

ANALISI E STUDI DI CARATTERE IDROLOGICO ED IDRAULICO DEI RETICOLO IDROGRAFICI NEL TERRITORIO COMUNALE DI CAPURSO, DA ESEGUIRSI AI SENSI DELLE NTA DEL P.A.I. DELLA PUGLIA (DETERMINAZIONE DEL CAPO SETTORE ASSETTO DEL TERRITORIO N.459/Registro Generale del 19/09/2013; N.13/Registro del Settore del 19/09/2013



STUDIO IDROLOGICO **(1° Fase Operativa)**

PROPONENTI:

Comune di Capurso

CONSULENTE INCARICATO:

Ing. Salvatore Vernole

ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA varie

DATA 28 10 2013

D.1



1. PREMESSA.....	3
2. SINTESI DELLA METODOLOGIA UTILIZZATA.....	3
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI.....	5
4. ANALISI IDROLOGICA.....	8
4.1 INDAGINE PLUVIOMETRICA.....	8
4.2 CAPACITA' DI DEFLUSSO.....	18
4.3 MODELLI AFFLUSSI DEFLUSSI UTILIZZATI.....	21
5. ANALISI MORFOLOGICA.....	26
5.1 RILIEVO PLANOALTIMETRICO DI DETTAGLIO.....	27
5.2 RESTITUZIONE AEREA LIDAR.....	30
5.3. IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	30
5.4. DETERMINAZIONE DEI BACINI TRIBUTARI.....	35
5.5. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	39
5.6 APPROFONDIMENTO N°1.....	41
5.7 APPROFONDIMENTO N°2.....	44
5.8 APPROFONDIMENTO N°3.....	45
5.9 APPROFONDIMENTO N°4.....	48
6. DIREZIONI PREFERENZIALI DI DEFLUSSO.....	50
6.1 CRITERIO MORFOLOGICO.....	51
6.2 CRITERIO IDROLOGICO.....	52
6.3 CRITERIO IDRAULICO.....	58
6.4 CRITERIO FUNZIONALE.....	59
7. INDIVIDUAZIONE DEI RETICOLI IDROGRAFICI.....	59
7.1 PRESCRIZIONI OPERATIVE.....	62

1. PREMESSA

In ottemperanza all'incarico conferito dal Comune di Capurso con Determinazione Dirigenziale del Capo di Assetto del Territorio N. 459 del 19/09/2013 " *Analisi e studi di carattere idrologico ed idraulico dei reticoli idrografici nel territorio comunale di Capurso, da eseguirsi ai sensi delle NTA del P.A.I. della Puglia.*" e al fine di acquisire una conoscenza idraulica del territorio finalizzata alla futura pianificazione territoriale coerente anche con le tematiche della Difesa del Suolo, è stata condotta un'indagine di dettaglio dal punto di vista geomorfologico, idrologico ed idraulico dell'intero sistema di reticoli che interessano il centro urbano del Comune di Capurso, effettuata ai sensi delle NTA del PAI della Puglia e alle conoscenze tecnico scientifiche disponibili nella letteratura tecnica di settore.

Lo Studio, prevede valutazioni (di carattere geomorfologico, idrologico ed idraulico) finalizzate a:

- a) Individuare le linee preferenziali di deflusso, partendo dalle informazioni contenute nella bozza della carta idrogeomorfologica della Puglia che interessano il centro urbano.
- b) Classificare dette linee preferenziali, in funzione della loro significatività in termini di potenzialità di deflusso.
- c) Determinare l'effetto al suolo del regime idraulico dei reticoli precedentemente classificati;
- d) Individuare così i reticoli idraulicamente significativi.
- e) Analizzare le criticità presenti sul territorio, in corrispondenza dei reticoli di cui al punto precedente d).
- f) Analizzare le aree a diversa pericolosità idraulica ed il rischio associato in corrispondenza dei reticoli di cui al punto precedente d).
- g) Supportare la pianificazione territoriale generale (PUG o sottopiani).
- h) Valutare preliminarmente le eventuali opere di mitigazione o interventi finalizzati a ridurre o eliminare il rischio idraulico.

2. SINTESI DELLA METODOLOGIA UTILIZZATA

Data la complessità morfologica della zona (ambiente urbano in espansione), lo studio è stato effettuato in DUE FASI finalizzate ad acquisire gli elementi necessari per la valutazione iniziale dei reticoli idrografici e successivamente per l'individuazione delle aree a diversa pericolosità idraulica associate.

FASE 1: finalizzata all'individuazione esatta del percorso delle linee preferenziali di deflusso e alla proposta di classificazione dei reticoli in funzione di parametri morfologici, idrologici e idraulici. Tale fase è costituita dai seguenti step operativi:

- ANALISI GEOMORFOLOGICA :
 - o Acquisizione delle informazioni planoaltimetriche: si sono utilizzati i dati ufficiali a disposizione (CTR in scala 1:5.000, IGM 1:25.000), rilievo LIDAR dell'intero territorio comunale (Ministero dell'Ambiente) e rilievo di dettaglio delle singolarità presenti sul territorio (infrastrutture quali tombini e opere di attraversamento) e opere di regimentazione delle acque (canale deviatore);

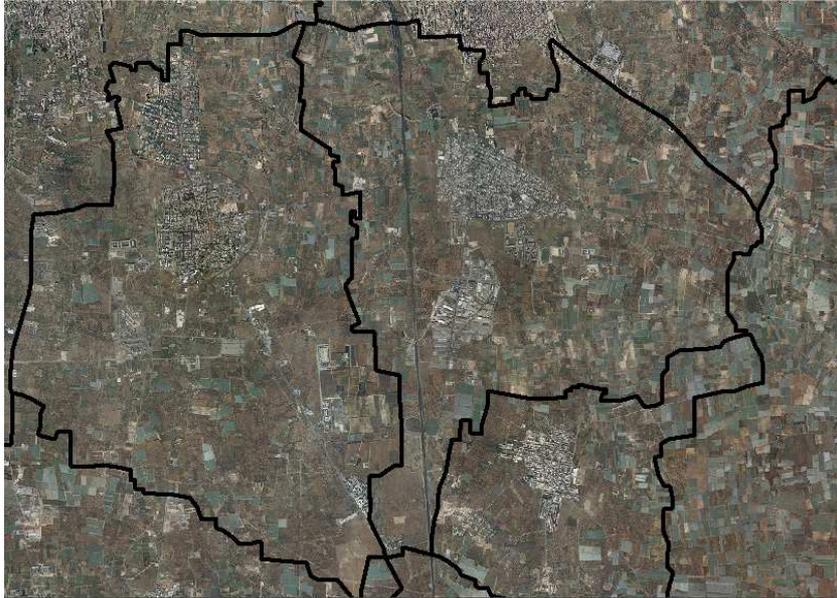
- Acquisizione delle cartografie tematiche: PRG comunale, Carta dell'uso del suolo regionale;
- Realizzazione del Modello Digitale del Terreno (DTM) in formato vettoriale sulla base della cartografia di maggior dettaglio acquisita integrata dai rilievi planoaltimetrici;
- Individuazione delle linee preferenziali di deflusso;
- Determinazione dei bacini tributari e delle rispettive caratteristiche morfometriche
- **ANALISI IDROLOGICA :**
 - Analisi pluviometrica su base statistica degli eventi critici per un tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni (previsto dalle norme tecniche di attuazione del PAI dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia);
 - Classificazione bibliografica dei suoli e determinazione della loro capacità di infiltrazione (in base alle corografie tecniche acquisite) e risposta all'afflusso degli isogrammi di progetto;
 - Applicazione dei modelli idrologici e di afflussi deflussi tecnicamente più adatti al fine di calcolare la portata di acqua meteorica degli impluvi individuati dal modello digitale del terreno, secondo la classificazione dei suoli;
- **INDAGINE IDRAULICA PRELIMINARE :** Modellazione idraulica bidimensionale relativa al tempo di ritorno di 30 anni e valutazione dell'effetto al suolo con determinazione dei parametri idrodinamici di confronto;
- **PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE** con individuazione dei reticoli significativi a cui applicare le NTA del PAI.

FASE 2: finalizzata all'individuazione delle aree a diversa pericolosità idraulica (per tr 30, 200 e 500 anni) relative al regime idraulico dei reticoli idrografici ritenuti significativi dalla classificazione della precedente fase 1. Tale fase è costituita dai seguenti step operativi:

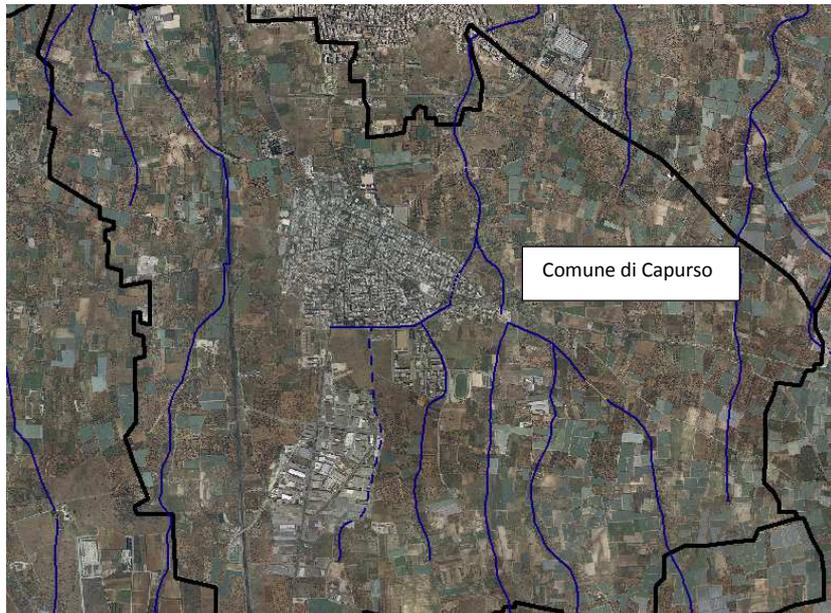
- **ANALISI IDRAULICA DI DETTAGLIO**
 - Modellazione monodimensionale dei reticoli incisi (che interessano il centro urbano) e valutazione della scala di deflusso delle singolarità presenti sul territorio;
 - Modellazione idraulica in moto vario (bidimensionale) in ambiente urbano;
 - Report della modellazione idraulica e analisi delle condizioni idrodinamiche;
 - Determinazione dello stato di fatto (rappresentazione dell'effetto al suolo ossia delle aree a pericolosità idraulica AP, MP e BP).
- **VALUTAZIONE DEL RISCHIO**
 - Determinazione delle aree a diverso grado di rischio (sovrapposizione delle aree a diversa pericolosità idraulica) con gli strumenti urbanistici comunali.
 - Valutazione preliminare delle criticità e analisi di fattibilità delle eventuali relative opere di mitigazione e/o riduzione del rischio;

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

Il territorio comunale di Capurso è caratterizzato dalla presenza del c.d. Canale Deviatore realizzato a protezione del centro abitato e di numerosi altri reticoli, rappresentati sulla bozza della Carta Idrogeomorfologica¹ della Puglia, redatta dalla Autorità di Bacino della Puglia.



Inquadramento generale del comune di Capurso su ortofoto.



Rappresentazione dei reticoli della bozza della carta idrogeomorfologica su ortofoto.

¹ L'Autorità di Bacino della Puglia, in conformità alle indicazioni della convenzione approvata dalla Giunta Regionale della Puglia con delibera n. 1792 del 2007, ha redatto una nuova Carta Idrogeomorfologica del territorio pugliese, quale parte integrante del quadro conoscitivo del nuovo Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR), adeguato al Decreto Legislativo 42/2004. I dati tematici rappresentati nella Carta, derivano sia da banche dati ufficiali realizzate nel corso di progetti e piani di carattere nazionale e regionale (ad es. Carta geologica d'Italia, PUTT/P, Piano di Tutela delle Acque della Puglia - 2007, Piano Regionale delle Coste - 2008, Catasto regionale delle Grotte) opportunamente verificati e adeguati, e sia soprattutto da analisi ed elaborazioni eseguite ex novo dall'Autorità di Bacino della Puglia, ovvero da soggetti esterni convenzionati con la stessa, sulla scorta dei dati conoscitivi del territorio disponibili. Tutti i temi prodotti, in formato vettoriale, sono stati elaborati graficamente in modo georeferenziato nel sistema di riferimento UTM N33-WGS84.

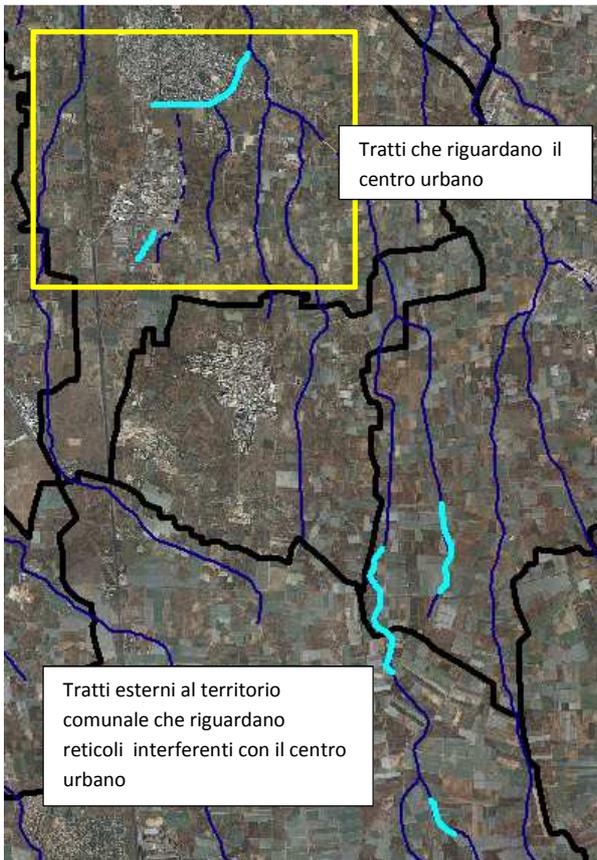
Tale Carta ha ottenuto il parere favorevole in linea tecnica dal Comitato Tecnico dell'AdB nella seduta del 10/11/2009, al quale ha fatto seguito la presa d'atto del Comitato Istituzionale della stessa AdB nella seduta del 30/11/2009, formalizzata con **Delibera n. 48/2009**. In accordo a quanto previsto nella citata Delibera n. 48/2009, l'attuale dettaglio della scala di rappresentazione della nuova Carta Idrogeomorfologica (1:25.000) evidenzia l'esigenza che la stessa Carta rimanga oggetto di fasi di verifica e aggiornamento, al fine di renderla conforme a conoscenze territoriali di maggiore dettaglio che dovessero rendersi disponibili a seguito sia dei continui approfondimenti conoscitivi che i tecnici dell'Autorità di Bacino della Puglia effettuano, sia dei tavoli tecnici per la co-pianificazione degli strumenti di governo del territorio, sia delle istruttorie di progetti ed interventi di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Inoltre la stessa Delibera del Comitato Istituzionale n. 48/2009 ha previsto che lo stesso lavoro sia notificato ai Comuni del territorio pugliese e ad altri Enti potenziali portatori di interesse, chiedendo che nel termine di 3 mesi dalla notifica siano proposte eventuali osservazioni ai contenuti della stessa Carta.

In tale lasso di tempo, gli elementi della Carta Idrogeomorfologica costituiranno un sostanziale elemento conoscitivo ma non assumeranno valore formale, in applicazione delle NTA del PAI dell'Autorità di Bacino della Puglia, in attesa che la fase di verifica condivisa avviata possa condurre, nel più breve tempo, ad una formale *condivisione* e definitiva validazione dei dati complessivamente presenti nella nuova Carta Idrogeomorfologica della Puglia.

Dei reticoli rappresentati sulla bozza della Carta Idrogeomorfologica della Puglia all'interno del territorio comunale di Capurso, il canale deviatore, La lama Cutizza e i suoi affluenti che riportano tratti rappresentati sulla cartografia IGM al 25.000 sono considerati ufficiali e pertanto, ad essi risulta, allo stato, applicabile formalmente la disciplina riportata nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAI della Puglia.

Anche per il Comune di Capurso è in corso la fase precedentemente definita di "*condivisione*" della Carta Idrogeomorfologica, ovvero della effettiva significatività dal punto di vista idraulico degli altri reticoli, e quindi della futura applicabilità delle NTA del PAI.



Con tratto blu sono rappresentati i reticoli della bozza della carta idrogeomorfologica della Puglia

Con tratto ciano sono rappresentati in sovrapposizione i tratti raffiguranti percorsi idrici sulla cartografia IGM in scala 1:25.000



Lo scopo della presente relazione è l'analisi geomorfologica, ed idrologica dei reticoli che interessano il centro urbano al fine di valutare la loro significatività dal punto di vista del regime idraulico e per i quali poter applicare le Norme Tecniche del PAI della Puglia.

4. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica comprende:

- l'indagine pluviometrica con determinazione delle curve di possibilità climatica in funzione dei tempi di ritorno considerati;
- l'indagine sulla capacità di deflusso dei suoli costituenti i bacini tributari;
- l'applicazione del modello afflussi –deflussi per la determinazione degli idrogrammi di piena e delle portate massime da inserire nei modelli idraulici.

4.1 INDAGINE PLUVIOMETRICA

Per l'analisi idrologica-pluviometrica, così come riportato nella normativa vigente sulla difesa del suolo, è possibile far riferimento allo studio sulla Valutazione delle Piene (VAPI) relativo alla Puglia effettuato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, conformemente al DPCM del 29.09.1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005.

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

In questo studio viene effettuata una valutazione statistica condotta applicando le diverse funzioni di distribuzione di probabilità (fdp) oltre all'applicazione della metodologia VAPI.

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

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

Al fine di stabilire gli idrogrammi di piena da utilizzare come input nei modelli di calcolo idraulico è necessario in prima battuta stabilire gli ietogrammi di pioggia da applicare ai modelli afflussi-deflussi per la determinazione delle portate di piena. Per questo motivo è necessario effettuare un'analisi statistica degli eventi piovosi verificatisi in passato, attraverso l'analisi di un campione significativo di dati storici, per poi determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dalle quali si può estrapolare lo ietogramma di pioggia.

Per far fronte alle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Puglia, in linea tra l'altro con la normativa nazionale, in questo studio viene confrontata la metodologia di analisi riportata nel VAPI Puglia che fa riferimento alla fdp Tcev precedentemente citata, e le analisi statistiche relative agli annali delle stazioni pluviometriche dei topoi di riferimento della zona con individuazione della fdp più aderente secondo il test statistico applicato.

Dal confronto sarà utilizzato la fdp più cautelativa relativamente alla sicurezza idraulica.

METODO VAPI

Come accennato in precedenza la metodologia VAPI si basa sulla funzione di distribuzione di probabilità denominata Tcev. La Tcev ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Per ovviare a questo problema il GNDCI (che ha redatto il VAPI) ha messo a punto una procedura di regionalizzazione (Beran et al. 1986) che ha permesso di determinare i parametri della Tcev su tutto il territorio pugliese estendendo, in questo modo, la lunghezza delle serie storiche.

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



zone omogenee della Puglia

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

$$\begin{aligned} \text{Zona 1: } & x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]} \\ \text{Zona 2: } & x(t) = 22.23 t^{0.247} \\ \text{Zona 3: } & x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0596+0.00531 z)/3.178]} \\ \text{Zona 4: } & x(t) = 24.70 t^{0.256} \\ \text{Zona 5: } & x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]} \\ \text{Zona 6: } & x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]} \end{aligned}$$

In particolare il bacino analizzato ricade nelle zona omogenea numero 5.

Pertanto, conformemente a quanto riportato nel DPCM 29/09/98 ed a quanto previsto dalla relazione di piano del PAI, si è provveduto a calcolare la CPP mediante l'applicazione della metodologia VaPi

2

² Da **rapporto sintetico** sulla Valutazione Piene redatto dal CNR-GNDCI, a cui si rimanda per ogni opportuno approfondimento e confronto (<http://caronte.gndci.cs.cnr.it/GNDCI/rapporti/Bari.htm>)

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato quindi adottato il modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al 1984). Il modello proposto ammette, che le due componenti quella straordinaria e quella ordinaria appartengano a popolazioni diverse, tuttavia interferiscono tra loro seguendo un processo poissoniano. Il processo individua una variabile X che rappresenta il massimo valore in una certa durata D , di una variabile casuale Y distribuita secondo la miscela di due esponenziali (Y_1 e Y_2) con funzione di probabilità cumulata (CDF):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\theta_2}); Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

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

Il numero di occorrenze K , cioè il numero di superamenti della variabile Y , in una durata D , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a Λ_1 e Λ_2 tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 \Lambda_2 K [E = t]$$

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

$$\theta_1 = E[Y_1] \quad \theta_2 = E[Y_2]$$

l'equazione diventa:

$$F_{kt}(k) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-k/\theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

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

$$p_2 = -\Lambda^*/\theta^* \sum_j (-1)^j / j! \Lambda^{*j} \Gamma(j+1/\theta^*)$$

nella quale Γ è la funzione speciale e:

$$\theta^* \theta = \theta_1 \theta_2, \quad \Lambda^* \Lambda = \Lambda_1 \Lambda_2 (\theta_1 \theta_2)^{1/\theta^*}$$

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

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (G), quindi risultano costanti i due parametri θ^* e Λ^* ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro Λ_1 che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di

più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della X e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

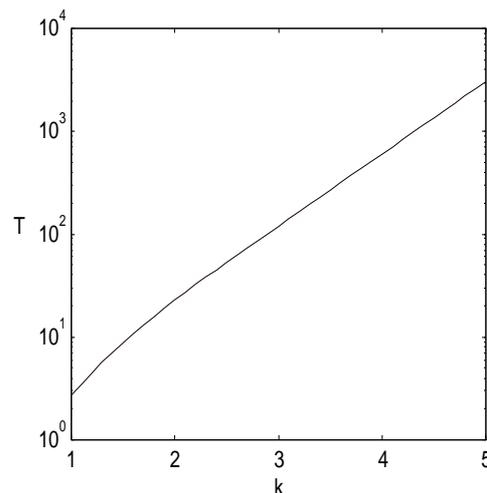
L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di Θ^* e Λ^*), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottozone omogenee al secondo livello.

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

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

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

E' possibile rappresentare graficamente la funzione $KT=KT(T)$ al variare del tempo di ritorno Tr ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

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

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

in cui :

$$\begin{aligned} a &= (\Theta^* \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1) / \eta \\ b &= \Theta^* \eta / \\ &= \eta \ln \Lambda_1 + C - T_0 \end{aligned}$$

T_0 è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo.

Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b , e i relativi valori η e T_0 , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	To	η
Puglia centro-merid.	0.01 83	0.62 19	- 0.8256	4.2 673

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

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

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

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

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

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

$$x_t = a \cdot t^{\frac{(C \cdot h + D + \log \alpha - \log a)}{\log 24}} \quad (4)$$

dove:

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

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

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

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

α	a	C	D
0.89	33.7	0.0022	4.1223

Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (4)

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

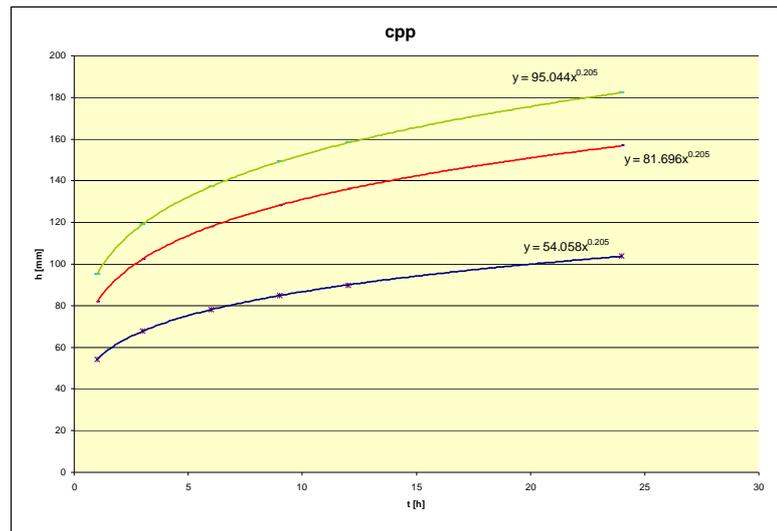
$$\text{Zona 5: } x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628 + 0.0002 z) / 3.178]}$$

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

Nello studio in oggetto si è determinata la c.p.p. inserendo la quota media del bacino totale.

Al valore così ottenuto, 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 kmq, e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

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



curva di possibilità pluviometrica con T_r di 30, 200 e 500 anni per la zona omogenea 5

I parametri a ed n della CPP per i diversi tempi di ritorno sono riportati nelle tabelle seguenti.

VAPI zona 2	a	n
TR30	54.058	0.205
TR200	81.696	0.205
TR500	95.044	0.205

valori dei parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica relativa al bacino in oggetto della zona omogenea 5

METODO ANALISI STATISTICA

La stazione pluviometrica la cui influenza ricade sui bacini urbani, ossia quelli inerenti linee di deflusso preferenziali che interessano l'area urbana bacini in oggetto, è quella di Adelfia (BA); inoltre ricadono parzialmente nel topoioto della stazione di Casamassima (BA) i bacini di dimensioni maggiori relativi ai reticoli più esterni³. Per la presente analisi saranno utilizzate le serie storiche delle precipitazioni intense (per durate pari a 1h, 3h, 6h, 12h e 24h) relative a detta stazione. Queste si presentano complete e congrue alle elaborazioni, essendo disponibili 46 dati di precipitazione dal 1961 al 2009; in particolare sono stati disponibili i seguenti dati di precipitazione:

	1h	3h	6h	12h	24h
Anno	mm	mm	mm	mm	mm
1961	23.6	24.2	31.0	47.0	54.4
1962	26.2	29.4	31.0	45.0	67.6

³ i bacini di dimensioni maggiori, relativi ai reticoli più esterni al centro urbano, ricadono parzialmente nel topoioto della stazione di Casamassima (BA)

1963	27.0	47.6	50.6	66.0	74.2
1964	41.0	41.0	42.0	52.6	75.2
1966	64.0	80.0	81.0	84.4	85.0
1967	15.0	15.0	19.4	22.2	25.6
1968	21.6	41.0	42.6	42.8	42.8
1969	30.6	41.8	59.0	74.6	86.2
1971	38.0	41.4	56.4	56.4	73.2
1972	28.6	38.6	39.0	50.2	57.8
1973	21.4	23.6	50.6	56.8	66.6
1974	35.6	45.0	48.0	58.0	75.8
1975	21.4	21.6	33.6	42.8	61.0
1976	18.4	29.0	37.4	46.4	57.8
1977	27.8	50.8	62.8	68.4	69.0
1978	30.6	36.8	37.4	43.2	58.4
1979	30.0	34.2	36.0	37.2	39.4
1980	17.0	20.0	38.0	53.8	57.0
1981	20.6	22.4	23.6	33.4	43.2
1982	45.0	63.8	63.8	63.8	63.8
1983	27.8	33.8	47.8	56.8	71.6
1984	23.6	30.2	45.8	80.0	95.2
1985	13.8	18.2	30.0	35.4	50.0
1986	26.4	26.4	26.4	26.6	32.8
1987	21.2	28.4	41.6	61.8	90.2
1988	13.6	19.2	27.2	35.2	38.2

1990	9.6	22.6	36.6	65.2	95.6
1991	21.0	21.6	22.4	>>	>>
1992	20.2	23.6	24.8	31.0	49.8
1993	16.4	17.0	18.2	27.2	38.8
1994	15.0	22.6	25.8	38.6	50.0
1995	33.4	35.2	46.6	52.6	79.6
1996	28.6	32.6	33.8	39.2	54.8
1997	11.6	23.0	23.4	32.0	47.8
1998	15.4	20.0	29.8	50.4	70.2
1999	22.8	42.2	43.6	51.4	55.8
2000	21.0	38.4	43.0	49.8	69.0
2001	12.6	23.2	23.6	40.4	55.0
2002	42.6	49.2	53.0	58.8	69.4
2003	28.6	29.8	32.6	57.2	64.0
2004	48.8	49.0	49.0	49.0	49.6
2005	25.6	30.4	30.4	38.0	52.4
2006	25.8	31.2	36.2	58.6	67.0
2007	37.6	41.2	41.2	46.8	69.8
2008					
2009	13.6	23.2	34.2	45.2	50.4

Al fine di giungere alla stima della Curva di Possibilità Pluviometrica (CPP) al variare del tempo di ritorno, è stata adottata la metodologia statistica, basata sulla individuazione della legge di probabilità più idonea a rappresentare il fenomeno tra le molte note in letteratura tecnica, valutando dapprima i parametri della distribuzione teorica di probabilità considerata.

Successivamente la scelta viene effettuata tramite alcuni stimatori (test statistici) che consentono di valutare la bontà dell'adattamento.

Si lega quindi la probabilità di verificarsi dell'evento al tempo di ritorno T (che rappresenta l'intervallo espresso in anni in cui l'evento si verifica mediamente una sola volta, tramite la relazione:

$$\Phi(Z) = \frac{T-1}{T}$$

e quindi applicando i legami ormai noti tra la variabile casuale z e le altezze di precipitazione se ne determinano i valori corrispondenti.

Funzione di distribuzione di probabilità

Una volta disponibili le serie storiche di dati di precipitazione registrata, occorre individuare quale sia la FDP (Funzione di Distribuzione di Probabilità) più congrua per l'interpretazione statistica delle serie stesse; le due distribuzioni prescelte, solitamente rappresentative degli eventi estremi, sono:

- La legge di Gumbel a due parametri o prima legge asintotica del massimo valore, per la quale l'espressione della distribuzione di probabilità della variabile casuale è:

$$P(h) = e^{-e^{\alpha(h-\epsilon)}}$$

- La legge di Frechet o distribuzione del massimo valore del secondo tipo, che ha la seguente espressione della distribuzione di probabilità della variabile casuale:

$$P(h) = e^{-(u/h)^\eta}$$

- La Generalized Extreme Value (GEV), distribuzione di probabilità a 3 parametri (u parametro di posizione, a parametro di scala, k parametro di forma, stimati con il metodo L-moments), per la quale l'espressione della distribuzione di probabilità della variabile casuale è:

$$P(h) = e^{-\left[1 - \frac{k(u-h)}{\alpha}\right]^{1/k}}$$

Test Statistico

La valutazione circa la maggiore opportunità dell'una o dell'altra FDP, al di là delle considerazioni a vantaggio di sicurezza, è svolta con l'ausilio di un test statistico. Il test utilizzato è quello di Pearson, ampiamente illustrato e tabellato in letteratura, e di cui si fanno brevi richiami.

Suddiviso il campo della variabile in un numero finito K di classi, in ciascuna delle quali la variabile abbia probabilità p_i ($i=1, \dots, K$) di ricadere, si determina per ciascun intervallo il numero di dati N_i del campione che vi ricadono.

Allora la relazione:

$$D_1 = \sum_i^k \frac{(N_i - Np_i)^2}{Np_i}$$

segue approssimativamente la distribuzione del χ^2 , con $f=K-r-1$ gradi di libertà, essendo r il numero di parametri della legge stimati del campione.

Individuato nella tabella il valore critico χ^2_{α} ad f gradi di libertà che corrisponde al prefissato livello di significatività del test (che è al solito $\alpha=0,10$ o $\alpha=0,05$), si accetta l'ipotesi che il campione sia tratto da una popolazione avente la FDP esaminata se $D1 < \chi^2_{\alpha}$, mentre sono parzialmente accettabili i valori di χ^2_{α} inferiori al valore riportato in tabella corrispondente a $k-1$ gradi di libertà; infine, se i valori ricadono al di fuori di tale intervallo, si è nella zona di rigetto del test.

Nell'esecuzione del test si usa l'accortezza di operare una ripartizione tale che sia $p_i=1/K$, uguale per tutte le classi, e che $N/K \geq 5$

La analisi quantitativa della consistenza delle serie dei dati disponibili, conduce ai seguenti risultati del il test di Pearson:

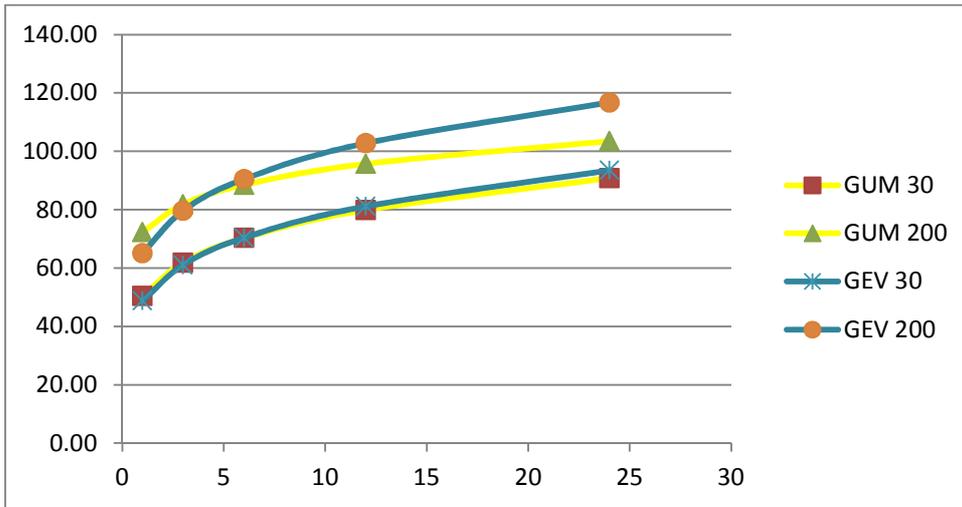
Adelfia								
GEV			GUMBEL			FRECHET		
11.07	>>>	6.800	12.6	>>>	7.200	12.6	<<<	12.800
11.07	>>>	8.800	12.6	>>>	4.000	12.6	<<<	18.400
11.07	>>>	10.400	12.6	>>>	2.400	12.6	>>>	7.200
9.488	>>>	5.455	11.07	>>>	2.182	11.07	>>>	10.545
9.488	>>>	8.364	11.07	>>>	9.091	11.07	>>>	8.727

Pertanto si evince che per la stazione di Adelfia le distribuzioni per le quali la serie storica verifica completamente il test sono quelle di Gumbel e la GEV, mentre quella di Frechet non è evidentemente utilizzabile.

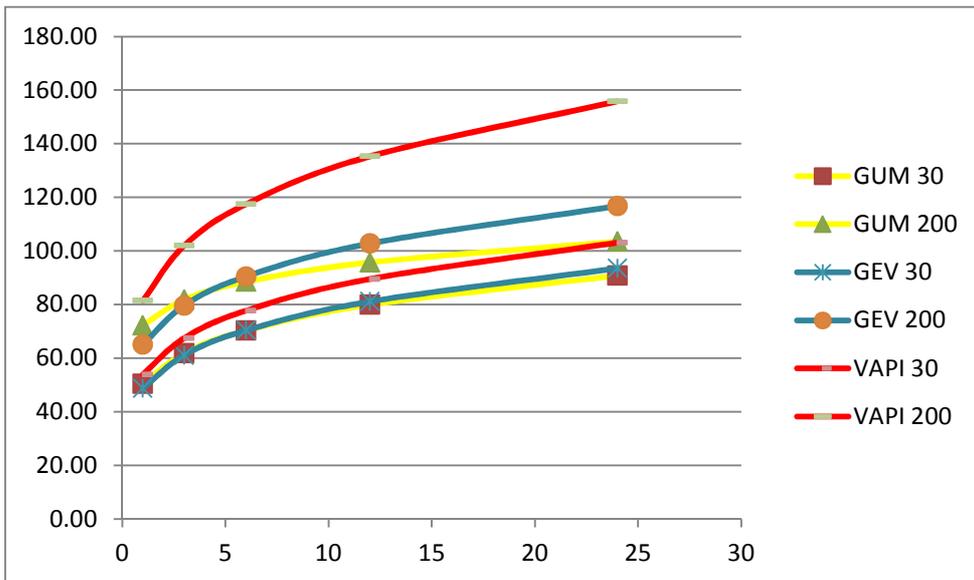
La applicazione pratica delle predette FDP alle due serie storiche della stazione di e stazioni di Adelfia, porta alle seguenti definizioni delle CPP, rispettivamente per i Tr di 30 e 200 anni.

Tr_Staz_FDP	a	n	1	3	6	12	24
030_m_GEV	48.74	0.205	48.74	61.05	70.37	81.12	93.50
030_m_GUM	50.45	0.185	50.45	61.82	70.28	79.89	90.82
200_m_GEV	65.06	0.184	65.06	79.64	90.47	102.77	116.75
200_m_GUM	72.26	0.113	72.26	81.81	88.48	95.69	103.48

A titolo dimostrativo si riporta di seguito il grafico delle 2 CPP per i Tr di 30 e 200 anni:



Detti valori vanno confrontati con quelli ottenuti con l'applicazione del metodo VaPi, precedentemente descritto, al fine di utilizzare la CPP più cautelativa. Il diagramma complessivo è il seguente:



Si evince con immediatezza che con notevolissimo margine il metodo VaPi, basato sulla regionalizzazione, è sempre oltremodo cautelativo rispetto a quello basato sulla analisi puntuale delle serie storiche disponibili.

4.2 CAPACITA' DI DEFLUSSO

Il parametro CN è denominato Curve Number esso indica l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima sulla base delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale. La stima del CN si

effettua determinando il gruppo idrologico di appartenenza e, all'interno di ciascun gruppo, valutando la copertura d'uso del suolo; alle sottoclassi così determinate viene associato un valore di CN.

I valori del CN, quindi, rappresentano la capacità di risposta, in termini di infiltrazione e ruscellamento a fronte di un evento di pioggia, del bacino analizzato. Le caratteristiche geolitologiche sono state determinate facendo riferimento alla carta dei suoli redatta dall'IRSA CNR in scala 1:100.000, ed è stato possibile caratterizzare i suoli dal punto di vista della permeabilità secondo la classificazione SCS.

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

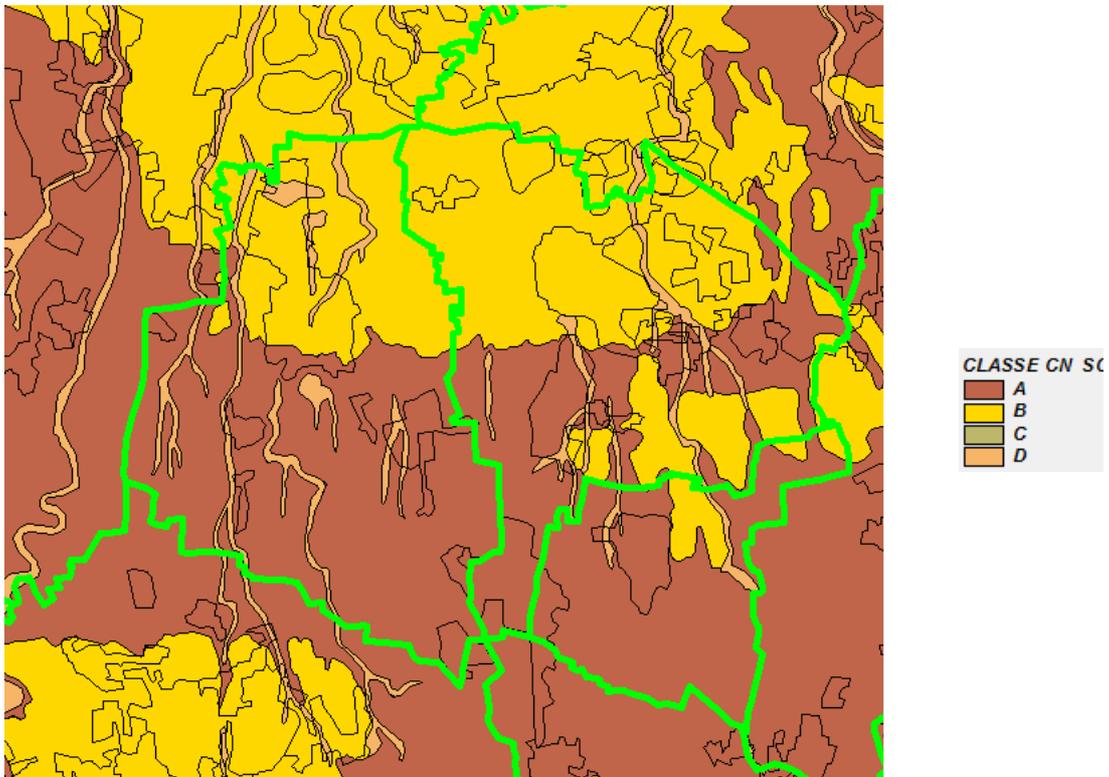
Gruppi geolitologici

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

Uso del Suolo	A	B	C	D
<ul style="list-style-type: none"> • Aree agricole con presenza di spazi naturali • Seminativi in aree non irrigue • Vigneti non irrigui • Colture temporanee associate a colture permanenti • Frutteti e frutti minori non irrigui 	62	71	78	81
Aree Urbane	92	92	92	92
Area residenziale	77	85	90	92
Bacini d'acqua	100	100	100	100
<ul style="list-style-type: none"> • Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo • Colture orticole a ciclo estivo 	72	81	88	91

autunnale/primaverile <ul style="list-style-type: none"> • Colture orticole a ciclo primaverile-estivo • Frutteti e frutteti minori irrigui • Oliveti irrigui • Sistemi colturali e particellari complessi • Vigneti irrigui • Sistemi colturali e particellari complessi • Vigneti irrigui 				
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Zone Boscate	45	66	77	83

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



Mappatura della classificazione gruppo dei suolo in base a SCS



Mappatura dei valori del CN II del territorio del comune di Capurso

Al fine di mappare il valore del parametro CN, si è utilizzato il Piano Regolatore Generale che riporta le zone del territorio comunale con la loro destinazione urbanistica, in questa maniera si è tenuto conto anche della previsione di sviluppo del territorio.

Alle aree urbane, commerciali, destinate alle lavorazioni e industrie è stato assegnato il valore CN = 92, mentre alle restanti il valore del parametro dedotto dall'uso del suolo e alla classe SCS.

Nel paragrafo 7.2 sono riportati i valori dei parametri CN II e CN III così determinati , per tutti i bacini tributari individuati nell'analisi morfologica.

4.3 MODELLI AFFLUSSI DEFLUSSI UTILIZZATI

Nel presente studio si sono adottati due metodologie per il calcolo della portata:

- **METODO CN del Soil Conservation Service;**
- **METODO concettuale fisicamente basato**

I due metodi sono stati utilizzati al fine di valutare il regime idraulico di alcuni reticoli (quelli interferenti al centro urbano) ritenuti poco significativi e permettere di classificarli in base ad una serie di parametri.

La valutazione è stata utilizzata per la definizione ufficiale di reticolo idrografico a cui applicare le NTA del PAI e successivamente a determinare le aree a diversa pericolosità idraulica.

In questo paragrafo è descritta sinteticamente la teoria di entrambi i metodi, rimandando la valutazione dei parametri e dei risultati al paragrafo 7.2.

METODO CN SCS

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

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

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

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

con :

- V = volume di deflusso;
- P_n = Pioggia netta;
- W = volume idrico realmente invasato nel suolo;
- S = volume massimo che il suolo può immagazzinare.

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

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

$$I_a = 0,2 S$$

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

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

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

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

Infine la portata al picco è determinata mediante la seguente relazione:

$$Q = 0,208 \frac{V \cdot A}{t_a}$$

Dove con t_a si è indicato il tempo di accumulo dell'idrogramma di piena, ovvero il tempo che intercorre dall'inizio del deflusso al transito del picco di piena.

METODO CONCETTUALE FISICAMENTE BASATO A PARAMETRI DISTRIBUITI

Al fine di verificare i risultati ottenuti con la formulazione empirica del *Soil Conservation Service* si sono effettuate simulazioni idrauliche con modelli idraulici concettuali fisicamente basati a parametri distribuiti.

In generale il Modello matematico idraulico è una rappresentazione del sistema reale tramite un insieme di relazioni matematiche che anche non potendo descrivere esattamente il suo comportamento nel particolare permette comunque di formulare in maniera matematica il problema di controllo.

La complessità del modello dipende dal sistema che si deve descrivere.

Esistono molti tipi di modelli che possono essere classificati secondo diversi criteri: modelli fisici (di scala, analogici, di simulazione) oppure astratti (deterministici, aggregati e distribuiti o non deterministici, probabilistici e stocastici), ecc.

Fra questi sono molto significativi e costituiscono oggetto di attività di ricerca scientifica recente i modelli fisicamente basati a parametri distribuiti che simulano i fenomeni di trasformazione afflussi deflussi proponendosi di fornire una descrizione matematica delle componenti del bilancio idrologico che si svolge nel bacino idrografico, attraverso cui le precipitazioni meteoriche, in funzione sia del tempo che dello spazio, in corrispondente sezione di chiusura (idrogramma di piena).

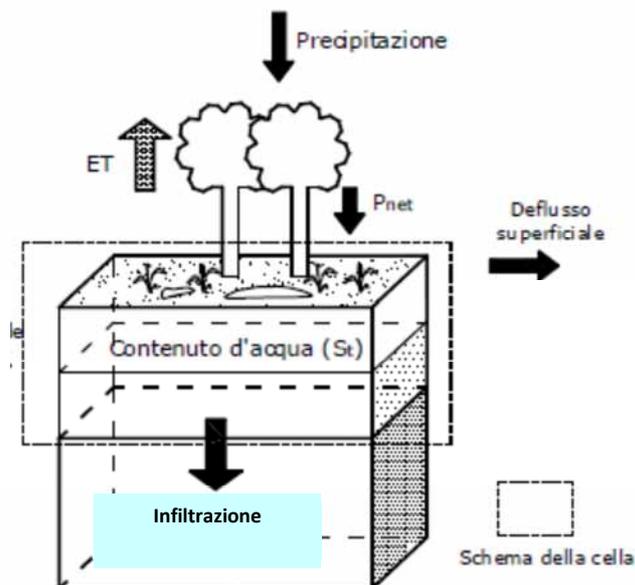
Generalmente nel modello idrologico di trasformazione afflussi deflussi il bacino idrografico viene considerato come un sistema soggetto ad ingresso variabile nel tempo e nello spazio dell'intensità di pioggia (input), la cui uscita è rappresentata dall'andamento della portata nel tempo (output) defluente attraverso la sezione di chiusura. La risposta del sistema dipende dalla variabilità spaziale e temporale sia

delle caratteristiche dell'evento pluviometrico, che di quelle geopedologiche e morfologiche del bacino idrografico.

Poiché non è possibile una conoscenza completa di tutti i processi che influenzano la risposta idrologica del bacino, nel modello idrologico la complessità del sistema reale viene semplificata, esaltando le grandezze fondamentali e trascurando gli elementi ritenuti secondari.

Nel modello idrologico fisicamente basato a parametri distribuiti la complessità del sistema viene rappresentata attraverso tutti i fenomeni fisici coinvolti. Oltre a rappresentare la relazione input- output, sono riprodotte le relazioni interne fra le variabili idrologiche.

Adottando la schematizzazione spaziale a griglia (raster), è possibile infatti attribuire ad ogni cella le informazioni relative a morfologia del bacino, sviluppo del reticolo idrografico, caratteristiche idrogeologiche del suolo, (anche eventualmente carico inquinante immesso), afflusso meteorico, ecc. che vengono utilizzate nelle varie equazioni di bilancio e di trasferimento.



Il modello restituisce una descrizione dei processi funzionanti in un sistema idrologico in maniera puntuale, mediante la ricerca della soluzione delle equazioni differenziali, esprimenti i bilanci di massa, di quantità di moto e, quando necessario, di energia, che governano i processi medesimi.

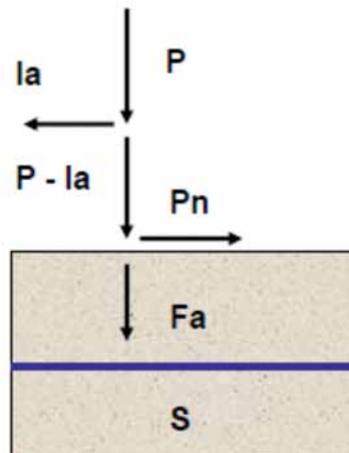
Nonostante le ipotesi semplificative necessarie a risolvere le equazioni che governano i vari processi, tali modelli richiedono una cospicua mole di dati e notevoli tempi di calcolo.

Nel caso in oggetto, le variabili che concorrono alla definizione del problema sono:

- pioggia lorda (determinata dall'equazione della curva di possibilità pluviometrica di progetto);
- durata della precipitazione;
- perdita iniziale (relativa all'intercettazione e evapotraspirazione = I_a);

- coefficiente di immagazzinamento del suolo (S)
- perdita di infiltrazione.

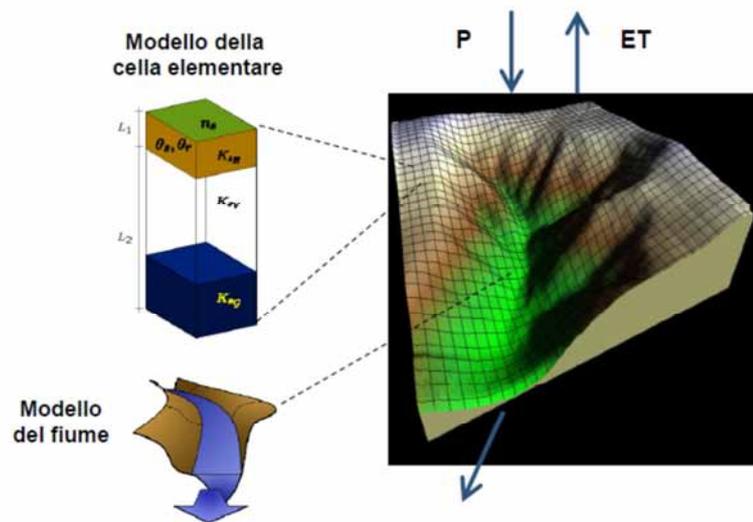
I primi due parametri sono riconducibili allo ietogramma di progetto, mentre gli ultimi 3 sono deducibili dal coefficiente CN che nel caso in oggetto è adottato per condizioni di saturazione più gravose del suolo (CNIII).



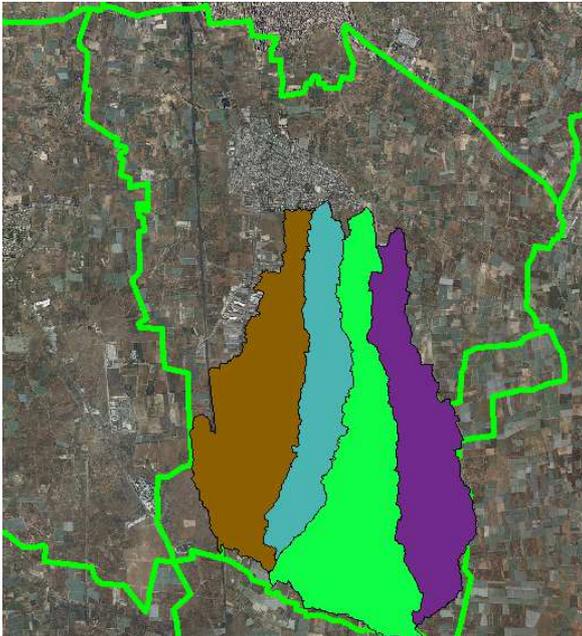
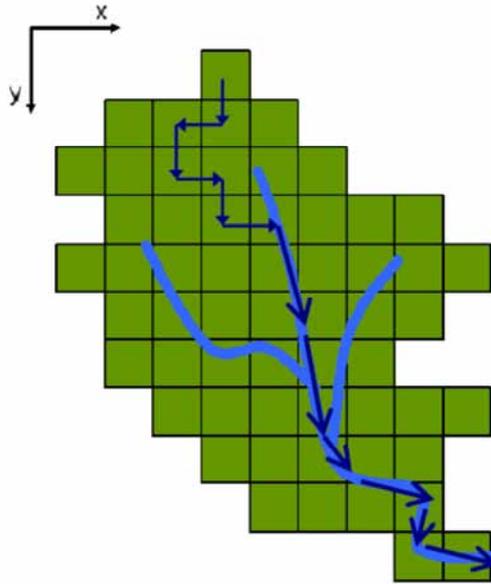
P è la pioggia totale
 Pn è la pioggia netta (mm)
 la sono le perdite iniziali (mm)

Fa è la perdita per infiltrazione (mm)
 S è il coefficiente di immagazzinamento del suolo (mm)

I parametri di input sono inseriti in ogni cella del bacino tributario in funzione della distribuzione spaziale (CN) e temporale (ietogramma di progetto).



Il dato di output per ogni cella risulta essere il deflusso superficiale, che viene elaborato nel suo insieme nel modello idraulico su dominio bidimensionale in funzione delle equazioni di moto ed energia che regolamentano il suo trasferimento in funzione delle condizioni morfologiche del percorso.



Come sarà spiegato nel paragrafo 6.2. il modello è stato applicato per i bacini di esigua dimensione (< 3 kmq) che interferiscono con il centro urbano con lo scopo di valutare il loro regime idraulico al fine di classificare le linee preferenziali di deflusso come reticoli ufficiali a cui applicare le NTA del PAI della Puglia.

5. ANALISI MORFOLOGICA

Le valutazioni condotte in questa fase sono esclusivamente di natura morfologica e sono state eseguite mediante l'utilizzo di software GIS in grado di svolgere svariate operazioni di interpolazione e di interpretazione del comportamento idraulico del territorio che verranno descritte più avanti. Le valutazioni sono state realizzate basandosi su una serie di dati in formato digitale disponibili che vengono di seguito elencati:

1. Cartografia IGM in scala 1:25000 formato raster;
2. Cartografia CASMEZ in scala 1:5000 formato raster;
3. Ortofoto digitale in bianco e nero in formato raster;

4. Ortofoto digitale a colori in formato raster;
5. Cartografia aerofotogrammetrica in scala 1:5000 formato vettoriale;

I dati di cui sopra sono stati associati una serie di sopralluoghi e ulteriori indagini planoaltimetriche in campo nonché restituzioni aeree di elevato dettaglio che hanno consentito, per successive approssimazioni, di determinare la direzioni più probabile dei deflussi idraulici riguardo la zona studiata rispetto ai reticoli rappresentati sulla carta idrogeomorfologica, ossia:

1. Rilievi topografici di dettaglio della zona di interesse.
2. Rilievo LIDAR (Ministero dell'ambiente)

Nel dettaglio le fasi di sopralluogo, elaborazione e rilievo topografico; si sono più volte ripetute man mano che le elaborazioni rendevano necessari ulteriori rilievi topografici finalizzati a fugare ogni dubbio riguardo la possibilità che l'acqua possa andare da una parte piuttosto che dall'altra.

Il contributo fondamentale è stato dovuto all'utilizzo del rilievo LIDAR concesso dal Ministero dell'ambiente per tutto il territorio del comune di Capurso.

Il rilievo LIDAR ha consentito di avere una elevata conoscenza del territorio e di ottenere le direzioni preferenziali di deflusso in termini più dettagliati rispetto a quelle che si possono ricavare utilizzando i dati della Cartografia tecnica regionale (CTR in scala 1:5.000).

Risulta evidente che è stato comunque necessario effettuare sopralluoghi mirati per verificare, almeno qualitativamente la presenza di infrastrutture di attraversamento anche nelle zone non interessate dalla mappature delle aree a diversa pericolosità idraulica.

5.1 RILIEVO PLANOALTIMETRICO DI DETTAGLIO

Allo scopo di poter definire con precisione le linee preferenziali di deflusso e successivamente le modellazioni idrauliche, si è reso necessario un rilievo topografico di dettaglio con la finalità di rilevare, oltre che la geometria fondamentale del tratto di impluvi analizzati, tutte le particolarità riscontrate. Il rilievo, pertanto, ha consentito di determinare l'andamento planoaltimetrico delle aree attraversate dagli impluvi oggetto di studio, necessario per la sua analisi morfologica, idrologica ed idraulica.

E' inoltre importante, per le applicazioni di modelli di propagazione bidimensionali, che il dato topografico sia quanto più possibile omogeneo e uniformemente distribuito.

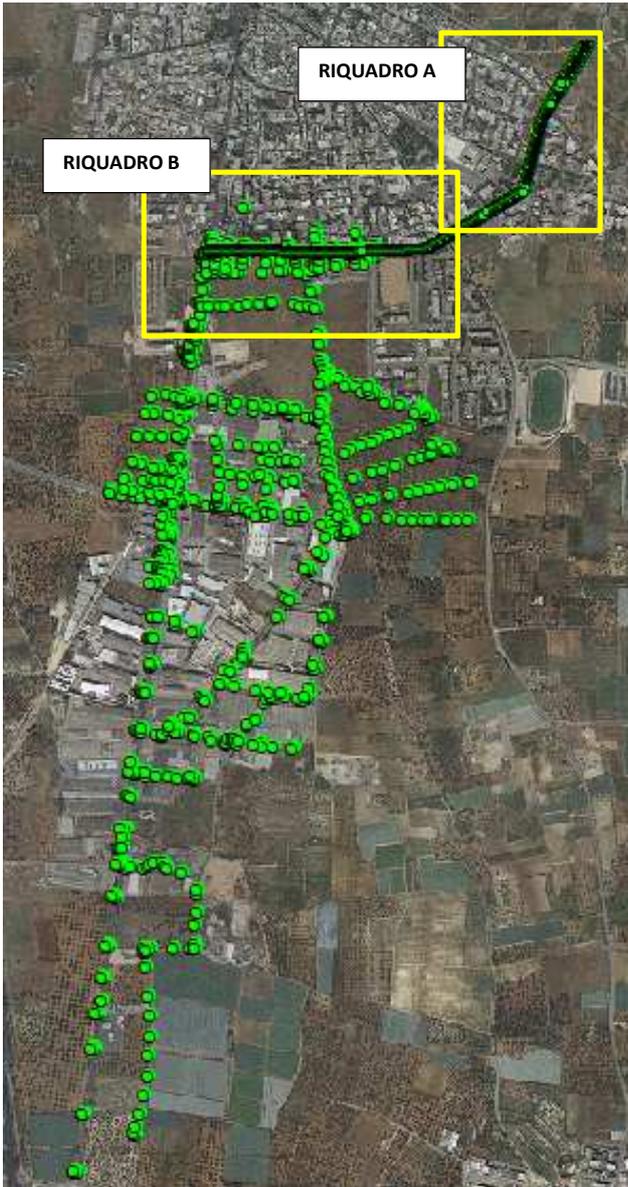
Nel caso in esame sin sono effettuate due campagne di rilievo topografico.

In prima battuta sono stati effettuati rilievi con strumentazione GPS molto dettagliati al fine di rilevare gli aspetti delle singolarità presenti sui reticoli idrografici ossia:

- Sezioni degli impluvi (canale deviatore) (vedasi elaborato grafico G4);
- manufatti idraulici esistenti ;
- infrastrutture di attraversamento (comprensivo del rilievo immediatamente a monte e a valle di ognuno di essi);
- Singolarità idrauliche o strutture di regimazione della piena quali briglie e soglie (comprensivo del rilievo immediatamente a monte e a valle di ognuna di esse).

Successivamente è stata verificata la presenza di tombini posti in prossimità dell'intersezione delle direzioni preferenziali di deflusso con le infrastrutture viarie e ferroviarie per verificare la continuità idraulica e quindi meglio identificare nella sua globalità il bacino tributario.

Si riportano nel seguito alcune immagini relative al rilievo topografico in sito condotto con strumentazione GPS.



Particolare punti rilevati nel canale deviatore (riquadro A)



Particolare punti rilevati nel canale deviatore (riquadro B)

Prima campagna di indagini

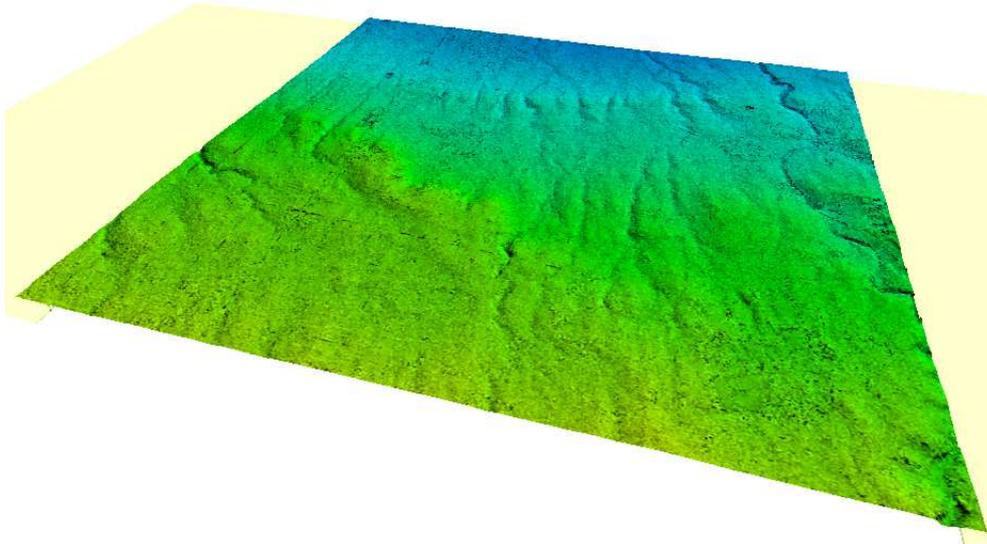


seconda campagna di indagini

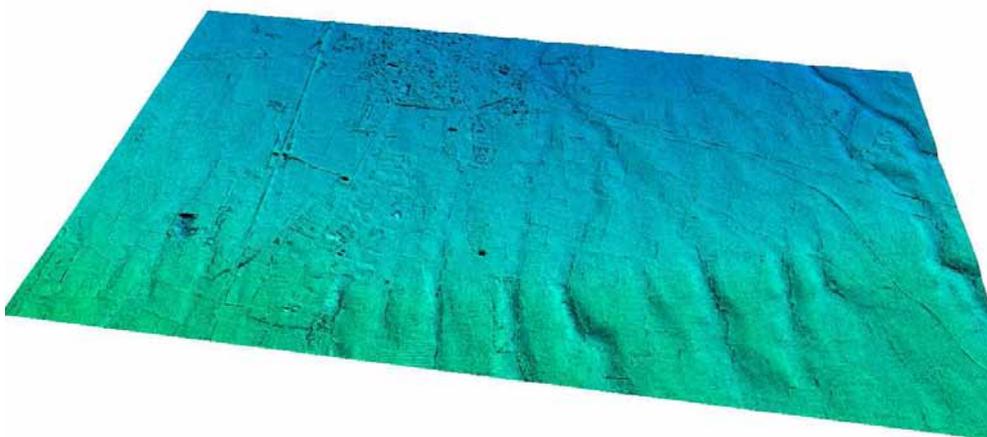
5.2 RESTITUZIONE AEREA LIDAR

Come già anticipato è stato acquisito dal Ministero dell'ambiente il rilievo LIDAR dell'intero territorio comunale che ha consentito di avere un quadro morfologico con elevato grado di dettaglio.

Il sistema cartografico del rilievo è GCS – WGS 84 con maglia di restituzione DTM 1m x 1m in quote ortometriche , accuratezza altimetrica +/- 15 cm e planimetrica +/- 30 cm, livello di confidenza al 95% +/- 40 cm, nuvola di punti in quote ellissoidiche.



Dtm LI.DAR acquisito



Particolare del centro urbano

5.3 IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

La modellazione idrologica ha conosciuto in questi ultimi anni un forte impulso dovuto all'avvento di sistemi informatici quali i GIS e alla vasta disponibilità di dati in formato digitale, ma non solo: le accresciute potenze di calcolo hanno permesso di simulare sempre più in dettaglio tutti i processi fisici che stanno alla

base della fenomenologia idrica. Sono nati moltissimi applicativi di simulazione idrologica soprattutto per quanto riguarda i modelli distribuiti afflussi-deflussi, che permettono di ricostruire un evento di piena conoscendo parametri quali le precipitazioni, la tipologia del suolo, la sua destinazione d'uso e la sua morfologia.

Uno degli aspetti idrologici su cui sono state condotte numerose ricerche è quello della

determinazione del reticolo idrografico a partire da dati digitali di quota, normalmente organizzati in strutture matriciali (raster). Individuare il reticolo idrografico nell'ambito dei modelli di simulazione idrologica è di fondamentale importanza in quanto permette di conoscere l'estensione delle aste fluviali, le loro pendenze e la loro struttura complessiva in modo che possano essere determinati altri parametri necessari ad un corretto utilizzo dei modelli stessi.

Con il termine di modello digitale del terreno (in inglese "digital terrain model", DTM) si intende una superficie analitica continua o con discontinuità di prima specie ed in genere con derivata prima discontinua, in grado di rappresentare l'andamento spaziale di determinate caratteristiche territoriali.

Nel caso di sole superfici topografiche si parla di modelli digitali di quota ("digital elevation model", DEM). Il termine "digitale" ricopre una notevole importanza nella definizione dei DTMs e dei DEMs: indica che tali tipologie di dati sono disponibili su supporto informatico, quindi analizzabili da sistemi computerizzati.

Il tipo di rappresentazione che fornisce un modello digitale di quota può essere scelto fra una vasta gamma di possibilità: curve di livello, profili di sezioni, reticoli, punti isolati qualsiasi. Inoltre esiste tutta una serie di algoritmi di calcolo automatico che permettono di passare da un tipo di rappresentazione ad un altro. Tutto ciò giustifica la denominazione "modello digitale": sono disponibili non solo campioni di quote osservabili di porzioni di territorio, ma anche campioni di quote stimate mediante algoritmi di calcolo automatico, cioè avendo assunto arbitrariamente ed opportunamente un certo modello digitale quale modello interpretativo dell'andamento delle quote nell'area in esame.

In definitiva il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della regione oggetto di studio.

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

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

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

In molti software commerciali come ARCINFO, sono disponibili varie procedure per la generazione del modello tridimensionale del terreno, che costituirà la base per successive elaborazioni ed analisi che prendano in considerazione non solo la localizzazione topografica dei punti ma anche la loro elevazione altimetrica: viene così generato un modello digitale del terreno che contiene una nuova informazione relativa alla quota.

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

Ottenuto il TIN utilizzando algoritmi di conversione si è passati al formato di rappresentazione matriciale o Grid.

La modalità Grid permette di analizzare la superficie topografica in modo radicalmente più complesso rispetto alla modalità TIN. Come per ogni modulo di Arc/Info viene usata una modalità georelazionale per l'elaborazione dei dati geografici. La peculiarità sta nel fatto che nei Grid, l'elaborazione dei dati è basata sulla combinazione di un modello spaziale basato sulla suddivisione del territorio in porzioni quadrate di dimensioni che possono essere scelte in base alle necessità di dettaglio richieste, dette celle, e un modello correlato di attributi associati; in questo caso si è scelto di lavorare con celle di 5m di lato.

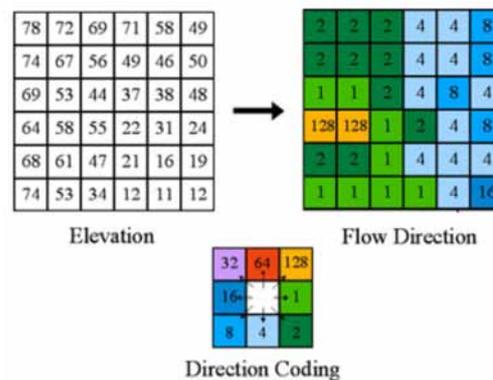
Le celle sono posizionate nello spazio in base all'andamento della superficie topografica, e contengono un valore che descrive le caratteristiche del territorio secondo tematismi scelti in base alle necessità di analisi. Tali valori costituiscono un vero e proprio database associato alle singole celle, permettendo di analizzare la variazione dei parametri in modo continuo lungo la superficie topografica.

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

La prima analisi da effettuare quando si vuol determinare il funzionamento idrologico di un bacino è il calcolo delle direzioni di deflusso. Le direzioni di deflusso possono essere definite come quelle direzioni secondo cui si orienta il deflusso in base all'andamento topografico dei luoghi.

Per la loro determinazione con i moderni sistemi GIS è necessario utilizzare come input la griglia di un DEM che è costituita da una griglia di dati matriciale in cui il valore della quota è rappresentativo di ogni cella.

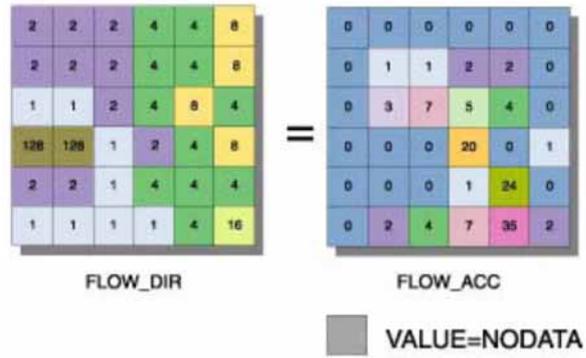
Con l'ausilio delle moderne tecnologie è possibile affrontare svariate analisi e applicare diversi modelli di calcolo per la determinazione delle direzioni preferenziali di deflusso. La maggior parte dei software più diffusi in commercio utilizzano un algoritmo denominato D8 per la determinazione delle direzioni di deflusso. Detto algoritmo utilizza il più semplice metodo per la determinazione delle direzioni di flusso assegnandole partendo da ogni pixel verso uno dei suoi otto pixel adiacenti, o diagonali, nella direzione di massima pendenza. Questo metodo trova limitazione nel fatto che si ha la possibilità di assegnare i flussi solamente lungo otto direzioni formanti angoli di 45° fra loro. Per ovviare a questa problematica, vista anche la disponibilità di rilievi topografici di dettaglio, nel presente studio si è utilizzata una dimensione delle celle del grid relativamente piccola (5m).



Flow direction (direzioni di deflusso)

Determinate le direzioni preferenziali di deflusso, sempre attraverso l'ausilio di algoritmi di calcolo implementati nei normali software Gis, è stato possibile determinare l'area contribuente ad ogni cella del grid utilizzato adoperando la funzione di flow accumulation.

La funzione di flow accumulation calcola, per ogni cella, il numero di celle contribuenti a se stessa. Risulta la ovvia conseguenza che la conoscenza della dimensione delle celle consente di determinare l'area contribuente ad ogni cella del grid.



Flow accumulation

Per determinare l'estensione delle direzioni preferenziali di deflusso è stato necessario fissare una soglia oltre la quale si ipotizza che il ruscellamento assume significato rispetto alle finalità degli studi che si vogliono condurre.



Linee preferenziali di deflusso

5.4. DETERMINAZIONE DEI BACINI TRIBUTARI

L'individuazione del bacino scolante costituisce un passaggio fondamentale al fine di giungere alla determinazione delle portate al picco di piena.

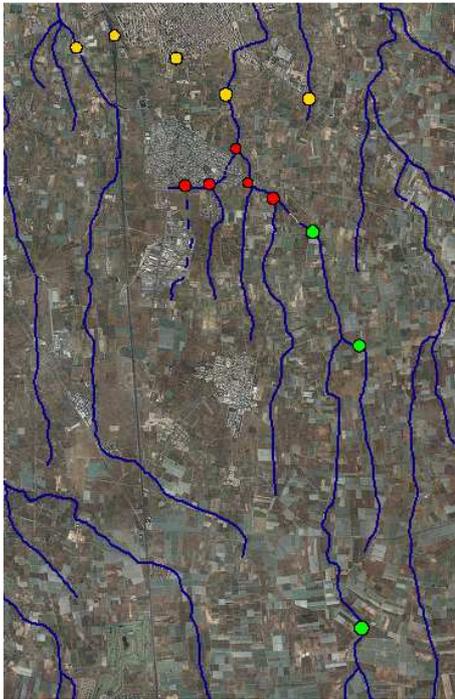
I parametri individuati da questo tipo di analisi costituiscono una parte dell'input dei modelli idrologici e idraulici applicati nel seguito. Per questo motivo è importante investire risorse sufficienti in modo da avere la maggiore certezza possibile sui risultati ottenuti.

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

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione tipo GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile determinare i bacini idrografici afferenti alle sezioni di chiusura tirate in corrispondenza dei reticoli di interesse e determinare le caratteristiche morfometriche di cui necessita l'elaborazione idrologica.

In particolare le sezioni di chiusura sono state individuate nei reticoli della carta idrogeomorfologica in prossimità:

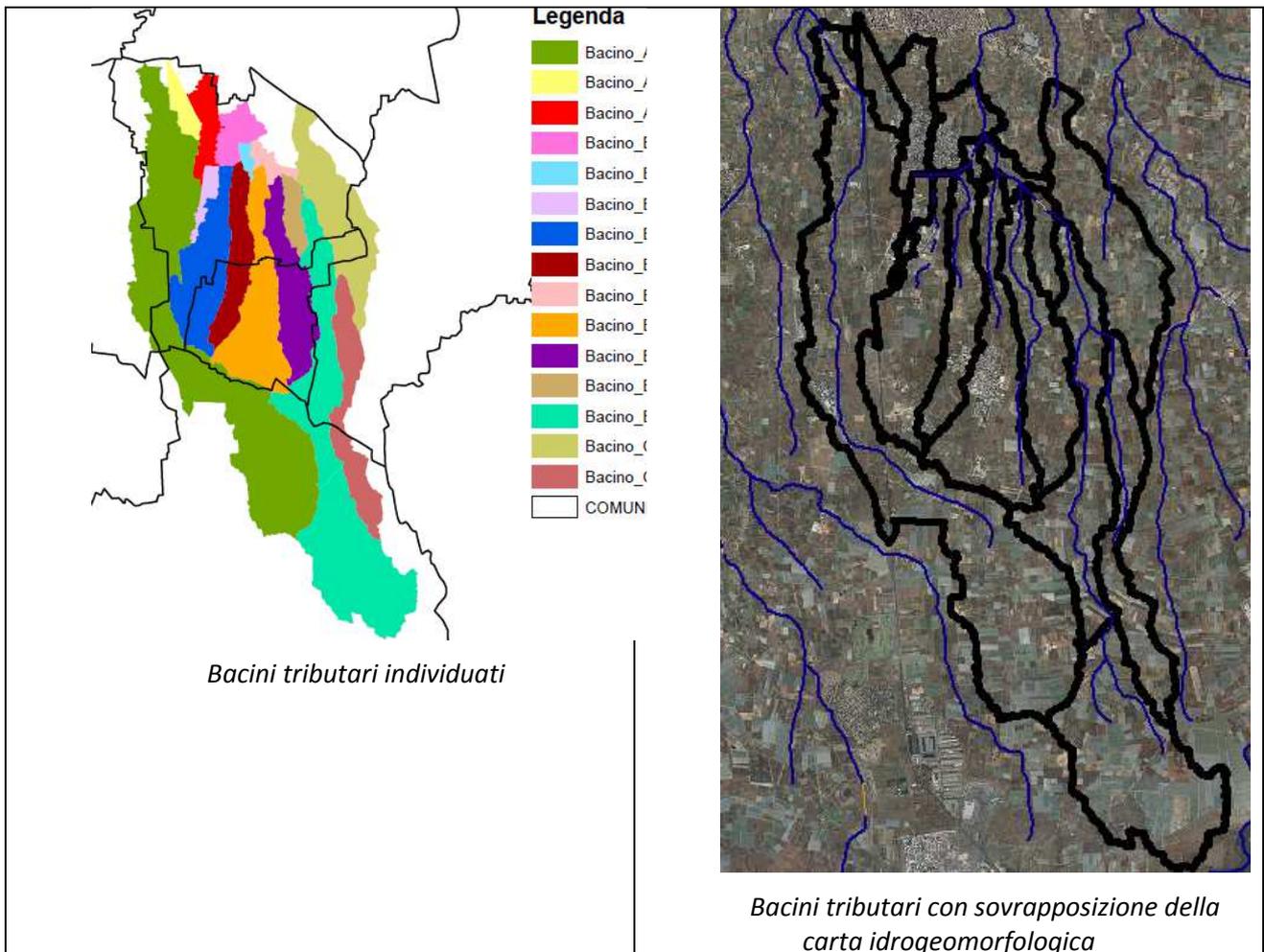
- delle intersezioni / confluenze;
- dei limiti comunali
- delle singolarità ossia dei punti dove i *rivers* individuati con il DTM di dettaglio avevano un differente percorso rispetto ai reticoli della carta idrogeomorfologica.

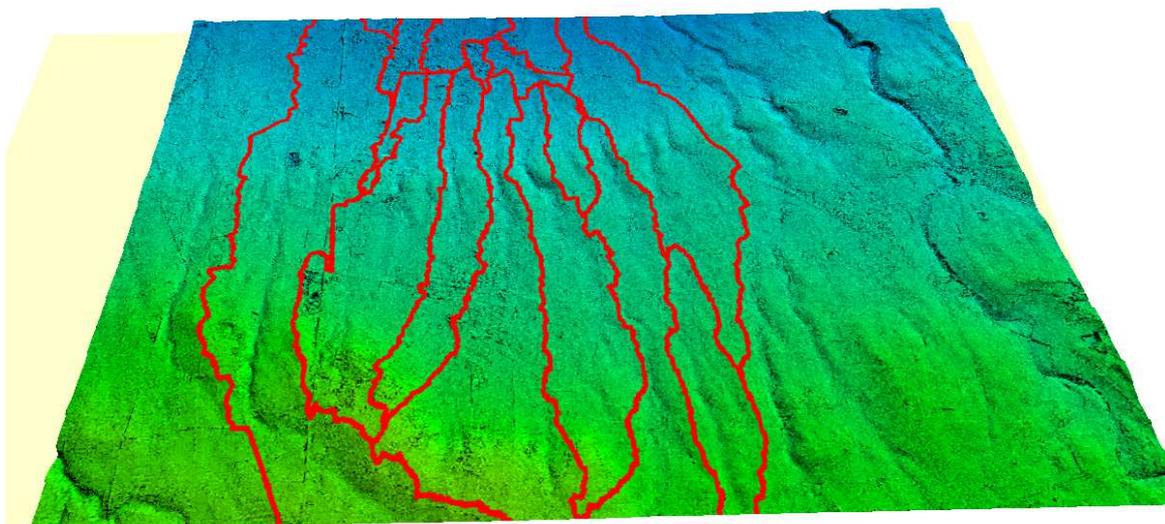


Giallo = sezioni di chiusura delle direzioni preferenziali di deflusso in prossimità dei limiti del territorio comunale;

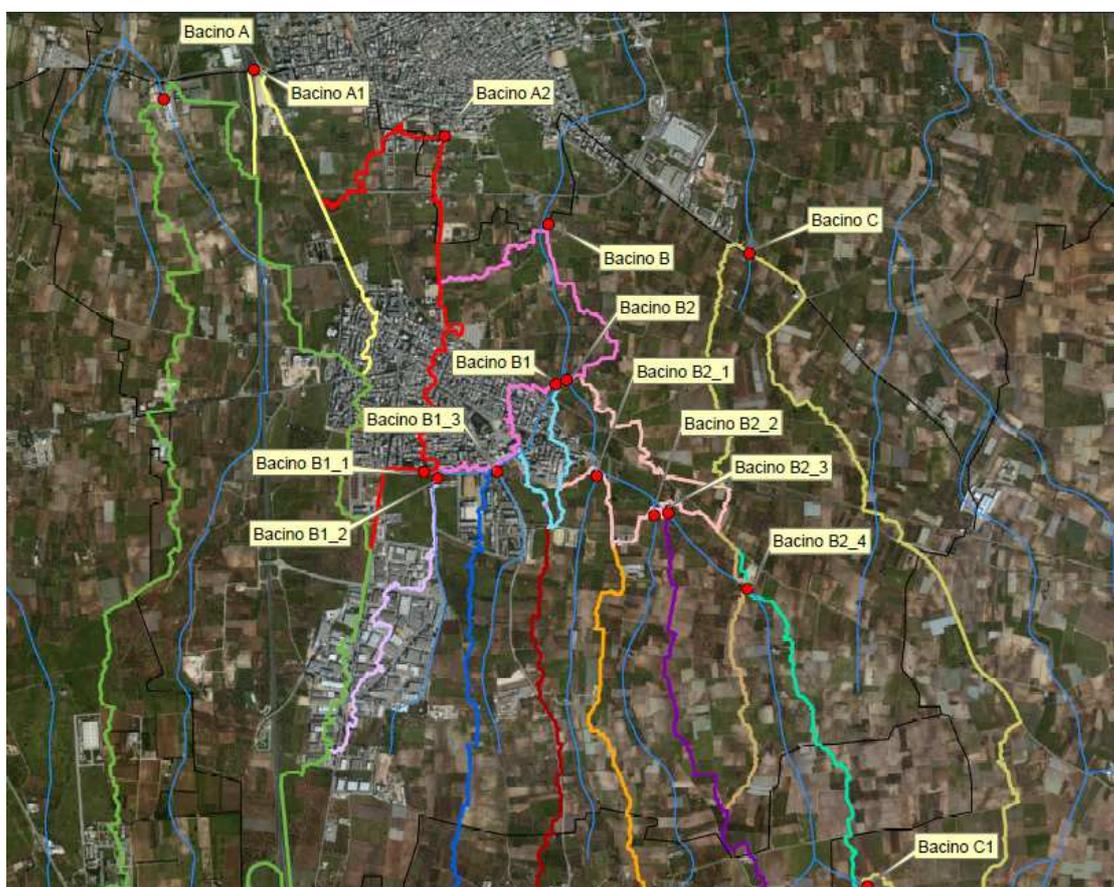
Rosso = sezioni di chiusura delle confluenze dei reticoli della carta idrogeomorfologica;

Verde = sezioni di chiusura sui reticoli della carta idrogeomorfologica dove le direzioni preferenziali di deflusso individuate con il DTM di dettaglio presentano un differente percorso (oggetto di approfondimenti nei paragrafi successivi)





Bacini tributari su DTM LIDAR



Dettaglio sezioni di chiusura dei sottobacini

Bacino A	
A = Area di bacino [Kmq]	9.200
Hmax = H massima del bacino	312.660
H = H media del bacino [m]	251.830
H min = H minima del bacino [m]	191.000
Lp = Flowlength MAX [Km]	10.310
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	9.279
im = Pendenza media del bacino [%]	2.148
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.012
Ha = H media dell'asta princ. [m]	251.830

Bacino A2	
A = Area di bacino [Kmq]	0.780
Hmax = H massima del bacino	99.520
H = H media del bacino [m]	73.490
H min = H minima del bacino [m]	61.670
Lp = Flowlength MAX [Km]	2.040
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	1.836
im = Pendenza media del bacino [%]	3.100
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.019
Ha = H media dell'asta princ. [m]	73.490

Bacino B1	
A = Area di bacino [Kmq]	0.130
Hmax = H massima del bacino	92.770
H = H media del bacino [m]	80.150
H min = H minima del bacino [m]	67.530
Lp = Flowlength MAX [Km]	0.700
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	0.63
im = Pendenza media del bacino [%]	3.490
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.036
Ha = H media dell'asta princ. [m]	80.150

Bacino B1_2	
A = Area di bacino [Kmq]	2.340
Hmax = H massima del bacino	148.190
H = H media del bacino [m]	111.870
H min = H minima del bacino [m]	75.550
Lp = Flowlength MAX [Km]	4.706
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	4.2354
im = Pendenza media del bacino [%]	3.180
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.015
Ha = H media dell'asta princ. [m]	111.870

Bacino B2	
A = Area di bacino [Kmq]	0.300
Hmax = H massima del bacino	92.770
H = H media del bacino [m]	80.370
H min = H minima del bacino [m]	67.980
Lp = Flowlength MAX [Km]	0.810
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	0.729
im = Pendenza media del bacino [%]	3.490
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.031
Ha = H media dell'asta princ. [m]	80.370

Bacino A1	
A = Area di bacino [Kmq]	0.440
Hmax = H massima del bacino	114.540
H = H media del bacino [m]	77.380
H min = H minima del bacino [m]	59.950
Lp = Flowlength MAX [Km]	1.680
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	1.512
im = Pendenza media del bacino [%]	2.148
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.032
Ha = H media dell'asta princ. [m]	77.380

Bacino B	
A = Area di bacino [Kmq]	0.690
Hmax = H massima del bacino	92.770
H = H media del bacino [m]	78.410
H min = H minima del bacino [m]	64.050
Lp = Flowlength MAX [Km]	9.610
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	8.649
im = Pendenza media del bacino [%]	3.490
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.003
Ha = H media dell'asta princ. [m]	78.410

Bacino B1_1	
A = Area di bacino [Kmq]	0.300
Hmax = H massima del bacino	99.520
H = H media del bacino [m]	82.430
H min = H minima del bacino [m]	75.410
Lp = Flowlength MAX [Km]	2.010
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	1.809
im = Pendenza media del bacino [%]	2.670
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.012
Ha = H media dell'asta princ. [m]	82.430

Bacino B1_3	
A = Area di bacino [Kmq]	1.420
Hmax = H massima del bacino	155.020
H = H media del bacino [m]	100.160
H min = H minima del bacino [m]	73.870
Lp = Flowlength MAX [Km]	4.920
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	4.428
im = Pendenza media del bacino [%]	3.510
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.016
Ha = H media dell'asta princ. [m]	100.160

Bacino B2_1	
A = Area di bacino [Kmq]	2.700
Hmax = H massima del bacino	158.630
H = H media del bacino [m]	118.730
H min = H minima del bacino [m]	73.260
Lp = Flowlength MAX [Km]	5.951
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	5.3559
im = Pendenza media del bacino [%]	4.112
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.014
Ha = H media dell'asta princ. [m]	118.730

Bacino B2 2	
A = Area di bacino [Kmq]	2.000
Hmax = H massima del bacino	153.830
H = H media del bacino [m]	106.770
H min = H minima del bacino [m]	74.760
Lp = Flowlength MAX [Km]	5.871
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	5.2839
im = Pendenza media del bacino [%]	3.141
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.013
Ha = H media dell'asta princ. [m]	106.770

Bacino B2 3	
A = Area di bacino [Kmq]	0.500
Hmax = H massima del bacino	98.630
H = H media del bacino [m]	87.070
H min = H minima del bacino [m]	74.540
Lp = Flowlength MAX [Km]	2.273
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	2.0457
im = Pendenza media del bacino [%]	2.193
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.011
Ha = H media dell'asta princ. [m]	87.070

Bacino B2 4	
A = Area di bacino [Kmq]	6.700
Hmax = H massima del bacino	169.760
H = H media del bacino [m]	134.630
H min = H minima del bacino [m]	99.500
Lp = Flowlength MAX [Km]	9.145
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	8.2305
im = Pendenza media del bacino [%]	2.770
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.008
Ha = H media dell'asta princ. [m]	134.630

Bacino C	
A = Area di bacino [Kmq]	2.750
Hmax = H massima del bacino	209.870
H = H media del bacino [m]	154.680
H min = H minima del bacino [m]	99.500
Lp = Flowlength MAX [Km]	4.600
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	4.14
im = Pendenza media del bacino [%]	2.650
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.024
Ha = H media dell'asta princ. [m]	154.680

Bacino C1	
A = Area di bacino [Kmq]	1.900
Hmax = H massima del bacino	209.870
H = H media del bacino [m]	174.440
H min = H minima del bacino [m]	99.500
Lp = Flowlength MAX [Km]	5.360
L = lungh. dell'asta princ. [Km]	4.824
im = Pendenza media del bacino [%]	2.625
ia = Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.021
Ha = H media dell'asta princ. [m]	174.440

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

5.5. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Altro parametro fondamentale che consente di identificare un primo aspetto del comportamento idrologico di un bacino è il tempo di corrivazione. Il tempo di corrivazione di un punto del bacino è il tempo necessario affinché la goccia d'acqua caduta in quel punto possa raggiungere, seguendo il percorso idraulico, la sezione di chiusura del bacino considerato. In un bacino il tempo di corrivazione massimo viene denominato tempo di corrivazione del bacino t_c , esso rappresenta il tempo che impiega la goccia d'acqua che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura.

Per la determinazione del tempo di corrivazione esistono in letteratura scientifica svariate formule di natura per lo più empirica. Nel presente studio si è fatto riferimento alle relazioni elencate in tabella calcolando la media dei risultatti escludendo i valori estremi.

Per quanto riguarda la relazione del tempo di corrivazione di Viparelli si è considerata, una velocità variabile in funzione della pendenza media del bacino facendo riferimento alla seguente tabella.

Viparelli	Pendenza %	Velocità m/sec
	<6	1.0
	6 e 12	1.3
	12 e 18	1.5
	18 e 25	1.8
	>25	2.0

Fra le relazioni utilizzate quelle che nella pratica trovano maggior riscontro sotto l'aspetto delle applicazioni di questo tipo sono quelle di Giandotti, Viparelli e Kirpich. Considerato che l'approccio del Giandotti è esplicitamente rivolto a bacini di dimensioni variabili fra 170 e 70000 kmq e quello di Kirpich riguarda l'analisi di piccoli bacini americani, la formulazione razionale che appare più adatta al caso in esame risulta quella di Viparelli che, si ricorda, è stata sviluppata dall'analisi sperimentale su piccoli bacini pedemontani piemontesi ed è una delle poche ad avere un significato fisico oltre che empirico.

I tempi di corrivazione calcolati hanno dato la possibilità di arrivare al calcolo delle portate al picco di piena attraverso l'approccio razionale che sono state utilizzate come valori di confronto rispetto alla metodologia SCS-CN.

BACINO	A	A1	A2	B	B1	B1_1	B1_2	B1_3	B2	B2_1	B2_2	B2_3	B2_4	C	C1
Tempo di corrivazione medio [h]	2.24	0.4	0.55	2.13	0.20	0.49	1.07	0.99	0.27	1.26	1.20	0.59	2.12	1.03	1.05

Tempi di corrivazione dei bacini determinati (i valori sono espressi in ore). La media è calcolata escludendo i due valori estremi.

Un discorso leggermente diverso vale per il tempo di corrivazione di riferimento del metodo SCS-CN, già descritto nei paragrafi precedenti.

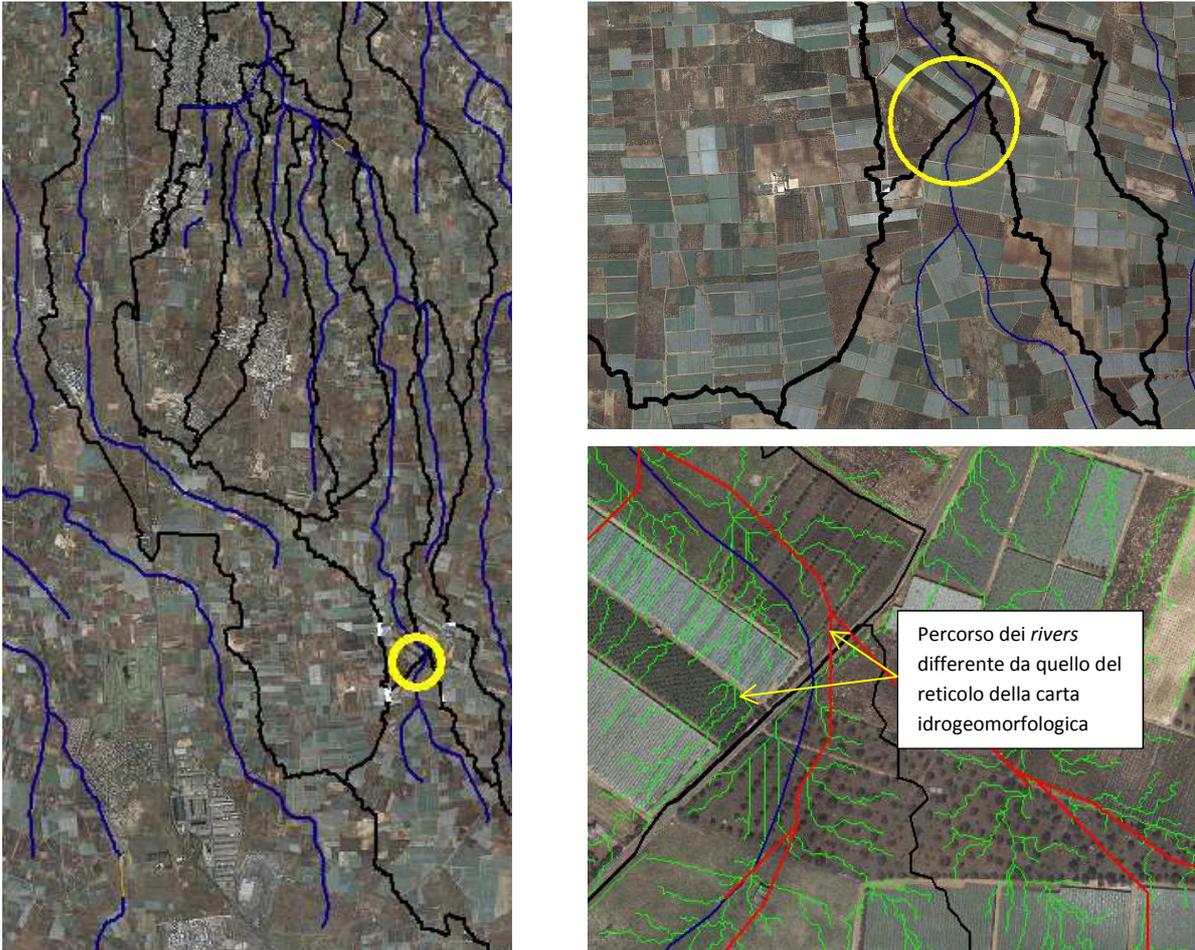
Nel corso delle elaborazioni si sono riscontrate delle zone di incertezza che hanno necessitato dell'approfondimento con sopralluoghi mirati atti ad accertare la continuità della linea preferenziale di deflusso e in alcuni casi soprattutto quando i sopralluoghi non sono stati utili alla definizione, si sono utilizzati i modelli idraulici per verificare l'effettivo percorso delle acque o per valutare almeno la direzione preferenziale.

Di seguito si elencano sinteticamente le criticità riscontrate e la loro risoluzione

5.6 APPROFONDIMENTO N°1

In località Cariello Vecchio nel territorio del comune di Casamassima, i *rivers* del modello digitale del terreno costituito con il LIDAR evidenziano un percorso differente dal reticolo della carta idrogeomorfologica.

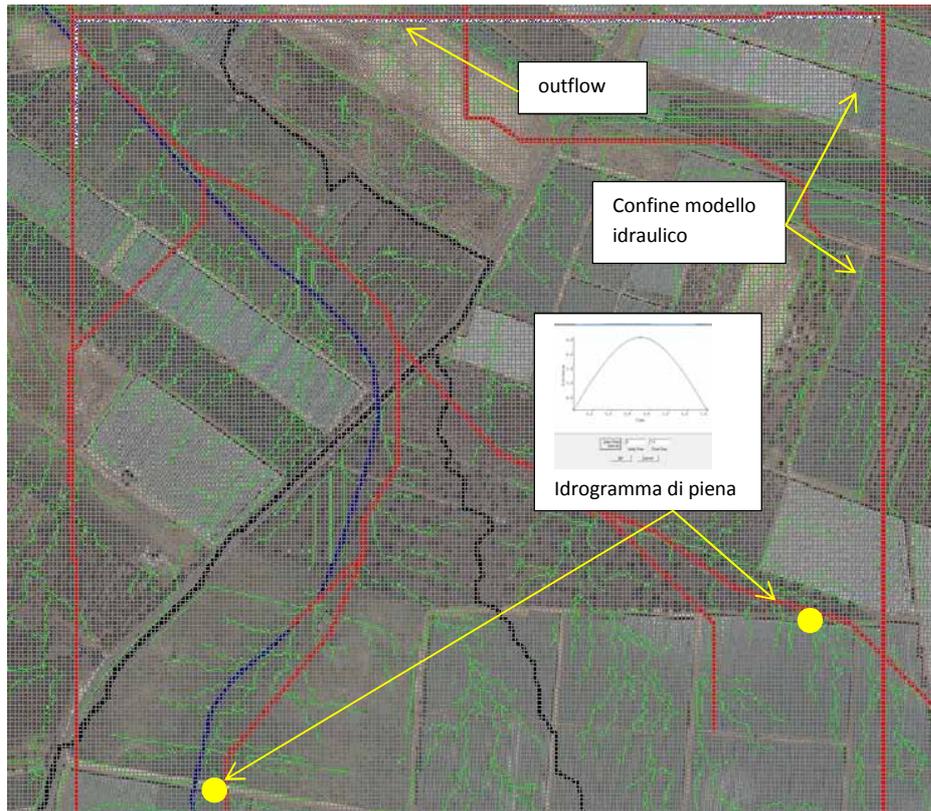
In particolare, come illustrato nella figura allegata, i *rivers* dedotti con la cartografia regionale in scala 1:5.000 (colore rosso) confermano l'andamento del percorso del reticolo della carta idrogeomorfologica (in blu) , a differenza di quelli individuati con il DTM costruito con i dati LIDAR (in verde) che invece prevedono un altro tracciato.



Questo potrebbe essere ricondotto allo sbarramento locale costituito dalla viabilità, che il sopralluogo ha accertato non avere alcuna infrastruttura idraulica di attraversamento.

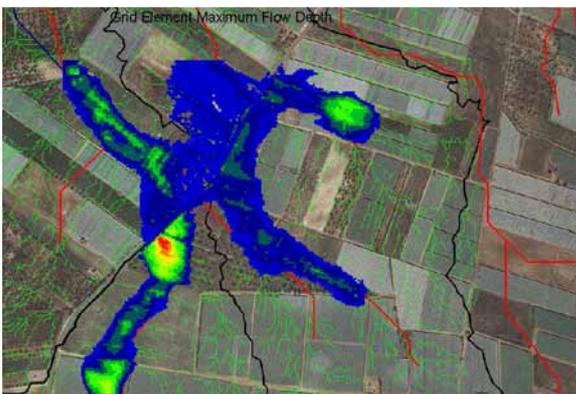
La valutazione è stata affrontata costruendo il modello idraulico su dominio bidimensionale del solo tratto in questione e verificando la direzione preferenziale della piena di progetto.

I risultati, riportati nelle immagini seguenti dimostrano che il percorso del reticolo della carta idrogeomorfologica e dei *rivers* della ctr al 5.000 risulta sostanzialmente veritiero.

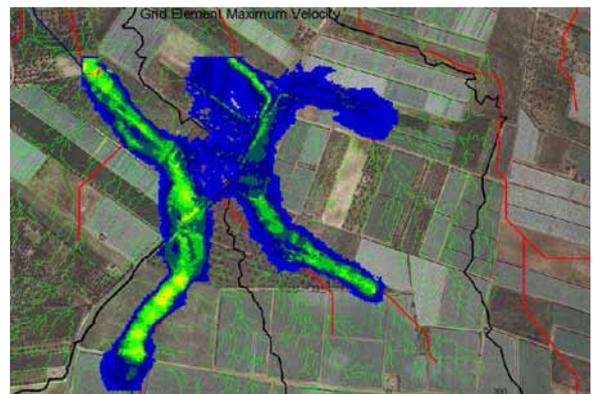


Rappresentazione del dominio del modello idraulico

Di seguito sono rappresentati gli effetti al suolo delle due piene combinate

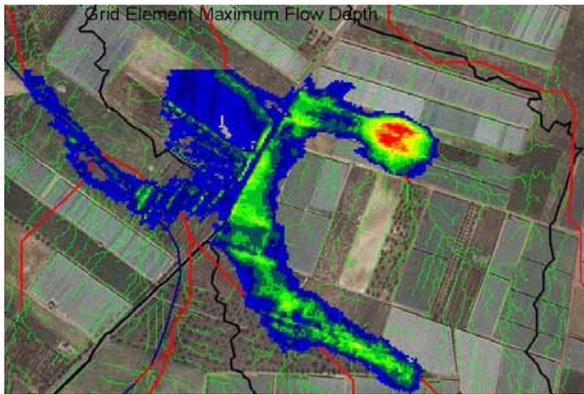


Mappa dei tiranti idrici

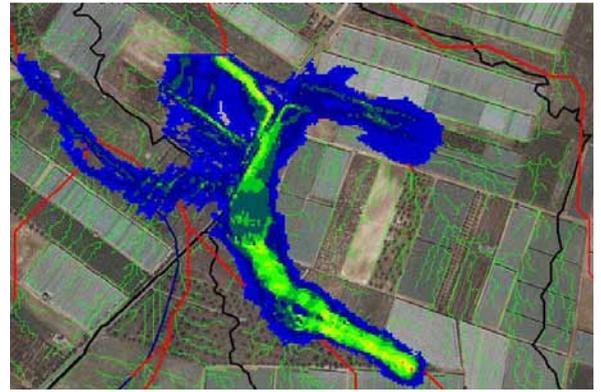


Mappa delle velocità

Nell'incertezza dovuta all'eventuale influenza reciproca, è stata effettuata la modellazione idraulica considerando solo il contributo est.



Mappa dei tiranti idrici

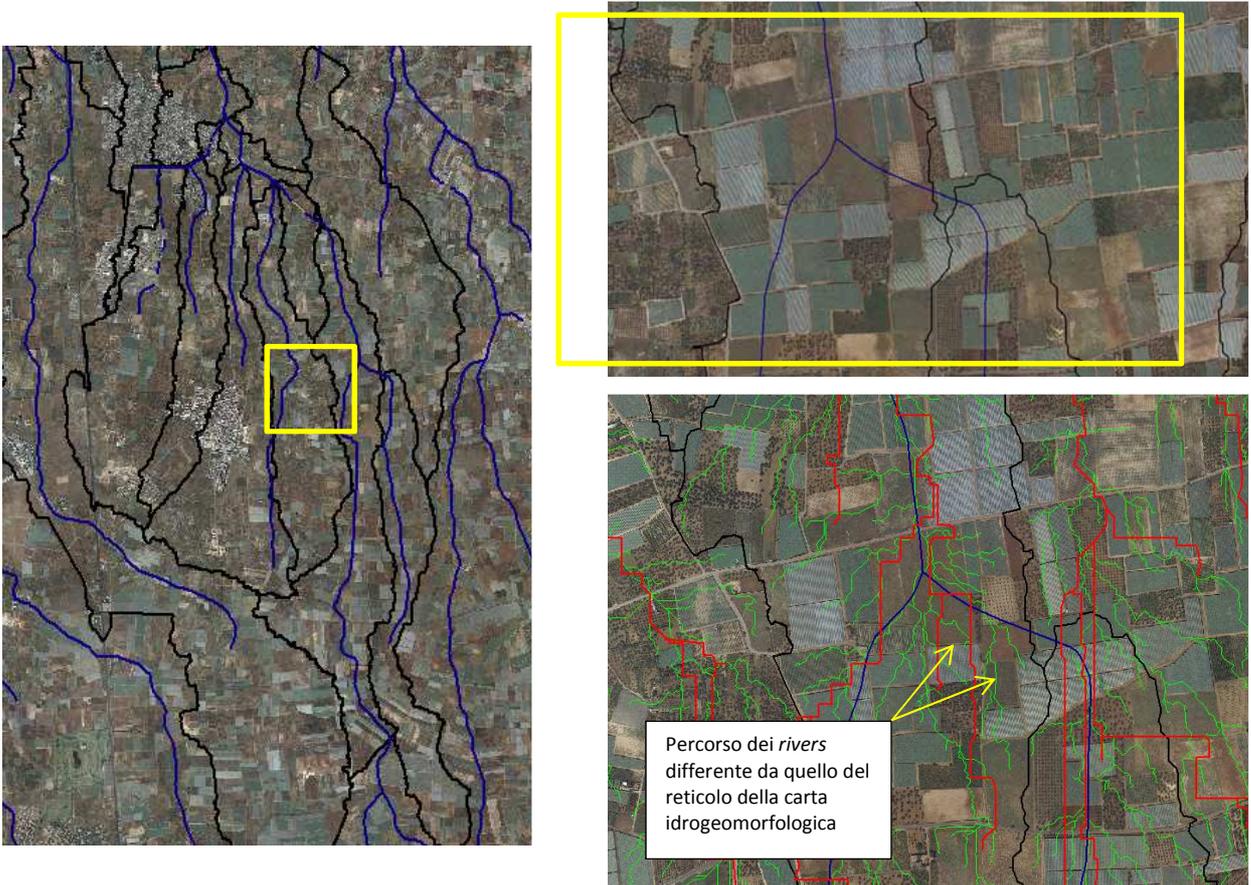


Mappa delle velocità

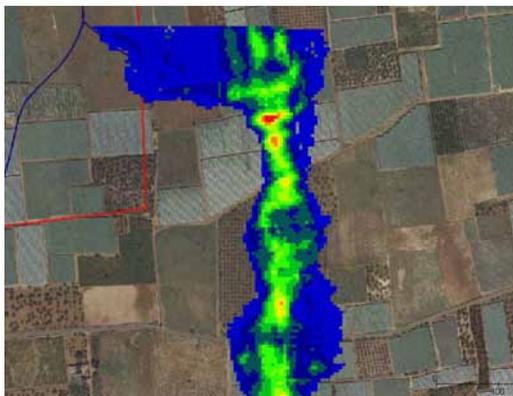
Come si evince dalle immagini allegate un minimo ramo di esondazione prosegue verso est (verso la direzione del reticolo) mentre la maggior parte del deflusso prosegue verso la direzione dei *rivers* del LIDAR, quindi risulta confermato lo spartiacque ipotizzato.

5.7 APPROFONDIMENTO N°2

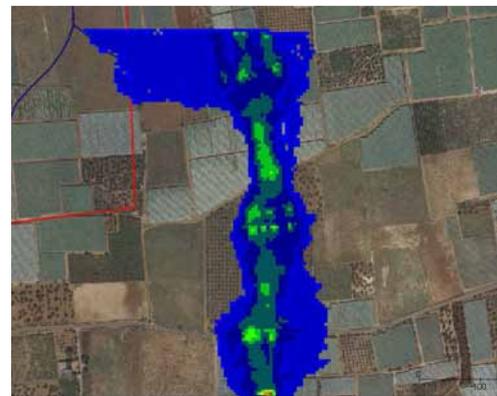
In località "Vissana" a confine tra il comune di Cellamare e Noicattaro, come illustrato nella figura allegata, i *rivers* del modello digitale del terreno realizzato con il DTM su base LIDAR (in verde) e quelli dedotti dal DTM della cartografia regionale in scala 1:5.000 (in rosso) differiscono dal percorso del reticolo della carta idrogeomorfologica (in blu).



Anche in questo caso è stato realizzato un modello idraulico per verificare l'effettivo percorso del deflusso delle acque di piena



Mapa dei tiranti idrici



Mapa delle velocità

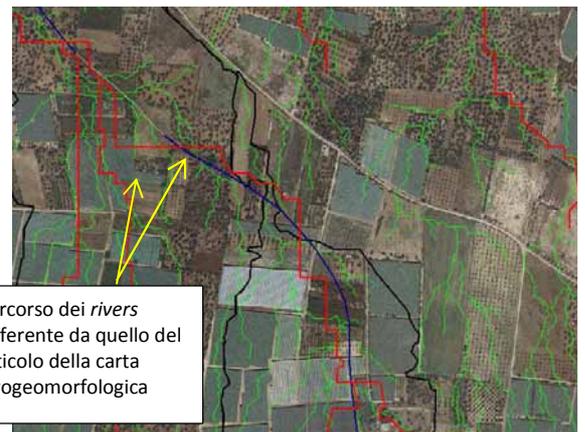
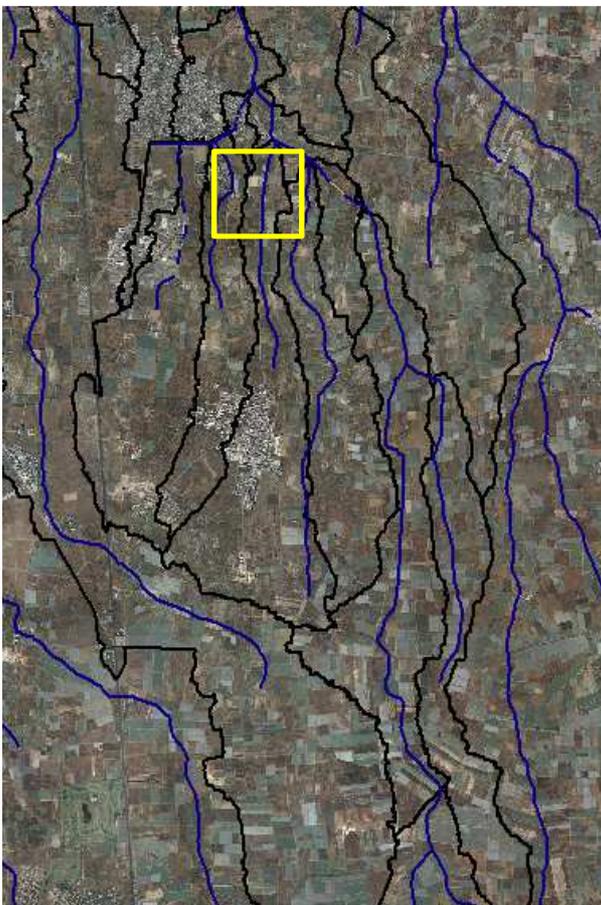


In questo caso risulta confermata la direzione del deflusso (rappresentata in giallo) verso nord secondo quanto indicato dai *rivers* del LIDAR (in verde).

5.8 APPROFONDIMENTO N°3

In località “Torre della Difesa” in prossimità della SS634, nel territorio del comune di Capurso, i *rivers* del modello digitale del terreno costituito con il LIDAR evidenziano un percorso differente dal reticolo della carta idrogeomorfologica.

In particolare, come illustrato nella figura allegata, i *rivers* dedotti con la cartografia regionale in scala 1:5.000 (colore rosso) confermano l’andamento del percorso del reticolo della carta idrogeomorfologica (in blu) , a differenza di quelli individuati con il DTM costruito con i dati LIDAR (in verde) che invece prevedono un altro tracciato.



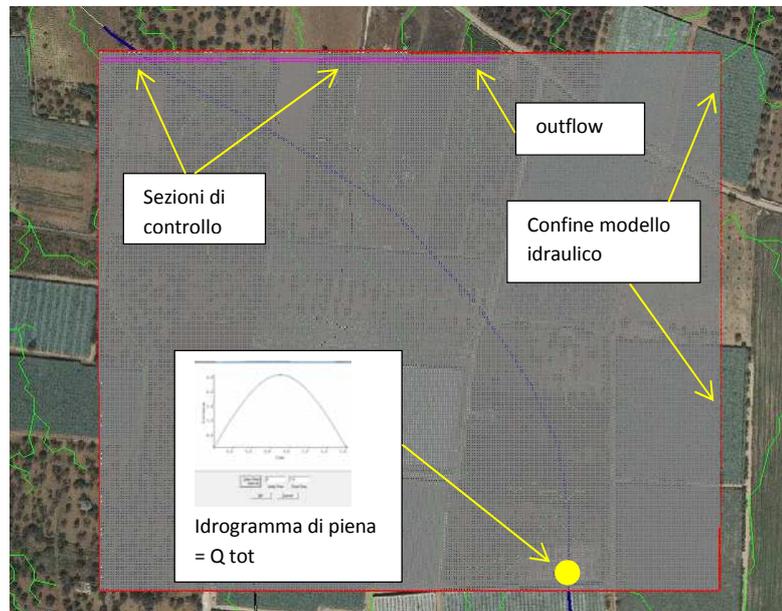
Percorso dei *rivers* differente da quello del reticolo della carta idrogeomorfologica

Anche in questo caso è stato realizzato un modello idraulico per verificare l'effettivo percorso del deflusso delle acque di piena.

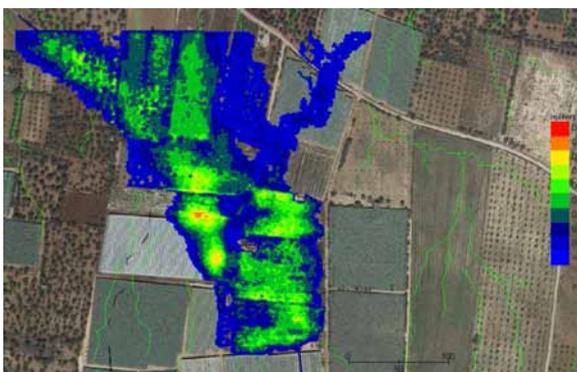
Nel caso in oggetto, è stato evidenziato che il deflusso viene ripartito nelle due direzioni ipotizzate.

Al fine di definire meglio tale ripartizione sono stati montati diversi modelli idraulici con differenti portate (crescenti) per simulare diversi tempi di ritorno e per analizzare l'aliquota suddivisa, questo perché il nodo in questione riveste un ruolo importante nella modellazione idraulica definitiva in quanto l'aliquota ovest interessa direttamente il centro urbano.

Per quantificare i contributi sono state inserite due sezioni di controllo nel dominio del modello.



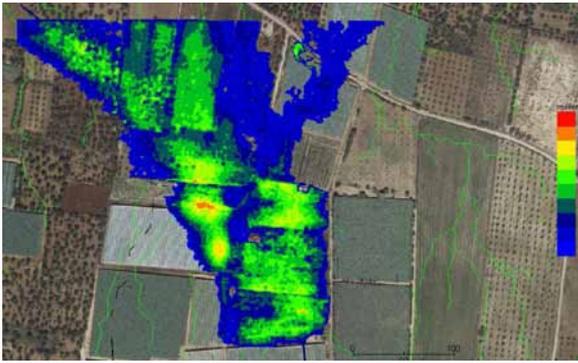
Rappresentazione del dominio del modello idraulico



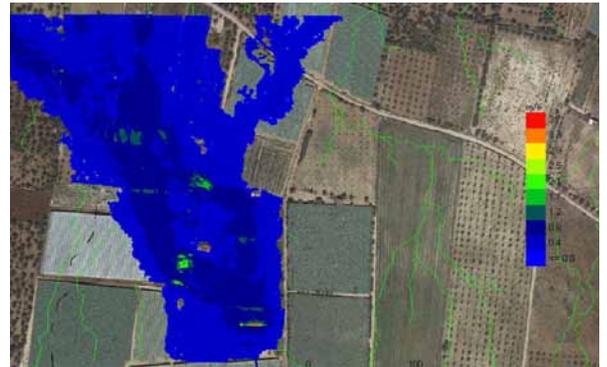
Mappa dei tiranti idrici per $Q_{tot} = 6 \text{ mc/s}$



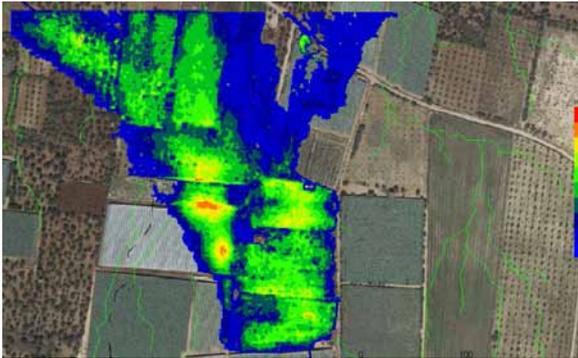
Mappa delle velocità per $Q_{tot} = 6 \text{ mc/s}$



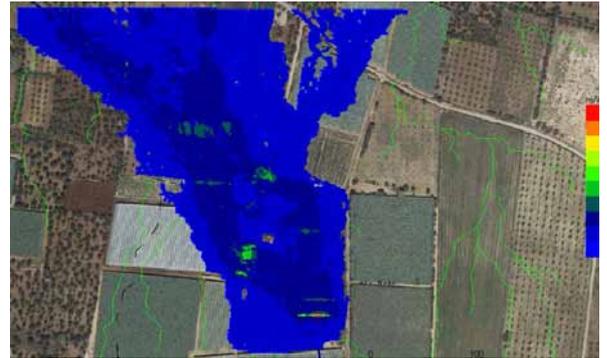
Mappa dei tiranti idrici per $Q_{tot} = 9 \text{ mc/s}$



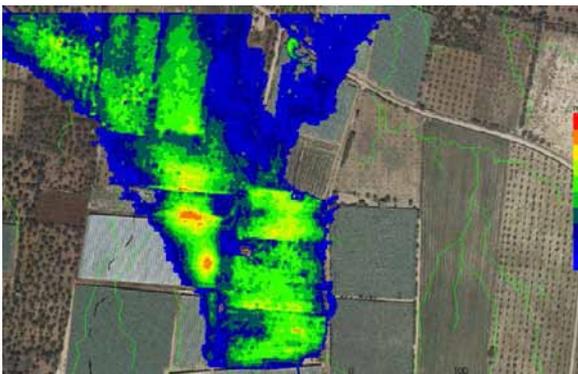
Mappa delle velocità per $Q_{tot} = 9 \text{ mc/s}$



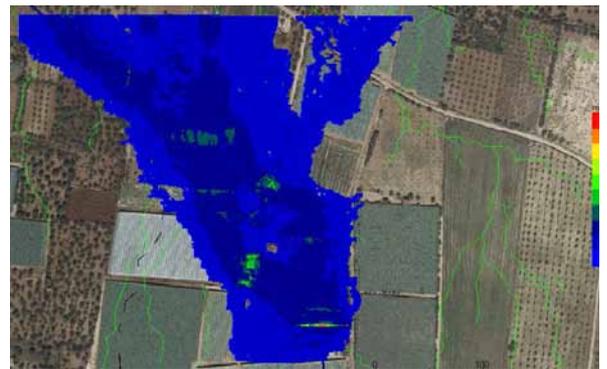
Mappa dei tiranti idrici per $Q_{tot} = 12 \text{ mc/s}$



Mappa delle velocità per $Q_{tot} = 12 \text{ mc/s}$

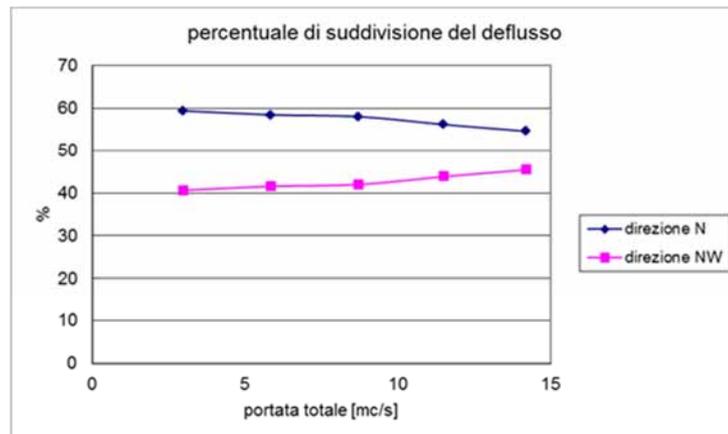


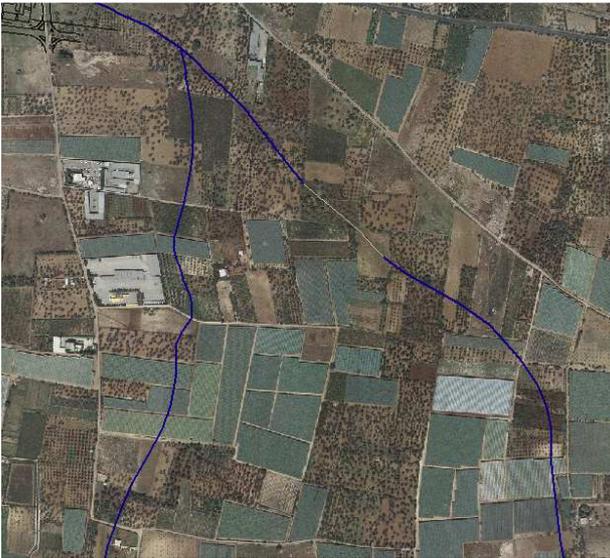
Mappa dei tiranti idrici per $Q_{tot} = 9 \text{ mc/s}$



Mappa delle velocità per $Q_{tot} = 9 \text{ mc/s}$

Dall'analisi dei dati, si evince che per portate basse i deflussi si suddividono per il 40% in direzione Nord e per il 60% verso Nord Ovest. Al crescere della portata invece la suddivisione tende al 50%.

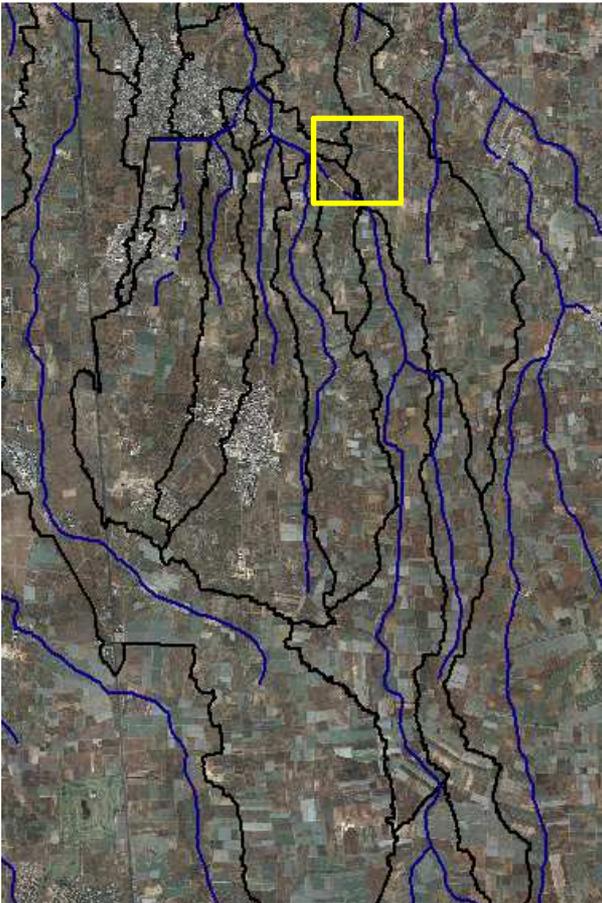




Data la predominanza della direzione Nord Ovest, la direzione preferenziale di deflusso (rappresentata in giallo) sarà segnata in quella direzione coerentemente con la direzione indicata nella bozza della carta idrogeomorfologica, avendo cura in fase di modellazione idraulica definitiva di suddividere le portate al 50% per tutti i tempi di ritorno.

5.9 APPROFONDIMENTO N°4

In prossimità della SS634 e della ferrovia, nel territorio del comune di Capurso, i *rivers* del modello digitale del terreno costituito con il LIDAR evidenziano un percorso differente dal reticolo della carta idrogeomorfologica



Il sopralluogo effettuato ha evidenziato la presenza di n°2 tombini nessuno dei due disposto sul tracciato del reticolo della carta idrogeomorfologica bensì in prossimità dei *rivers* del DTM su base LIDAR.



Rappresentazione tombini su ortofoto



Tombino 1 lato valle

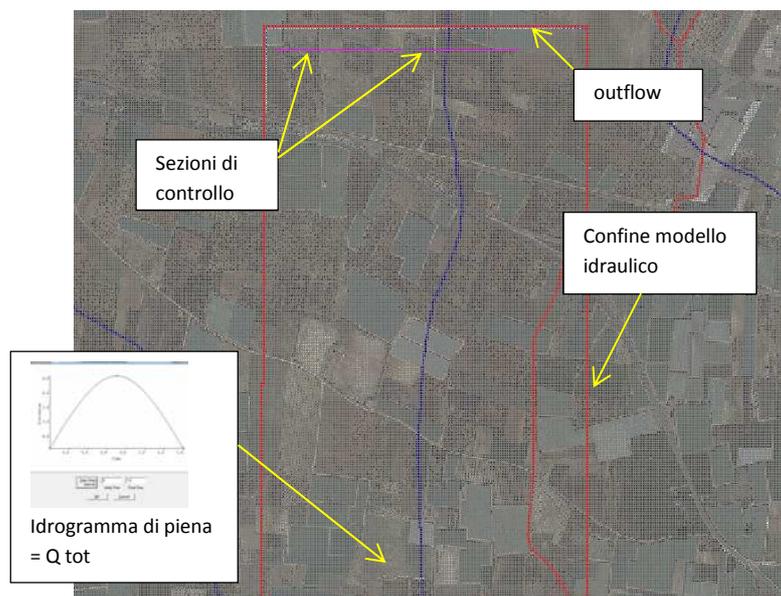


Tombino 2 lato monte

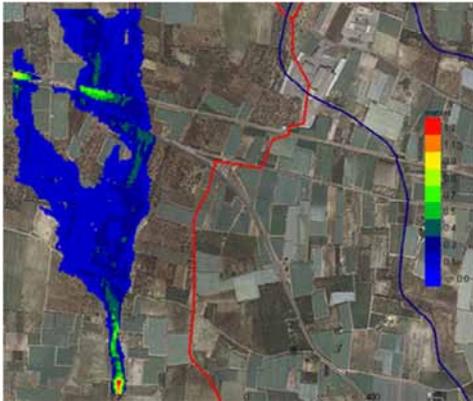


Tombino 3 lato valle

Anche in questo caso, al fine di definire la direzione della continuità idraulica, si sono effettuate modellazioni su dominio bidimensionale inserendo l'idrogramma di piena come condizione idrologica al contorno e due sezioni di controllo per la valutazione quantitativa delle aliquote del deflusso transitato.



Dominio del modello idraulico



Mappa dei tiranti idrici



Mappa delle velocità

Dalla rappresentazione dell'effetto al suolo si evince i tombini risultano posizionati coerentemente con la direzione del deflusso che risulta diversa da quella indicata nella carta idrogeomorfologica

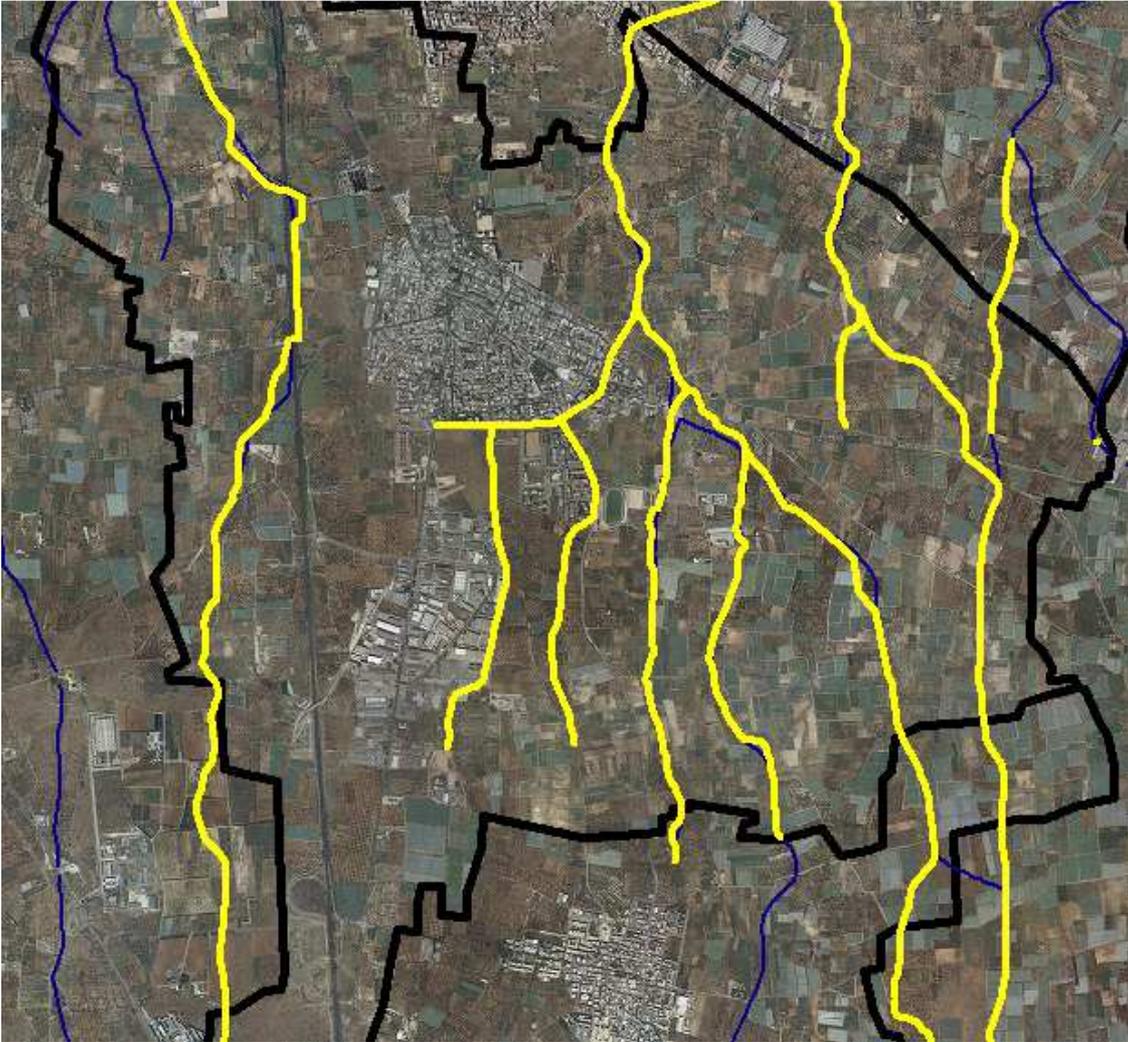
6. DIREZIONI PREFERENZIALI DI DEFLUSSO

Le indagini condotte hanno permesso di **ottenere un dettaglio del percorso del deflusso concentrato** che si avvicina quanto più possibile alla realtà, data la caratteristica pianeggiante della zona che non consente, se non con studi molto accurati, una verifica visiva data la mancanza di elementi morfologici che individuano incisioni o caratteri peculiari di un impluvio.

Questi percorsi sono denominati "*linee preferenziali di deflusso*" che devono essere oggetto di valutazione al fine di poter definire quali di essi possa ritenersi, secondo caratteristiche morfologiche, idrologiche ed idrauliche, un reticolo idrografico al quale applicare le Norme Tecniche del PAI della Puglia.

Come si evince dall'immagine allegata, le *linee preferenziali di deflusso* risultano quasi coincidenti con i reticoli della bozza della carta idrogeomorfologica se non per alcune zone che sono state oggetto di approfondimento idraulico.

La determinazione delle nuove *linee preferenziali di deflusso* ha permesso la determinazione dei bacini tributari reali che saranno determinanti per la valutazione del regime idraulico dei reticoli idrografici e del relativo effetto al suolo delle piene di riferimento.



Rappresentazione delle linee preferenziali di deflusso e dei bacini tributari definitivi (in giallo) e i reticoli della carta idrogeomorfologica (in blu)

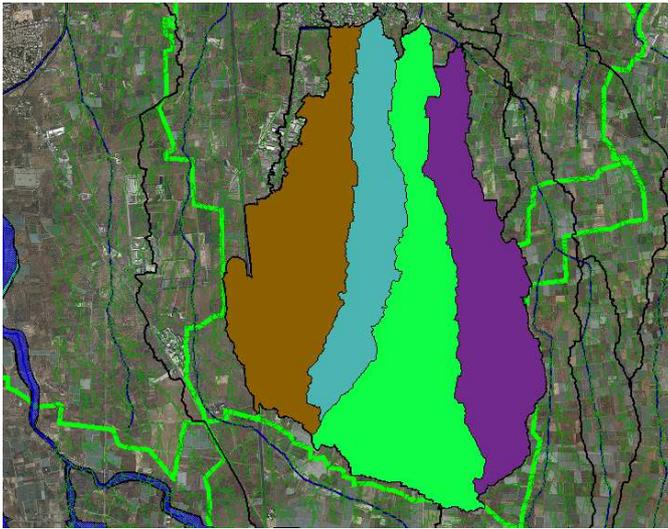
Al fine di definire il reticolo idrografico si rende necessaria la valutazione delle linee preferenziali secondo criteri che si possono suddividere in:

- **MORFOLOGICO;**
- **IDROLOGICO;**
- **IDRAULICO;**
- **FUNZIONALE**

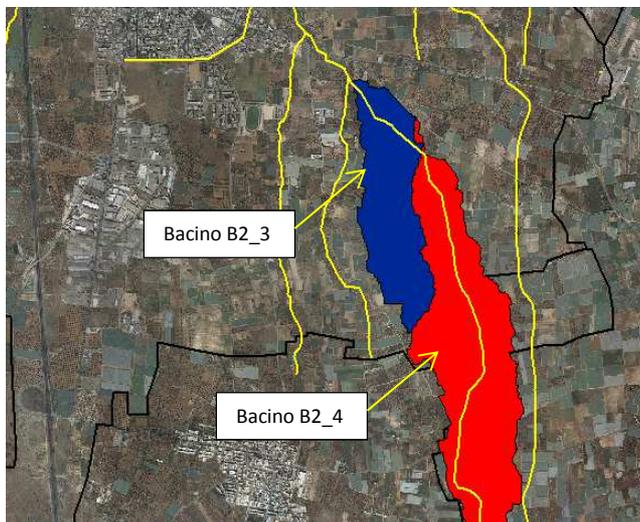
6.1 CRITERIO MORFOLOGICO

Il criterio morfologico da applicare si basa sul valore della superficie del bacino tributario individuando una soglia oltre la quale considerare l'asta principale del bacino, come un reticolo idrografico il cui regime idraulico risulti significativo dal punto di vista dell'effetto al suolo della piena.

Adottando una soglia pari a **3 kmq** (utilizzata dall'AdBP per una valutazione qualitativa) si ottiene che:



le linee preferenziali di deflusso relative ai bacini B1_2, B1_3, B2_1 e B2_2 risultano classificati poco significativi.



la linea preferenziale di deflusso relative al bacino B2_3 seppure di superficie < 3 kmq (0.5 kmq) NON potrebbe essere escluso in quanto influenzato da una quota parte del deflusso del bacino B2-4 (come dimostrato nell'analisi idraulica di approfondimento precedente).

Un altro aspetto dell'analisi morfologica è la verifica dell'assenza di incisioni rilevanti delle suddette direzioni preferenziali e soprattutto la presenza di opere di attraversamento con le infrastrutture strategiche pubbliche.

Le quattro direzioni preferenziali NON risultano avere né incisioni significative, tali da far intravedere l'alveo di un potenziale reticolo, né infrastrutture di attraversamento degne di nota con la viabilità pubblica.

6.2 CRITERIO IDROLOGICO

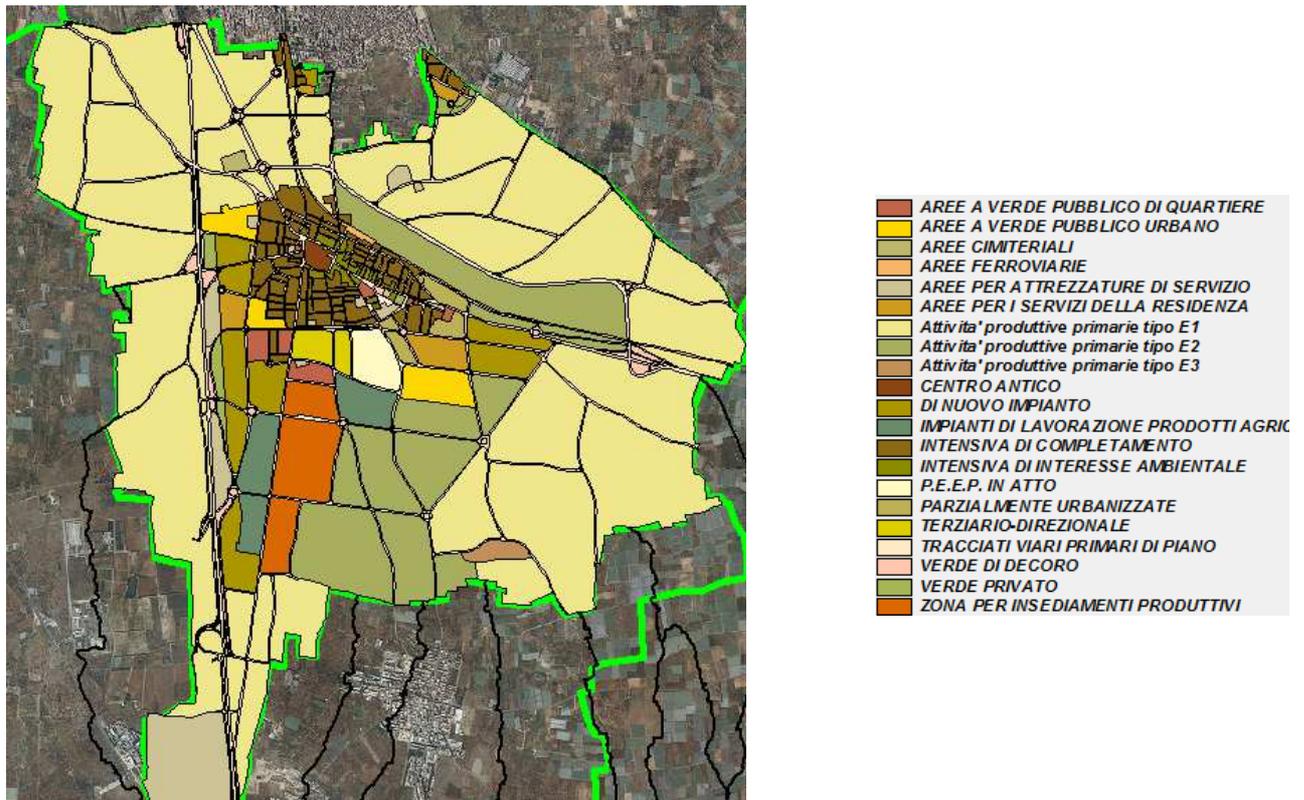
Il criterio Idrologico si basa sulla valutazione del potenziale di deflusso del bacino tributario inteso come confronto dei valori di portata massima e del coefficiente udometrico calcolati rispettivamente con metodi empirici (formulazione del CN come descritta nel paragrafo 4.3) e concettuali fisicamente basati (applicazione del modello idraulico a parametri distribuiti).

Al fine di un ragionevole confronto è stato individuato un tempo di ritorno di 30 anni.

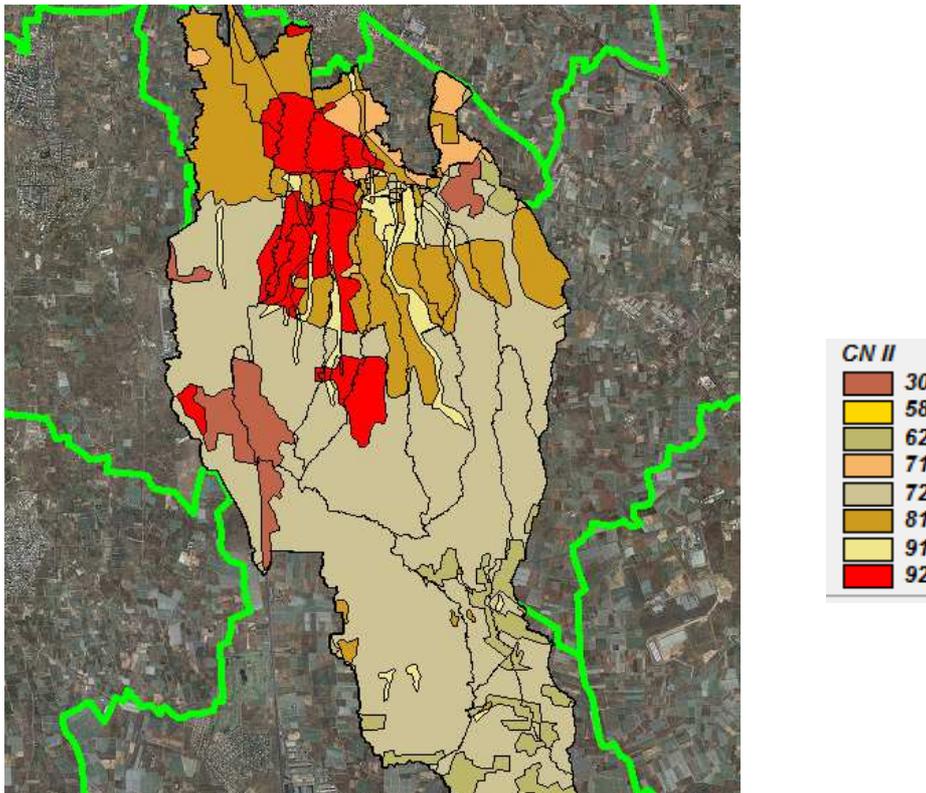
Per entrambi i metodi risulta necessario determinare per ogni bacino tributario individuato nell'analisi morfologica, il valore del parametro CN II e CN III con la metodologia individuata nel paragrafo 4.2.

Al fine di mappare il valore del parametro CN, si è utilizzato il Piano Regolatore Generale che riporta le zone del territorio comunale con la loro destinazione urbanistica, in questa maniera si è tenuto conto anche della previsione di sviluppo del territorio.

Alle aree urbane, commerciali, destinate alle lavorazioni e industrie è stato assegnato il valore CN = 92, mentre alle restanti il valore del parametro dedotto dall'uso del suolo e alla classe SCS.



Stralcio del PRG del comune di Capurso



Mappatura del parametro CN II relativamente ai bacini tributari

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

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

classi AMC (Antecedent Moisture Conditions)

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

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

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

Dalle elaborazioni si sono dedotti i valori del parametro CN III per tutti i bacini tributari

Bacino	Valore del CN II	Valore del CN III
A	71.28	85.38
A_1	82.49	92.53
A_2	86.16	94.69
B	82.37	92.46
B1	85.93	94.56
B1_1	89.79	96.75
B1_2	69.7	84.30
B1_3	83.17	92.94
B2	77.25	89.29
B2_1	77.9	89.71
B2_2	78.34	89.98
B2_3	79.47	90.69
B2_4	70.16	84.62
C	70.82	85.07
C1	69.67	84.28

METODO CN SCS

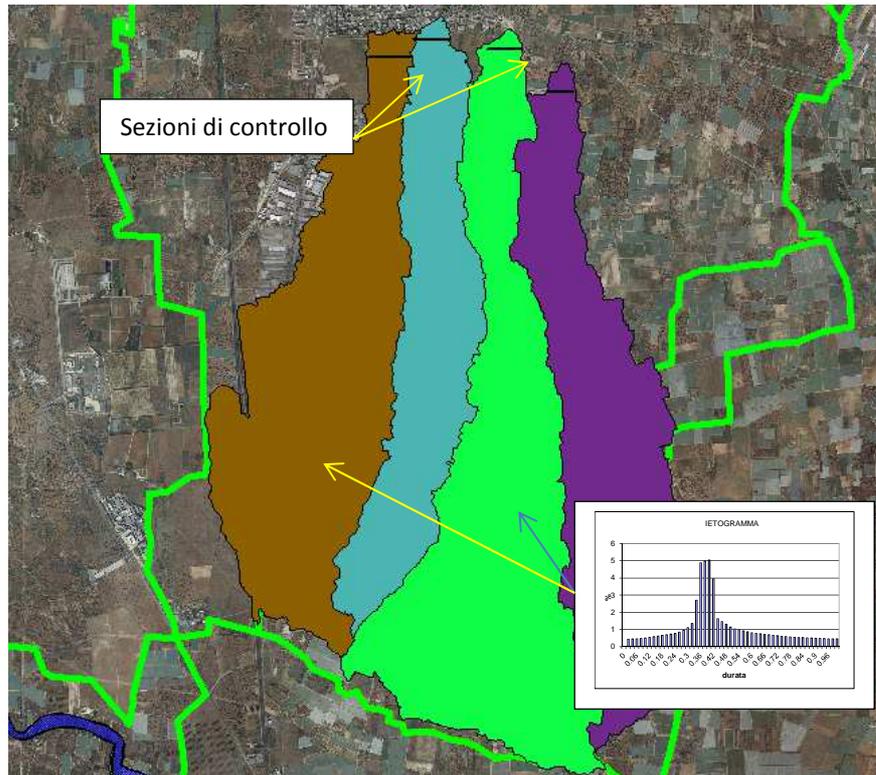
Una volta individuato il valore del parametro CN III è stata determinata la portata massima con la formulazione empirica del metodo del CN SCS per tr 30 anni secondo quanto descritto al paragrafo 4.3.:

Bacino	superficie [kmq]	portata CN III [mc/s]	Coeff udometrico CN III [mc/s Kmq]
B1_2	2.30	3.97	1.73
B1_3	1.42	3.99	2.81
B2_1	2.70	7.46	2.76
B2_2	2.00	5.15	2.58

Tr 30 anni (formulazione empirica)

METODO CONCETTUALE FISICAMENTE BASATO A PARAMETRI DISTRIBUITI

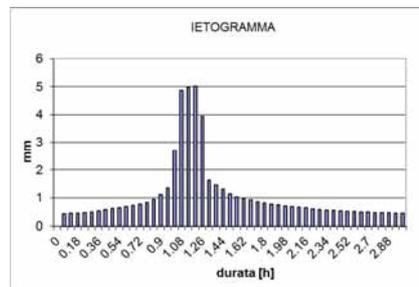
Secondo quanto descritto al paragrafo 4.3, si è utilizzato il modello concettuale fisicamente basato a parametri distribuiti inserendo delle sezioni di controllo per la valutazione dell'effettivo deflusso in corrispondenza delle sezioni di chiusura.



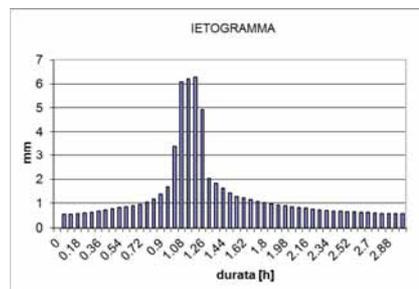
Individuazione delle sezioni di controllo e delle condizioni idrologiche al contorno

Il valore di infiltrazione è stato ricavato dalla mappatura del CN III precedentemente effettuata, mentre si sono applicati gli ietogrammi di precipitazione (del tipo Chicago) uniformemente distribuiti su tutto il bacino alle varie durate (1h, 3h, 6h, 9h, 12h) considerando sempre un TR di 30 anni .

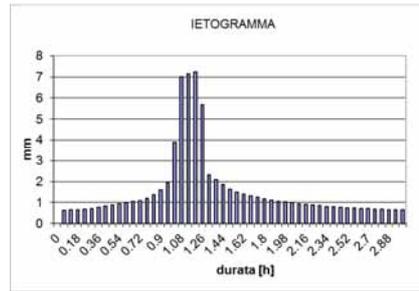
Durata 1 h
 altezza totale 54.05 mm



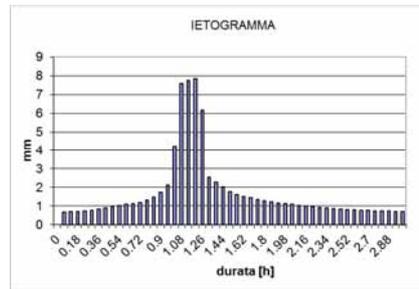
Durata 3 h
 altezza totale 67.54 mm



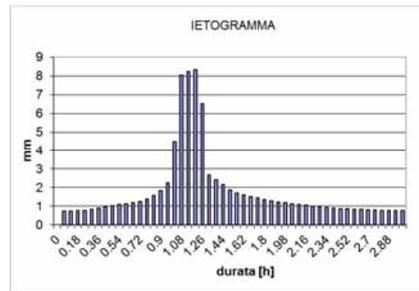
Durata 6 h
 altezza totale 77.72mm



Durata 9 h
 altezza totale 84.38 mm



Durata 12 h
 altezza totale 89.45 mm



Bacino	superficie [kmq]	portata CN III [mc/s]	durata critica [h]	Coeff udometrico CN III [mc/s Kmq]
B1_2	2.30	1.50	12.00	0.65
B1_3	1.42	1.30	6.00	0.92
B2_1	2.70	2.11	6.00	0.78
B2_2	2.00	3.05	3.00	1.53

Tr 30 anni (metodo a parametri distribuiti)

CONCLUSIONI

Dal confronto delle elaborazioni si evidenzia che le portate determinate con il metodo concettuale a parametri distribuiti, per i bacini B1_2, B1_3 e B2_1 risultano inferiori di oltre il 50% rispetto al valore della portata determinata con la formulazione empirica (indice di una laminazione diffusa lungo il tracciato) mentre per il bacino B2_2 l'ordine di grandezza risulta invariato (indice di un rapido deflusso)

Bacino	superficie [kmq]	metodo empirico		metodo parametri distribuiti		differenza [%]
		portata CN III [mc/s]	Coeff udometrico CN III [mc/s Kmq]	portata CN III [mc/s]	Coeff udometrico CN III [mc/s Kmq]	
B1_2	2.30	3.97	1.73	1.50	0.65	-62.22%
B1_3	1.42	3.99	2.81	1.30	0.92	-67.42%
B2_1	2.70	7.46	2.76	2.11	0.78	-71.72%
B2_2	2.00	5.15	2.58	3.05	1.53	-40.78%

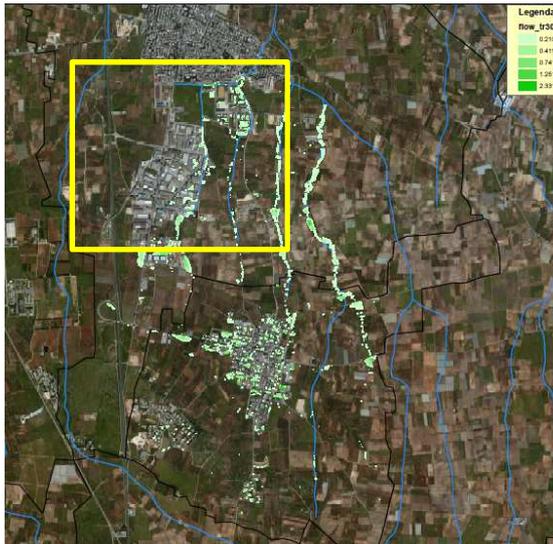
I reticoli dei primi 3 bacini risultano avere un regime idrologico sostanzialmente differente da quello previsto per la difesa del suolo.

6.3 CRITERIO IDRAULICO

Il criterio idraulico si basa sulla valutazione dell'effetto al suolo della piena trentennale (scelta come riferimento) intesa come valutazione dei parametri idrodinamici, tirante idrico e velocità, imponendo dei valori soglia rispettivamente >0.2 m e > 0.52 m/s.

A tal fine si sono effettuate 20 modellazioni idrauliche per tutti i 4 bacini in esame (per ogni bacino le 5 durate : 1h, 3h, 6h, 9h, 12h).

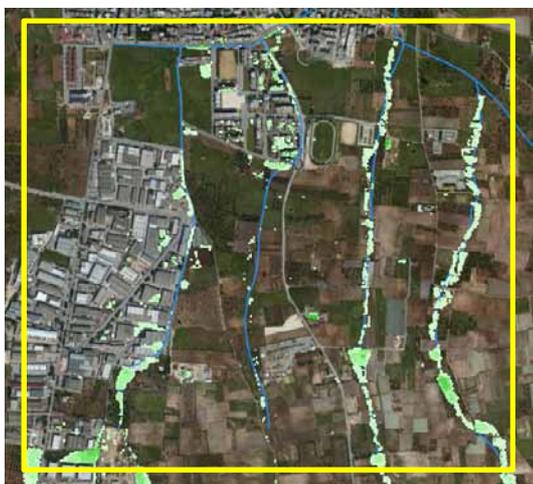
La sovrapposizione delle mappe (sovrapposizione dei valori soglia per ogni durata) è rappresentata nella Tav G7:



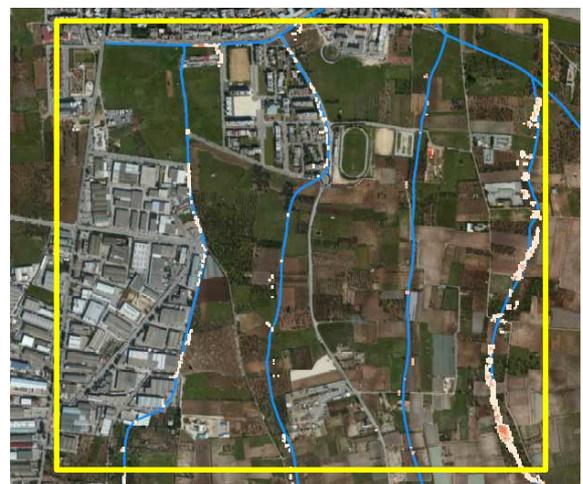
Sovrapposizione dei valori dei tiranti $> 0.2m$



Sovrapposizione dei valori delle velocità > 0.52 m/s



Particolare della sovrapposizione dei valori dei tiranti $> 0.2m$



Particolare della sovrapposizione dei valori delle velocità > 0.52 m/s

Esaminando in particolare la fascia di valle dei bacini indagati, si riscontra che il primi due generano un effetto (rappresentato dai valori della soglia) NON continuo presentando notevoli zone con assenza di valori rilevanti a differenza degli ultimi due che invece presentano una continuità soprattutto nei valori di velocità.

6.4 CRITERIO FUNZIONALE

Dal punto di vista funzionale, si possono suddividere le quattro direzioni preferenziali di deflusso in due tipologie:

- **I bacini che presentano un deflusso di piena “regimentabile” in opere di fognatura bianca convenzionale e che presentano un recapito finale certo.** A questa tipologia appartengono sicuramente le direzioni preferenziali di deflusso dei bacini B1_2 e B1_3 in quanto sono interferenti con l’area urbana e convergono nel canale deviatore che assolve la funzione di intercettazione dei deflussi provenienti da sud.

- **I bacini che presentano dei valori di portata con effetto al suolo importante che NON risultano essere convergenti in alcun recapito finale certo** bensì interessano diffusamente il territorio secondo l’andamento morfologico. A questa tipologia appartengono i bacini B2_1 e B2_2.

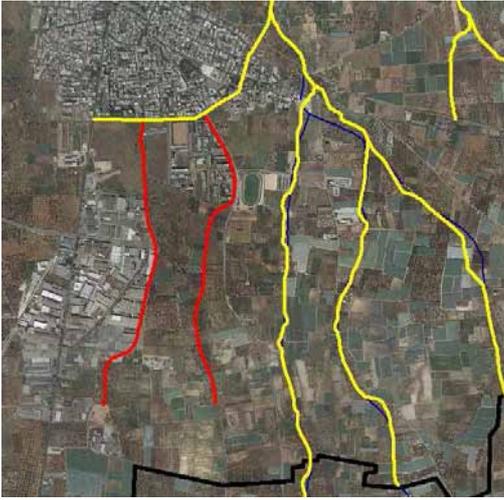
7. INDIVIDUAZIONE DEI RETICOLI IDROGRAFICI

Secondo le elaborazioni effettuate si possono effettuare le seguenti valutazioni:

- I reticoli rappresentati della bozza della carta idrogeomorfologica, NON interferenti con il centro urbano, in generale sono rappresentativi dell’effettiva direzione preferenziale di deflusso eccetto nelle zone di cui agli approfondimenti N°1, 2 e 3 (vedasi paragrafi 5.6, 5.7 e 5.8).

- Le linee preferenziali di deflusso interferenti con il centro urbano, a seguito delle valutazioni di carattere morfologico, idrologico, idraulico e funzionale (vedasi paragrafi 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4) si possono distinguere in due categorie:

- **Quelle relative ai bacini B1_2 e B1_3**, che:
 - possiedono una superficie di bacino tributario < 3 kmq,
 - Non presentano incisioni significative che possono far individuare un alveo, i suoi argini e le sue zone golenali;
 - NON presentano infrastrutture di attraversamento con la viabilità pubblica;
 - presentano un coefficiente udometrico inferiore di oltre il 50% rispetto a quanto atteso dalla formulazione empirica del calcolo della portata;
 - presentano un effetto al suolo della piena trentennale discontinuo e caratterizzato da valori modesti in termini di tirante e di velocità;
 - presentano un valore di portata massima convogliabile in un recapito finale certo (canale deviatore che sarà oggetto di verifica idraulica) con opere di regimentazione urbana (fognatura bianca) aventi diametri convenzionali.



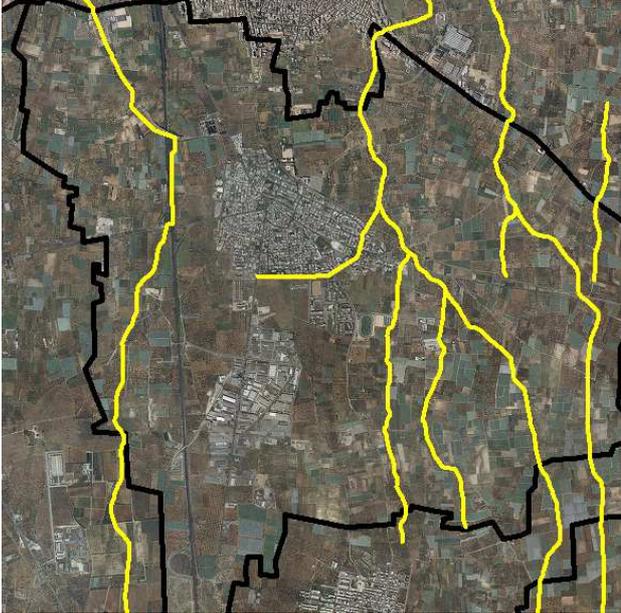
Queste direzioni, (rappresentate in rosso) si intendono **NON SIGNIFICATIVE** e quindi potenzialmente stralciabili dalla carta idrogeomorfologica della Puglia.

Lo stralcio di questi reticoli **NON** esclude che, localmente, a seguito di precipitazioni intense non risultino valori di tiranti tali da poter provocare danni e/o disagi a persone o cose nella zona di interesse, pertanto risulta necessario che l'amministrazione comunale preveda la pianificazione territoriale della zona includendo opere idrauliche (infrastrutture) progettate con parametri più cautelativi così come indicato al paragrafo 7.1.

Lo stralcio viene proposto solo per un confronto tra i reticoli il cui regime idraulico è potenzialmente disciplinato dalla *difesa del suolo*, intesa come "*come insieme di azioni pubbliche per la stabilità del territorio e la sicurezza idraulica (anche con riferimento ad oggetti distinti dal suolo, sottosuolo e dalla acque)*" relative ad eventi eccezionali e calamitosi, ben diversa della disciplina relativa al collettamento, trattamento e smaltimento delle acque meteoriche relative agli eventi ordinari e tal volta straordinari.

- Quelle relative ai bacini B2_1 e B2_2, anche se possiedono una superficie di bacino tributario < 3 kmq e, Non presentano incisioni significative che possono far individuare un alveo, i suoi argini e le sue zone golenali e neanche infrastrutture di attraversamento con la viabilità pubblica, invece:
 - presentano un coefficiente udometrico (almeno il bacino B2_2) in linea con l'ordine di grandezza della formulazione empirica per il calcolo della portata;
 - presentano un effetto al suolo della piena trentennale continuo e caratterizzato da valori più elevati in termini di tirante e di velocità;
 - presentano un valore di portata massima **NON convogliabile** in un recapito finale certo in quanto entrambi i reticoli dei bacini convergono per formare la *lama Cutizza* che presenta un percorso verso il centro urbano di Triggiano.

- Il reticolo del bacino B2_1 è stato già oggetto di condivisione da parte del comune di Cellamare e quindi inserito ufficialmente nella carta idrogeomorfologica della Puglia.



Per quanto sopra esposto
i reticoli ufficiali proposti a
seguito dell'esame morfologico,
idrologico ed idraulico
contenuto nel presente studio
risultano schematizzati nella
tavola G8.

7.1 PRESCRIZIONI OPERATIVE

Come già indicato nel paragrafo precedente lo stralcio dei reticoli **bacini B2_1 e B2** NON esclude che, localmente, a seguito di precipitazioni intense non risultino valori di tiranti tali da poter provocare danni e/o disagi a persone o cose nella zona di interesse.

Per quanto sopra lo stralcio dei reticoli dalla bozza della carta idrogeomorfologica deve comunque essere supportato da una pianificazione territoriale che preveda opportune opere di intercettazione, regimentazione e scarico delle acque meteoriche diffuse a seguito di eventi meteorici.

In particolare, data la valenza idrologica ed idraulica dei reticoli dei bacini **B2_1 e B2_2** si dovranno **prevedere opere di intercettazione e convogliamento delle acque proporzionate in base almeno a tempi di ritorno di 30 anni.**

Lo scrivente propone che la progettazione dovrà curare in particolar modo i seguenti aspetti:

- **intercettazione**: idonee opere per intercettare i deflussi superficiali prevedendo canali e/o un numero di caditoie opportunamente dimensionate e posizionate in funzione delle direzioni preferenziali di deflusso locali;
- **regimentazione**: l'adozione di canali a contorno chiuso, dotati di idonei pozzetti per ispezione e la manutenzione e di sezione tale da garantire almeno un franco di sicurezza pari a $0.5D$ oppure $0.5H$ rispetto alla piena trentennale;
- **Confluenza**: idonei dispositivi di disconnessione idraulica e di smorzamento dell'energia in prossimità della confluenza con il canale deviatore