

AGROFOTOVOLTAICO ARGENTONE

AGRICOLTURA 4.0

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA
COLLOCATO SU STRUTTURA DI IRRIGAZIONE A SERVIZIO DI IMPIANTO AGRICOLO DI
DI POTENZA IN GENERAZIONE PARI A 25,467 MW E POTENZA IMMESSA IN RETE
PARI A 25,001 MW, **DENOMINATO "AFV ARGENTONE AGRICOLTURA 4.0"**

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di BRINDISI
COMUNE di ORIA (Br)
opere connesse nel COMUNE DI ERCHIE (Br) contrada "Tre Torri"
Località ubicazione impianto AFV: Masseria Argentone - Oria (Br)

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU HOS2I51



| | | |
|--------|----------------------|---------------------------------|
| Tav.: | Titolo: | |
| 21 | RELAZIONE IDROLOGICA | |
| Scala: | Formato Stampa: | Codice Identificatore Elaborato |
| 0 | A4 | H0S2I51_RelazioneIdrologica_21 |

| | |
|---|---|
| Progettazione: | Committente: |
| ENERWIND s.r.l. Via San Lorenzo 155 - cap 72023 MESAGNE (BR) P.IVA 02549880744 - REA BR-154453 - enerwind@pec.it MSC innovative solutions s.r.l.s. Via Milizia n.55 - 73100 LECCE (ITALY) P.IVA 05030190754 - msc.innovativesolutions@pec.it Ing. Santo Masilla iscritto all'Ordine Ing. di Brindisi al n.478 | TRE TORRI ENERGIA s.r.l. Piazza del Grano n.3 - 39100 BOLZANO (BZ) p. iva 0305799214 - REA BZ 283988 tretorrienergia@legalmail.it SOCIETA' DEL GRUPPO FRI-EL GREEN POWER S.p.A. Piazza della Rotonda, 2 - 00186 Roma (RM) - Italia Tel. +39 06 6880 4163 - Fax. +39 06 6821 2764 Email: Info@fri-el.it - P. IVA 01533770218 |

| Data | Motivo della revisione: | Redatto: | Controllato: | Approvato: |
|-------------|-------------------------|-----------------|---------------|--------------------------|
| Aprile 2022 | Prima emissione | M.S.C. S.r.l.s. | Santo Masilla | Tre Torri Energia S.r.l. |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

1 – PREMESSA

La presente Relazione Idrologica è stata redatta a corredo del progetto di realizzazione dell'impianto agrovoltaico denominato "Argentone" ubicato in Comune di Oria (BR) e del relativo cavidotto di collegamento alla rete elettrica nazionale che attraverserà i territori dei comuni di Oria ed Erchie (Fig. 1.1 e 1.2). Il cavidotto a servizio dell'impianto corre lungo la viabilità secondaria e poderale per vari chilometri fino a raggiungere la stazione elettrica che si trova immediatamente a Sud della SS 7Ter in comune di Erchie.

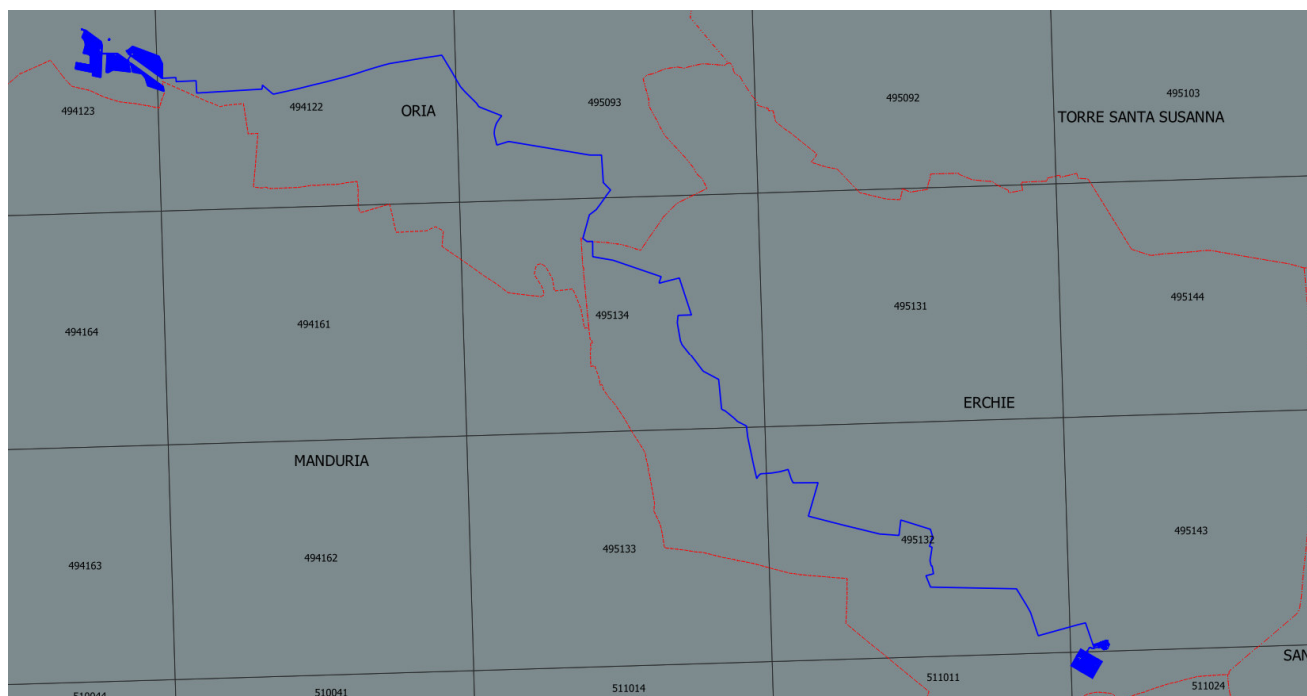


Fig. 1.1 – Inquadramento territoriale rispetto ai confini comunali ed al grigliato della CTR in scala 1:5000

L'intervento, in estrema sintesi, consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico organizzato in 4 aree occupate fisicamente dai pannelli, distribuite su una superficie totale di circa 82 ettari, del relativo cavidotto e delle opere necessarie per il collegamento alla rete elettrica ed è dettagliatamente descritto nella relazione tecnica di progetto a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Lo studio di che trattasi è stato condotto, secondo le disposizioni normative vigenti, al fine di verificare la compatibilità delle previsioni di progetto con l'assetto idrologico del territorio in cui esso ricade. Tale studio è anche prodromico alla verifica della compatibilità delle previsioni di progetto rispetto alla dinamica idraulica del territorio in cui queste ricadono.

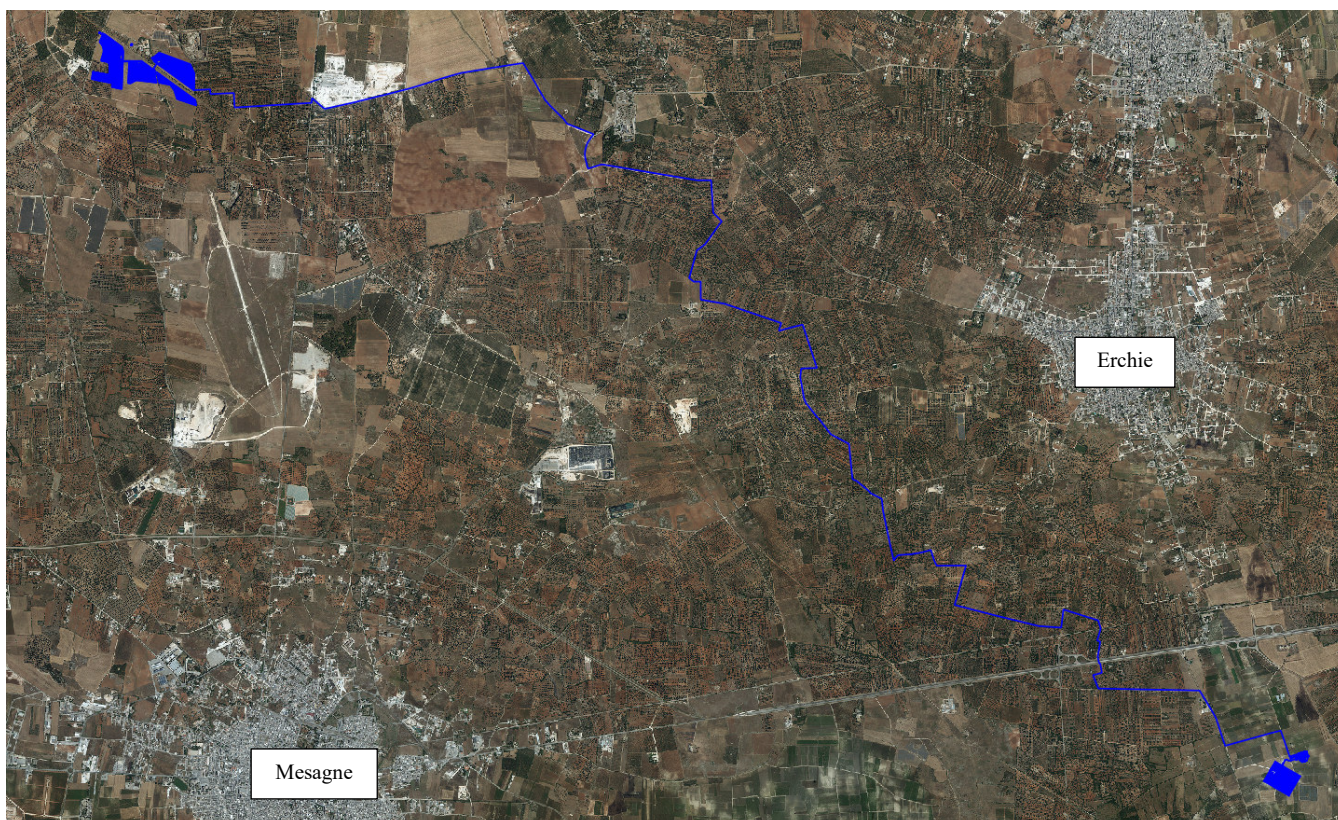


Fig. 1.2 – Inquadramento territoriale su immagine satellitare

Lo studio è stato sviluppato attraverso un'analisi svolta a scala di bacino riguardante i seguenti specifici aspetti:

- caratteri pluviometrici;
- caratteri idrografici;
- caratteri altimetrici;
- caratteri geologici, idrogeologici e geomorfologici;
- caratteri pedologici;
- caratteri di uso del suolo.

Tale analisi è stata condotta con i software Quantum GIS, SAGA Gis, GRASS Gis e MATLAB, integrando i dati di rilievo originali (dati geologico-stratigrafici, permeabilità dei terreni, uso del suolo) con quelli di letteratura specialistica disponibili sul sito <http://www.sit.puglia.it/> relativi a:

- Modello Digitale del terreno della Regione Puglia in formato raster (estensione .asc),
- Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia in formato vettoriale (estensione .shp),
- Carta Pedologica della Regione Puglia in formato vettoriale (estensione .shp),

- Carta di Uso del Suolo della Regione Puglia in formato vettoriale (estensione .shp).

2 - INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area di intervento ricade nel settore centro settentrionale della Penisola Salentina ed è distribuita su un vasto territorio ricompreso integralmente nei Foglio 495 Mesagne e 494 Francavilla Fontana del grigliato IGM 1:50000.

Gli elementi antropici più rilevanti dell'area vasta in cui ricade il sito di progetto sono gli abitati di Mesagne, Oria, Erchie e Tore Santa Susanna, la viabilità provinciale di collegamento tra questi centri urbani e la SS7Ter che sarà tagliata trasversalmente dalla parte terminale del cavidotto (si veda la Fig. 1.2).

3 - CARATTERI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGIA, CARATTERI IDROLOGICI E DINAMICA AMBIENTALE

I caratteri geologici e geomorfologici distintivi del territorio interessato dagli interventi di progetto sono: la sostanziale uniformità litologica del substrato geologico, la semplicità del suo assetto geologico-strutturale e la piattezza altimetrica che è rotta esclusivamente dalla scarpata di estensione regionale, orientata Est-Ovest, nota come Limitone dei Greci. Essa separa un settore meridionale, a deflusso endoreico orientato grossomodo da Nord verso Sud e Sud Est, da un settore settentrionale a deflusso esoreico (che si svolge da Sud verso Nord e Nord Est).

I territori su cui insisteranno le aree di progetto ricadono specificatamente nel settore meridionale (sia l'impianto che il cavidotto, infatti, ricadono a sud del Limitone dei Greci) ed interessano un vasto comprensorio che idrograficamente può essere suddiviso in 3 macrobacini (Fig. 3.1).

Tale evidenza emerge dallo studio geomorfologico-idrografico realizzato sia attraverso il software **SAGA GIS** facente parte del pacchetto **QGIS** che attraverso il toolbox **Topo di MATLAB** attraverso i quali la geometria e l'organizzazione delle linee di impluvio e dei displuvi sono state estratte dal DTM Puglia con pixel 8 x 8 m (fonte <http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/CTR/index.html>).

Utilizzando SAGA è stato applicato il modulo **Catchement area** e successivamente il modulo **Drainage network** su un DTM elaborato attraverso il modulo di calcolo Fill sinks ed ottenuto sottraendo al DTM Puglia le aree chiuse. Questo modulo utilizza l'algoritmo proposto da Wang & Liu (2006) per identificare e riempire le depressioni superficiali nei DEM. La sottrazione delle depressioni topografiche simula la condizione di estesa formazione di ristagni superficiali e l'instaurarsi di un flusso idrico continuo verso il

recapito finale. Il modulo di calcolo non riempie solo le depressioni ma può anche preservare una pendenza verso il basso lungo il percorso del flusso. Nel caso specifico è stata utilizzata tale opportunità preservando un gradiente di pendenza minimo. Sul raster di output di tale modulo è stato poi applicato il modulo Catchment area e Drainage network per l'estrazione dei deflussi.

Topotoolbox di MATLAB fornisce un insieme di funzioni per analisi geomorfologiche e idrologiche in ambiente non GIS. Esso opera su DTM tramite classi di funzioni applicate in successione, che estraggono diverse informazioni.

Tramite la funzione GRIDobj, il DTM è stato inizializzato come matrice in MATLAB, ovvero come variabile su cui operare con Topotoolbox. Applicando la funzione flowacc(FD), algoritmo della classe FLOWobj, sono stati identificati i bacini di deflusso, quindi con STREAMobj è stato individuato il reticolo idrografico, impostando la soglia, ovvero il valore oltre il quale il flusso diventa canalizzato, pari a 500 (pixel). L'algoritmo applicato è il seguente:

```
DEM = GRIDobj('dtm unito.tif');  
FD = FLOWobj(DEM);  
A = flowacc(FD);  
S1 = STREAMobj(FD,A>3000);  
figure('Name','3000')  
imageschs(DEM,[],'colormap',[1 1 1],'colorbar',false)  
hold on  
plot(S1,'b')  
S_7000 = STREAMobj2GRIDobj(S1)  
GRIDobj2geotiff(S_7000,'S_7000')
```

Infine, il reticolo ottenuto è stato esportato come geotiff per la gestione in ambiente GIS. I modelli ottenuti con i due software sono sostanzialmente equivalenti al netto di minime differenze.

Per le successive modellazioni idrologiche e per i calcoli idraulici si è scelto di utilizzare l'output di MATLAB (Fig. 3.1).

I tre macrobacini individuati in Figura 3.1 hanno specifiche caratteristiche. Quello denominato 1 ha deflusso endoreico orientato verso SE; i suoi recapiti sono conche alluvionali poste ai piedi del Limitone dei Greci. Quello denominato 2 ha deflusso verso SE all'interno di conche alluvionali prossime al settore costiero o anche verso mare. Quello denominato 3 ha deflusso endoreico verso Est; il suo recapito principale è rappresentato

dalla vasta area alluvionale nota con il toponimo di Palude Balsamo. Le opere di progetto ricadono in gran parte nel macrobacino 1 ed in parte nel macrobacino 3.

Dalla osservazione del modello di deflusso su base DTM si desume l'importante considerazione che esso descrive per il settore in cui ricadono le opere di interesse una organizzazione della rete idrografica più articolata e complessa geometricamente di quanto descritto dalla Carta Idrogeomorfologica della regione Puglia (si veda la figura 3.2). Inoltre, sovrapponendo il modello di deflusso alla CTR si ricava l'interessante considerazione che le strade sono gli elementi antropici che maggiormente condizionano il deflusso superficiale.

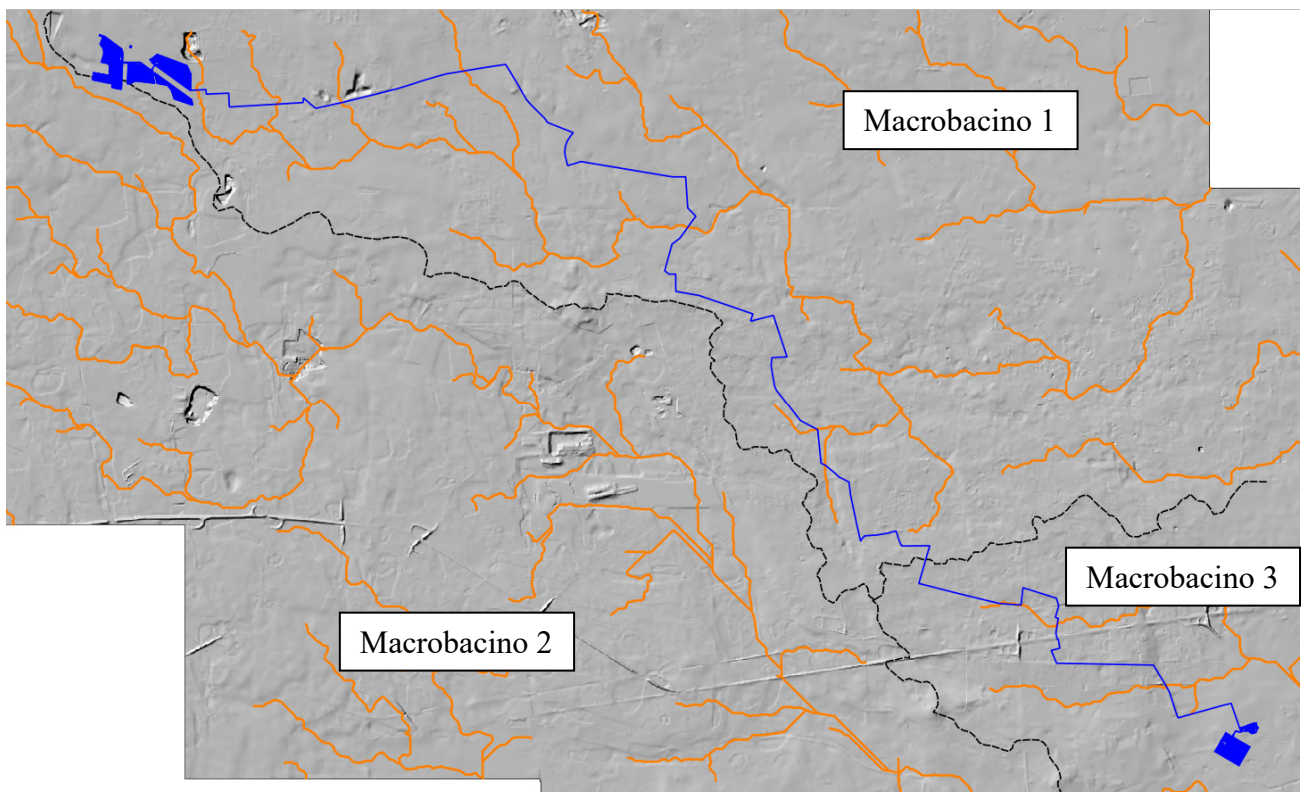


Fig. 3.1 – Organizzazione della rete idrografica estratta dal DTM; in nero è tracciato lo spartiacque principale mentre le linee di impluvio sono cartografate in arancione. In blu sono individuate schematicamente le opere di progetto.

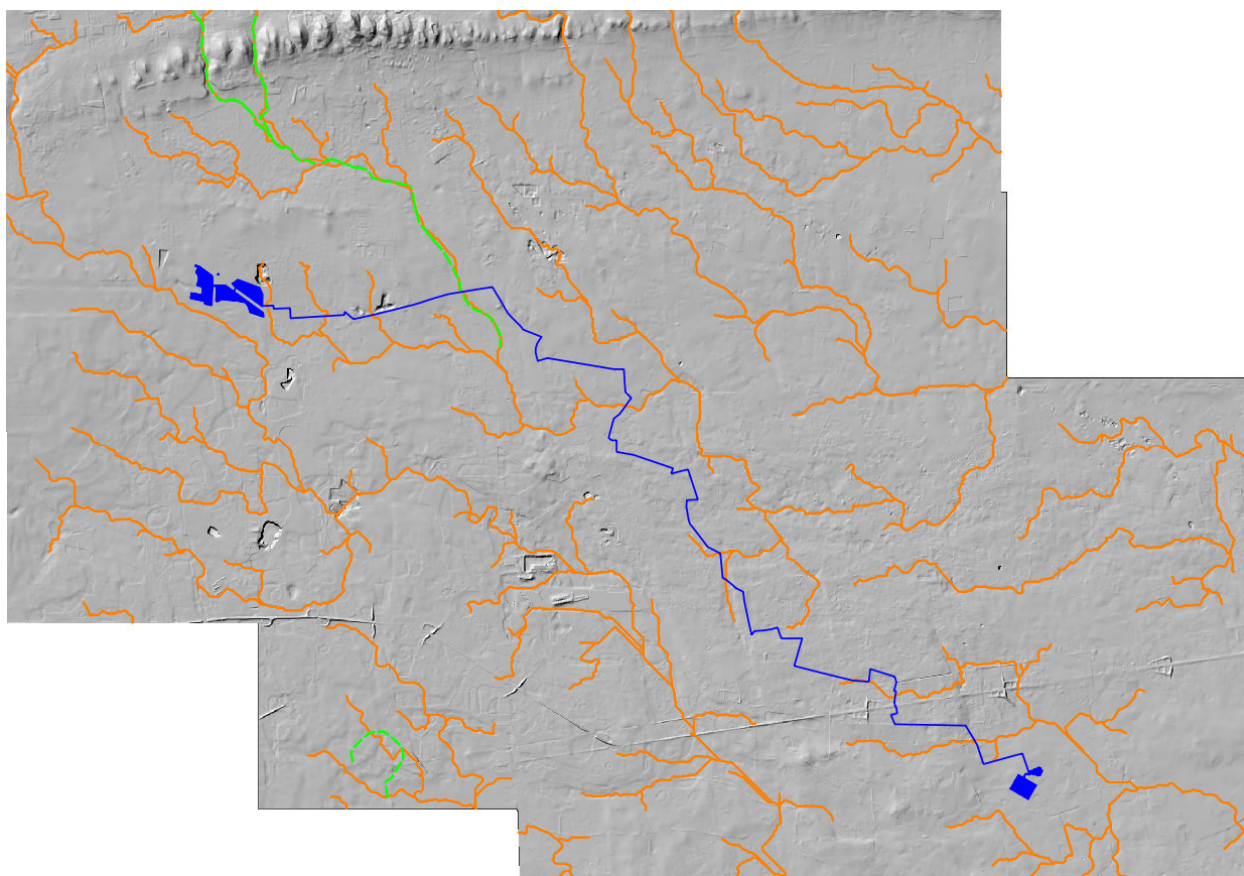


Fig. 3.2 – Sovrapposizione della rete idrografica estratta dal DTM Puglia (in verde) con la rete idrografica riportata sulla Carta Idrogeomorfologica (in marrone)

La dinamica idrologica dei reticoli idrografici che interessano questo settore di Salento che si sta descrivendo è fortemente condizionata dalla presenza nel perimetro dei bacini di ampie depressioni, anche poco accentuate altimetricamente, corrispondenti sotto il profilo geomorfologico a conche alluvionali, che sono interconnesse idraulicamente tra loro ed hanno una organizzazione idrografica di tipo "a cascata".

Pertanto, all'interno di ciascun bacino è possibile individuare tanti sottobacini per quante sono le conche alluvionali presenti. Questi sottobacini sono disposti altimetricamente a gradinata ed ognuno di essi è caratterizzato da una soglia morfologica che funziona come un vero e proprio scolmatore; quando nel sottobacino di monte gli afflussi (pioggia netta) superano il volume invasabile nella conca alluvionale si determina un deflusso verso il sottobacino di valle idraulicamente sottostante. Qui il volume di piena è determinato sia dalla pioggia netta direttamente precipitata nei limiti del sottobacino stesso sia dagli eventuali deflussi provenienti dal sottobacino di monte (Fig. 3.3).

Come importante conseguenza di quanto sopra esposto si ricava che l'estensione del bacino di drenaggio che contribuisce a determinare la specifica criticità idraulica in un sito può cambiare a seconda dei quantitativi di pioggia connessi all'evento che determina la

criticità (e quindi al tempo di ritorno), che possono o no determinare l'attivazione delle soglie scolmatrici tra un sottobacino all'altro.

La dinamica idrologica del territorio che è direttamente interessato dalle opere di progetto è sostanzialmente quella sopradescritta.

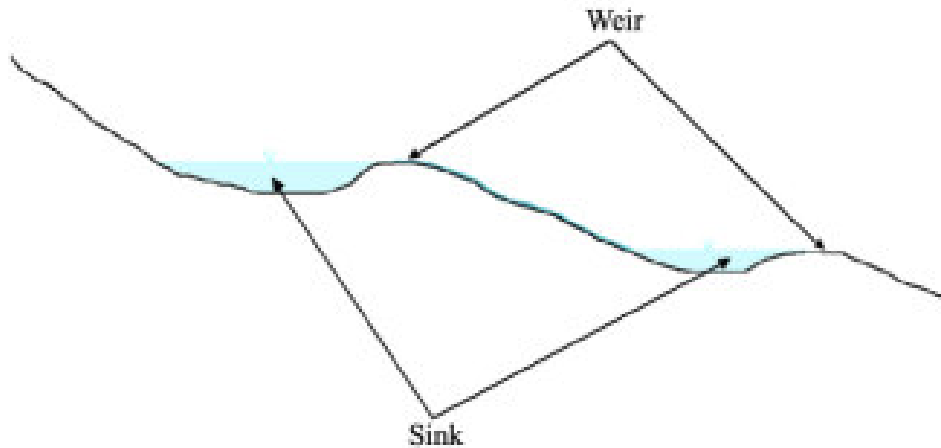


Fig. 3.3 – Profilo schematico di un bacino con serbatoi multipli e deflusso che si attiva per stramazzo rispetto ad una soglia morfologica (figura estratta da: RATIONALE FOR FLOOD PREDICTION IN KARST ENDORHEIC AREAS (2014) – V. Iacobellis, A. Castorani, A. R. Di Santo, A. Gioia. Journal of Arid Environments XXX (2014) 1-11.

Sotto il profilo geologico-stratigrafico si rileva che i bacini drenanti nei cui limiti ricadono le opere di progetto sono caratterizzati da estesi affioramenti di rocce carbonatiche riferibili a due unità litostratigrafiche: il Calcarea di Altamura e le sovrastanti Calcareniti di Gravina. Solo le porzioni più settentrionali del territorio di interesse, poste in corrispondenza del Limitone dei Greci, sono caratterizzate da affioramenti di rocce di composizione carbonatico-terrigena, contraddistinte da intercalazioni di terreni poco o per nulla permeabili; queste unità sono indicate complessivamente con il nome di Depositi marini terrazzati e stratigraficamente si collocano al di sopra della Calcarenite di Gravina (Fig. 3.4).

La formazione del Calcarea di Altamura è rappresentata da una successione irregolare e ben stratificata di calcari micritici di colore bianco, di norma con strutture a lamine organiche (stromatoliti) e sedimentarie, di calcari dolomitici e dolomie calcaree di colore grigiastro e subordinatamente di dolomie di colore nocciola o anche nerastro. Tale successione è esposta per alcune centinaia di metri ma di fatto è notevolmente più potente rappresentando la parte alta della successione carbonatica giurassico – cretacea che costituisce l'ossatura del substrato geologico regionale.

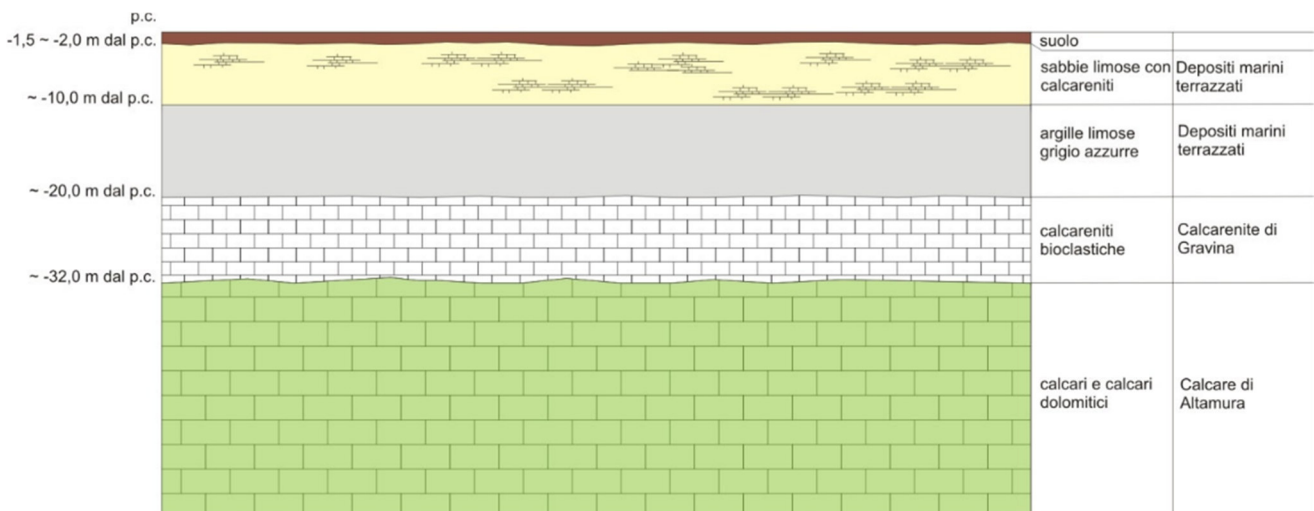


Fig. 3.4 – Schema dei rapporti stratigrafici

L'associazione fossilifera e l'assenza di detrito grossolano suggeriscono un ambiente di sedimentazione di bassa energia di piana intertidale con associate paludi algali (piattaforma carbonatica interna). La successione può essere riferita al Campaniano (Bosellini & Parente, 1994). Il limite inferiore della unità non affiora; il limite superiore è inconforme, discordante con le unità più recenti. L'unità sopra descritta corrisponde in parte al Calcarea di Melissano di Bosellini & Parente (1994). Non esiste piena corrispondenza, inoltre, anche tra la denominazione utilizzata in questo lavoro e quella di Calcarea di Melissano proposta da Martinis (1969) e ripresa dagli autori della Carta Geologica d'Italia, con la quale è indicata la porzione prevalentemente calcarea della successione carbonatica giurassico - cretacea affiorante sul territorio salentino.

Le rocce riferibili alla Calcarenite di Gravina sono interposte stratigraficamente tra i calcari cretacei ed i Depositi marini terrazzati ed affiorano in piccoli lembi. L'unità è localmente rappresentata da calcari detritico-organogeni di colore bianco o giallastro, di granulometria variabile da arenitica grossolana a siltitica, porosi, variamente cementi e a luoghi fossiliferi, cui si intercalano lenti e strati di sabbie siltose calcareo-marnose giallastre con abbondanti noduli diagenetici. Il contenuto macrofossilifero è abbondante e permette la chiara attribuzione, almeno nei limiti del territorio salentino, al Pleistocene inferiore. Nei limiti del settore rilevato la potenza massima di questa unità non è superiore a 15 -20 m. La denominazione di Calcarenite di Gravina, almeno per la penisola salentina corrisponde alla Calcarenite del Salento di Bossio et alii, 1987. Anche sulla Carta Geologica d'Italia è usata la denominazione di Calcarenite del Salento ma con riferimenti cronologici al Quaternario, al Calabriano e anche al Pliocene; tale denominazione, tuttavia, almeno nel suo significato originale non ha più ragione di essere utilizzata.

I Depositi marini terrazzati sono rappresentati da depositi sabbiosi e limoso-sabbiosi di litologia carbonatico-terrigena con intervalli calcarenitici ed arenitici (frequenti soprattutto nella parte alta), passanti verso il basso a terreni più francamente argillosi di colore grigio o verdastro. Come evidenziato dalle stratigrafie dei numerosi pozzi emungenti realizzati nell'area, questa successione ha una potenza complessiva compresa tra 15 e 40 metri. La parte sabbioso-limosa ha uno spessore massimo di 15 m mentre localmente, soprattutto laddove la potenza complessiva della successione è ridotta, la parte più francamente argillosa può anche essere assente.

Questi litotipi, sulla base al contesto geomorfologico e stratigrafico, sono databili al Pleistocene medio. Sulla Carta Geologica d'Italia i Depositi Marini Terrazzati sono indicati sia come Formazione di Gallipoli che come Calcarenite del Salento ed attribuiti genericamente al Quaternario o al Calabriano.

Dai caratteri litologici e strutturali delle rocce sopra descritte derivano i loro caratteri di permeabilità e quindi l'assetto idrogeologico ed idrostrutturale del territorio di interesse che a nord del Limitone dei Greci è caratterizzato dalla presenza di due acquiferi sovrapposti, uno profondo (substrato calcareo-calcarenitico) ed uno superficiale (parte sabbiosa dei Depositi marini terrazzati), separati da un acquiclude/aquitardo (terreni argillosi ascrivibili alla parte stratigraficamente più bassa dei Depositi marini terrazzati) (Fig. 3.5) ed a Sud del Limitone dei Greci dal solo acquifero profondo.

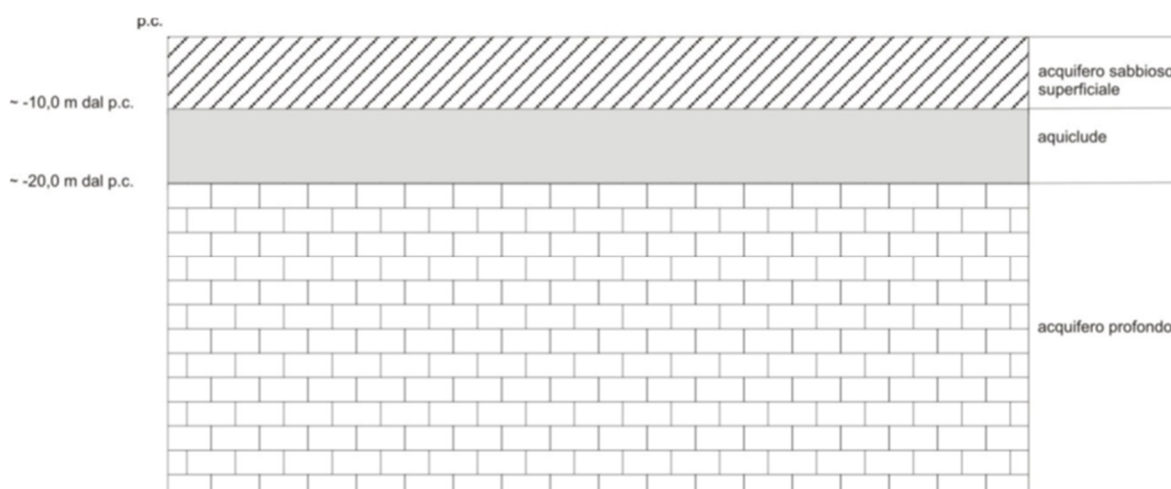


Fig. 3.5 – Schema dell'assetto idrogeologico

Nel presente lavoro questi acquiferi sono stati denominati rispettivamente:

- acquifero calcareo: corrisponde alla successione carbonatica del Cretaceo ed alla Calcarenite di Gravina. È permeabile prevalentemente per fessurazione e carsismo. In genere è molto permeabile ed ospita la falda di base; localmente in profondità può essere caratterizzato dalla presenza di modesti volumi impermeabili;

- acquifero sabbioso: corrisponde alla parte alta dei Depositi marini terrazzati. È permeabile esclusivamente per porosità; ospita una falda superficiale sulla quale si hanno scarsi dati in letteratura scientifica.

Dal PTA della Regione Puglia si evince che in corrispondenza del sito di interesse il carico piezometrico della falda contenuta nell'acquifero profondo è pari a circa 5 m; il verso di deflusso della falda è da NE a SW (Fig. 3.6).



Fig. 3.6 – Isopieze della falda profonda (dal PTA – secondo ciclo)

4 – STUDIO IDROLOGICO

4.1 Premessa e metodo di studio

Sulla base delle evidenze discusse nel precedente capitolo con riferimento al territorio di interesse ed alle interferenze tra le opere di progetto e la rete idrografica estratta da DTM è stato riconosciuto un quadro delle interferenze molto più ampio e variegato (Fig. 4.1.1) rispetto a quanto emergerebbe dal confronto con la sola Carta idrogeomorfologica ed il PAI (Fig. 4.1.2) pertanto sono stati riconosciuti 5 bacini idrografici (bacini idrografici di progetto) che descrivono tale quadro.

Il più esteso (bacino 1 di figura 4.1.1) ingloba buona parte degli interventi di progetto ed è l'unico che ricomprende anche un piccolo reticolo idrografico riportato sulla Carta Idrogeomorfologica (cui è anche associata una estesa area a pericolosità idraulica) (Fig. 4.1.3); gli altri (bacini 2, 3, 4 e 5 di figura 4.1.1) derivano solo dalle elaborazioni sviluppate su base DTM Puglia. Nel bacino 1 il reticolo cartografato sulla Carta idrogeomorfologica afferisce ad un inghiottitoio carsico denominato Voragine di San Cosimo, inserito nel Catasto delle Grotte della Regione Puglia con l'identificativo PU_1480, che ricade all'interno di una vasta conca alluvionale che a sua volta è ricompresa nel perimetro della zona a pericolosità idraulica già menzionata (la cui consistenza areale tuttavia ha pochissima confidenza con il reale andamento altimetrico

del territorio trattandosi probabilmente di una delle ormai poche perimetrazioni non aggiornate rispetto alla prima stesura del PAI).

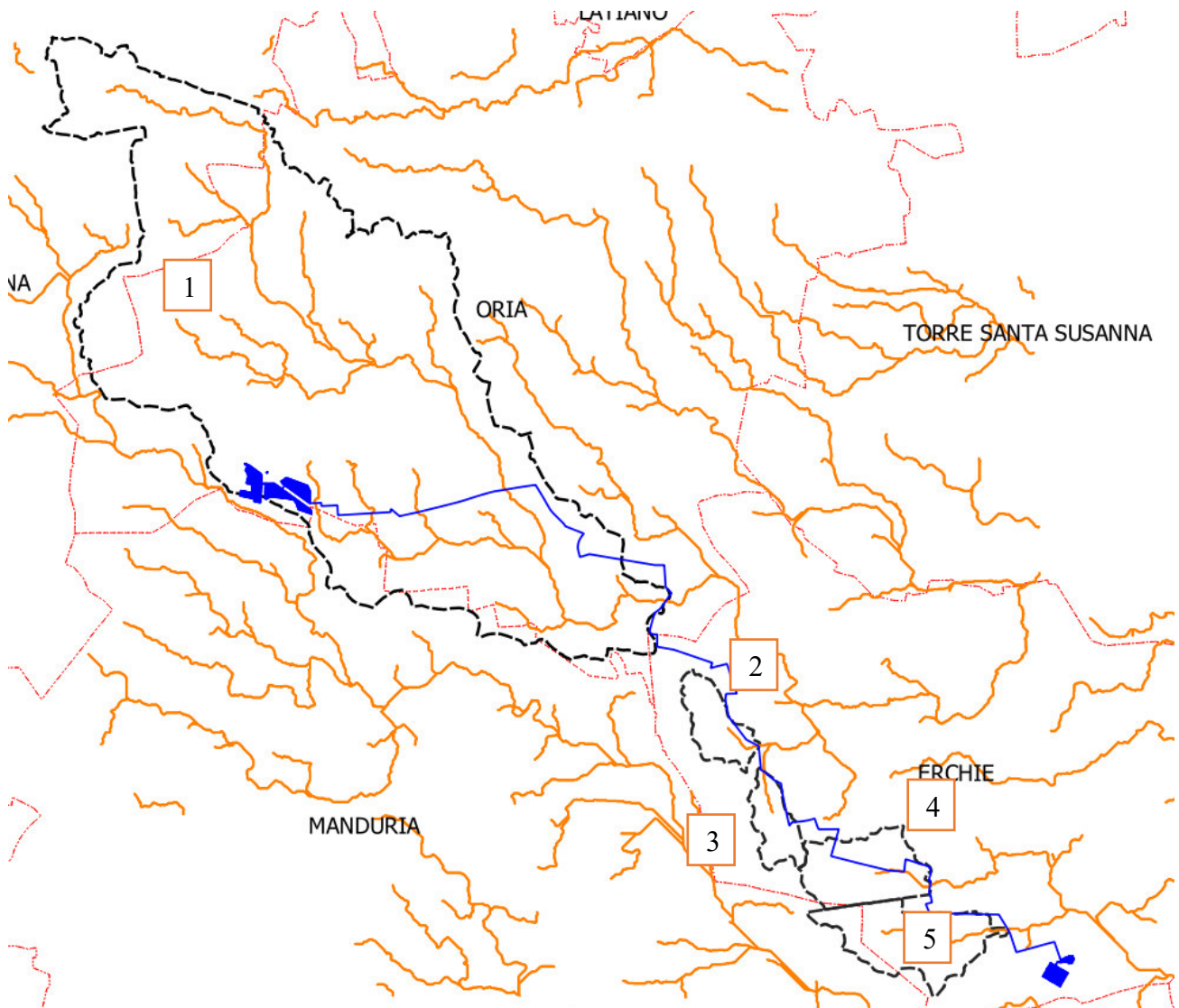


Fig. 4.1.1 – Perimetrazione dei bacini scolanti

Attraverso una operazione di overlay mapping tra DTM Puglia e rete idrografica estratta attraverso MATLAB emerge chiaramente che la depressione in parola ha una soglia di sversamento a quota 81,20 m ed è tributaria di una conca endoreica individuata nel PAI (A in figura 4.1.3) e classificata come area a pericolosità idraulica e di altre presenti a valle di essa (si veda lo schema idrografico di Fig. 4.1.3). Il bacino 1 è quindi chiaramente caratterizzato da una organizzazione idrografica più complessa rispetto a quanto riportato sulla Carta idrogeomorfologica Fig. 4.1.4); in ragione di ciò tutte le successive elaborazioni relative a tale bacino sono state sviluppate tenendo conto del reale assetto idrografico di questo territorio (idrografia estratta dal DTM Puglia).

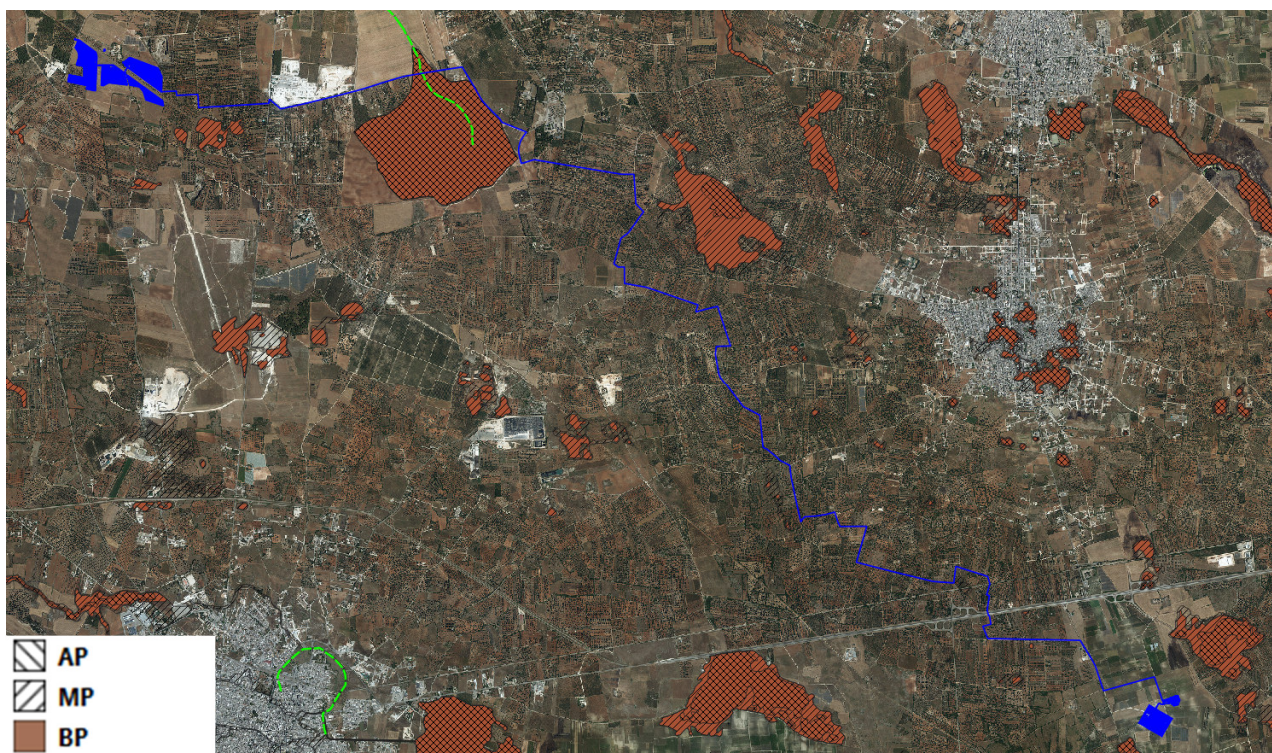


Fig. 4.1.2 – Interferenze tra gli interventi di progetto e le aree a pericolosità idraulica e la rete idrografica (estratta dalla Carta Idrogeomorfologica)

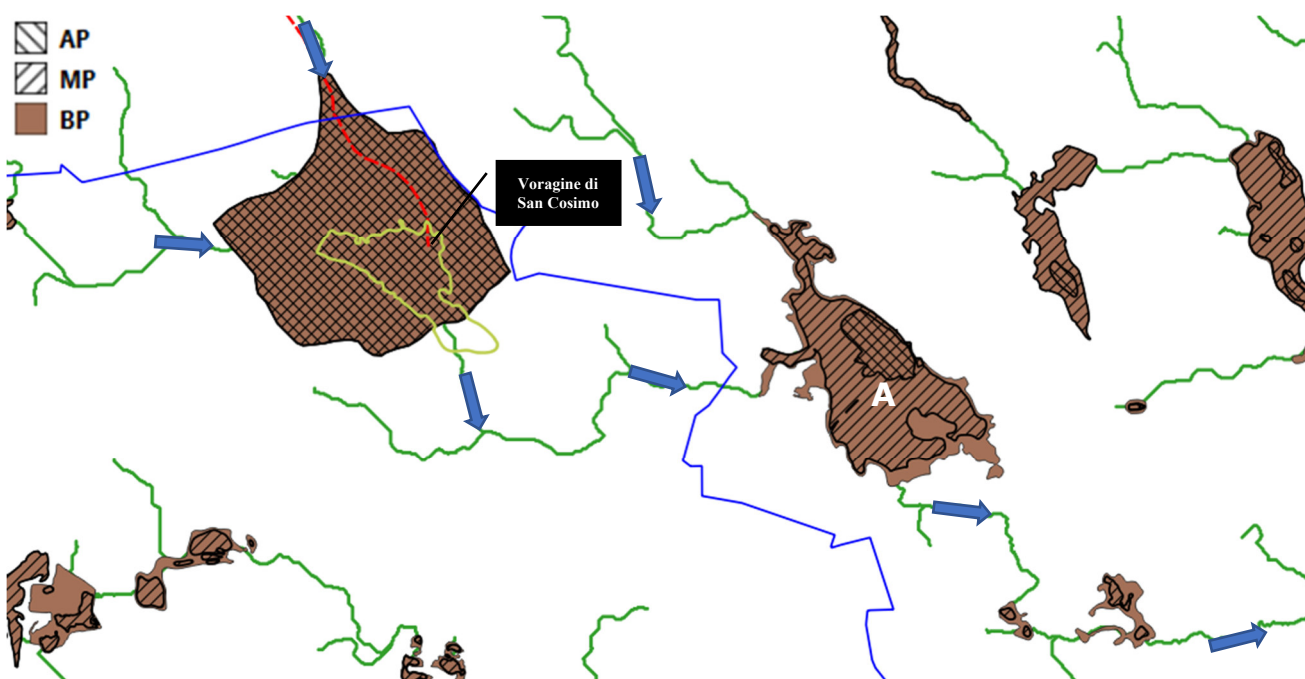


Fig. 4.1.3 – Schema idrografico relativo alla parte di valle del bacino 1; in blu è riportato il tracciato del cavidotto, in verde la rete idrografica estratta dal DTM Puglia (le frecce celesti indicano il verso di deflusso), in rosso la rete idrografica riportata sulla Carta idrogeomorfologica. Il perimetro della conca alluvionale che contiene la Voragine di San Cosimo è indicato in giallo

Da queste semplici considerazioni inoltre emerge chiaramente che il reticolo di interesse è proprio uno di quei tipici sistemi idrografici con una organizzazione di tipo "a cascata"

secondo il modello già descritto. Pertanto, all'interno di questo bacino è possibile individuare tanti sottobacini per quante sono le conche alluvionali interconnesse dalle linee di deflusso.

Questi sottobacini sono disposti altimetricamente a gradinata ed ognuno di essi è caratterizzato da una soglia morfologica che funziona come un vero e proprio scolmatore; quando nel sottobacino di monte gli afflussi (pioggia netta) superano il volume invasabile nella conca alluvionale si determina un deflusso verso il sottobacino di valle idraulicamente sottostante.

Qui il volume di piena è determinato sia dalla pioggia netta direttamente precipitata nei limiti del sottobacino stesso che dagli eventuali deflussi provenienti dai sottobacini di monte.

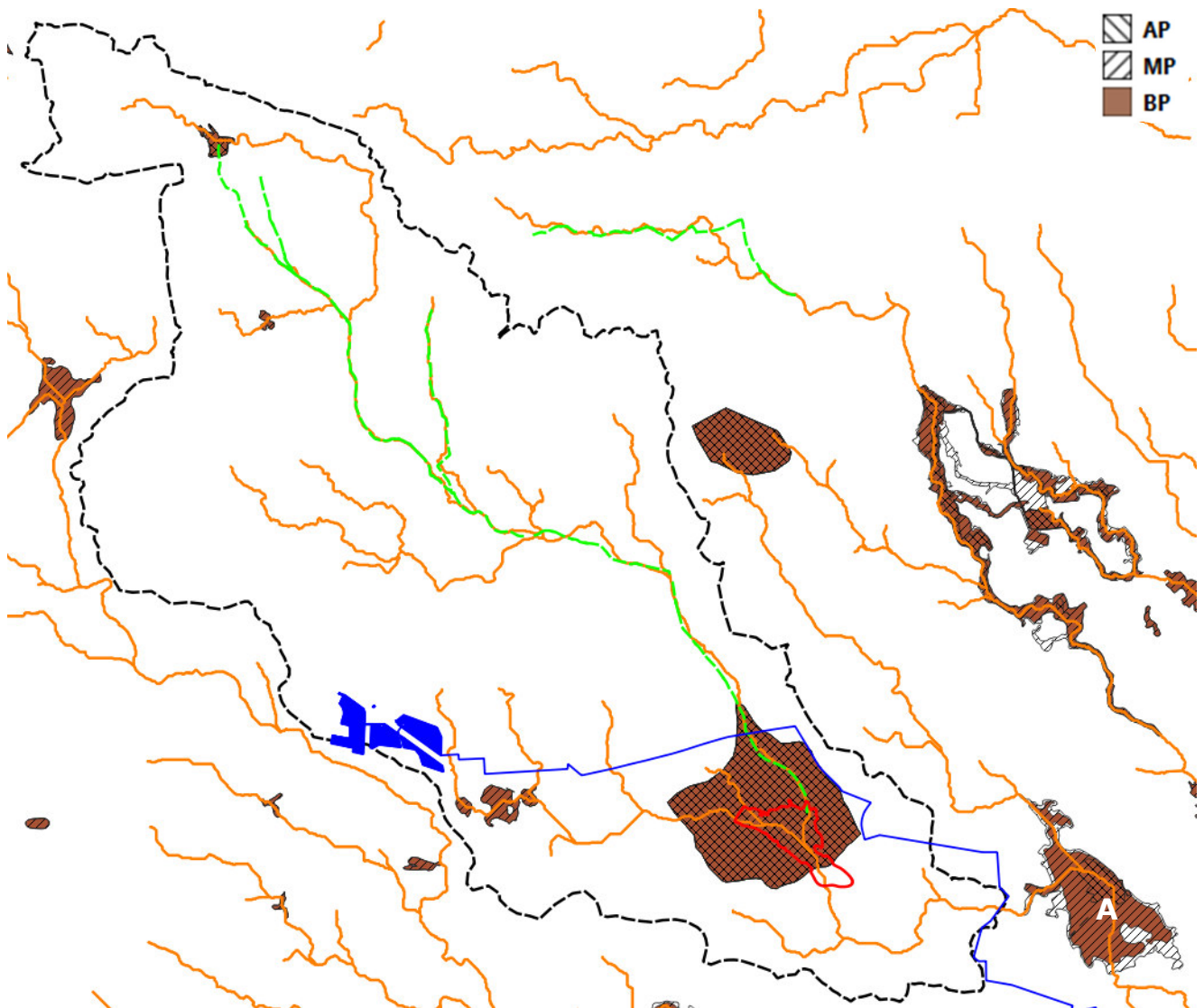


Fig. 4.1.4 – Perimetro del bacino 1 di progetto (in nero); in verde è riportata la rete idrografica secondo la sua consistenza cartografata nella Carta idrogeomorfologica

Nel perimetro di un bacino endoreico come quello in parola le criticità idrauliche non sono attribuibili al passaggio del colmo di una piena lungo una direttrice di deflusso (essendo queste aree sempre caratterizzate da una rete di deflusso costituita da piccole scoline e modesti canali) bensì all'accumulo nelle zone morfologicamente depresse dei deflussi superficiali diffusi originati dall'evento che massimizza i volumi di piena; lo studio idraulico di tali bacini ha quindi la finalità di individuare le altezze idriche che, per i diversi tempi di ritorno degli eventi, si instaurano all'interno delle depressioni morfologiche del bacino di interesse.

Quindi per studiare gli effetti di un singolo evento piovoso, bisogna:

1. identificare tutte le conche alluvionali presenti nel bacino di interesse e definire l'estensione dei sottobacini che potrebbero potenzialmente contribuire all'alluvione per tracimazione in cascata da sottobacino a sottobacino
2. verificare se le condizioni di tracimazione sono raggiunte
3. verificare gli effetti sul sito di interesse.

In tutti questi casi per la valutazione della pericolosità idraulica trova applicazione il modello di Horton che permette di valutare il valore della capacità di infiltrazione reale nel tempo $f(t)$ per ogni litologia affiorante nell'area di bacino drenante afferente al recapito finale endoreico¹.

Secondo tale modello, la variazione della capacità di infiltrazione potenziale nel tempo risulta proporzionale alla differenza tra il valore attuale e quello relativo alle condizioni di saturazione f_c .

La suddetta condizione di saturazione viene raggiunta asintoticamente a partire da un valore iniziale f_0 , secondo modalità temporali dettate essenzialmente da una costante k che rappresenta la rapidità di esaurimento di f secondo una legge esponenziale di equazione:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-t/k}$$

I tre parametri del modello sono in linea di principio tarati sulla base di osservazioni dirette effettuate sul bacino di interesse e sui suoli ivi presenti.

Nella implementazione del modello semidistribuito si fa riferimento, per i parametri f_0 ed f_c , ai valori di letteratura (riportati in tabella) associati ai gruppi di permeabilità del SCS.

¹ IL RUOLO DELLE VORAGINI NELLA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELLE AREE ENDOREICHE DELLA PENISOLA SALENTINA (2009) - Alemanno D., Damato B., Denora D., Di Santo A.R, Fiore A., Iacobellis V. & Intini V. 2° Workshop internazionale ISPRA "I SINKHOLE" RATIONALE FOR FLOOD PREDICTION IN KARST ENDORHEIC AREAS (2014) – V. Iacobellis, A. Castorani, A. R. Di Santo, A. Gioia. Journal of Arid Environments xxx (2014) 1-11.

| GRUPPO SCS | f_0 [mm/h] | f_c [mm/h] | k [h ⁻¹] |
|------------|--------------|--------------|------------------------|
| A | 250 | 25.4 | 0.5 |
| B | 200 | 12.7 | 0.5 |
| C | 125 | 6.3 | 0.5 |
| D | 76 | 2.5 | 0.5 |

Per quanto riguarda i gruppi SCS questi sono classificati in base alla natura del suolo:

- **Gruppo A:** suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili. Capacità di infiltrazione molto elevata.
- **Gruppo B:** suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A e con maggiore aliquota di argilla e limo. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizione di saturazione.
- **Gruppo C:** suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e collodi. Scarsa capacità di infiltrazione.
- **Gruppo D:** suoli con potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

La valutazione della capacità di infiltrazione reale viene effettuata, in corrispondenza dei diversi ietogrammi di ingresso, sulla base del confronto della intensità di pioggia con la capacità di infiltrazione potenziale, attraverso la valutazione del tempo di ponding t_p , ed effettuata tramite la soluzione del sistema:

$$\int_0^{t_p} i(t) dt = F(t_p - t_0)$$

con $i(t) = f(t_p - t_0)$ intensità di precipitazione variabile nel tempo;

$F(t)$ infiltrazione cumulata potenziale;

t_0 è una costante di tempo tale che sia, posto $Fr(t)$ la infiltrazione cumulate reale:

$$Fr(t_p) = F(t_p - t_0)$$

Naturalmente nel caso in cui la precipitazione è costante il sistema si riduce al seguente sistema di equazioni:

$$\begin{cases} it_p = F(t_p - t_0) \\ i = f(t_p - t_0) \end{cases}$$

L'applicazione del modello appena descritto, consente di valutare l'aliquota dei volumi di precipitazione atmosferica che, decurtati della parte che si infiltra nel sottosuolo in funzione delle diverse tipologie di suolo, ruscella superficialmente e converge verso le depressioni morfologiche del territorio in esame determinandone l'allagamento.

In ragione delle caratteristiche altimetriche del territorio e dei volumi di acqua in gioco, è possibile risalire al tirante idrico che si realizza all'interno delle depressioni morfologiche per ogni evento alluvionale caratterizzato da differente tempo di ritorno (30, 200 e 500 anni) e, di conseguenza, all'estensione delle corrispondenti aree allagabili.

Considerazioni analoghe a quelle sopra discusse valgono per i bacini 2, 3, 4 e 5 di figura 4.1.1 in cui ricadono le opere di progetto.

4.2 Perimetrazione dei sottobacini

Il primo passo dello studio consiste nella definizione della sezione di chiusura dei bacini di interesse. Nel caso specifico considerando che la rete idrografica ha uno sviluppo ed una articolazione più complessi rispetto a quanto riportata sulla Carta Idrogeomorfologica sono state prese in considerazione tutte le interferenze possibili e quindi si è proceduto con lo studio dei 5 bacini descritti graficamente in Fig. 4.1.1.

Successivamente sono state ricercate nel perimetro dei bacini di progetto le conche alluvionali presenti lungo il tracciato della rete idrografica con lo scopo di individuare eventuali sottobacini (Fig. 4.2.1).

Nel caso specifico solo il bacino 1 è stato suddiviso in 8 sottobacini essendovi state riconosciute 8 conche alluvionali (Fig. 4.2.2) mentre per gli altri bacini non si è proceduto ad alcuna ripartizione non essendo qui presenti sistemi di conche alluvionali interconnesse idraulicamente.

4.3 Bacino 1 - calcolo dell'evento critico di pioggia e dei volumi

Per effettuare il calcolo dell'evento critico di pioggia di assegnato tempo di ritorno in assenza di dati pluviometrici sitospecifici è stato utilizzato il cosiddetto metodo regionale, secondo le indicazioni contenute nel capitolo VI.3.1 della Relazione di Piano proposta dall'ex Autorità di Bacino della Puglia, che prevede la suddivisione del territorio di competenza in sei regioni aventi caratteristiche pluviometriche differenti. Per ogni regione pluviometrica viene fornita direttamente l'equazione della Linea Segnalatrice di Possibilità Climatica.

In base a questa suddivisione tutto il Salento ricade nella sesta regione pluviometrica, per la quale è valida la seguente espressione:

$$X(d, z) = 33,7 * d^{\frac{0,488+0,0022*z}{3,178}} \quad (1)$$

Tale relazione fornisce per diverse durate di pioggia d il valore dell'altezza di pioggia X prendendo in considerazione anche il valore della quota assoluta z sul livello del mare.

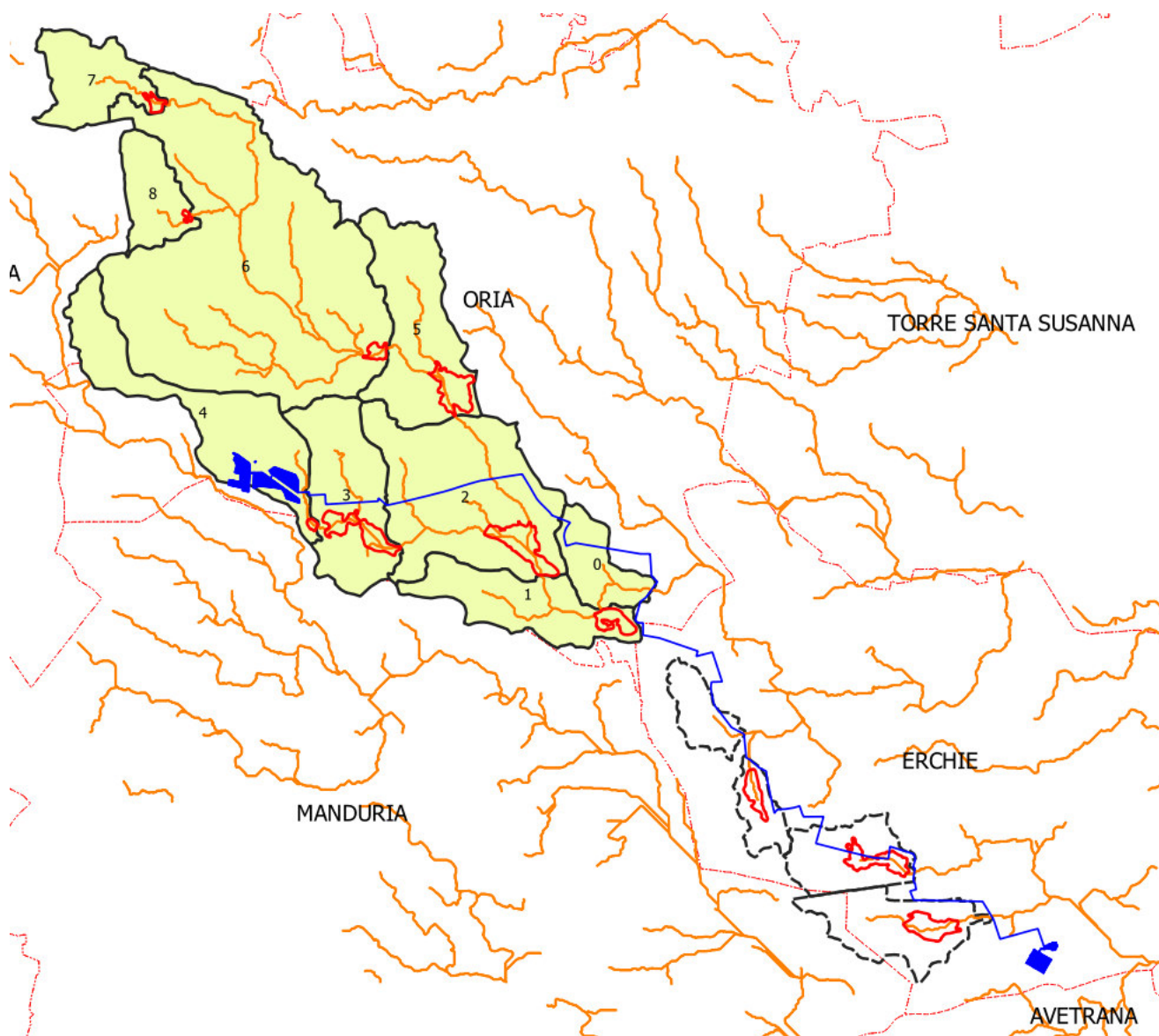


Fig. 4.2.1 – Perimetrazione delle conche alluvionali (in rosso) riconosciute nei bacini di progetto e disarticolazione in sottobacini del bacino 1

I valori calcolati sono, quindi, correlati ad un determinato tempo di ritorno attraverso la loro moltiplicazione con un coefficiente K_T il cui valore dipende dal tempo di ritorno Tr attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 0,1599 + 0,5166 * \ln(Tr)$$

Si è assunta come z la quota media sul livello del mare determinata su base DTM Puglia attraverso il software QGIS per il bacino di progetto e si è proceduto al calcolo di $X(d,z)$ utilizzando la (1) per Tr pari a 30, 200 e 500 anni.

Determinati gli eventi critici di pioggia è stata costruita la Linea Segnalatrice di Possibilità Climatica relativa ai diversi tempi di ritorno considerati.

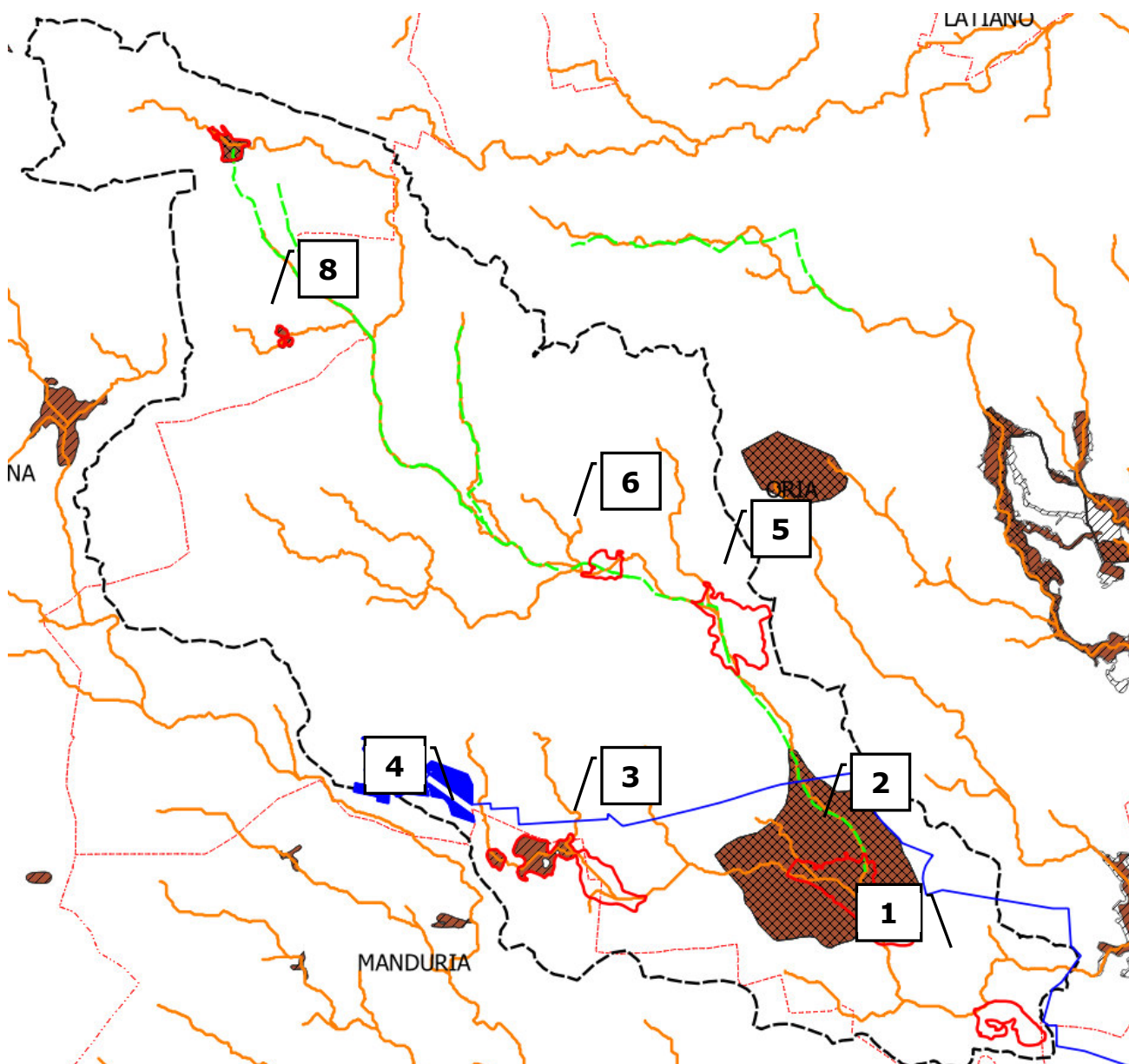
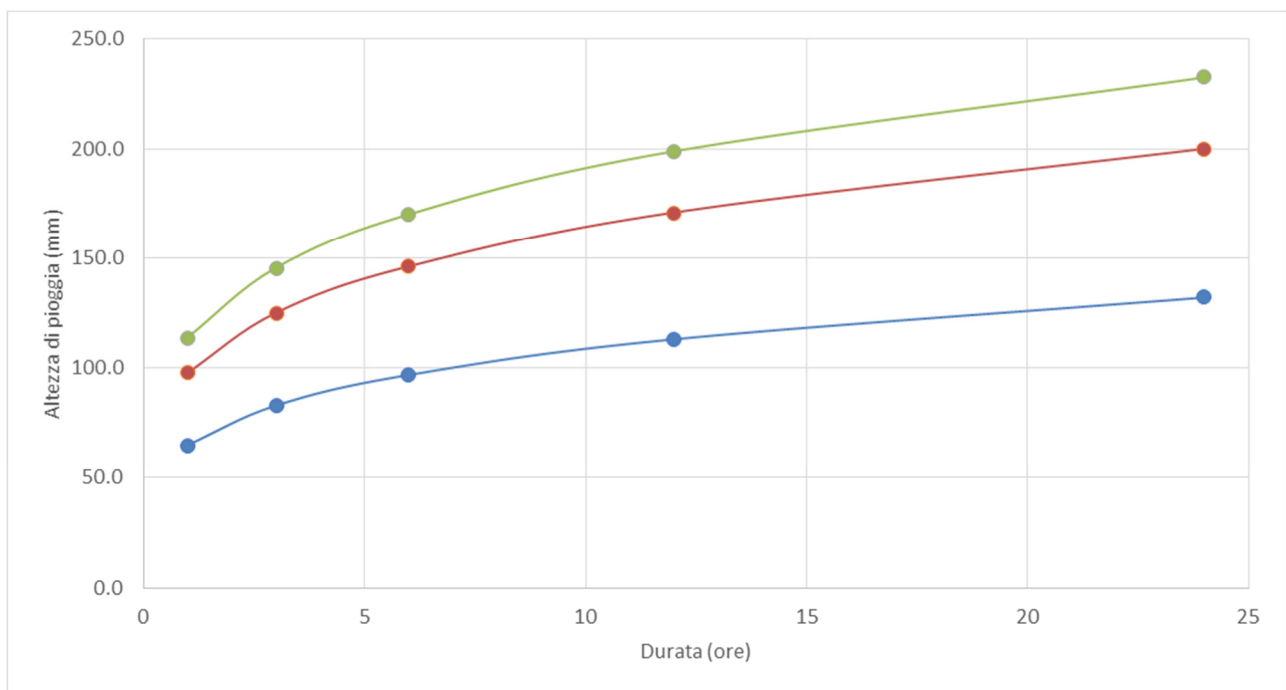


Fig. 4.2.2 – Perimetrazione delle 8 conche alluvionali presenti nel bacino 1 e perimetrazioni PAI

| | | | | | |
|---------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| d | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| z | 103.80 | | | | |
| x | 33.7 | 43.2 | 50.5 | 59.0 | 69.0 |
| Tempo ritorno | 30 | | Kt_{30} | 1.92 | |
| X_{30} | 64.6 | 82.8 | 96.7 | 113.1 | 132.2 |
| $LN(X_{30})$ | 4.1682 | 4.4159 | 4.5721 | 4.7284 | 4.8846 |
| d (ore) | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| $LN(d)$ | 0 | 1.0986 | 1.7918 | 2.4849 | 3.1781 |
| Regr. Lin. | 0.2254 | 4.17 | | | |
| n_{30} | 0.2254 | | | | |
| a_{30} | 64.60 | | | | |
| h_{30} | 64.6 | 82.8 | 96.7 | 113.1 | 132.2 |

| | | | | | |
|---------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| Tempo ritorno | 200 | | Kt_{200} | 2.90 | |
| X_{200} | 97.6 | 125.1 | 146.2 | 170.9 | 199.8 |
| $LN(X_{200})$ | 4.5812 | 4.8288 | 4.9851 | 5.1413 | 5.2975 |
| d (ore) | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| $LN(d)$ | 0 | 1.0986 | 1.7918 | 2.4849 | 3.1781 |
| Regr. Lin. | 0.2254 | 4.58 | | | |
| n_{200} | 0.2254 | | | | |
| a_{200} | 97.63 | | | | |
| h_{200} | 97.6 | 125.1 | 146.2 | 170.9 | 199.8 |
| | | | | | |
| Tempo ritorno | 500 | | Kt_{200} | 3.37 | |
| X_{500} | 113.6 | 145.5 | 170.1 | 198.9 | 232.5 |
| $LN(X_{500})$ | 4.7325 | 4.9802 | 5.1364 | 5.2926 | 5.4489 |
| d (ore) | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| $LN(d)$ | 0 | 1.0986 | 1.7918 | 2.4849 | 3.1781 |
| Regr. Lin. | 0.2254 | 4.73 | | | |
| n_{500} | 0.2254 | | | | |
| a_{500} | 113.58 | | | | |
| h_{500} | 113.6 | 145.5 | 170.1 | 198.9 | 232.5 |



Attraverso i valori n ed a calcolati per i diversi tempi di ritorno è possibile costruire gli ietogrammi di progetto. Lo ietogramma ricostruisce il modo in cui l'intensità della precipitazione meteorica varia nell'intervallo di durata della pioggia.

Nel caso specifico si è optato per l'uso di ietogrammi costanti, presupponendo quindi una pioggia di progetto a intensità costante per tutta la durata dell'evento. In pratica si pone:

$$i(mm/h) = h/tp$$

dove:

i = intensità della precipitazione meteorica;

h = altezza della pioggia;

t_p = durata dell'evento meteorico.

Lo ietogramma costante presuppone ovviamente un'ipotesi non realistica (pioggia di intensità costante per tutta la sua durata); tuttavia, esso rappresenta una schematizzazione molto utilizzata nella pratica in assenza di misure reali e per bacini molto piccoli, come per l'appunto accade nel caso di interesse.

Il valore t_p è stato posto pari al tempo di corrivazione t_c che è stato calcolato per il bacino di progetto con varie formule proposte in letteratura specialistica.

| | |
|-----------|-------|
| Giandotti | 15.61 |
| Pezzoli | 11.81 |
| Puglisi | 8.66 |
| Tournon | 12.47 |
| Ventura | 10.54 |
| Viparelli | 0.44 |
| Kirpich | 4.14 |

I dati di input sono riportati nella seguente tabella

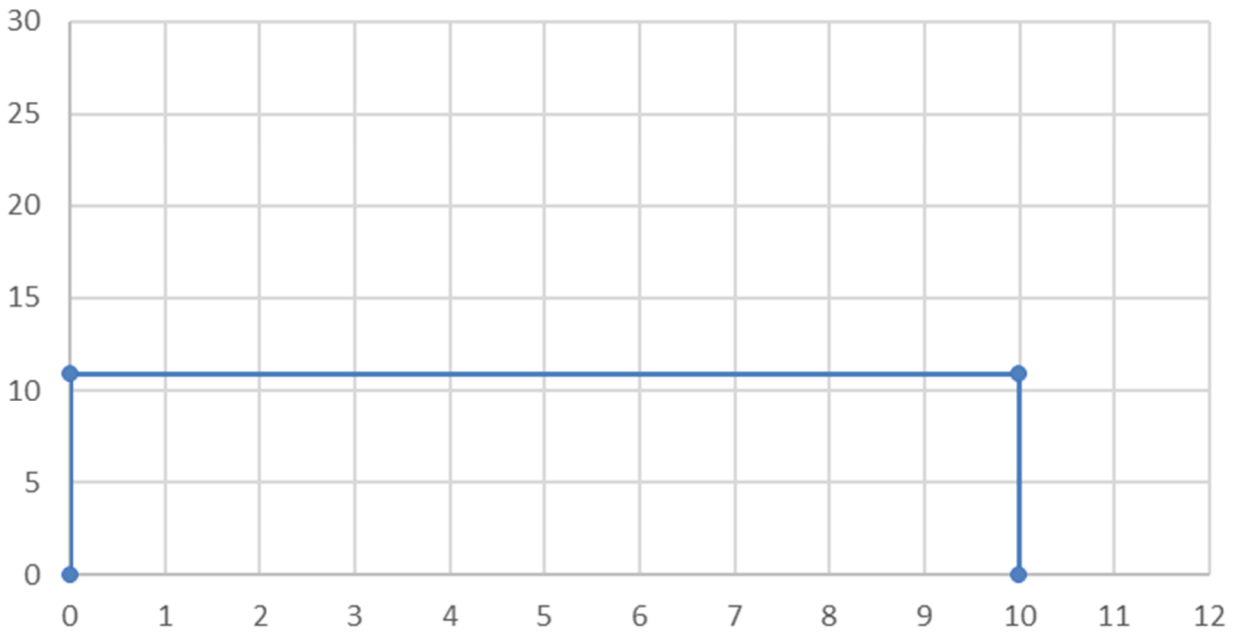
| | | |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| Superficie | S (kmq) | 35.209 |
| Altezza massima | H_{max} (m) | 168.28 |
| Altezza media | H_{med} (m) | 103.8 |
| Altezza minima | H_{min} (m) | 89.78 |
| Lunghezza asta principale | L (km) | 15.354 |
| Quota scorr asta sezione monte | h_m (m) | 136.7 |
| Quota scorr asta sezione valle | h_v (m) | 76.93 |
| Pendenza media asta | i | 0.0051 |
| Pendenza media versanti | i_v | 0.023616036 |

Il tempo T_c di progetto è stato ricavato dalla media dei tempi di corrivazione calcolati con le varie formule escludendo il valore maggiore e quello minore. È stato ottenuto il valore di 9,5 ore arrotondato per eccesso a 10 ore.

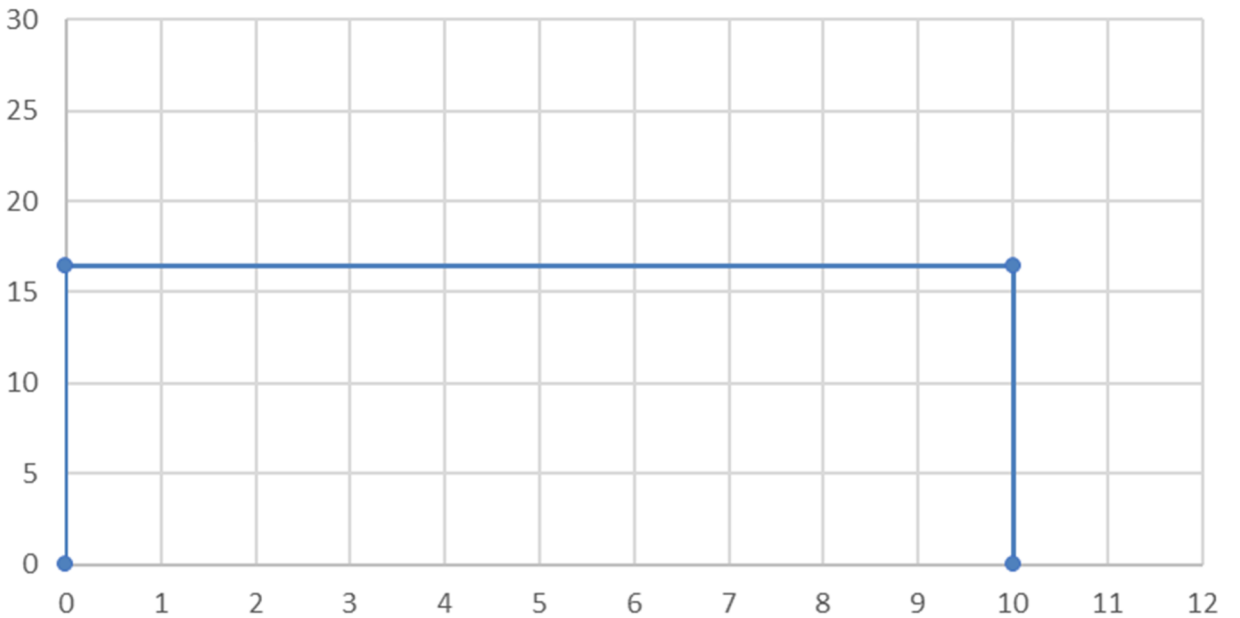
Gli ietogrammi di progetto per T_r 20, 200 e 500 anni sono riportati di seguito.

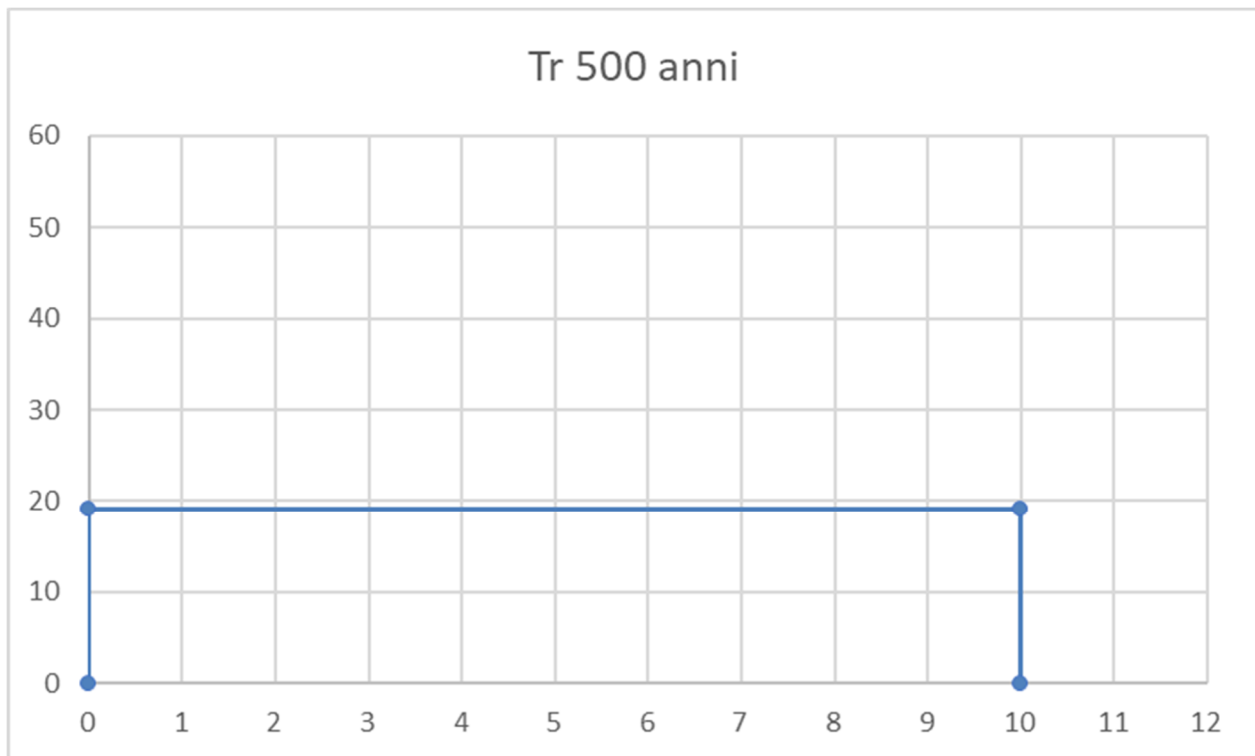
Sono stati studiati quindi gli effetti della pioggia prodotta dall'evento con tempo di ritorno 200 anni applicando la trasformazione afflussi-deflussi mediante il modello di infiltrazione di Horton secondo il quale la variazione nel tempo della capacità di infiltrazione potenziale risulta proporzionale alla differenza tra il valore attuale e quello relativo alle condizioni di saturazione f_c .

Tr 30 anni



Tr 200 anni





Quest'ultimo viene raggiunto asintoticamente a partire da un valore iniziale f_0 secondo modalità temporali essenzialmente dettate da una costante k che rappresenta la rapidità di esaurimento di f . I tre parametri del modello in linea di principio dovrebbero essere tarati sulla base di osservazioni dirette effettuate sul bacino di interesse e sui suoli ivi presenti; tuttavia, nella implementazione del modello semidistribuito si è fatto riferimento per i parametri f_0 , f_c e k ai valori di letteratura riportati in tabella al paragrafo 5.1 attribuendo cautelativamente il substrato geologico del territorio di interesse al **Gruppo C**

Si è proceduto quindi a calcolare il tempo di poiding per l'evento pluviometrico di progetto, che è risultato pari a 6,36 h, e determinare il deflusso per unità di superficie che è risultato pari a 0,048 m/mq.

4.4 Bacini 2, 3, 4 e 5 - calcolo dell'evento critico di pioggia e dei volumi

I calcoli sono stati svolti analogamente a quanto riportato nel precedente paragrafo. Considerando la ridottissima estensione dei bacini, che sono anche immediatamente contigui l'uno all'altro, si è ritenuto opportuno, tuttavia, svolgere i calcoli idrologici con riferimento al maggiore di questi (bacino 5) assumendo, sulla base delle circostanze appena richiamate, che quanto ottenuto per questo è rappresentativo anche del comportamento degli altri.

Nella fattispecie z vale 75.32 m; si è proceduto quindi al calcolo di $X(d,z)$ utilizzando la (1) per T_r pari a 30, 200 e 500 anni.

Determinati gli eventi critici di pioggia è stata costruita la Linea Segnalatrice di Possibilità Climatica relativa ai diversi tempi di ritorno considerati.

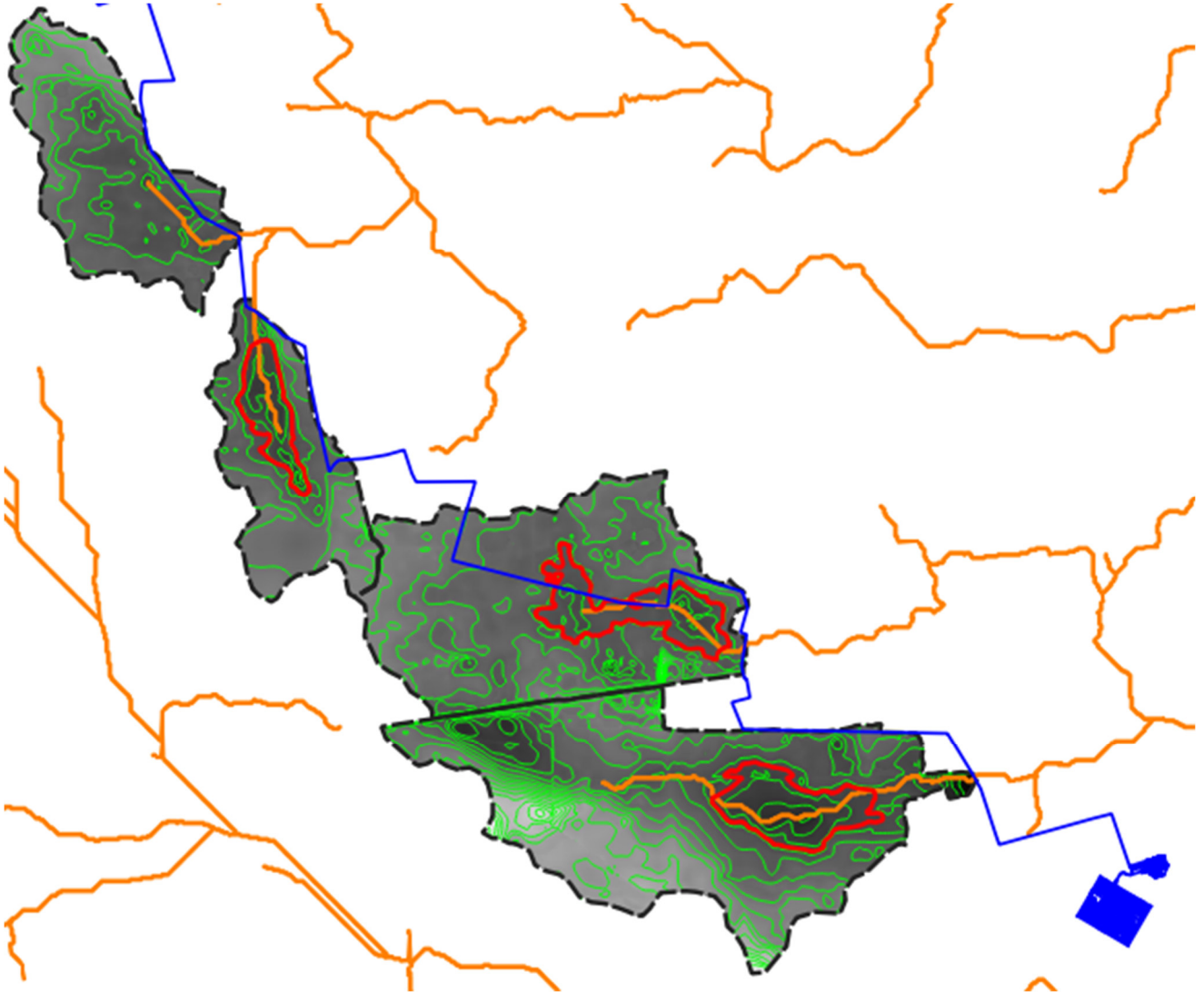
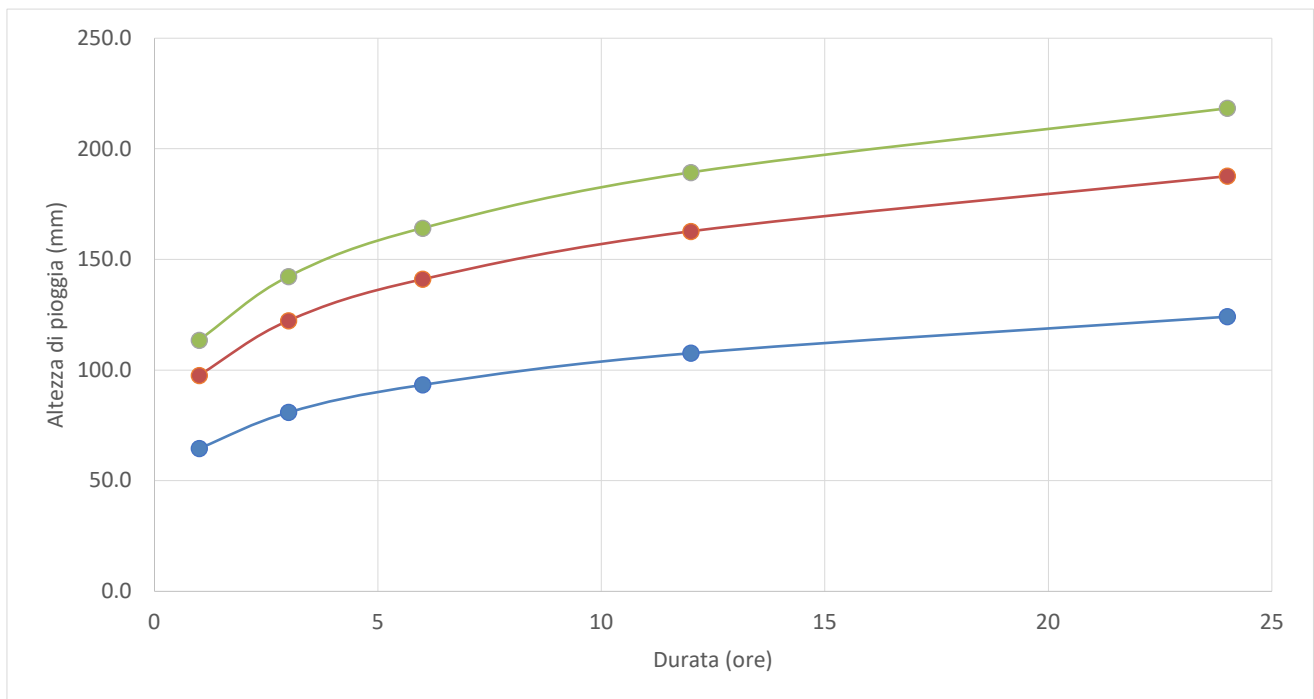


Fig. 4.4.1 - Bacini 2, 3, 4 e 5 di progetto

| | | | | | |
|---------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| d | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| z | 75.32 | | | | |
| x | 33.7 | 42.2 | 48.7 | 56.2 | 64.8 |
| Tempo ritorno | 30 | | Kt_{30} | 1.92 | |
| X_{30} | 64.6 | 81.0 | 93.4 | 107.7 | 124.2 |
| $LN(X_{30})$ | 4.1682 | 4.3942 | 4.5368 | 4.6794 | 4.8220 |
| d (ore) | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| $LN(d)$ | 0 | 1.0986 | 1.7918 | 2.4849 | 3.1781 |
| Regr. Lin. | 0.2057 | 4.17 | | | |
| n_{30} | 0.2057 | | | | |
| a_{30} | 64.60 | | | | |

| | | | | | |
|---------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| h_{30} | 64.6 | 81.0 | 93.4 | 107.7 | 124.2 |
| | | | | | |
| Tempo ritorno | 200 | | Kt_{200} | 2.90 | |
| X_{200} | 97.6 | 122.4 | 141.1 | 162.8 | 187.7 |
| $LN(X_{200})$ | 4.5812 | 4.8072 | 4.9497 | 5.0923 | 5.2349 |
| d (ore) | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| $LN(d)$ | 0 | 1.0986 | 1.7918 | 2.4849 | 3.1781 |
| Regr. Lin. | 0.2057 | 4.58 | | | |
| n_{200} | 0.2057 | | | | |
| a_{200} | 97.63 | | | | |
| h_{200} | 97.6 | 122.4 | 141.1 | 162.8 | 187.7 |
| | | | | | |
| Tempo ritorno | 500 | | Kt_{200} | 3.37 | |
| X_{500} | 113.6 | 142.4 | 164.2 | 189.4 | 218.4 |
| $LN(X_{500})$ | 4.7325 | 4.9585 | 5.1011 | 5.2437 | 5.3862 |
| d (ore) | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| $LN(d)$ | 0 | 1.0986 | 1.7918 | 2.4849 | 3.1781 |
| Regr. Lin. | 0.2057 | 4.73 | | | |
| n_{500} | 0.2057 | | | | |
| a_{500} | 113.58 | | | | |
| h_{500} | 113.6 | 142.4 | 164.2 | 189.4 | 218.4 |



Attraverso i valori n ed a calcolati per i diversi tempi di ritorno sono stati costruiti gli ietogrammi di progetto. Anche in questo caso il valore t_p è stato posto pari al tempo di corrivazione t_c che è stato calcolato con varie formule proposte in letteratura specialistica.

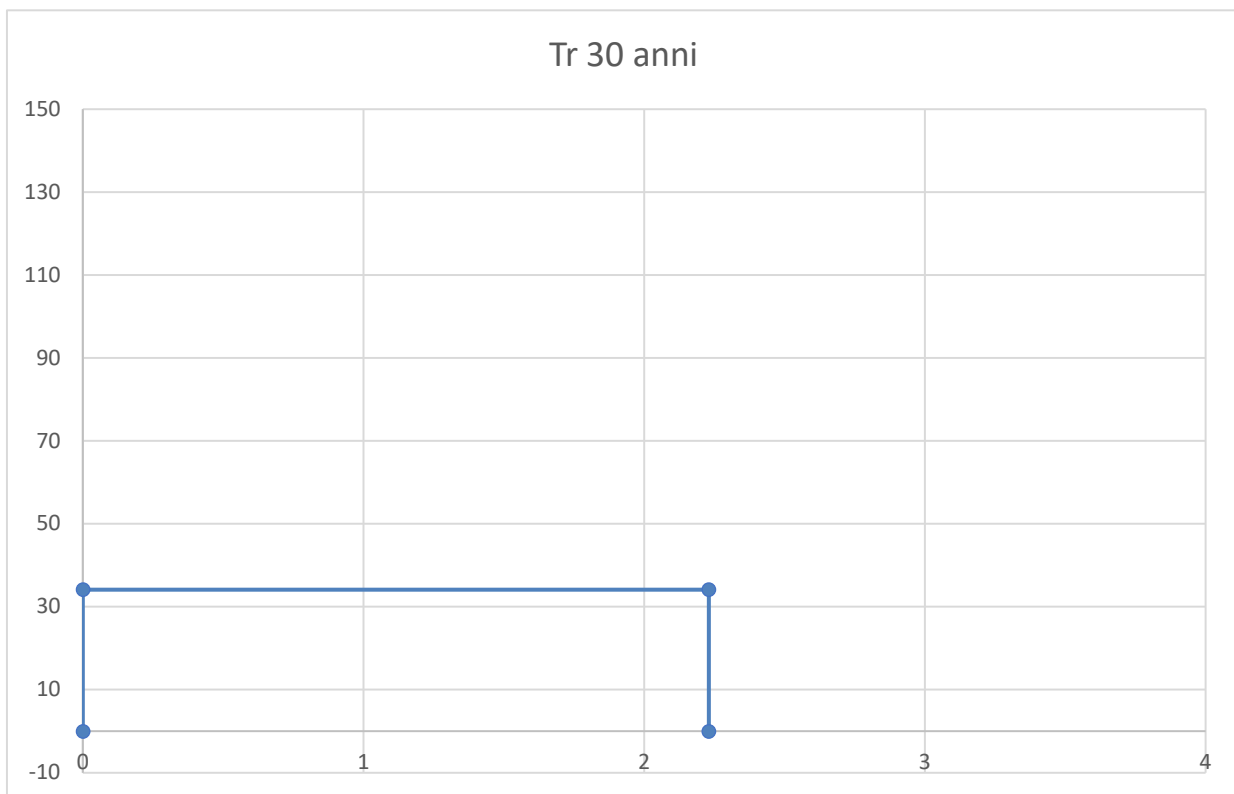
| | |
|-----------|------|
| Giandotti | 3.78 |
| Pezzoli | 1.17 |
| Puglisi | 3.60 |
| Tournon | 3.50 |
| Ventura | 1.83 |
| Viparelli | 1.04 |
| Kirpich | 0.70 |

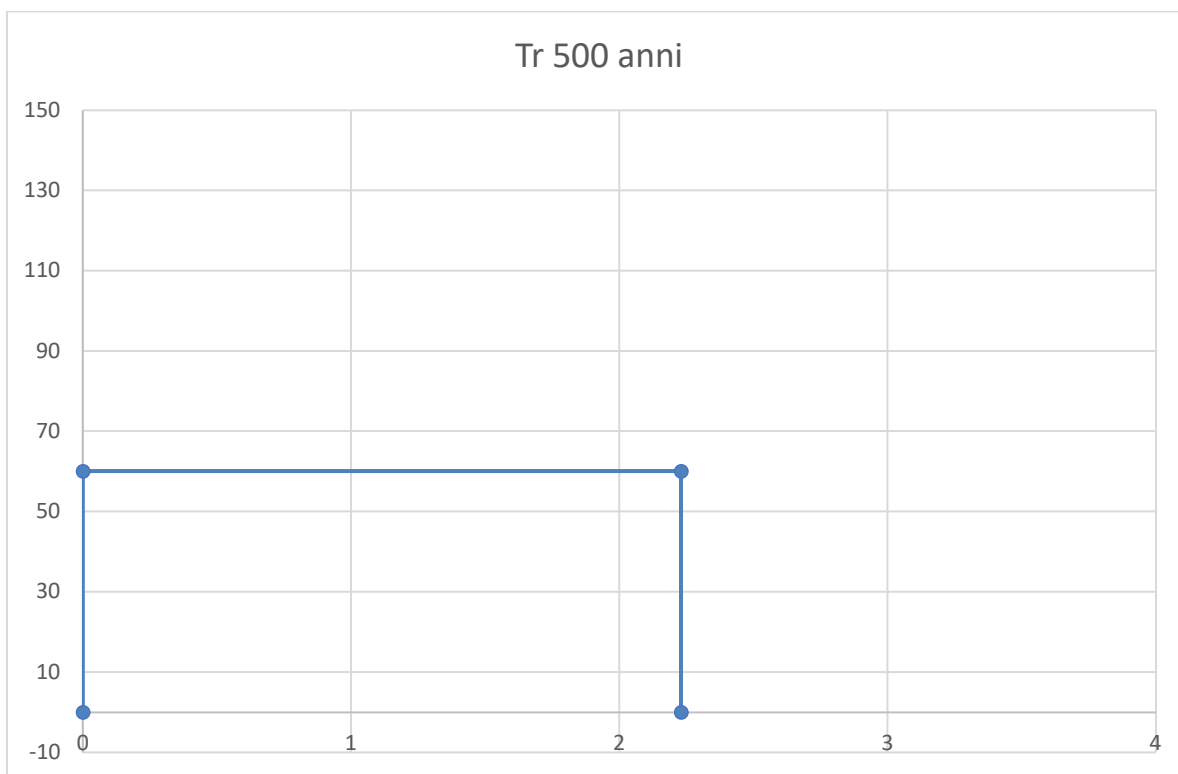
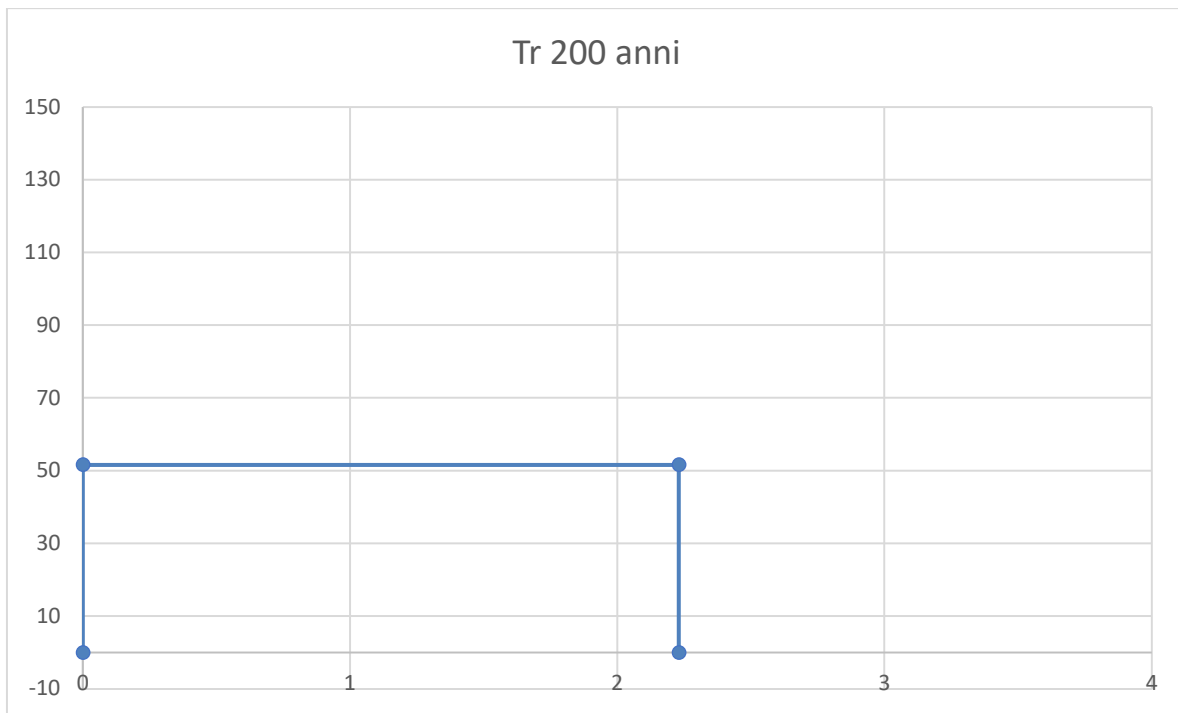
I dati di input sono riportati nella seguente tabella

| | | |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| Superficie | S (kmq) | 2.021527 |
| Altezza massima | H_{max} (m) | 87.25 |
| Altezza media | H_{med} (m) | 75.32 |
| Altezza minima | H_{min} (m) | 66.76 |
| Lunghezza asta principale | L (km) | 2.1 |
| Quota scorr asta sezione monte | h_m (m) | 74.4 |
| Quota scorr asta sezione valle | h_v (m) | 66.6 |
| Pendenza media asta | i | 0.0098 |
| Pendenza media versanti | i_v | 0.023452469 |

Il tempo T_c di progetto è stato ricavato dalla media dei tempi di corrivazione calcolati con le varie formule escludendo il valore maggiore e quello minore. È stato ottenuto il valore di 2.23 ore.

Gli ietogrammi di progetto per T_r 20, 200 e 500 anni sono riportati di seguito.





Sono stati studiati quindi gli effetti della pioggia prodotta dall'evento con tempo di ritorno 200 anni applicando la trasformazione afflussi-deflussi mediante il modello di infiltrazione di Horton; nella implementazione del modello semidistribuito si è fatto riferimento per i parametri f_0 , f_c e k ai valori di letteratura riportati in tabella al paragrafo 5.1 attribuendo cautelativamente il substrato geologico del territorio di interesse al **Gruppo C**

Si è proceduto quindi a calcolare il tempo di poinding per l'evento pluviometrico di progetto, che è risultato superiore alla durata dell'evento di progetto. Nel caso specifico, dunque, risulta che il suolo non raggiunge per l'evento con Tr200 la condizione di saturazione perché possa avviarsi un deflusso superficiale (tutta la pioggia viene assorbita nel sottosuolo). Si conclude che dai piccoli bacini denominati 2, 3, 4 e 5 non si determina alcun deflusso superficiale.