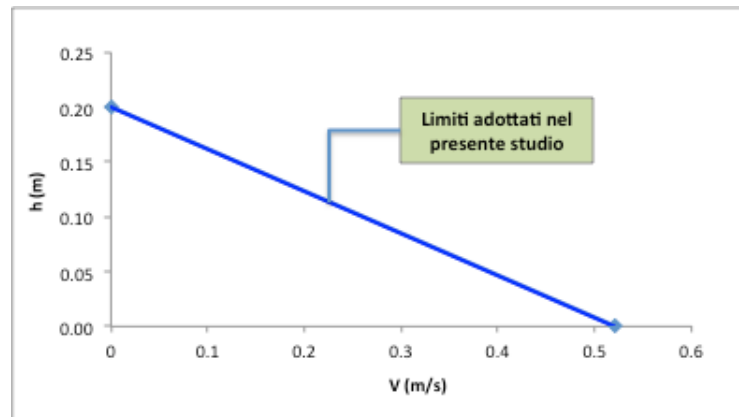


Figura 17: Filtro adottato nello studio

4.4 Descrizione del dominio computazionale

L'applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi delle immagini LIDAR, con celle di calcolo aventi dimensioni 1 m x 1 m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dello stato dei luoghi nel modello.

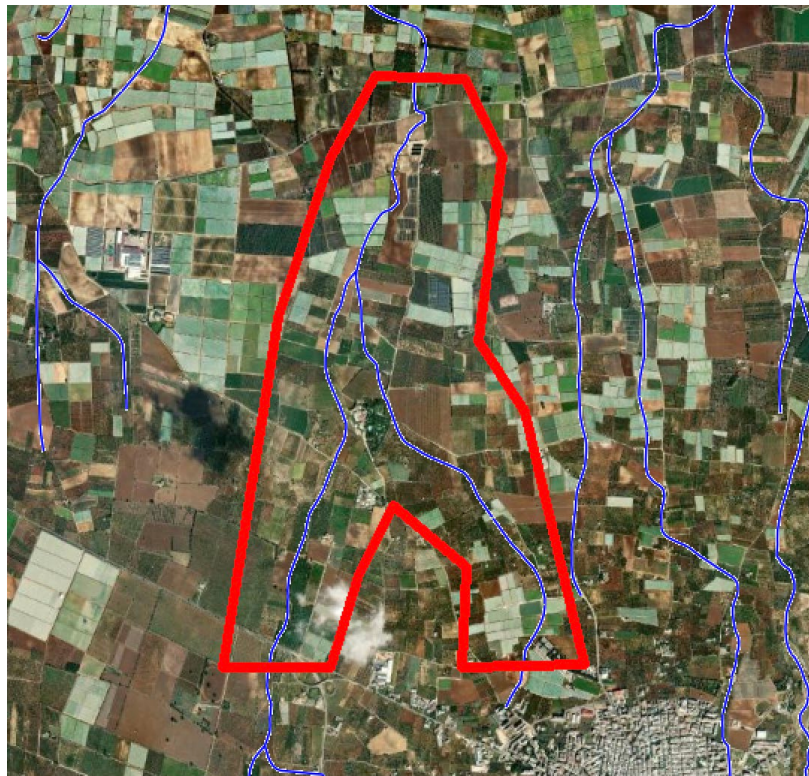


Figura 18: Dominio computazionale (in rosso)

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l'idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software. A vantaggio di sicurezza le portate sono state inserite a monte di ciascuna asta fluviale individuata come si evince dalla Figura 18.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Area and Width Reduction Factors*: per simulare la presenza di ostacoli al deflusso, in questo particolare caso sono state bloccate le celle a monte della cella di input per costringere il modello a propagare la piena verso valle.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 21 ore. La dimensione del dominio computazionale e la scelta delle celle di input, confrontata con l'estensione del bacino idrografico permette di intuire la chiara intenzione del tecnico di ridurre al minimo l'effetto laminazione del bacino di monte.

4.5 Modello adottato nello studio

Si è proceduto a verificare la pericolosità Idraulica relativamente ad un tempo di ritorno pari a 200 anni così come indicato dall'art. 36 delle NTA dell'AdB della Puglia.

Si riportano in Figura 19 i risultati delle simulazioni condotte nei due softwares in termini di tiranti idrici massimi, mentre in Figura 20 si riportano gli inviluppi dei tiranti filtrati (secondo Figura 17) così da definire le aree in Media Pericolosità Idraulica. Si evidenzia come le aree interessate per un Tr di 200 si riducano e soprattutto che l'area di nuovo intervento non ne risulti contraddetta.

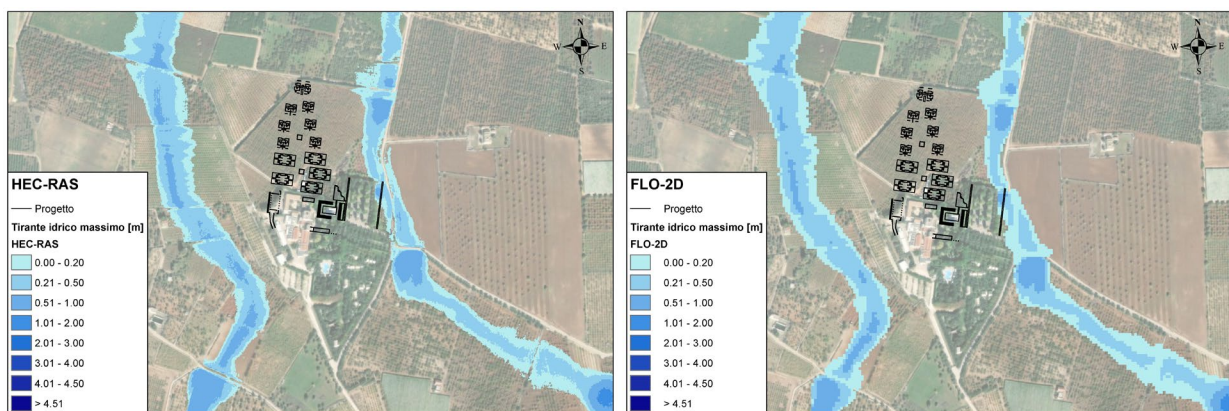


Figura 19: Risultati della simulazione bidimensionale

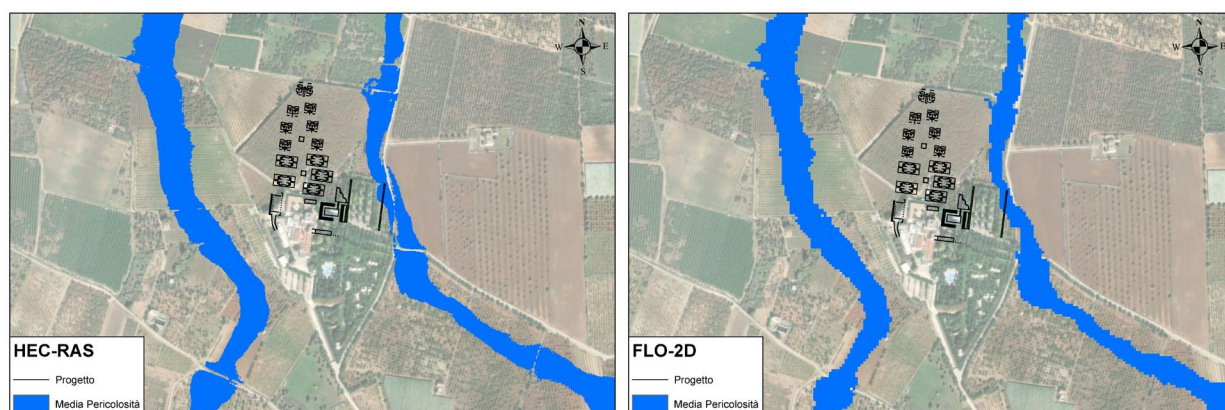


Figura 20: Risultati filtrati della simulazione bidimensionale

5 CONCLUSIONI

Si presenta uno studio idrologico-idraulico e si richiede parere di compatibilità idraulica per un intervento di nuova costruzione per lavori di ampliamento presso Villa Menelao in comune di Turi.

Lo studio condotto ed i risultati della modellazione bidimensionale secondo due softwares hanno evidenziato come l'area prevista per l'intervento sia esterna alle aree in Media Pericolosità idraulica così come previsto dalla NTA dell'Adb della Puglia.

6 ELENCO ALLEGATI

TAV. 01	<i>Inquadramento</i>
TAV. 02	<i>Intervento in oggetto</i>
TAV. 03	<i>Planimetria bacini</i>
TAV. 04	<i>Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</i>
TAV. 05	<i>Piano Assetto Idrogeologico (PAI)</i>
TAV. 06	<i>Pericolosità Idraulica</i>