



30 APRILE 2020

UNITA' DI MISURA S.R.L.

LITORANEA JONICA SS106 KM 9

COMUNE DI TARANTO

NUOVO IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI PLASTICI NON PERICOLOSI E PRODUZIONE DI SECONDARY REDUCING AGENT (SRA)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO 13

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ
IDROLOGICA ED IDRAULICA**

Progettisti (o coordinamento)

Ing. Michele Mirelli /n. 564 Ordine ingegneri Provincia di Taranto



Codice elaborato

2544_3852_A3_PD_R13_Rev0_Studio di compatibilità idrologica ed idraulica.docx



Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2544_3852_A3_PD_R13_Rev0_Studio di compatibilità idrologica ed idraulica.docx	04/2020	Prima emissione	MD	MM	MM

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro
Michele Mirelli	Ingegnere Meccanico
Michele De Marco	Ingegnere Idraulico

INDICE

PREMESSA	4
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2 ANALISI TOPOGRAFICA	8
3 ANALISI IDROLOGICA	10
3.1 <i>Analisi morfometrica</i>	10
3.2 <i>Curve di possibilità pluviometrica</i>	13
4 ANALISI IDRAULICA	18
4.1 <i>Massimizzazione delle portate di piena col metodo SCS</i>	18
4.2 <i>Simulazione idraulica bi-dimensionale</i>	27
CONCLUSIONI	30
BIBLIOGRAFIA	32

Allegati alla relazione:

- ALLEGATO 01: Inquadramento su IGM e Carta IdroGeomorfologica
- ALLEGATO 02: Inquadramento su Ortofoto e Carta Tecnica Regionale
- ALLEGATO 03: DTM Regione Puglia e Rilievo LIDAR - Topografico
- ALLEGATO 04: Bacini Idrografici e Curve Number
- ALLEGATO 05: Simulazione Idraulica Bidimensionale (TR30 anni)
- ALLEGATO 06: Simulazione Idraulica Bidimensionale (TR200 anni)

PREMESSA

Il presente lavoro è stato redatto su incarico della società "Unità di Misura srl", proprietaria di un opificio industriale ubicato in agro di Taranto alla Località "Pantano" – S.S. 106 Jonica km 9

L'immobile in argomento, dalle sovrapposizioni con il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia ricade in area definita a Media Pericolosità idraulica e pertanto rientra nell'ambito di applicazione dell'art. 8 delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) dello stesso.

Gli interventi oggetto del progetto definitivo, come meglio descritto negli elaborati di progetto allegati al presente studio, rientrerebbe negli interventi consentiti dal comma 1 del suddetto articolo e pertanto lo studio è stato redatto ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle citate Norme Tecniche ed in conformità con le impostazioni tracciate all'interno del documento denominato "Principali Indicazioni Metodologiche" - Allegato 3 alla Delibera di Adozione del PAI n. 25 del 15/12/2004.

Nello specifico le "Indicazioni Metodologiche" prevedono le seguenti fasi:

Fase conoscitiva:

- ☒ acquisizione dello "Studio idrogeologico finalizzato all'adeguamento del Piano di assetto idrogeologico nelle località di Lido Azzurro e Tamburi", Amministrazione Comunale di Taranto.
- ☒ acquisizione della cartografia disponibile: cartografia IGM scala 1:25.000, CTN scala 1:5.000 e 1:1.000;
- ☒ acquisizione dati geometrici e topografici delle sezioni di interesse con tecniche GPS;
- ☒ acquisizione dati geometrici e topografici delle sezioni di interesse tramite rilievo LIDAR e rilievo topografico

Analisi Geomorfologica

- ☒ costruzione del Modello Digitale del Terreno;
- ☒ delimitazione del bacino idrografico e sottobacini;
- ☒ individuazione reticolo idrografico;

Analisi Idrologica

- ☒ definizione della/e curva/e di possibilità climatica mediante la metodologia VAPI
- ☒ implementazione del modello idrologico
- ☒ calcolo delle portate di piena per Tr 30, Tr 200 e Tr 500

Analisi Idraulica

- ☒ implementazione del modello idraulico bidimensionale attraverso il software di calcolo InfoWorks ICM 4.0;
- ☒ elaborazione della carta delle aree inondabili per i prefissati tempi di ritorno in ambiente ArcGIS

Tutte le analisi condotte sono state riferite alla Cartografia Tecnica Regionale nel sistema di riferimento UTM33 WGS84.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il progetto in esame è ubicato nel territorio comunale di Taranto (TA), alla Litoranea Jonica S.S. 106, km 9 - Zona di Sviluppo Industriale e Servizi Reali alle Imprese del Comune di Taranto (Consorzio S.I.S.R.I., ex polo A.S.I. – Area di Sviluppo Industriale) in località "Pantano" Litoranea Jonica S.S. 106 km 9, ed è prospiciente l'area del molo polisettoriale.

La zona nella quale sarà realizzati gli interventi di progetto è caratterizzata da un'alta percentuale di consumo di suolo operata all'interno del territorio comunale, dovuta a una forte presenza antropica in termini di attività industriali e artigianali.

L'idrografia superficiale è caratterizzata prevalentemente dalla presenza di un corso d'acqua perenne, il fiume Tara, nel quale si immette il Canale Gennarini (artificiale) deputato a convogliare le acque scolati dalle gravine di Statte e di Crispiano. Secondariamente ci sono i canali di bonifica del Maestro, che afferisce al Fiume Patemisco e il Bellavista, con relativo Colatore, che sfocia direttamente a mare.

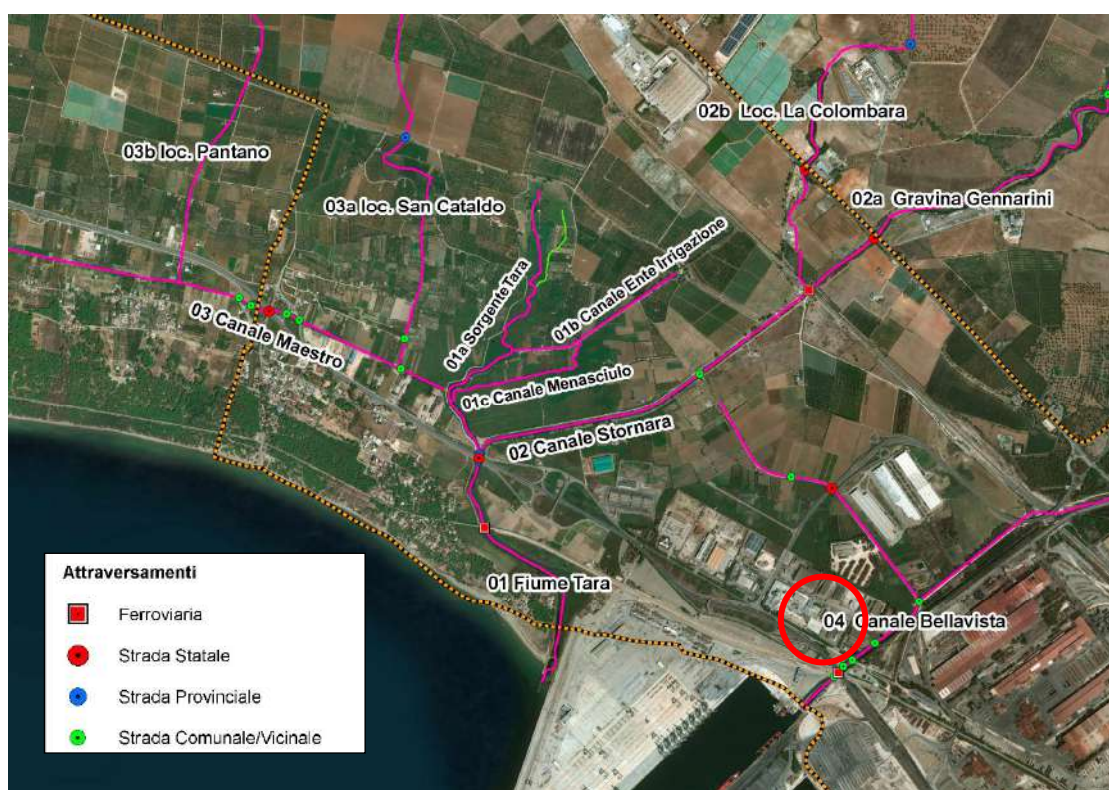


Figura 1 - Ubicazione area di progetto

La cartografia ufficiale disponibile sul territorio è la seguente:

- Foglio IGM 1:100.000 Foglio 202 "Taranto"
- Fogli IGM 1:50.000 Foglio 493 "Taranto"
- Fogli IGM 1:25.000 serie v, Tav. 202-IV-SE "Fermata Bellavista"
- Fogli IGM 1:25.000 493-IV "Massafra" e 493-I "Statte"
- Tavole della Carta Tecnica Regionale della Regione Puglia n. 493062 e 493073

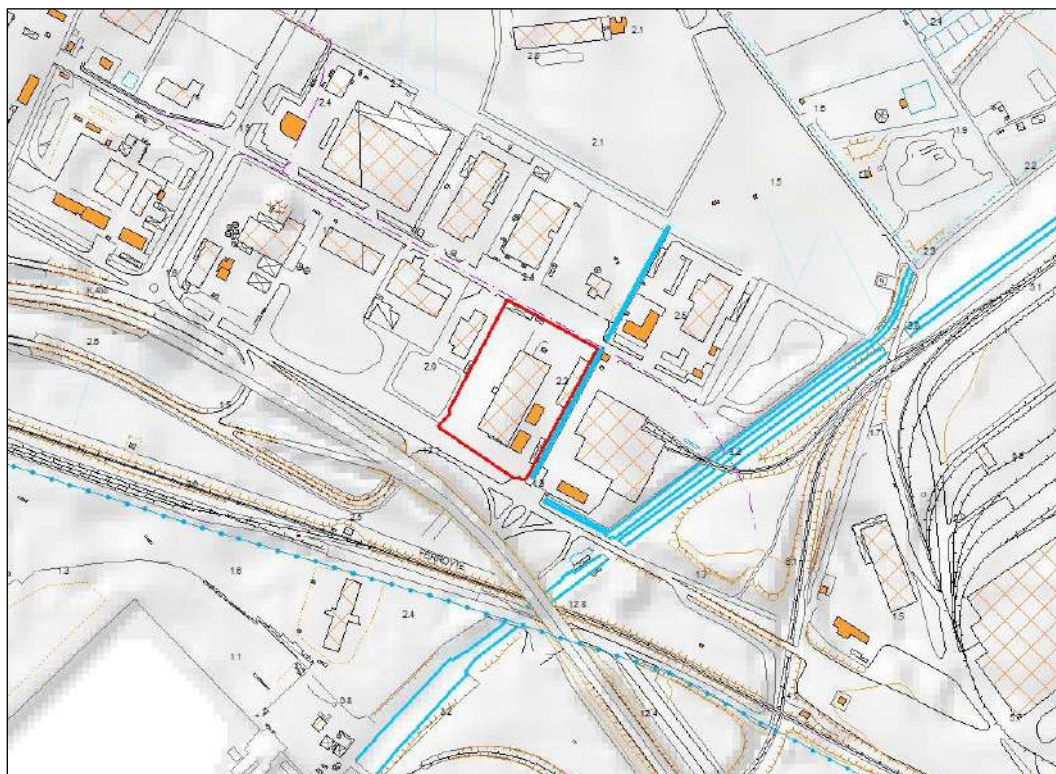


Figura 2 - Inquadramento del progetto su CTR Regione Puglia

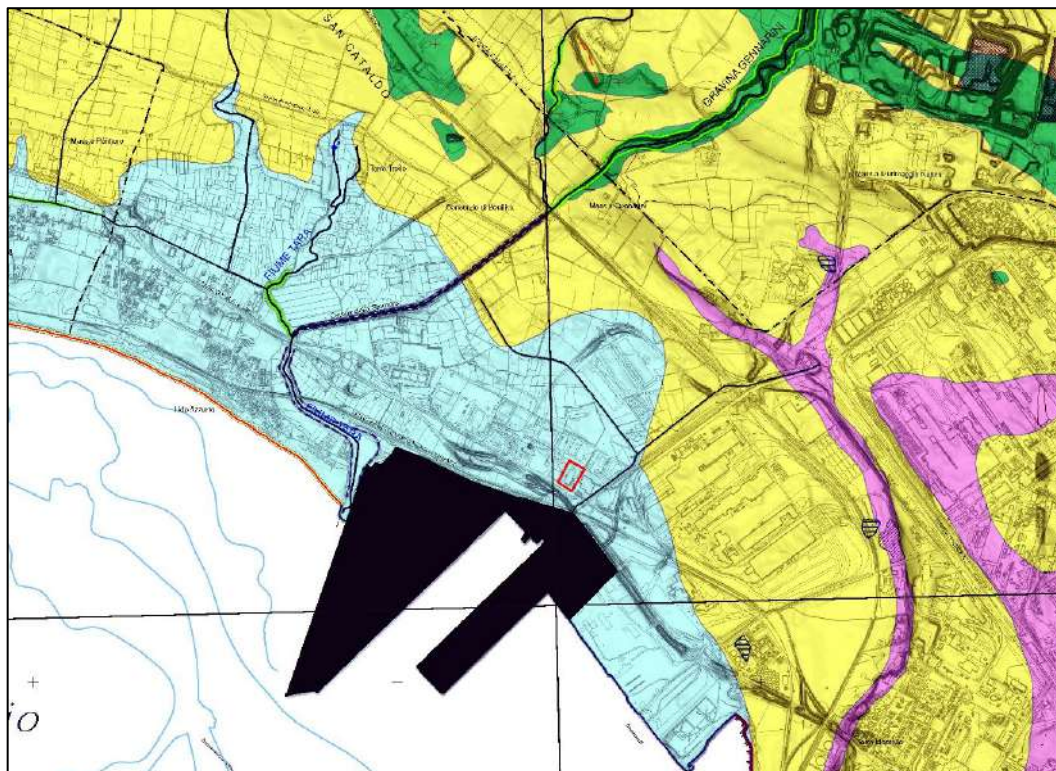


Figura 3 - Estratto della Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia - Foglio 493 TARANTO

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

Per quanto riguarda le attuali previsioni del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia l'area risulta essere classificata come area a Media Pericolosità Idraulica (MP). Nello specifico l'area risulta essere quella situata in prossimità del Canale Fiumetto.

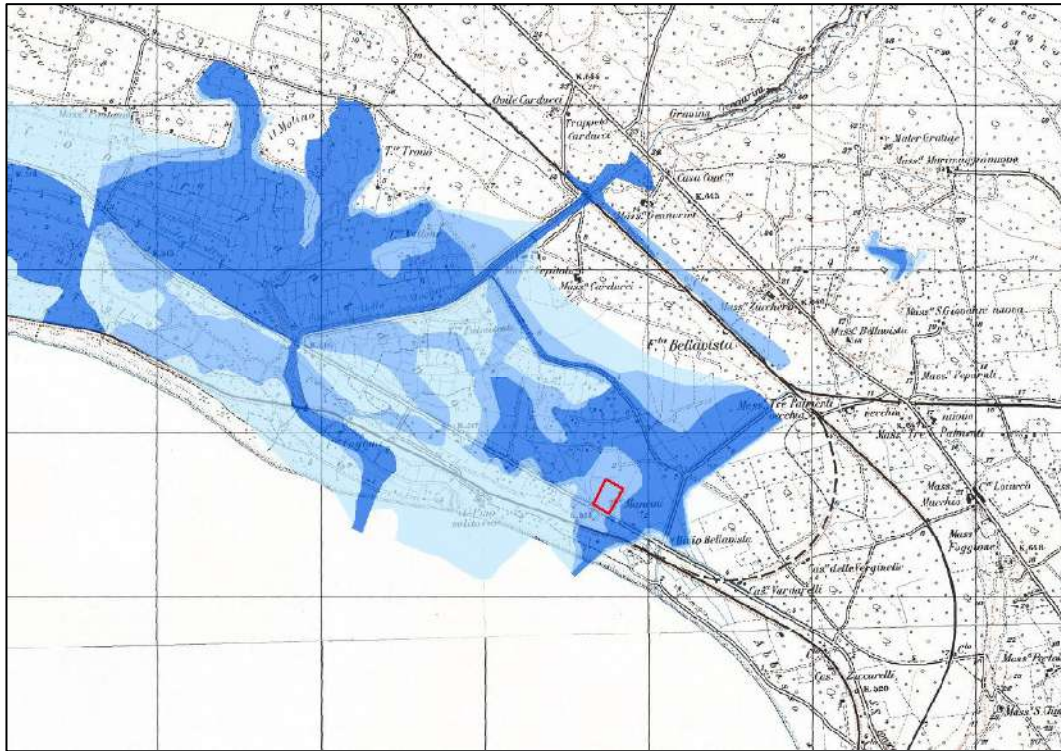


Figura 4 – Inquadramento su IGM e PAI vigente

2 ANALISI TOPOGRAFICA

Il DTM della Regione Puglia è stato assunto come base plano-altimetrica per le elaborazioni idrologiche, mentre per le elaborazioni numeriche (simulazione idraulica 2d), il DTM è stato aggiornato con i dati ufficiali Li.D.A.R. messi a disposizione dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con una risoluzione orizzontale di 1x1 m e verticale centimetrica.

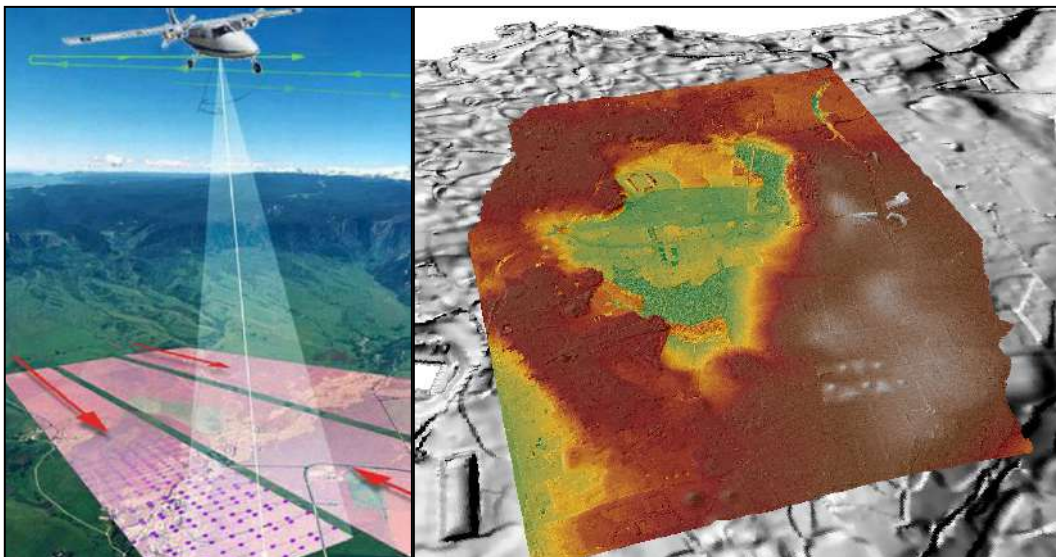


Figura 5 - Schema di esecuzione del rilievo Lidar e risultato dell'elaborazione

Il LIDAR (Light Detection and Ranging; o Laser Imaging Detection and Ranging) è una tecnica di “telerilevamento” che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser. La distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retrodiffuso. La sorgente di un sistema LIDAR è un laser, ovvero un fascio coerente di luce ad una ben precisa lunghezza d'onda, che viene inviato verso il sistema da osservare.

I principali vantaggi del rilievo Lidar sono: elevata qualità metrica del rilievo, alta densità di campionamento, possibilità di trascurare la vegetazione.

Ciò che si ottiene con un rilievo Lidar è un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche (sistema WGS 84), alla quota (Z) calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa (I). Analizzando i punti riflessi si osserva un ritorno multiplo del segnale, ed in presenza di vegetazione (non eccessivamente densa) il Lidar penetra riflettendo punti a vari livelli della fronda e al suolo. Dalla nuvola di punti totali si ottiene un Modello Digitale di Superficie, mentre per elaborazioni successive, che comprendono sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un Modello Digitale del Terreno come quello utilizzato in questa sede.

Per lo sviluppo del progetto è stato eseguito, anche un rilievo topografico di approfondimento specifico delle geometrie del canale ed eventuali ponti e attraversamenti.




Il rilievo è stato condotto direttamente nella proiezione Universal Transverse of Mercator - Datum WGS84 - zona 33N con una strumentazione GPS RTK di nuova generazione che combina i tre sistemi di posizionamento GPS, GLONASS e Galileo. Si tratta del ricevitore GNSS avanzato Topcon GRS-5 del quale si riportano nel seguito alcune delle sue caratteristiche tecniche.

Il passaggio dalle quote geodetiche strumentali a quelle riferite al livello medio del mare riportate sulla cartografia tecnica regionale, è stato condotto utilizzando quattro punti di appoggio a quota nota.

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

I punti a quota nota sono stati individuati nella Rete Geodetica disponibile sul Sit Puglia dove sono consultabili e scaricabili i Vertici della rete IGM95, i Vertici di Raffittimento della stessa rete, i Vertici di Appoggio Catastale, i Vertici di Appoggio Fotografico e le basi di collegamento.

Di seguito la dotazione software utilizzata per l'elaborazione del modello digitale del terreno:

AutoCAD Civil Design 3D		Software BIM per realizzazione di progetti di infrastrutture per il trasporto, sviluppo territoriale e risorse idriche
ARCGIS		Suite di prodotti software di ESRI per la creazione di un sistema GIS (Geographic Information System) completo.
InfoWorks ICM v. 3.5		Software per la modellazione idraulica mono e bi-dimensionale di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali

3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 Analisi morfometrica

La base necessaria per poter svolgere un’analisi idrologica di dettaglio è rappresentata dalla definizione delle principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici gravanti sull’area oggetto di studio.

Una volta disponibile il DEM, utilizzando la procedura di calcolo descritta nel seguito è possibile ottenere una serie di modelli distribuiti del territorio (dette in seguito *griglie o matrici*) sui quali vengono applicati particolari algoritmi che consentono di estrapolare le necessarie informazioni idrauliche del territorio.

Uno di questi algoritmi è denominato slope (pendenza) che concettualmente identifica la massima variazione nel valore di una cella della griglia (nel nostro caso il DEM) rispetto alle celle circostanti.

Uno delle possibili risultati di questo calcolo può essere una matrice di valori che esprime la pendenza in percentuale oppure in gradi.

In pratica l’algoritmo esegue una media quadratica della massima variazione di quota nelle quattro direzioni del piano parallele al grigliato considerando le otto celle che contornano la cella in questione.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x_cellsize)$$

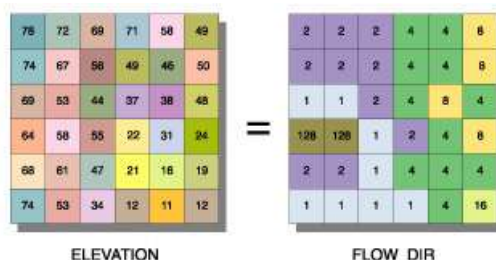
$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize)$$

Dalla matrice così ottenuta un opportuno algoritmo, diffuso in ambiente GIS, elabora la cosiddetta *flow direction grid* (griglia delle direzioni di flusso). Questa griglia contiene in ogni cella il valore codificato della direzione di massima pendenza tra la cella stessa e le celle circostanti.

Al numero che compare in ogni cella della griglia è associato univocamente una direzione cartesiana secondo lo schema seguente:

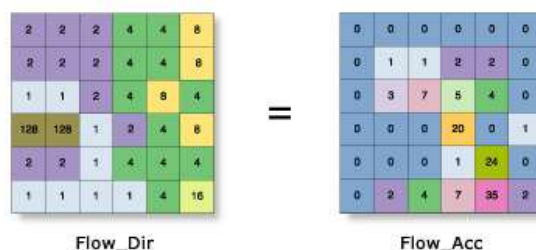
1	Est	2	Sud-Est
4	Sud	8	Sud-Ovest
16	Ovest	32	Nord-Ovest
64	Nord	128	Nord-Est

Di seguito è riportato un esempio di una rappresentazione del passaggio dal DEM ad una griglia costituita dalle direzioni preferenziali dei flussi.



Definita la griglia delle direzioni di flusso un algoritmo, sempre in ambiente GIS, conta il numero di celle tributarie di ogni singola cella e ne attribuisce il valore alla corrispondente cella in una nuova griglia denominata *flow accumulation grid* (accumuli di flusso) così rappresentata:

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA



Grazie alla generazione della griglia di accumulo è possibile successivamente stabilire un numero minimo di celle tributarie e “marcare” in questo modo la linea di compluvio naturale.

Queste tecniche, come si è anticipato, consentono la perimetrazione di un *bacino idrografico* oltre che la determinazione di tutti i parametri morfometrici di esso caratteristici. Un *bacino idrografico* può essere considerato come una porzione di territorio capace di convogliare naturalmente e far defluire attraverso una sezione idraulica comunemente detta “sezione di chiusura” l’acqua precipitata sulla stessa.

La sezione di chiusura è rappresentata dal punto più depresso della linea di drenaggio naturale. Le celle di più griglie di ingresso contenenti le informazioni di quota (DEM), di direzione e di accumulo vengono utilizzate da un algoritmo, in ambiente GIS, per determinare il bacino idrografico relativo ad ogni sezione di chiusura individuata.

La generazione del reticolo idrografico “naturale” da DEM, risente ovviamente delle eventuali modificazioni della rete idrografica dovute alle azioni antropiche, tuttavia la sovrapposizione del reticolo idrografico determinato con il reticolo idrografico “reale” estratto dalle carte tecniche ha consentito di apprezzare una notevole corrispondenza tra i due.

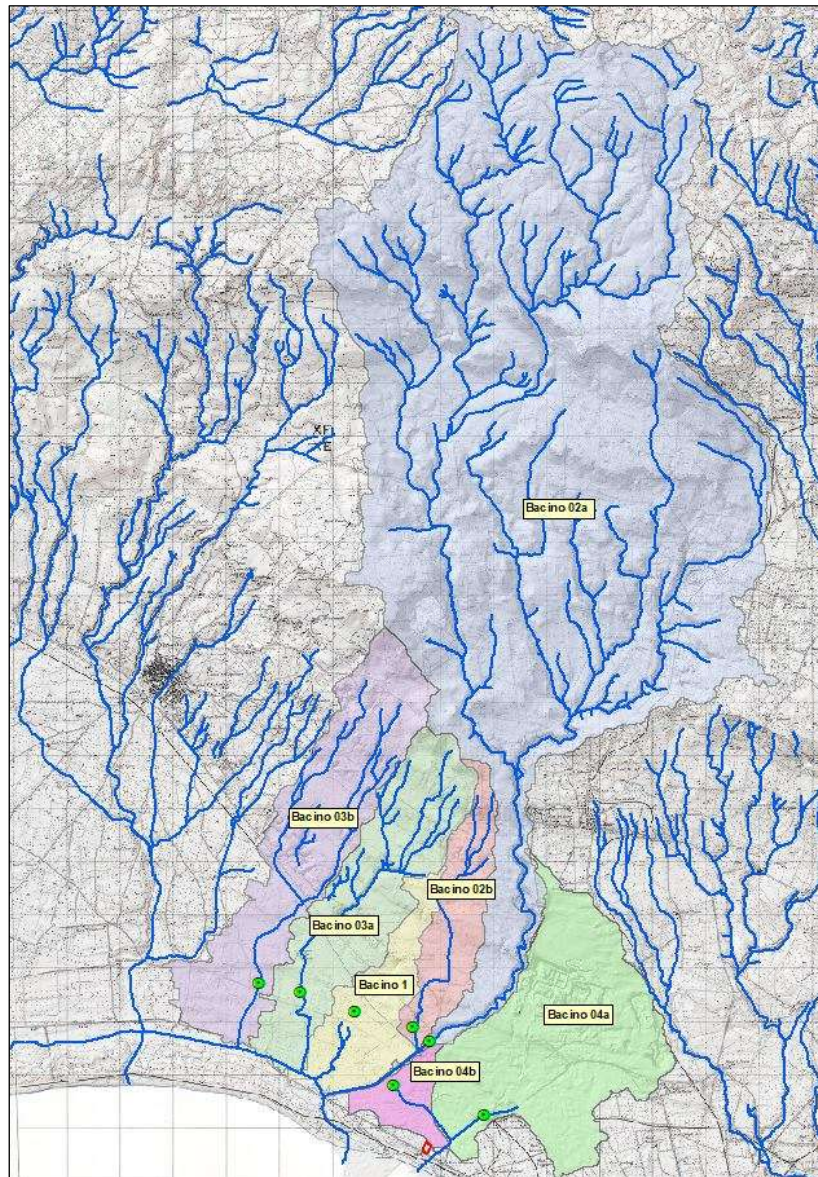


Figura 6 – Bacini idrografici

Grazie ai processi di analisi precedentemente esposti è stato possibile perimetrare i bacini idrografici le cui caratteristiche morfometriche sono riportate nella seguente tabella:

<i>nome bacino</i>	<i>area (Km²)</i>	<i>slope</i>	<i>quota media (m slm)</i>	<i>lunghezza aste (Km)</i>
01	4.46	4.02	76.89	6.067
02a	86.08	8.10	323.72	31.800
02b	4.25	3.45	54.05	7.746
03a	9.53	4.80	101.13	10.272
03b	11.85	4.89	74.85	10.262
04a	13.48	6.80	38.45	7.71
04b	1.49	1.11	4.14	1.92

Tabella 1 - Caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici

3.2 Curve di possibilità pluviometrica

La valutazione della massima precipitazione al variare del tempo di ritorno viene svolta, rifacendosi alla metodologia proposta dal Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCl) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell’ambito degli studi per la “Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale”.

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al., 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al., 1987).

Per l’individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello si fa ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate (Gabriele e Liritano, 1994).

L’utilizzo della TCEV consente di ricostruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, mediante il quale è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni in cui risulta costante anche il coefficiente di variazione (secondo livello di regionalizzazione).

Il valore $P_{d,T}$ del massimo annuale di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per una prefissata durata, viene espresso come prodotto tra il suo valore medio X_t ed una quantità K_T , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T , definito dal rapporto:

$$K_T = \frac{P_{d,T}}{X_T}$$

La curva di distribuzione di probabilità data dal precedente rapporto 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 legati al coefficiente di asimmetria e al coefficiente di variazione.

Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all’interno della zona pluviometrica omogenea, previamente identificata, al secondo livello di regionalizzazione, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno T ed il fattore di crescita K_T , ritenendo trascurabile la sua variabilità con la durata.

Con il terzo livello di regionalizzazione viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione delle serie storiche in relazione a fattori locali; in particolare si ricercano eventuali legami esistenti tra i valori medi dei massimi annuali delle piogge di diversa durata ed i parametri geografici significativi (ad esempio la quota sul livello del mare) delle diverse località, consentendo in definitiva di proporre la stima dei valori medi dei massimi annuali di precipitazione anche in siti sprovvisti di stazioni di misura o con serie storica di lunghezza ridotta.

Nell’analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio X_t dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$X_t = at^n$$

essendo “ a ” ed “ n ” i parametri caratteristici della curva di probabilità pluviometrica, variabili da sito a sito.

L’analisi di terzo livello ha portato alla individuazione, oltre alle quattro zone omogenee in Claps et al. (1994), di altre due zone e delle rispettive curve di possibilità climatica.

In definitiva il territorio di competenza della regione Puglia è stato suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, (Figura 8) per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

Zona 1: $X(t, z) = 28.66 t^{(0.000503z + 0.720 / 3.178)}$

Zona 2: $X(t, z) = 22.23 t^{0.247}$

Zona 3: $X(t, z) = 25.325 t^{(0.696 + 0.000531z) / 3.178}$

Zona 4: $X(t, z) = 24.70 t^{0.256}$

Zona 5: $X(t, z) = 28.2 t^{(0.628 + 0.0002z) / 3.178}$

Zona 6: $X(t, z) = 33.7 t^{(0.488 + 0.0022z) / 3.178}$

dove:

t = durata della precipitazione;

z = quota media del sito.



Figura 7 - Regione Puglia zone omogenee al 3° livello

Noto il valore di X_t è possibile ricavare il valore della pioggia massima per prefissato tempo di ritorno a partire dalla conoscenza del fattore probabilistico di crescita K_t .

Per la valutazione del fattore di crescita si è utilizzata la seguente relazione:

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

Dove **a** e **b** sono due parametri che variano in funzione della zona considerata e per la Puglia centro-meridionale (zone 5 e 6) assumono i valori riportati nella (Tabella 2).

Zona omogenea	a	b
Puglia settentrionale	0.1599	0.5166

Tabella 2 - Valori dei parametri a e b

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

L'applicazione della metodologia Vapi all'area oggetto di studio, determinati tutti i parametri necessari, ha portato alla determinazione delle curve di probabilità pluviometrica.

ZONA 6

CPP 1 – riferita al bacino 01 (Sorgente Tara);;

CPP 2 – riferita al bacino 02a (Gravina Gennarini);

CPP 3 – riferita al bacino 02b (loc. La Colombara);

CPP 4 – riferita al bacino 03a (loc. San Cataldo);

CPP 5 – riferita al bacino 03b (loc. Pantano).

CPP 6 – riferita al bacino 04a (Canale Bellavista).

CPP 7 – riferita al bacino 04b (l° Colatore Bellavista).

I valori assunti dal fattore di crescita calcolati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni sono riportati nella Tabella 3.

Tempo di ritorno	K_T
30 anni	1.92
200 anni	2.90
500 anni	3.37

Tabella 3: Valori del fattore di crescita

Si riportano nel seguito le rappresentazioni grafiche delle curve di possibilità pluviometrica e le loro equazioni in funzione del tempo di pioggia.

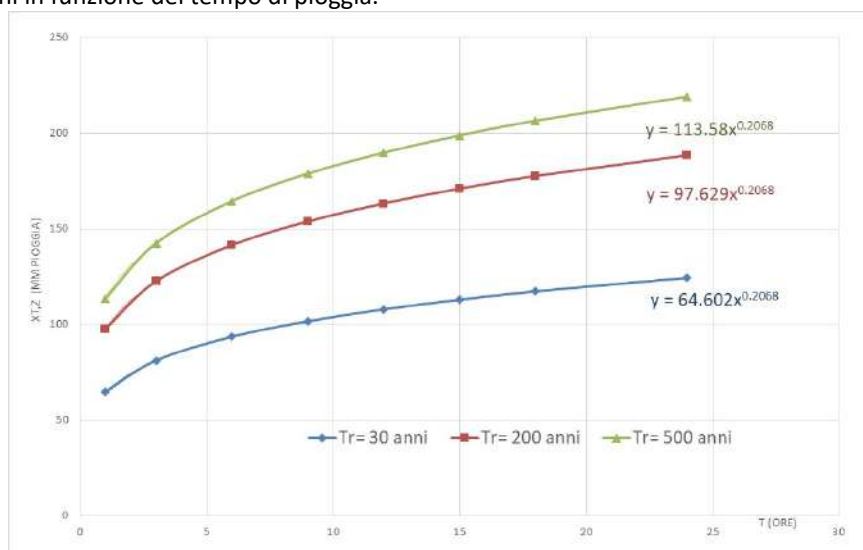


Figura 8: CPP 1 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 01

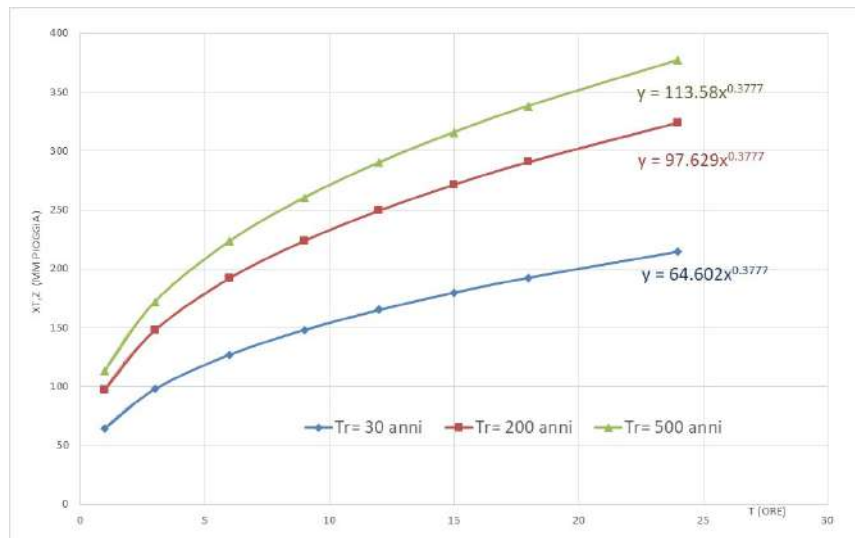


Figura 9: CPP 2 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 02a

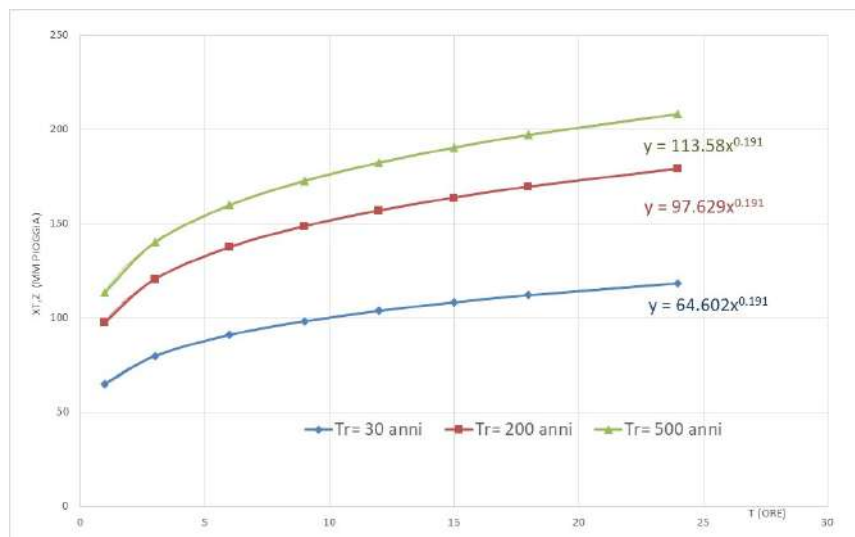


Figura 10: CPP 3 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 02b

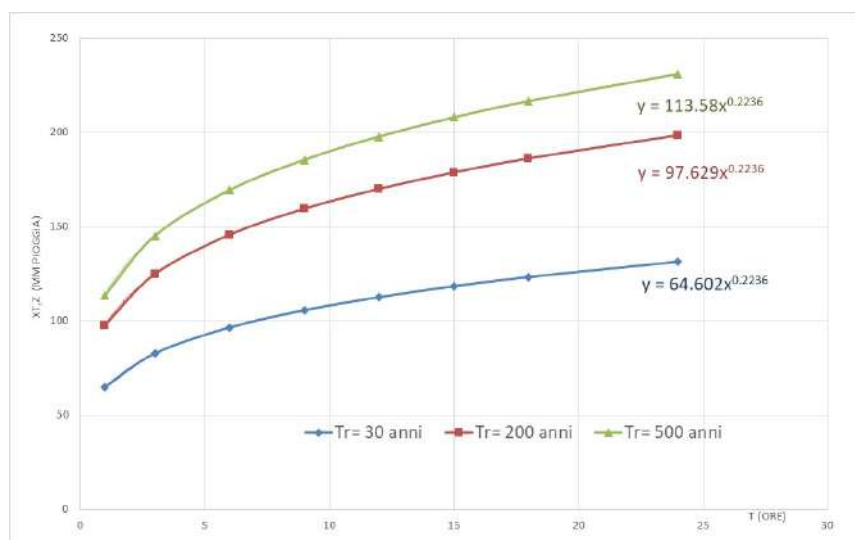


Figura 11: CPP 4 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 03a

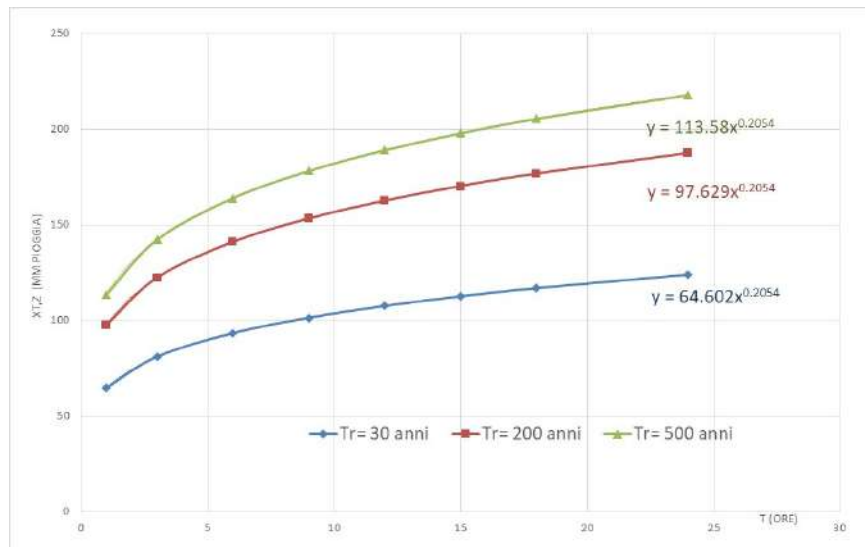


Figura 12: CPP 5 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 03b

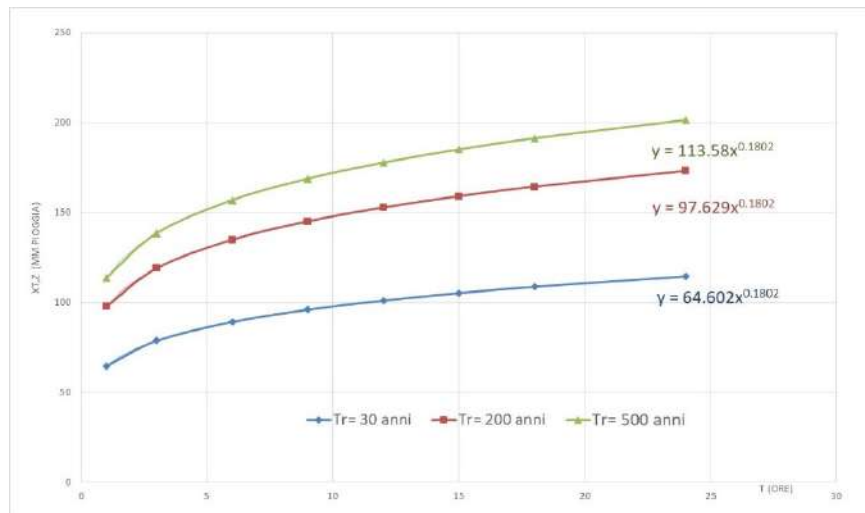


Figura 13: CPP 6 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 04a

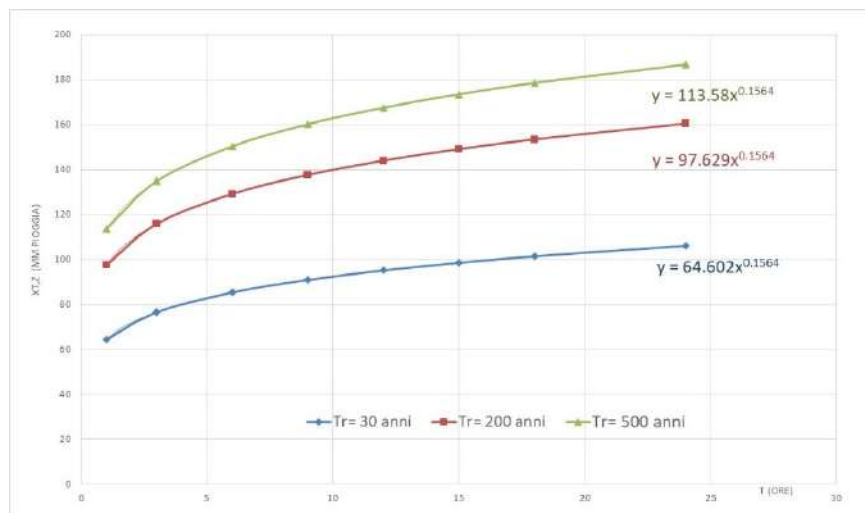


Figura 14: CPP 7 curve di possibilità pluviometrica VAPI – Bacino 04b

4 ANALISI IDRAULICA

4.1 Massimizzazione delle portate di piena col metodo SCS

Per la determinazione degli eventi di piena si applicano modelli idrologici afflussi–deflussi basati sulle caratteristiche del bacino in forma globale.

In particolare l’analisi degli eventi critici viene affrontata applicando il **Metodo SCS** (Ferro V., 2006).

Il metodo del Soil Conservation Service dà la possibilità sia della determinazione del volume della piena o della sua portata al colmo sia della completa ricostruzione dell’idrogramma di piena.

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

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

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

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

$$P_n = P - I_a$$

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

$$I_a = 0.2S$$

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

$$P_n = V + W$$

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

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

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

La valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN_{III}} - 10 \right)$$

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

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

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

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

Il metodo tiene conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati in tabella 5 si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominato per questo AMCII.

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

Tabella 3 - Valori del coefficiente CN per la condizione AMC II

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

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

A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella tabella 3; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

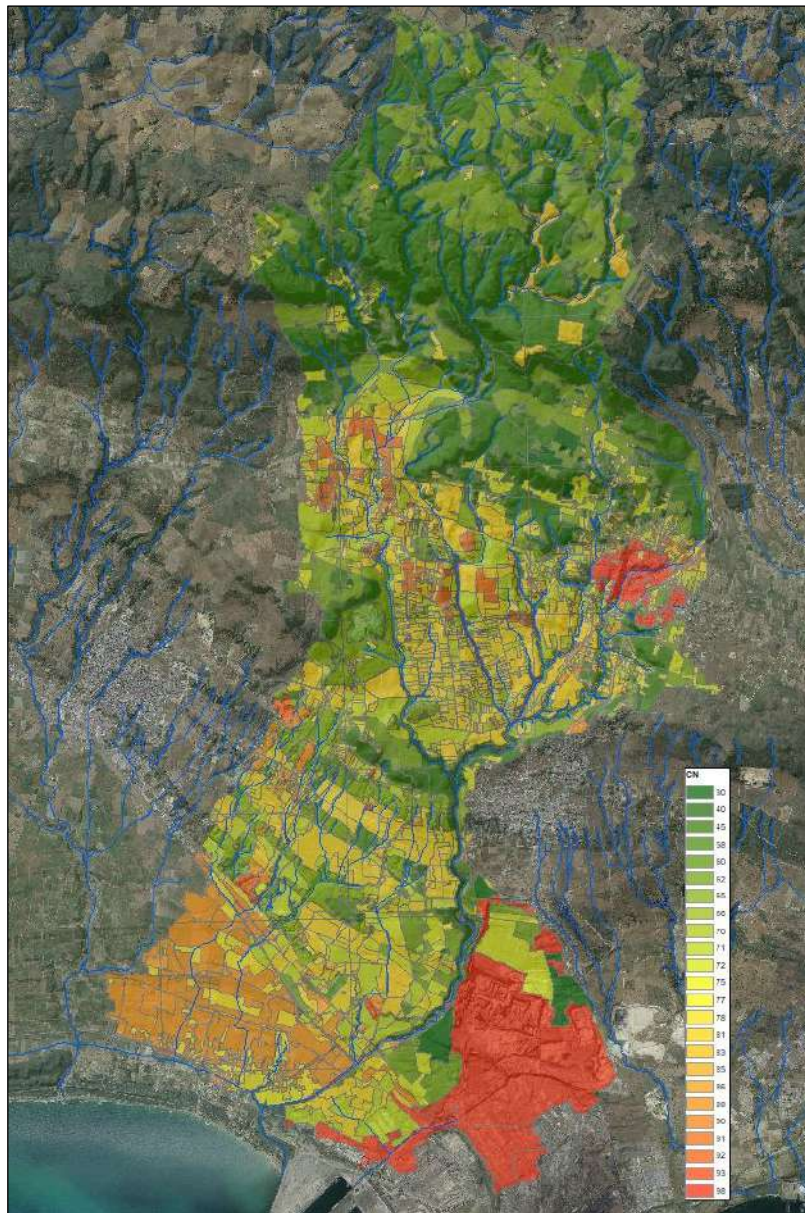


Figura 15 – Curve Number

L'individuazione, delle aree omogenee per destinazione d'uso e condizione idrica è stata svolta in ambiente GIS, intersecando gli shapefile di uso del suolo e permeabilità dell'area oggetto di studio.

Il Curve Number è un parametro adimensionale che oltre a dipendere dall'uso del suolo e dalla litologia affiorante, dipende anche dal grado di umidità del terreno, in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato (Antecedent Moisture Condition) : molto asciutto (<50 mm), standard (tra 50 e 110 mm) e molto umido (oltre 110 mm).

Nel caso in oggetto, i valori di CN così calcolati, rappresentativi del gruppo AMC II, sono stati corretti con il fattore della condizione umida attraverso la formula che segue:

$$CN_{III} = (3.4212 - 1.1999 \log (CN_{II})) CN_{II}$$

Il valore di CN adottato nel calcolo della portata, corrispondente alla classe AMC-tipo II (CNII), è riportato nella seguente tabella.

ID BACINO	CNIII
01	86.33
02a	76.71
02b	87.76
03a	85.62
03b	89.01
04a	74.67
04b	86.81

Tabella 4 – Riepilogo CN

La portata al colmo di piena corrisponde alla **massima portata** generata da una precipitazione di durata critica tale da mettere in crisi la rete idrografica e dipende fortemente dall'estensione del bacino. 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.

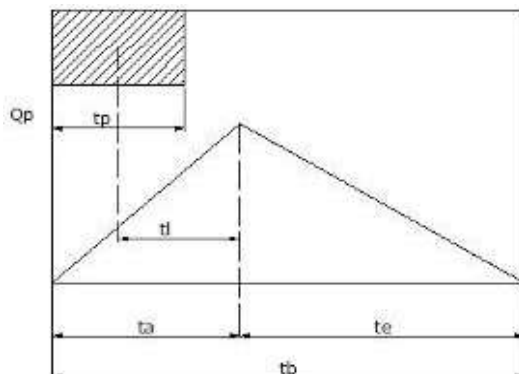


Grafico 1 - Idrogramma di Mockus

Per il calcolo della portata al colmo Q_p [m^3/s] con il metodo SCS, si è considerato un idrogramma approssimato di forma triangolare (Mockus), che ha una fase crescente di durata t_a ed una fase di esaurimento di durata t_e e il cui volume, espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

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

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

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

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

e cioè:

$$t_b = 2.67t_a$$

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

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

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 e il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0,5t_p + t_L$$

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

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in %, L è la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla dislivellazione espressa in km e CN è il "curve number" medio del bacino (Ferro V., 2006).

Poiché la precipitazione critica per il bacino è quella avente una durata pari al tempo di corrivazione (t_c), la durata dell'evento meteorico di riferimento t_p viene imposta pari a t_c :

$$t_p = t_c$$

Il tempo di corrivazione è correlato al tempo di ritardo attraverso la seguente relazione:

$$\frac{t_L}{t_c} = 0,6$$

L'applicazione della procedura precedentemente esposta ai bacini individuati ha condotto alla determinazione delle portate al colmo per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, di seguito riportati.

ID BACINO	TR = 30		TR = 200		TR = 500	
	Q [m3/s]	V [mm]	Q [m3/s]	V [mm]	Q [m3/s]	V [mm]
01	11.72	20.97	20.97	89.01	25.58	108.61
02a	127.15	105.52	225.16	260.98	273.95	227.36
02b	9.86	54.30	17.28	95.12	20.96	115.37
03a	19.71	56.29	35.03	100.03	42.67	121.83
03b	29.91	58.67	51.46	100.96	62.09	121.83
04a	41.78	48.34	68.28	85.72	81.70	104.33
04b	3.22	30.03	7.72	60.03	10.30	75.61

Tabella 5 – Riepilogo portate e volumi di deflusso

Le portate, invece, vigenti sul territorio Comunale trasmesse dall' AdB con nota prot. n. 8753 del 05/07/2010 relative alle sezioni di chiusura individuate dall'immagine seguente, sono:

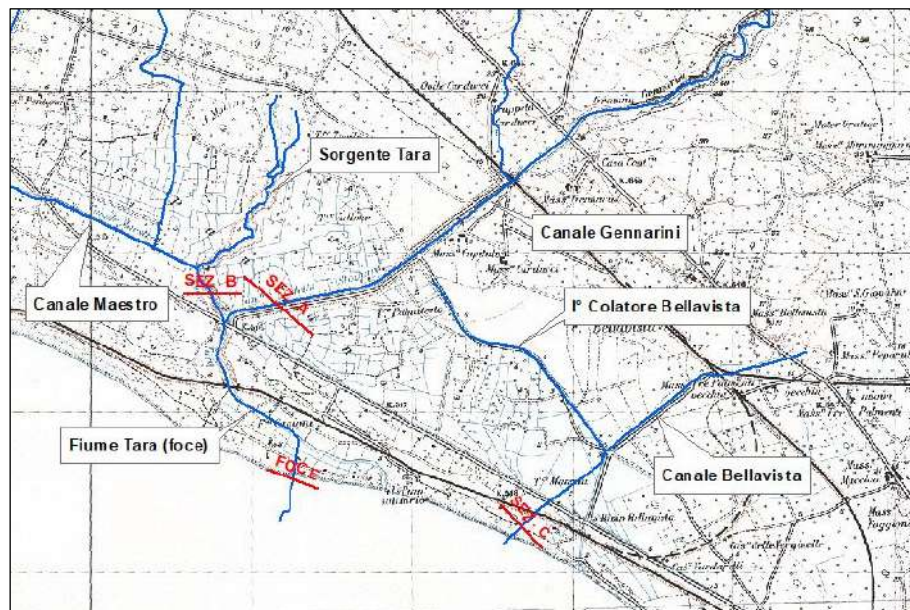


Figura 16 – Sezioni di chiusura AdB

ID BACINO	TR = 30	TR = 200	TR = 500
	Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]
Stornara (Gennarini) Sez. A	105	225	293
Tara – Sez. B	45	85	105
Tara foce	115	250	325
Tara “piccolo” – Sez. C	45	76	92

Tabella 6 – Portate di piena AdB

La simulazione idraulica è stata condotta attraverso l'utilizzo il software InfoWorks ICM 4.0, e considerando più cautelative le portate calcolate con il metodo SCS.

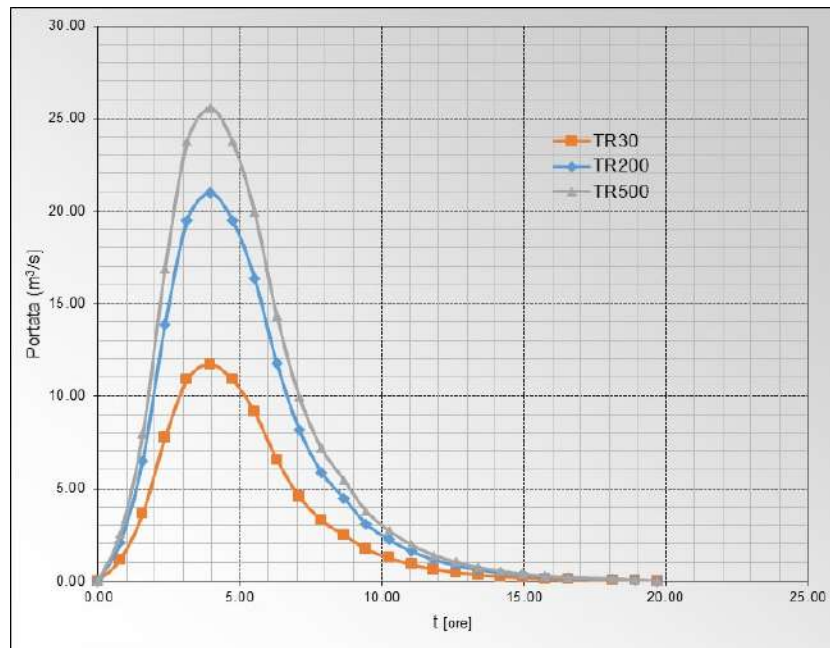


Grafico 2 - Idrogrammi di piena Bacino 01

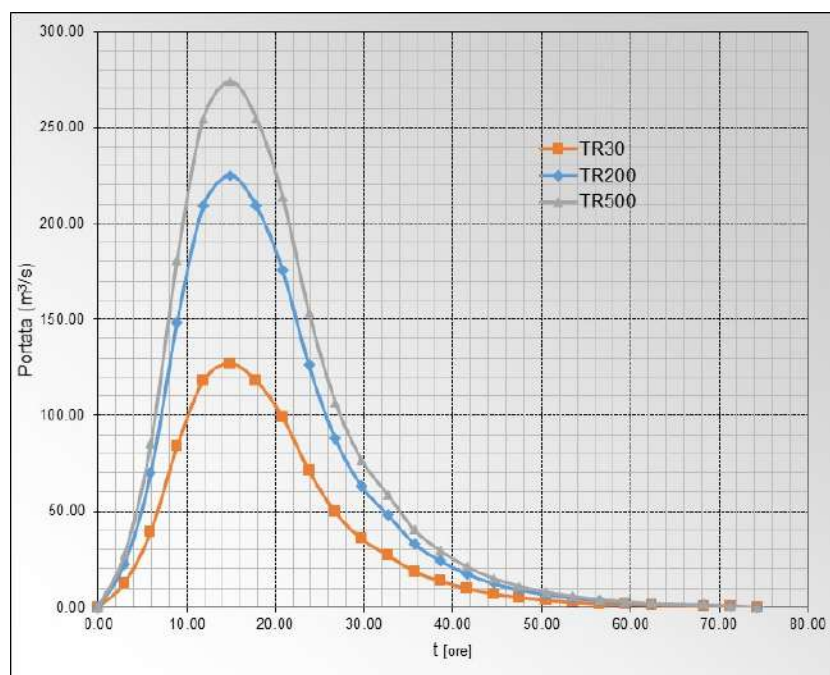


Grafico 3 - Idrogrammi di piena Bacino 02a

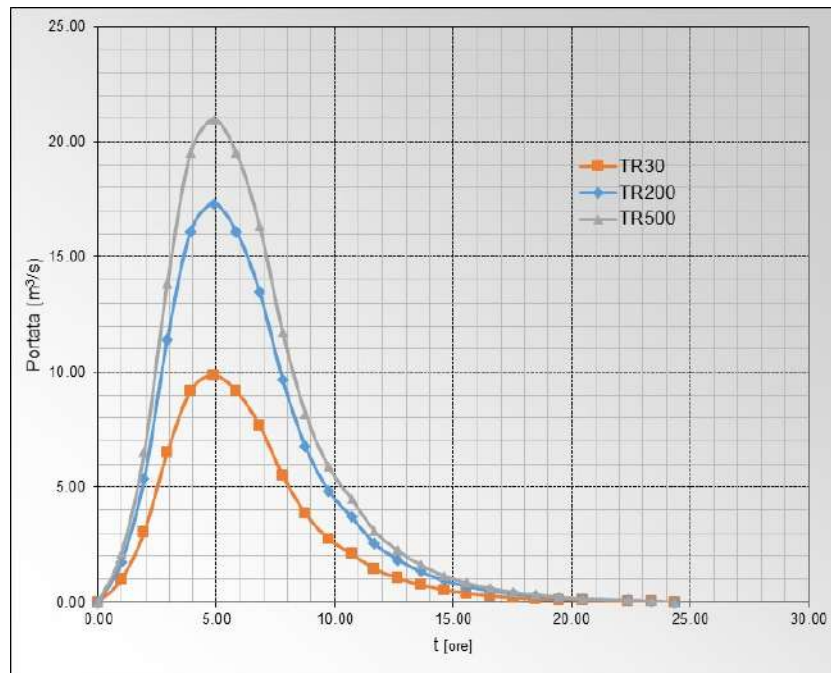


Grafico 4 - Idrogrammi di piena Bacino 02b

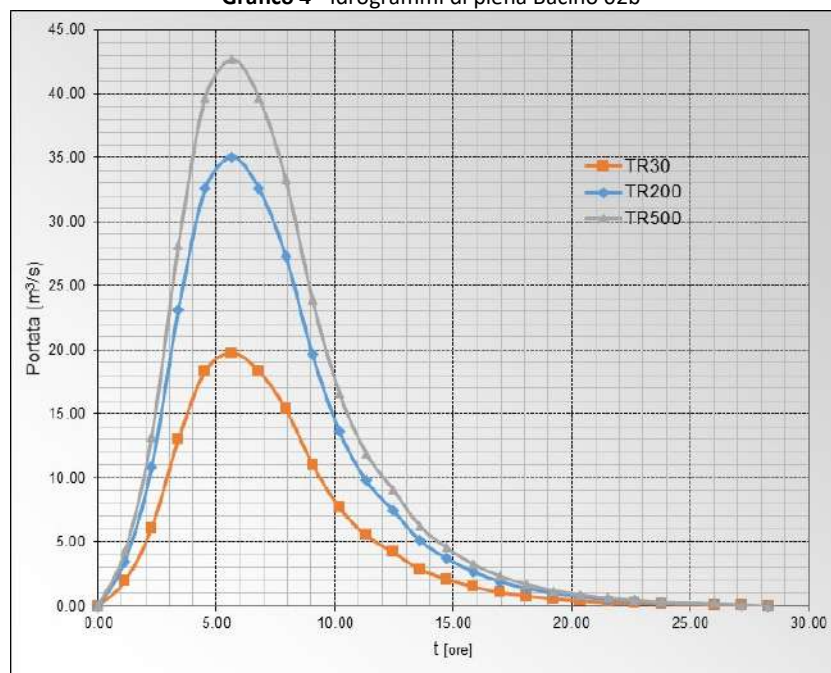


Grafico 5 - Idrogrammi di piena Bacino 03a

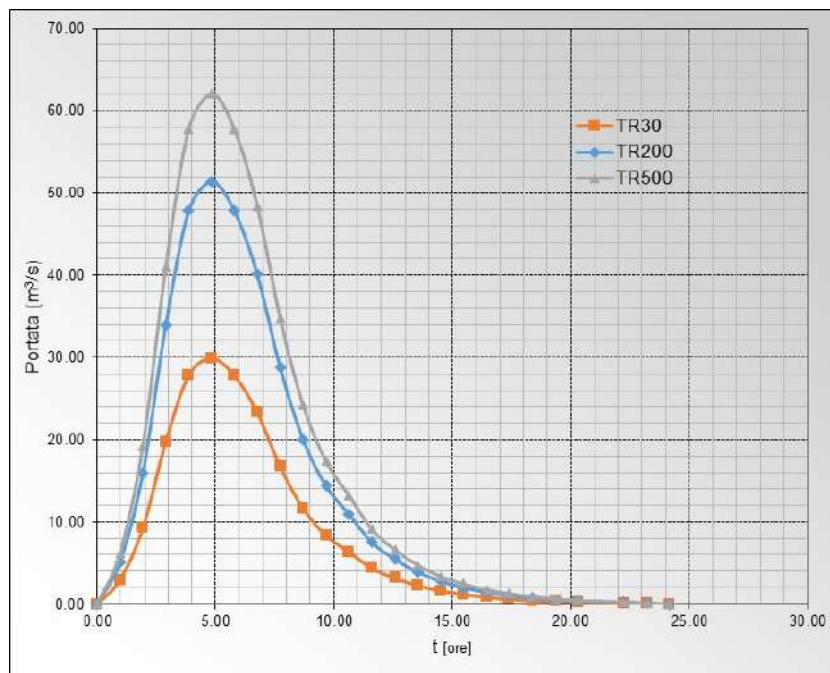


Grafico 6 - Idrogrammi di piena Bacino 03b

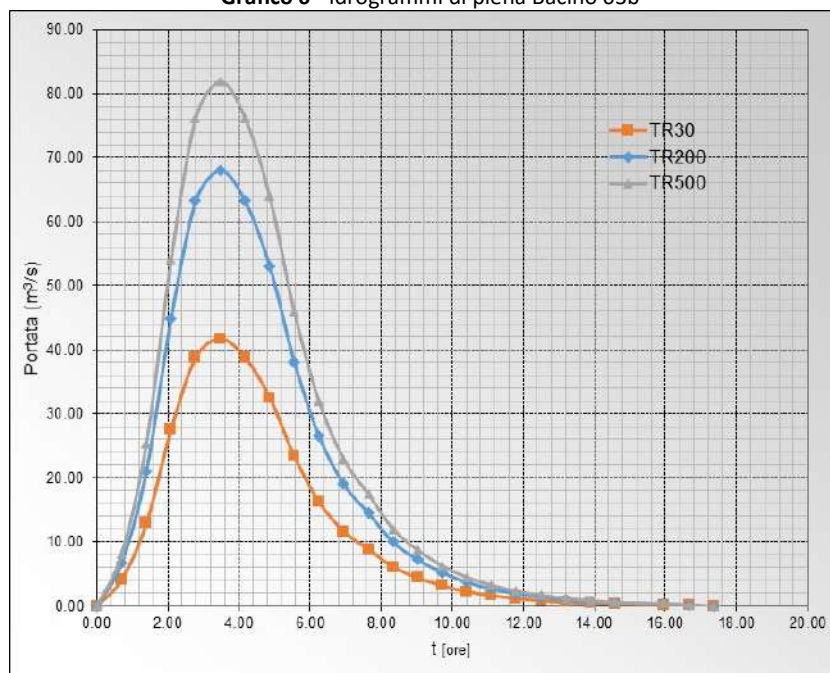


Grafico 7 - Idrogrammi di piena Bacino 04a

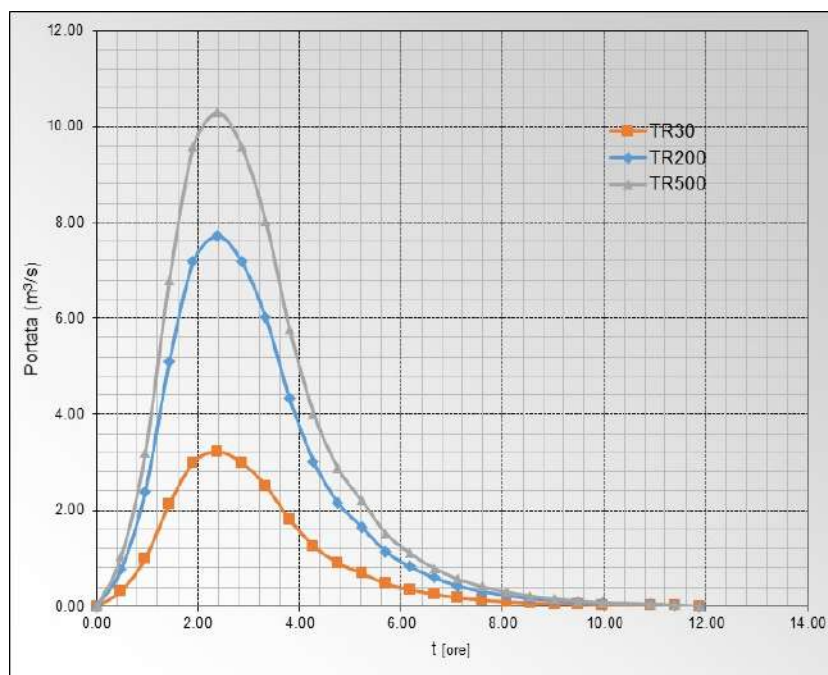


Grafico 8 - Idrogrammi di piena Bacino 04b

4.2 Simulazione idraulica bi-dimensionale

La simulazione idraulica viene condotta utilizzando il software **InfoWorks ICM 4.0**, specializzato nella modellazione **mono** e **bi-dimensionale** di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali.

La peculiarità di questo software è quella di eseguire simulazioni integrate 1D-2D molto stabili sia per reti intubate che per alvei naturali a cielo aperto, dando la possibilità di inserire manufatti ed elementi lineari o puntuali di diverso tipo.

La prima fase della definizione del modello è stata l'impostazione del dominio di simulazione (dominio 2D). Definita l'estensione dell'oggetto “*poligonale*” (dominio 2D) all'interno di esso il software genera una “*magliatura*”, cioè un insieme di maglie accoppiate, di forma triangolare, che costituiscono l'unità del calcolo bidimensionale. Le maglie vengono create attraverso un apposito comando in maniera automatica e tengono conto di tutti gli elementi che influenzano il moto bidimensionale all'interno del dominio. **Per effettuare il processo di magliatura è stato utilizzato il DTM descritto nel capitolo 2.**

Una volta creato il dominio 2D, le impostazioni relative alle maglie vengono definite nella pagina di proprietà del poligono. Tra le principali variabili vi sono:

- **Massima Area Triangolo** (Maximum Triangle Area): questo valore molto importante definisce la dimensione massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura, quindi più il valore è piccolo e più dettagliata sarà la griglia di calcolo. *La maglia utilizzata varia tra una superficie massima di **100 m²** e una minima di **10 m²** con un valore massimo di variazione in altezza pari ad **0.25m**;*
- **Condizioni al contorno** (Boundary Type): questa proprietà definisce il comportamento che l'acqua deve assumere qualora arrivasse a lambire il confine del poligono durante la simulazione. Nel presente studio è stata utilizzata l'impostazione : “*Normal condition*” ovvero si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme); l'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

- Scabrezza Manning (Roughness): la scabrezza viene attribuita a tutti triangoli creati durante il processo di magliatura. È possibile indicare localmente altri valori di scabrezza, il valore generale indicato in questo campo verrà utilizzato dove non specificato diversamente. *Nel caso in esame il coefficiente di scabrezza “n” è stato posto uguale a 0,033 per la Zona 2D.*

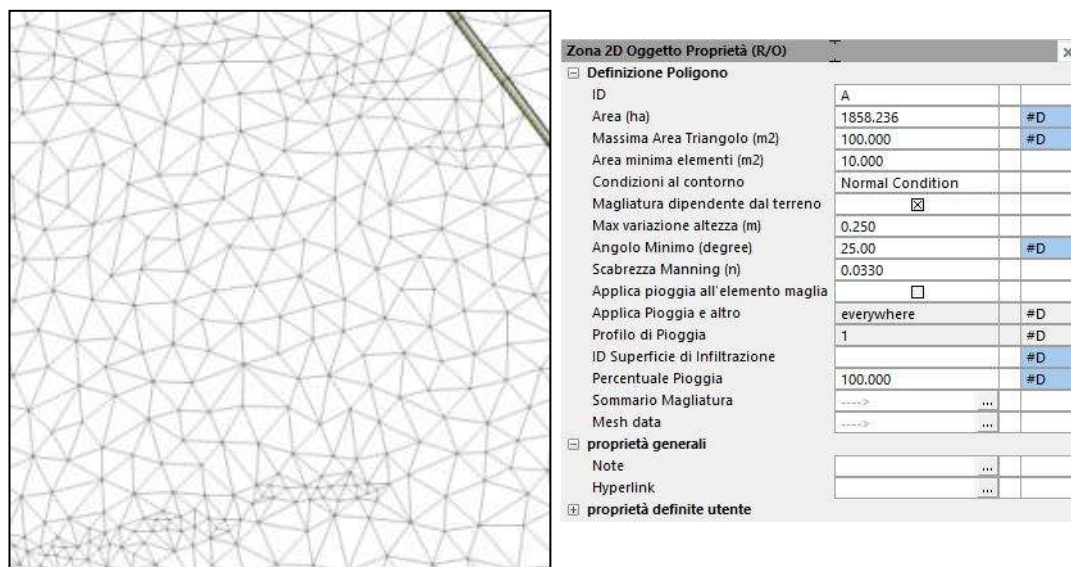


Figura 17 – Costruzione della “magliatura” (dominio 2D)

Il modello utilizzato dal software per la rappresentazione matematica del flusso, sia mono che bi-dimensionale è basato sull'equazione dell'acqua superficiale, relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di *Navier – Stokes*:

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

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

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

Dove:

- ✓ h è l'altezza dell'acqua;
- ✓ u e v sono rispettivamente le velocità nelle direzioni x e y ;
- ✓ $S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y ;
- ✓ $S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni x e y ;
- ✓ q_{1D} è la portata per unità di area;
- ✓ u_{1D} e v_{1D} sono rispettivamente le componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y .

Questa formulazione conservativa dell'equazione dell'acqua superficiale è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito. La tecnica di frazionamento del flusso assicura la

proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo. Per gestire la distinzione tra celle bagnate ed asciutte, viene utilizzata una soglia detta h_0 . Durante il calcolo, le celle a cui è associato un tirante idrico inferiore alla soglia sono considerate asciutte, dunque sia il tirante che la velocità vengono posti a zero. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1mm.

L'immissione delle portate corrispondenti all'evento di piena viene effettuata tramite l'inserimento di **punti sorgenti 2D**, posizionabili in un punto qualunque della magliatura ai quali è stato possibile associare un idrogramma di piena.

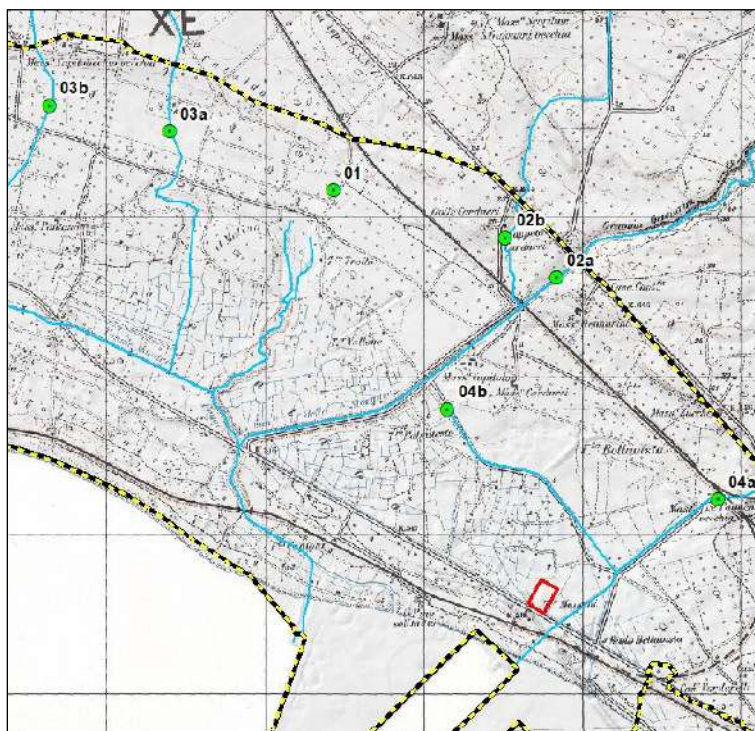


Figura 18 – Ubicazione dei punti sorgente 2D (inflow)

CONCLUSIONI

Le valutazioni di carattere idrologico e idraulico, effettuate nel presente studio, sono state eseguite secondo quanto prescritto dalle indicazioni tecniche riportate nella *Relazione di Piano del PAI Puglia* ed in analogia a studi similari eseguiti sul territorio pugliese e lucano.

In particolare, le modellazioni sono state effettuate nell’ipotesi “ante operam” e successivamente in condizioni di “post operam” in cui l’area aziendale è delimitata con una recinzione avente un paramento impermeabile di altezza definita.

L’analisi dei risultati della simulazione condotta con il DTM aggiornato dal rilievo LIDAR fornito dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2010, dimostra come l’intervento in oggetto non costituisca elemento peggiorativo delle condizioni idrauliche “ante-operam” delle aree circostanti anche se interessato dal propagarsi dell’onda di piena con TR200.

Come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti (cfr par.4.2 Simulazione idraulica bi-dimensionale) lo studio idraulico si è basato su una simulazione idraulica condotta utilizzando metodi di modellazione **bi-dimensionale** di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d’acqua naturali ed applicando un coefficiente di scabrezza dell’alveo pari al coefficiente di scabrezza del suolo.

Gli interventi in progetto da realizzare all’interno dell’area sono di seguito elencati:

- miglioramento della recinzione esistente mediante l’utilizzo di pannellature impermeabili fino all’altezza fuori terra di circa 2.0 m per realizzare anche in condizioni di eventi con Tr 200 anni un franco idraulico pari ad 1 m (così come richiesto dalle norme PAI) rispetto al tirante simulato;

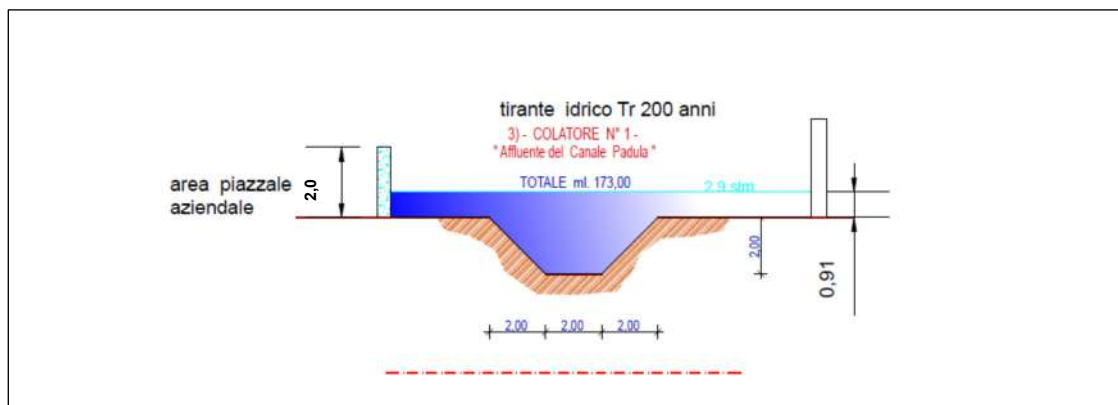


Figura 19 - tirante idrico sezione di chiusura lato ES – confine

- posizionamento di barriere mobili in corrispondenza dei cancelli d’ingresso;
- sistema d’allarme collegato con centralina meteo che aziona i sistemi di difesa mobili e contestuale avvio delle procedure di fermo impianti;
- installazione presso gli scarichi della rete aziendale di valvole antiriflusso del tipo a “clapet”;;
- regolazione scarico nella rete pubblica (Colatore 1 Padula) mediante paratoie automatiche ϕ 350 mm;
- gruppo di pompaggio di soccorso per il drenaggio dei piazzali con scarico nel 1° Colatore Padula, realizzato con motopompa per far fronte agli eventi di piena eccezionali, completo di valvola a “clapet”. Il gruppo sarà asservito ad un sistema di comando e controllo tarato sui livelli del pelo libero del colatore Padula e, contestualmente, azionato con una procedura di sicurezza relazionata con l’acquisizione dei

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA

dati provenienti sia dagli **“allerta meteo” della Protezione Civile** sia dalla centralina meteo, collegata al pluviometro aziendale.

- guardie idrauliche sui portoni d’ingresso ad intervento automatico.

Alla luce di quanto sopra, si ritiene che l’intervento de quo rispecchia quanto prescritto al comma 3 dell’art. 4 delle NTA, in particolare non peggiora le condizioni di funzionalità idraulica e non costituisce un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte in quanto non produce alcun significativo ostacolo al normale libero deflusso delle acque e non causa una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate.

Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] EVANS E.P. ,VON LANY P.H. (1983), "A mathematical model of overbank spilling and urban flooding" in "Hydraulic Aspects of Floods and Flood Control", London, UK
- [2] FIORENTINO, M.; GABRIELE, S.; ROSSI, F.; VERSACE, P. (1987), "Hierarchical approach for regional flood frequency analysis" in V. P. Singh (eds) "Regional flood frequency analysis", 35-49, D. Reidel, Norwell, Mass.
- [3] TESORIERE G. (1994), "Strade Ferrovie Aeroporti", Vol. I, Il progetto e le opere d'arte; UTET, Torino.
- [4] GABRIELE S., IIRITANO G. (1994), "Analisi regionale delle piogge in Basilicata", rapporto interno n.414, CNR-IRPI, Rende (CS).
- [5] CLAPS, P.; COPERTINO, V.; FIORENTINO, M. (1994), "Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, in Copertino V. A. e Fiorentino M. (a cura di) Valutazione delle piene in puglia", 211-246, DIFA-GNDCl, Potenza.
- [6] IPPOLITO G. (1995), "Appunti di costruzioni idrauliche", Liguori editore, Napoli;
- [7] AA.VV. (1996), "Using ArcView GIS", Environmental Systems Research Institute Inc., 380 New York Street, Redlands, California.
- [8] DA DEPPO L., DATEI C. (1999), "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali", Ed. BIOS, Cosenza.
- [9] CASTORANI A., IACOBELLIS V. (2001), "Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale, in Studi propedeutici per la redazione del piano di bacino regionale", Regione Puglia, Bari.
- [10] AA.VV. (2002), "Atlante delle opere di sistemazione dei versanti", Ed. APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- [11] AA.VV. (2003), "Atlante delle opere di sistemazione fluviale", Ed. APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- [12] CAIVANO A. M. (2003), "Rischio Idraulico e Idrogeologico", III Edizione, Ed. EPC Libri, Roma.
- [13] FERRO V. (2006), "La sistemazione dei bacini idrografici", Seconda Edizione, McGraw-Hill, Milano.
- [14] AA.VV. (2007), "Linee guida per la stabilizzazione delle frane e strategie di mitigazione del rischio", Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze.
- [15] CETRARO F. (2007), "Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata", II Edizione, Ed. EPC Libri, Roma;
- [16] AA.VV. (2009), "Two-Dimensional Flood Routing Model - Workshop Lessons", FLO-2D Software Inc., Nutrioso, Arizona.
- [17] MURACHELLI A., RIBONI V. (2010), "Rischio idraulico e difesa del territorio", Ed. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- [18] AGOSTINACCIO M., CIAMPA D., OLITA S. (2011), "La progettazione delle strade", II Edizione, Ed. EPC Libri, Roma;

