

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DESCRIZIONE DEI LUOGHI	3
3	STUDIO IDROLOGICO	8

1 PREMESSA

La presente relazione idrologica è di accompagnamento alla progettazione dei *Lavori di completamento delle aste di collegamento tra la S.S. 16 "Adriatica" e la litoranea (ex SS 16) a nord ed a sud di Molfetta ed a sud di Giovinazzo lungo il tratto tra il km 774+200 ed il km 785+600 e Sistemazione funzionale Rotatoria e assi viari di collegamento tra il nuovo porto commerciale e le zone produttive e la S.S. 16 bis (Priorità n.3 C.S.LL.PP.)*

Il progetto in parola si sovrappone all'intervento inerente la mitigazione del rischio idraulico della Zona P.I.P. di Molfetta, per il quale si prevede la rinaturalizzazione di Lama Marcinase e la rigenerazione di Lama Scorbeto. Quest'ultima attraversa la complanare della S.S. n.16, la Strada Vicinale Padula e l'ex S.S.n.16 interessate dal presente progetto.

Nell'ambito dell'intervento "*Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del Comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase*", è stato condotto uno studio idrologico i cui dati di riferimento sono stati forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale. Per quanto attiene il bacino in destra idraulica di Lama Scorbeto, nella presente relazione è stato condotto uno studio idrologico atto alla definizione delle relative portate per gli assegnati tempi di ritorno.

2 DESCRIZIONE DEI LUOGHI

Il Comune di Molfetta sorge a 25 km a nord-ovest della città di Bari e si affaccia sul Mare Adriatico. Il territorio si estende verso l'entroterra pugliese e confina a sud anche con il comune di Terlizzi. Dal punto di vista geomorfologico, esso è costituito dalle bancate calcaree del Cretaceo inferiore, piuttosto profondamente carsificate come dimostrato dal sito naturalistico-archeologico del Pulo e dalle profonde voragini carsiche in cui ci si imbatte molto spesso durante gli scavi per la realizzazione dei piani di fondazione dei nuovi edifici, concentrate in particolare lungo i margini delle lame che lo solcano in direzione mediamente perpendicolare alla costa. Le lame stesse costituiscono di per sé una delle forme macroscopiche di carsismo e pignone e rappresentano un forte indizio di presenza di forme carsificate ipogee.

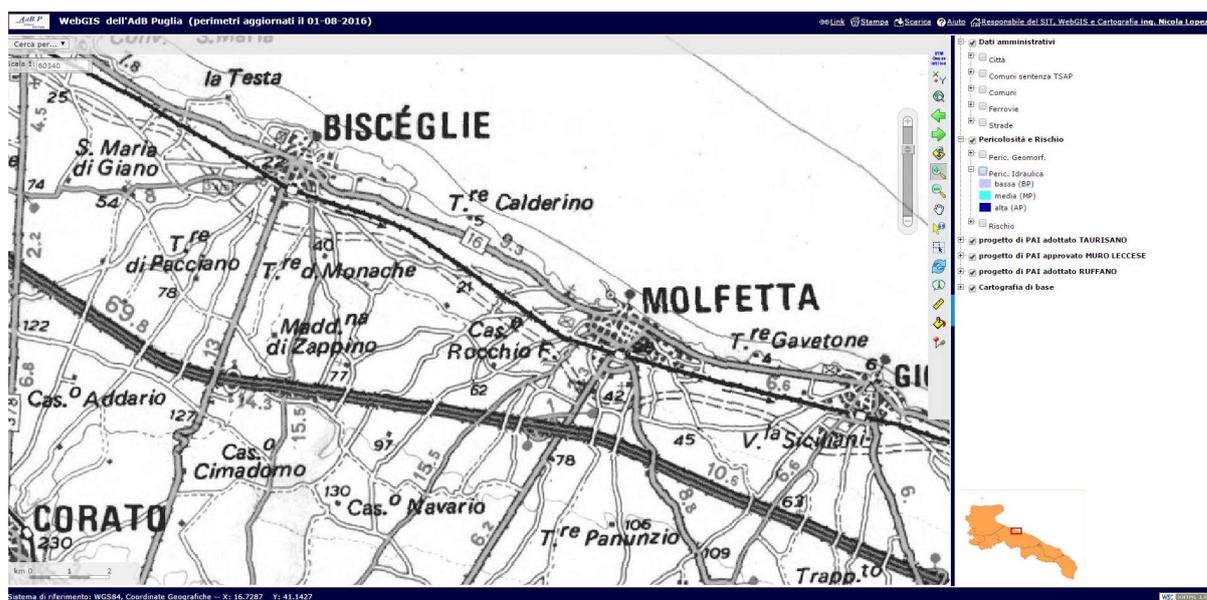


Figura 2.1 - Stralcio planimetrico IGM 1:25.000 area di intervento

Tuttavia il territorio, pur non molto esteso, ha avuto una vocazione prevalentemente agricola, almeno fino al termine del XX secolo, prima cioè che vi trovasse insediamento una vasta zona industriale (ASI - P.i.p.). Lo sviluppo del comparto industriale nell'area attraversata da lame naturali nella regione nord-ovest del territorio comunale, ha generato una seria problematica connessa allo smaltimento delle acque meteoriche. Ultima in ordine temporale è l'onda di piena che ha investito la predetta area lo scorso 17 luglio 2016 comportando seri danni alle aziende ivi presenti. Difatti l'area industriale taglia perpendicolarmente il reticolo idrografico in più punti, rispetto ai quali, durante l'edificazione non furono previsti attraversamenti per consentire il regolare deflusso delle acque meteoriche verso la costa.

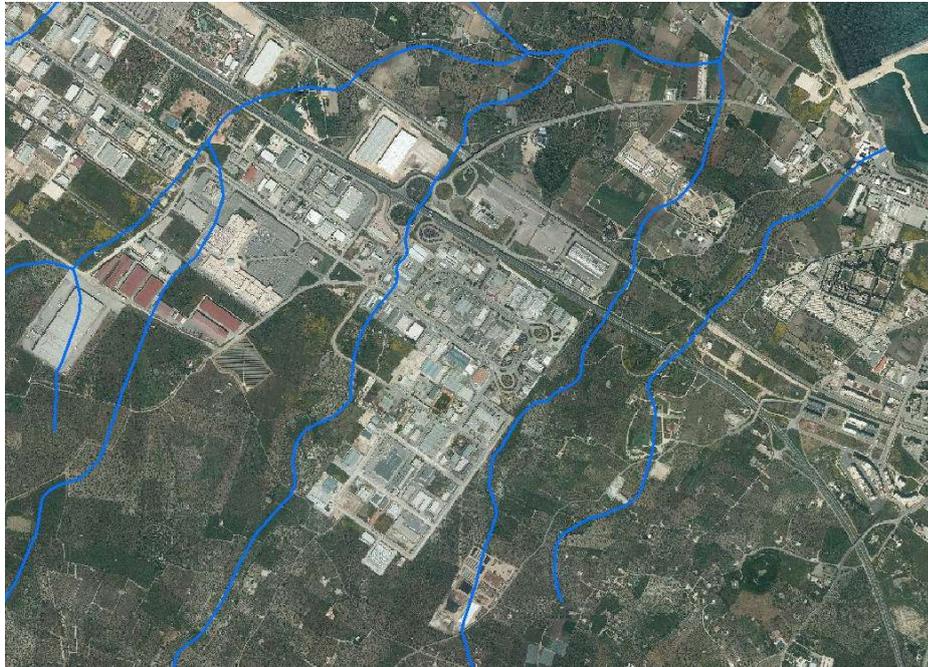


Figura 2.2 - Stralcio planimetrico su ortofoto con sovrapposizione del reticolo idrografico

Osservando la planimetria delle aree allagabili della zona oggetto di intervento, si comprende facilmente come di fatto l'area ASI - P.I.P. abbia creato uno sbarramento alle acque zenitali del bacino disposto a monte della zona industriale. Il fronte d'acqua difatti segue le incisioni delle lame sino all'intersezione con l'area industriale, ove l'acqua avanza in forma diffusa e priva di regimazione.



Figura 2.3 - Stralcio planimetrico su ortofoto con sovrapposizione delle aree inondabili AdB Puglia

Percorrendo la lama Marcinase sono di facile individuazione gli elementi di criticità che scaturiscono proprio dalla presenza degli insediamenti produttivi.

Un primo elemento di criticità è rappresentato dalla viabilità della zona PIP che con il rilevato stradale di via degli Agricoltori funge da vero e proprio sbarramento al deflusso della piena costringendo l'acqua a percorrere altre direzioni o come nel caso dei recenti eventi alluvionali a sormontare il rilevato stradale e a proseguire verso valle provocando gli allagamenti dei capannoni.



Figura 2.4 - Criticità riscontrate lungo la lama Marcinase

Proseguendo verso valle la lama scompare ed al suo interno si rileva la presenza degli insediamenti produttivi.

Risulta però visibile all'occhio umano la presenza della fascia fluviale semplicemente percorrendo via dei Lavoratori: la sede stradale occupa la fascia centrale della lama mentre le aree golenali e di espansione in destra e sinistra idraulica sono occupate dai vari stabilimenti posti morfologicamente sui punti più alti.



Figura 2.5 - La lama lungo "Via dei Lavoratori"

L'unico segno tangibile della presenza della lama è il viadotto a tre campate della strada statale, oggi però attraversato al fondo "lama" dalla viabilità interna dell'area ASI e P.I.P.

Nel suo tratto terminale a valle della SS16 la morfologia è meno accentuata, l'alveo appare occupato da molteplici coltivazioni (uliveti, vigneti, colture orticole) e da serre. La presenza della lama è scarsamente percepibile tanto che in corrispondenza dell'intersezione con la strada vicinale Padula da cui si diparte il viadotto di sovrappasso della linea ferroviaria per raggiungere la zona industriale, non risulta traccia di opere d'arte di attraversamento che garantiscano il deflusso delle acque di piena.

La lama Scorbeto, diversamente dalla Marcinase, è morfologicamente meno accentuata e la sua presenza è poco percepibile. La sua intera superficie è coltivata ad olivo e sono completamente assenti elementi di naturalità.

Nel tratto in prossimità della zona produttiva in asse al tracciato della lama si rileva la presenza di una azienda vivaistica che con la sua estensione occupa completamente la fascia di pertinenza della lama.



Figura 2.6 - Azienda vivaistica sul tracciato della lama Scorbeto

Più a valle la continuità della lama è interrotta dalla presenza della strada statale e dalla linea ferroviaria. Sulla prima non risulta presente in asse al tracciato del reticolo alcun elemento di continuità idraulica mentre per la linea ferroviaria si rileva la presenza di un piccolo manufatto di attraversamento.



Figura 2.7 - Le interferenze con le infrastrutture

A valle delle linea ferroviaria vi è un cenno della lama che tuttavia risulta totalmente occupato dall'impronta dell'impianto di depurazione del comune di Molfetta.

In prossimità della linea di costa, punto in cui la lama Scorbeto e la Marcinase si congiungono, l'attraversamento della ex strada statale S.S. 16 e le opere di urbanizzazione realizzate anni addietro dal comune di Molfetta ricordando la loro presenza.

In corrispondenza della vecchia strada statale infatti si rileva la presenza di un manufatto di attraversamento in cemento armato mentre a valle vi è un accenno di sistemazione idraulica sino alla linea di costa.



Figura 2.8 - La foce della lama "Scorbeto – Marcinase"

3 STUDIO IDROLOGICO

3.1 L'IDROGRAMMA DI PIENA LAMA MARCINASE E LAMA SCORBETO

Le verifiche idrauliche degli interventi in progetto sono state condotte mediante l'impiego di dati di portata per assegnati tempi di ritorno forniti dall'autorità di Bacino della Regione Puglia. Nella seguente tabella se ne riporta un riepilogo distinto per la Lama Marcinase e per la Lama Scorbeto per eventi con tempo di ritorno rispettivamente di 30, 200 e 500 anni.

Lama	T _c (h)	Q ₃₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)	V ₃₀ (m ³)	V ₂₀₀ (m ³)	V ₅₀₀ (m ³)
Marcinase	3.06	18,14	34,13	42,20	501.189	942.913	1.165.773
Scorbeto	2.25	16,93	33,10	41,37	301.943	590.347	737.891

Tabella 3.1 - Portate al colmo di piena e volumi per il bacino della Lama Marcinase e della Lama Scorbeto forniti dall'AdB della Puglia

L'idrogramma impiegato nelle simulazioni bidimensionali è quello proposto con la metodologia del Soil Conservation Service. Questo metodo 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 m³, ha la seguente espressione:

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

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

con t_b durata dell'evento di piena.

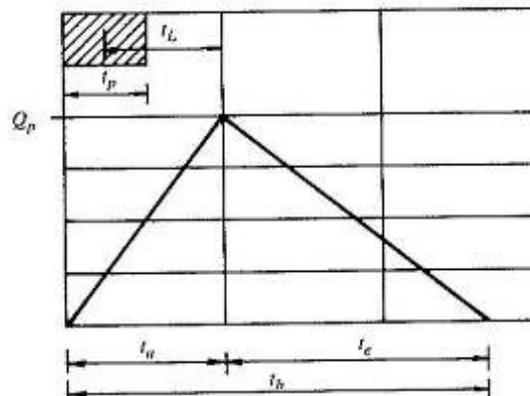


Figura 3.1 - Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS

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:

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

in cui:

V = volume di deflusso espresso in mm;

A = area del bacino espressa in Km²;

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:

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

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 displuviate 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.

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).

I valori di portata sono stati utilizzati nelle analisi idrauliche finalizzate alla definizione delle condizioni effettive di pericolosità idraulica dell'area.

Dovendo procedere, per gli impluvi relativi ai bacini suddetti, alla modellazione in moto vario si è ricavato anche il relativo idrogramma di piena che di seguito si riportano:

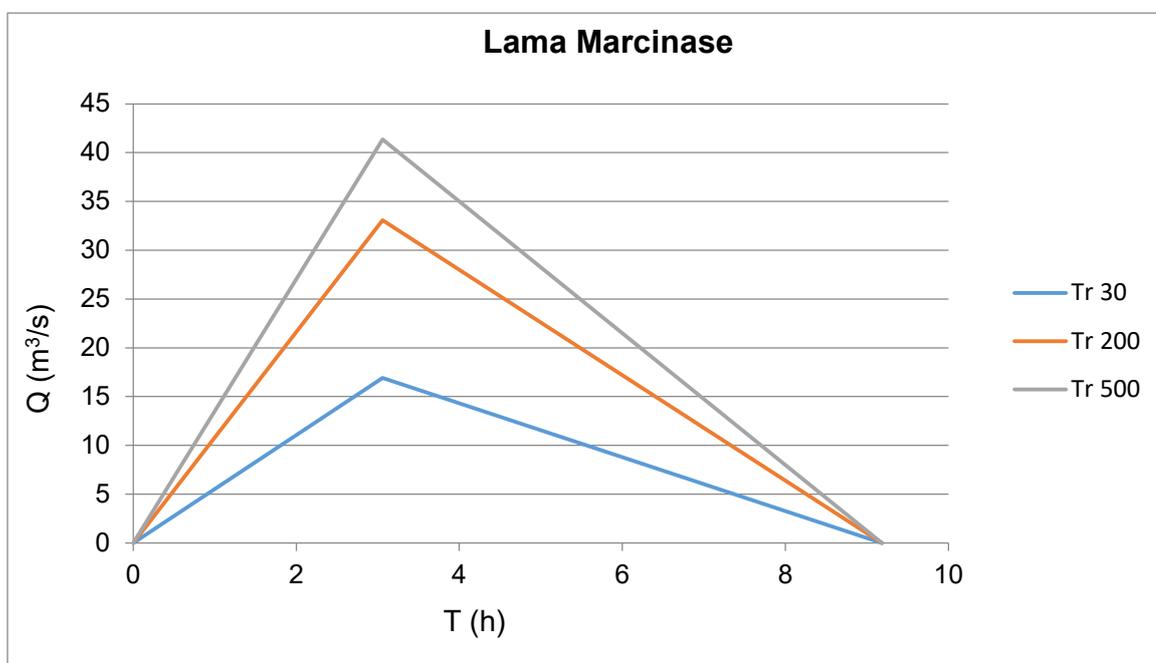


Figura 3.2 - Idrogramma di piena Lama Marcinase

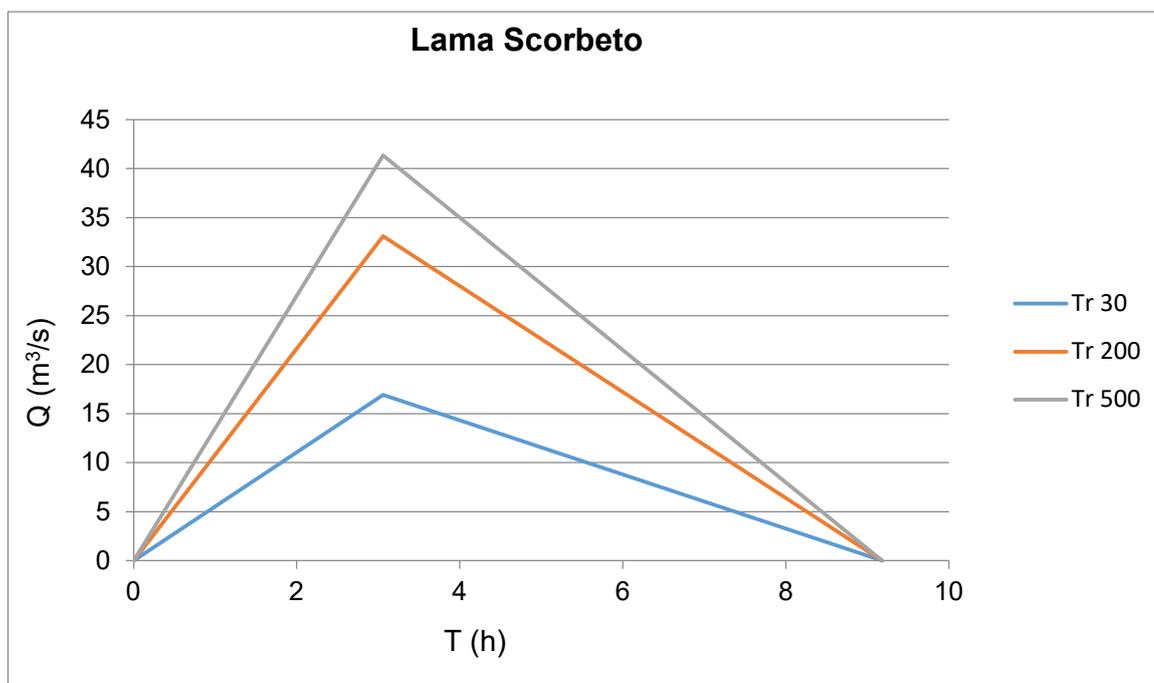


Figura 3.3 - Idrogramma di piena Lama Scorbeto

3.2 STUDIO IDROLOGICO LAMA IN DESTRA IDRAULICA DI LAMA SCORBETO

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 dei bacini idrografici 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.

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.

Nella tabella seguente si riportano alcune grandezze caratteristiche del bacino afferente all'impluvi oggetto di studio:

A (Km ²)	L (Km)	Z _{media} (m s.l.m.)	i _{media}
1.31	12.38	51.92	1.96%

Tabella 3.2 - Caratteristiche geomorfologiche del bacino scolante dell'impluvi oggetto di studio

Con

A = superficie del bacino;

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

Z_{media} = quota media del bacino;

i_{media} = pendenza media del bacino.

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 l'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.

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 di osservazioni della variabile casuale Y provenienti dalla componente ordinaria e dalla componente secondaria. Si ottiene:

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1$$

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

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 K_T), 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^* e Λ_1 , si ottiene la curva di crescita per la zona della Puglia centro – meridionale

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 :

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

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

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

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

$$T_o = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_1^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\Theta^*}\right)$$

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	To	η
Puglia centro-meridionale	0.1599	0.5166	-0.6631	4.1053

Tabella 3.3 - 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 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

Tabella 3.4 - Valori di K_T Puglia Centro-Meridionale

3.4 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:

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

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	a	a	C	D	N
5	“	28.2	0.0002	0.628	-

Tabella 3.5 - Parametri delle curve di 3° livello

Nella figura si riporta la suddivisione della regione in aree omogenee.

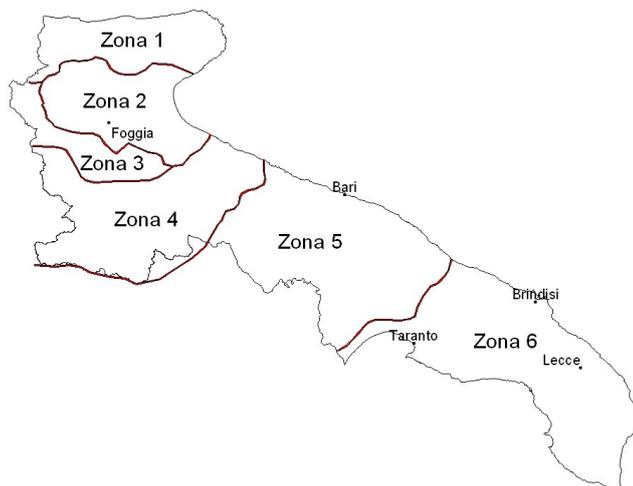


Figura 3.4 - Zone omogenee, 3° livello

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, in zona 5; pertanto, l'equazione da applicare è la seguente:

$$X = 28.2t^{[(0.628+0.0002)/3.178]}$$

Tale equazione consente di valutare i valori delle altezze di pioggia medi delle serie dei massimi considerata per questa zona per i differenti intervalli di precipitazione prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare; per questo studio, per ciascuno dei bacini afferenti agli impluvi in esame si è utilizzata la rispettiva quota media.

Ai valori così ottenuti vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), 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. I valori delle altezze di pioggia così ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tempo di ritorno (anni)	Altezze di pioggia in mm per durate di:				
	1(h)	3(h)	6(h)	12(h)	24(h)
30	54.05	67.33	77.34	89.05	102.35
200	81.70	101.87	117.08	134.58	154.69
500	95.04	118.51	136.22	156.57	179.96

Tabella 3.6 - Altezze di pioggia in funzione del tempo di ritorno per l'impluvio

3.5 ANALISI IDROLOGICA

Per giungere alla valutazione della portata nelle sezioni di interesse, congruamente con la modellazione realizzata dalla AdB nella analisi del rischio idraulico, si è utilizzato il metodo CN SCS.

Tale metodo è stato definito sulla base di studi effettuati su bacini con estensione media inferiori a 15-20 Km², pertanto, dal momento che il bacino in esame ha estensione inferiore ai 0.4 Km² si è ritenuto particolarmente adatto l'impiego del 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:

S₀ 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 CN-SCS 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.

Per lo studio in oggetto, attraverso l'utilizzo di tecniche GIS, sono stati calcolati i seguenti valori relativi alle diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento (AMC I, II e III):

CN I	CN II	CN III
43.55	62.46	79.12

Tabella 3.7 - Valore dei parametri CN per li bacino con riferimento alle diverse classi AMC

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.

3.5.1 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 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.

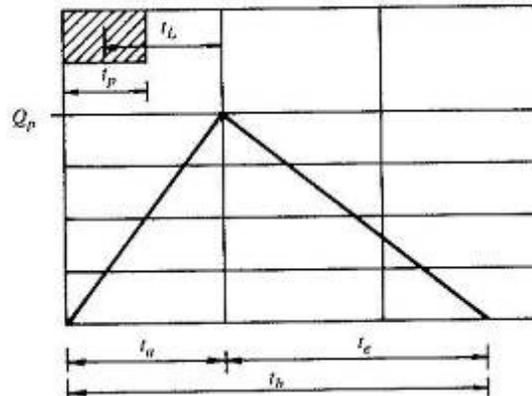


Figura 3.5 - Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS

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:

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

in cui:

V = volume di deflusso espresso in mm;

A = area del bacino espressa in Km²;

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:

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

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 displuviate 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.

3.5.2 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, si è scelto di utilizzare il valore del Curve Number relativo alle condizioni di umidità alta del suolo del bacino antecedenti l'evento ovvero il CN (III). Attraverso la convoluzione di tale afflusso netto con l'idrogramma definito dall'SCS, precedentemente valutato per i bacini in esame, si ottengono i risultati contenuti nella seguente tabella:

BACINO	t_L (ore)	$T_r = 30$ anni		$T_r = 200$ anni		$T_r = 500$ anni	
		I (mm)	Q_{max} (m^3/s)	I (mm)	Q_{max} (m^3/s)	I (mm)	Q_{max} (m^3/s)
	2.85	60.53	1.49	98.34	3.04	116.6	3.85

Tabella 3.8 - tempo di ritardo, pioggia netta e portata al colmo di piena per il bacino in esame e per i tempi di ritorno di riferimento

I valori di portata così determinati, sono stati utilizzati nelle analisi idrauliche finalizzate alla definizione delle condizioni effettive di pericolosità idraulica dell'area.

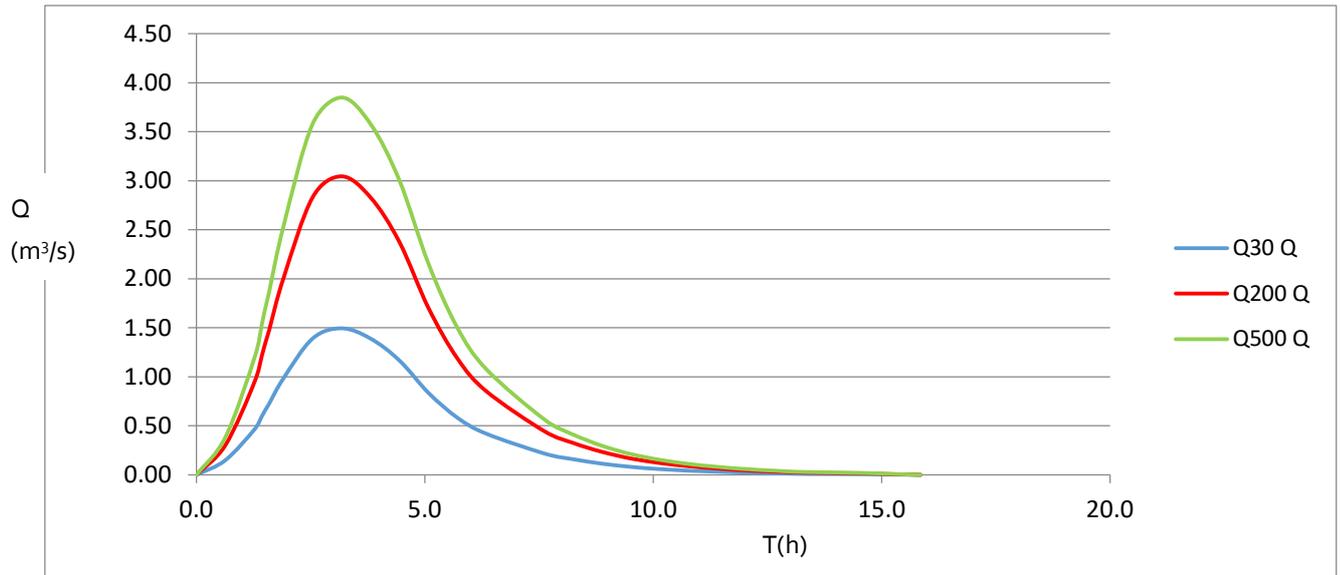


Figura 3.6 - Idrogramma di Mokus