

Regione Puglia

COMUNE DI SALICE SALENTINO - COMUNE DI VEGLIE

PROVINCIA DI LECCE

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI,
NONCHE' OPERE CONNESSE ED INFRASTRUTTURE, DI POTENZA
PREVISTA IMMESSA IN RETE PARI A 60 MW
ALIMENTATO DA FONTE EOLICA DENOMINATO "SAVE ENERGY"**

OPERE DI CONNESSIONE E INFRASTRUTTURE PER IL COLLEGAMENTO ALLA RTN:
Comuni di Erchie (Br)-San Pancrazio Salentino (Br) - Avetrana (Ta)

PROGETTO DEFINITIVO

Codice Impianto: 6QTZQR9

Tavola :

Titolo :

RELAZIONE IDROLOGICA

R25

Cod. Identificativo elaborato :

6QTZQR9_DocumentazioneSpecialistica_R25

Progetto:

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
Tel. +39 3383137911
Email: msc.innovativesolutions@gmail.com - P. IVA 05030190754
Responsabile progettazione: Dott. Ing. Santo Masilla

Committente:

AVETRANA ENERGIA s.r.l.

Piazza del Grano n.3 - cap 39100 BOLZANO (BZ)
P.IVA 03050420219 - REA BZ 227626 - avetrana.energia@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

Indagine Specialistiche :
Dott. Geologo Gianluca Selleri



Data

30.10.2021

Revisione

Prima Emissione

Redatto

SM

Approvato

MT

Data: Ottobre 2021

Scala :

File: 6QTZQR9_DocumentazioneSpecialistica_R25

Controllato:

Formato:

A4

1 – PREMESSA

Il presente studio idrologico è stato a corredo del “**Progetto per la realizzazione di progetto di impianto di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili nonché opere connesse ed infrastrutture di potenza prevista immessa in rete di 60 MW alimentato da fonte eolica denominato SAVE ENERGY** “. Gli interventi di progetto sostanzialmente consistono nella realizzazione di 10 aerogeneratori, dislocati sui territori dei comuni di Salice Salentino e Veglie, e delle opere di connessione alla stazione TERNA ricadente in territorio di Avetrana (cavidotto e sottostazione elettrica) che interesseranno anche i territori dei comuni di Erchie, Avetrana e San Pancrazio Salentino.

Con il presente studio si è proceduto a definire i caratteri idrografici del territorio in cui ricadono gli interventi di progetto e l'evento con Tr 200 anni che determina le media pericolosità idraulica nell'area di progetto NTA del vigente PAI.

Lo studio è stato svolto in conformità ai criteri dettati dall'Autorità di Bacino distrettuale ed è stato condotto a scala di sottobacino.

Sono stati sviluppati i seguenti specifici aspetti:

- caratteri idrografici;
- caratteri altimetrici;
- caratteri geologici ed idrogeologici;
- caratteri morfologici
- caratteri pedologici;
- caratteri di uso del suolo.

Lo studio è stato condotto con i software Quantum GIS, SAGA Gis, GRASS Gis e MATLAB – topo toolbox, integrando alcuni dati di rilievo originali (dati geologico-stratigrafici e geomorfologici) 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 - CARATTERI GEOMORFOLOGICI, ALTIMETRICI E GEOLOGICO-STRATIGRAFICI DEL SITO. ORGANIZZAZIONE DEL DEFLUSSO SUPERFICIALE

L'area vasta in cui ricadono gli interventi di progetto (aerogeneratori e cavidotto) corrisponde ad un'ampia fascia di territorio salentino compresa tra gli abitati di Salice Salentino, Veglie, Erchie, San Pancrazio ed Avetrana (Fig. 2.1).

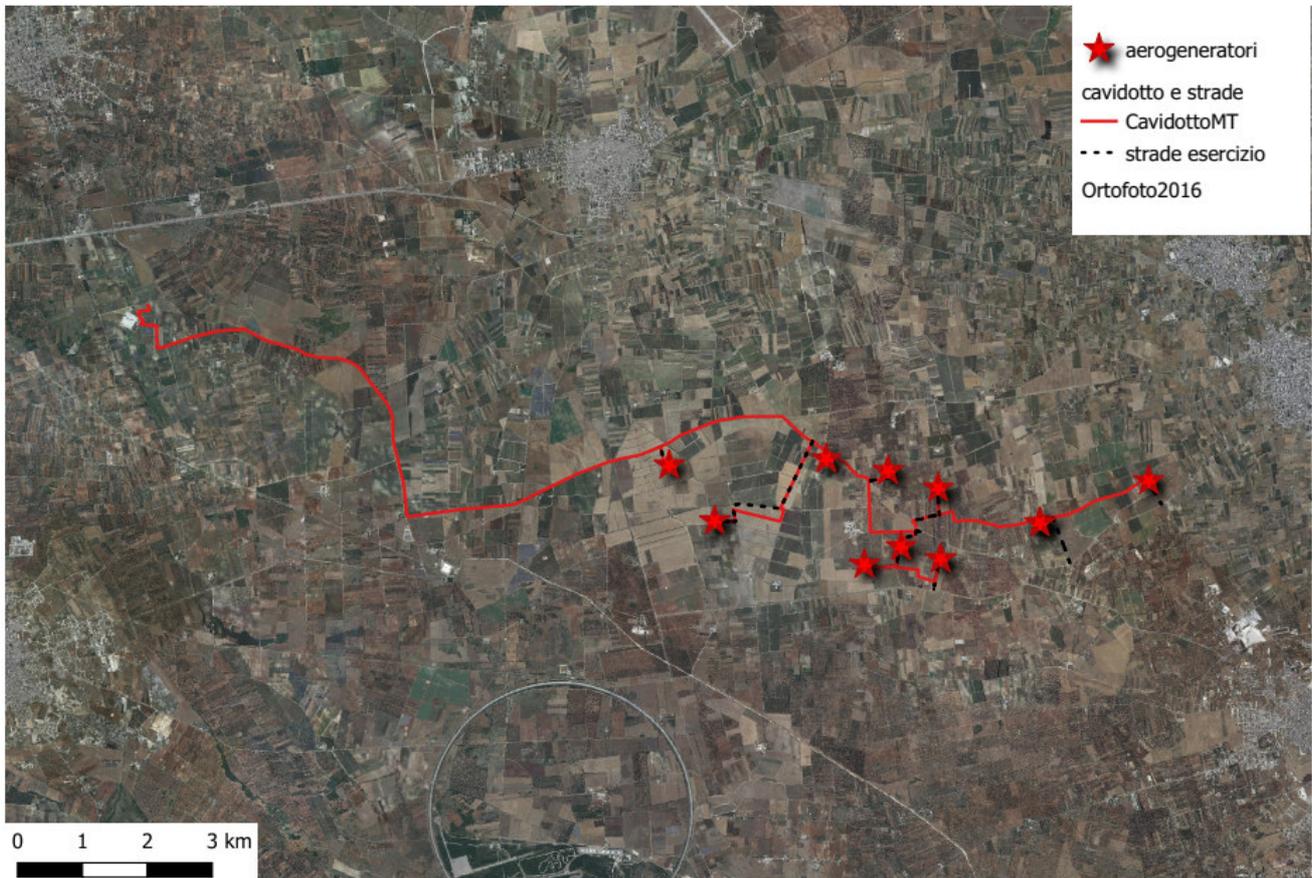


Fig. 2.1 – Rappresentazione e consistenza degli interventi di progetto su ortofoto Puglia 2019

Questo settore si presenta sostanzialmente piatto sotto l'aspetto altimetrico e caratterizzato da una generale e alquanto blanda pendenza dai quadranti meridionali a quelli settentrionali; le quote topografiche sono comprese tra 75 e 45 m slm (Fig. 2.2).

In questo settore la locale successione stratigrafica è rappresentata dal basso verso l'alto dalle seguenti unità (Fig. 2.3 e Fig. 2.4):

- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore) (sensu Ciaranfi et alii, 1988)
- Calcareniti di Gravina (Pleistocene inferiore) (sensu Ciaranfi et alii, 1988)
- Depositi marini terrazzati (Pleistocene medio e superiore) (sensu Ciaranfi et alii, 1988)
- Depositi alluvionali (Pleistocene superiore)

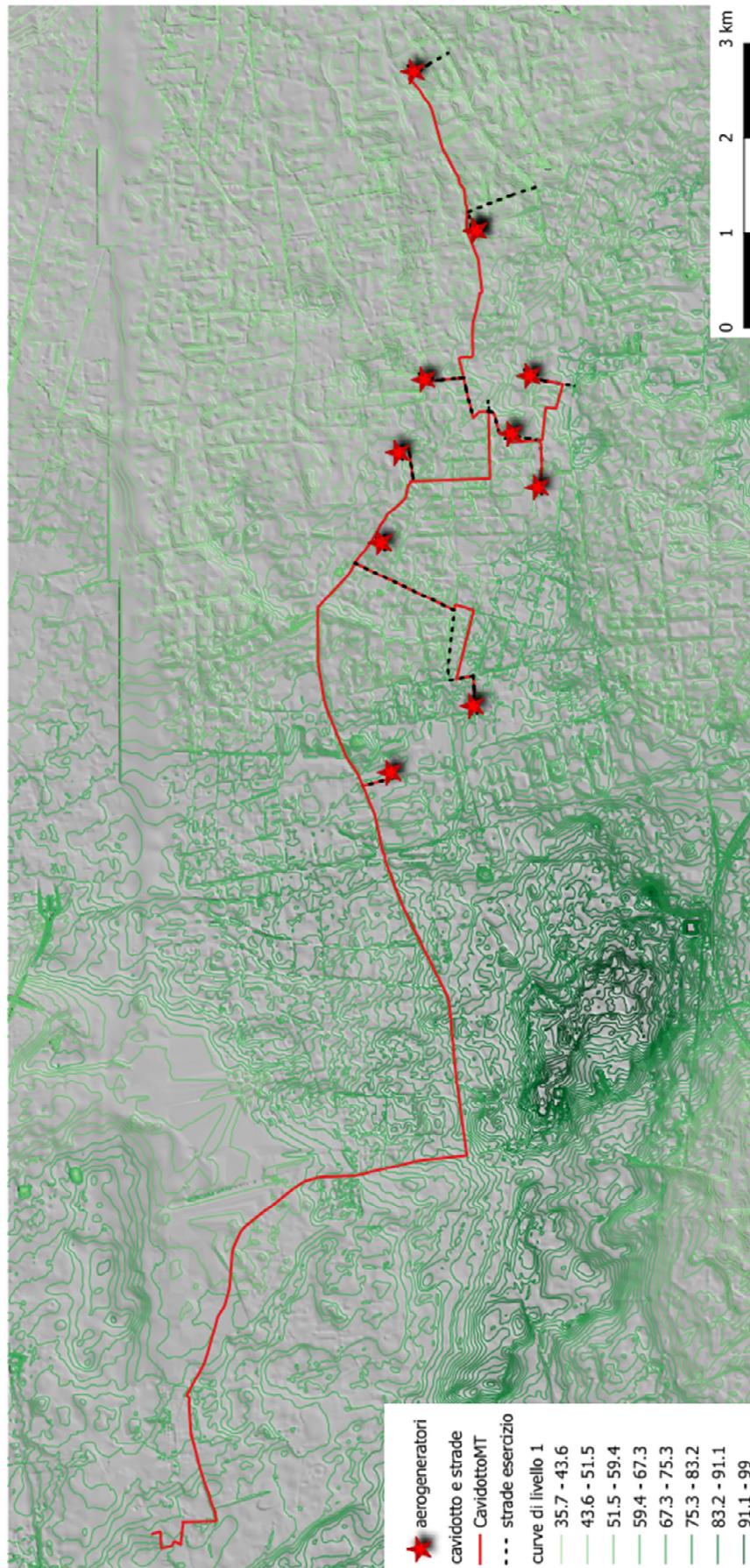


Fig. 2.2 – Caratteri altimetrici del territorio

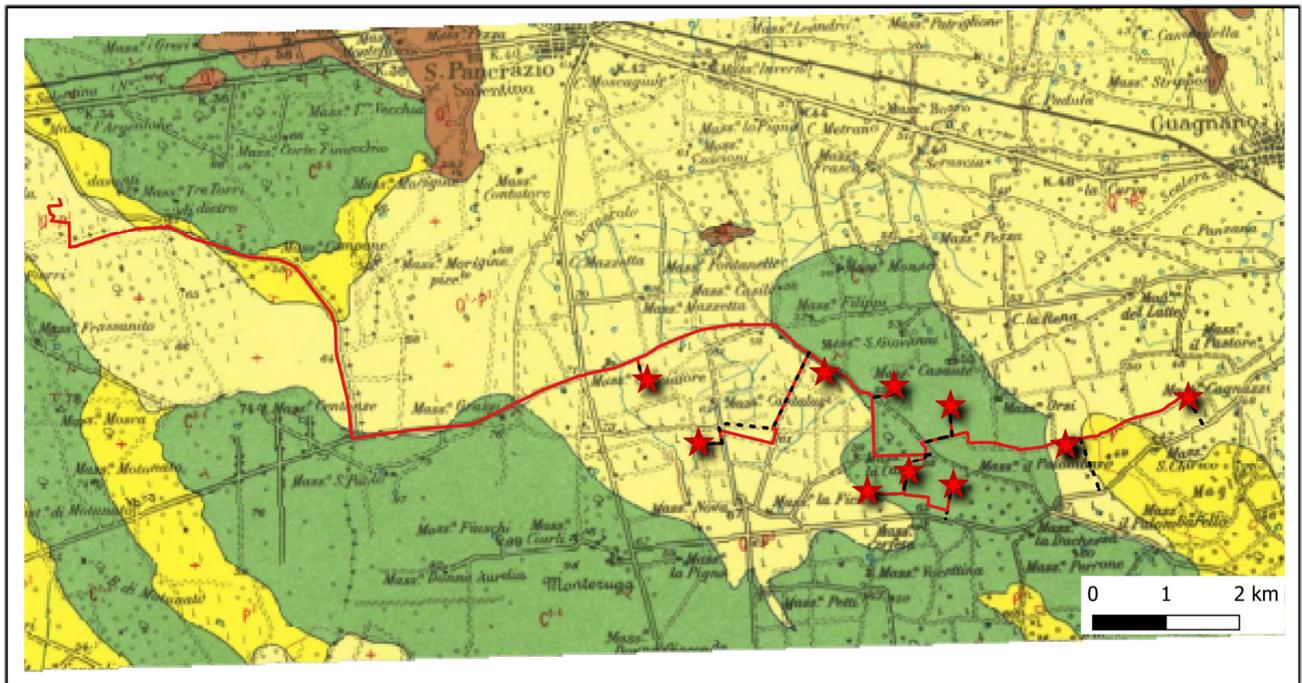


Fig. 2.3 – Stralci della Carta Geologica d'Italia in scala 1:10000

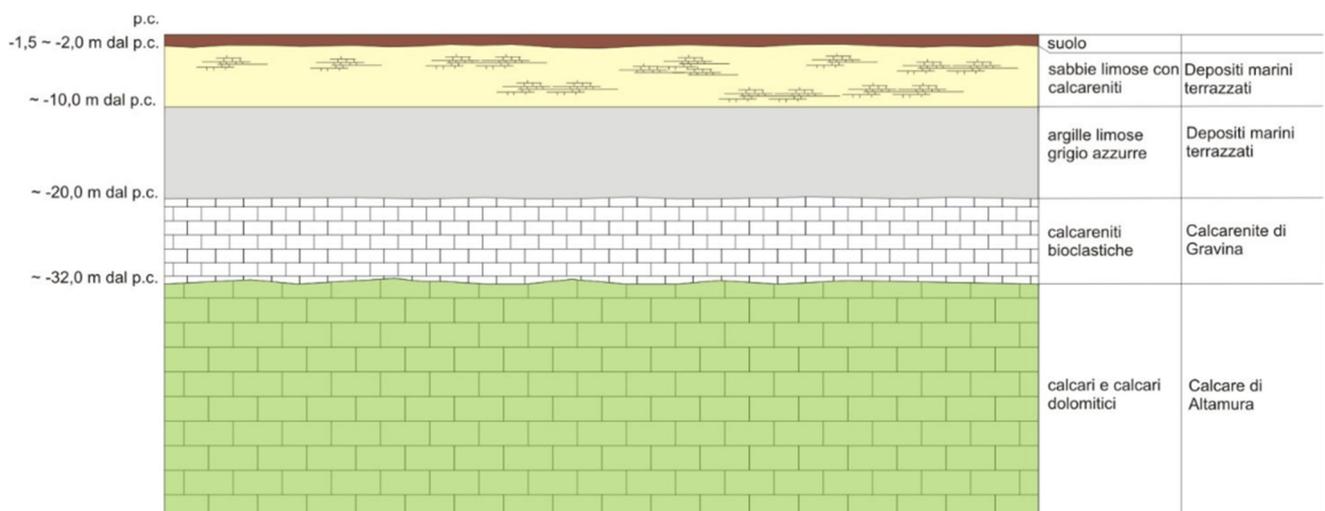


Fig. 2.4 – Sezione geologica schematica

Con riferimento specifico all'area direttamente interessata dagli interventi si rileva che la Formazione del Calcarea di Altamura è scarsamente affiorante ma si rinviene costantemente nel sottosuolo, ricoperta in trasgressione dalle unità più recenti.

La formazione è rappresentata da una successione irregolare e ben stratificata di calcri micritici di colore bianco, di norma con strutture a lamine organiche (stromatoliti) e sedimentarie, di calcri 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.

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 Calcare di Melissano di Bosellini & Parente (1994). Non esiste piena corrispondenza, inoltre, anche tra la denominazione utilizzata in questo lavoro e quella di Calcare 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.

I terreni riferibili alla Calcarenite di Gravina sono interposti 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 litotipi riferibili ai Depositi marini terrazzati affiorano con continuità nei limiti dell'area di interesse. Si tratta di un complesso di più unità litostratigrafiche messo in posto successivamente al ciclo trasgressivo regressivo della Fossa Bradanica (cui si riferiscono le sottostanti Calcareniti di Gravina). La successione è rappresentata in basso da argille limose sabbiose di colore grigiastro (per anni confuse con le Argille subappennine) su cui poggiano limi sabbiosi o sabbie limose carbonatico - terrigene cui si intercalano livelli calcarenitici e vere e proprie arenarie a cemento calcareo. La potenza complessiva della successione è pari a 20 m. La parte estesamente affiorante è quella alta, limosa sabbiosa. La sedimentazione è

avvenuta probabilmente in un mare poco profondo ma comunque al di sotto della wave base. 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. Tale suddivisione, nel quadro delle attuali conoscenze della stratigrafia della penisola salentina, non ha più ragione di essere utilizzata quantomeno con il suo significato originale.

I Depositi marini terrazzati possono essere ricoperti, soprattutto in corrispondenza delle zone depresse da modesti spessori di depositi palustri e alluvionali. I terreni più recenti presenti nel settore di interesse sono rappresentati da alluvioni fini, limoso sabbiose. Le aree di affioramento coincidono con le depressioni endoreiche dove si raccolgono le acque di pioggia. Lo spessore di questi terreni è contenuto in pochi metri.

I caratteri di permeabilità delle rocce che compongono la serie permettono l'esistenza nel territorio studiato di due acquiferi sovrapposti, uno profondo ed uno superficiale, separati da un aquiclude/aquitardo (Fig. 2.5), nel presente lavoro denominati rispettivamente:

- acquifero calcareo: corrisponde alla successione carbonatica del Cretaceo. 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 volumi impermeabili;
- acquifero sabbioso: corrisponde alla parte sabbiosa e limosa dei Depositi marini terrazzati. È permeabile esclusivamente per porosità; ospita una falda superficiale sulla quale si hanno scarsi dati in letteratura scientifica.

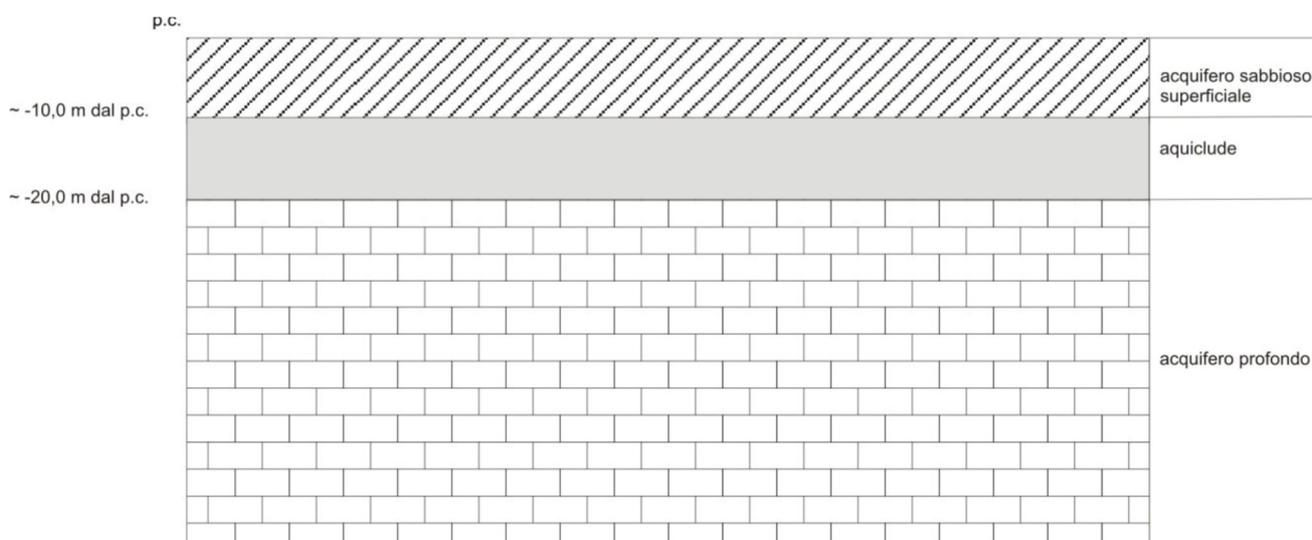


Fig. 2.5 – Sezione idrogeologica schematica

I due acquiferi sono separati da un aquiclude rappresentato dai terreni argillosi ascrivibili alla parte stratigraficamente più bassa dei Depositi marini terrazzati.

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 2 m; il verso di deflusso della falda è da NE a SW (Fig. 2.6).



Fig. 2.6 – Isopezie della falda profonda (dal PTA - proposta di Aggiornamento 2015-2021)

L'acquifero superficiale esiste solo laddove affiorano i Depositi marini terrazzati e può contenere una falda che ha uno spessore di pochi metri e scarsa continuità laterale la cui piezometrica subisce forti oscillazioni in ragione del succedersi delle stagioni climatiche (si avvicina alla superficie topografica in inverno e ne allontana, approfondendosi, durante la stagione secca)

La geometria ed organizzazione delle linee di impluvio del settore in cui ricadono le opere di progetto è stata ricostruita utilizzando il DTM Puglia (fonte <http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/CTR/index.html>) sia attraverso il software **SAGA GIS** facente parte del pacchetto QGIS che attraverso il toolbox Topo di **MATLAB**.

Utilizzando SAGA è stato applicato il modulo **Catchment area** e successivamente il modulo **Drainage network** su un DTM elaborato sottraendo al DTM Puglia le aree chiuse attraverso il modulo di calcolo Fill sinks. 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>500);
figure('Name','500')
imageschs(DEM,[],'colormap',[1 1 1],'colorbar',false)
hold on
plot(S1,'b')

S_500 = STREAMobj2GRIDobj(S1)
GRIDobj2geotiff(S_500,'S_500')
```

Infine, il reticolo ottenuto è stato esportato come geotiff per la gestione in ambiente GIS.

I modelli ottenuti con i due software sono praticamente equivalenti al netto di minime differenze. Per le successive modellazioni idrologiche ed idrauliche si è scelto di utilizzare l'output di MATLAB (Fig. 2.7).

Dalla osservazione del modello di deflusso su base DTM si desume l'importante considerazione che esso descrive per il territorio di interesse una organizzazione della rete idrografica che è molto più complessa geometricamente ed articolata di quanto descritto dalla Carta Idrogeomorfologica della regione Puglia (Fig. 2.8)

Sovrapponendo il modello di deflusso alla CTR si ricava che le strade sono gli elementi antropici che maggiormente condizionano il deflusso superficiale; una seconda significativa evidenza relativa alla rete idrografica (che ha ricadute sulla dinamica geomorfologica del territorio di interesse) può essere ricavata invece sovrapponendo il modello di deflusso al DTM Puglia.

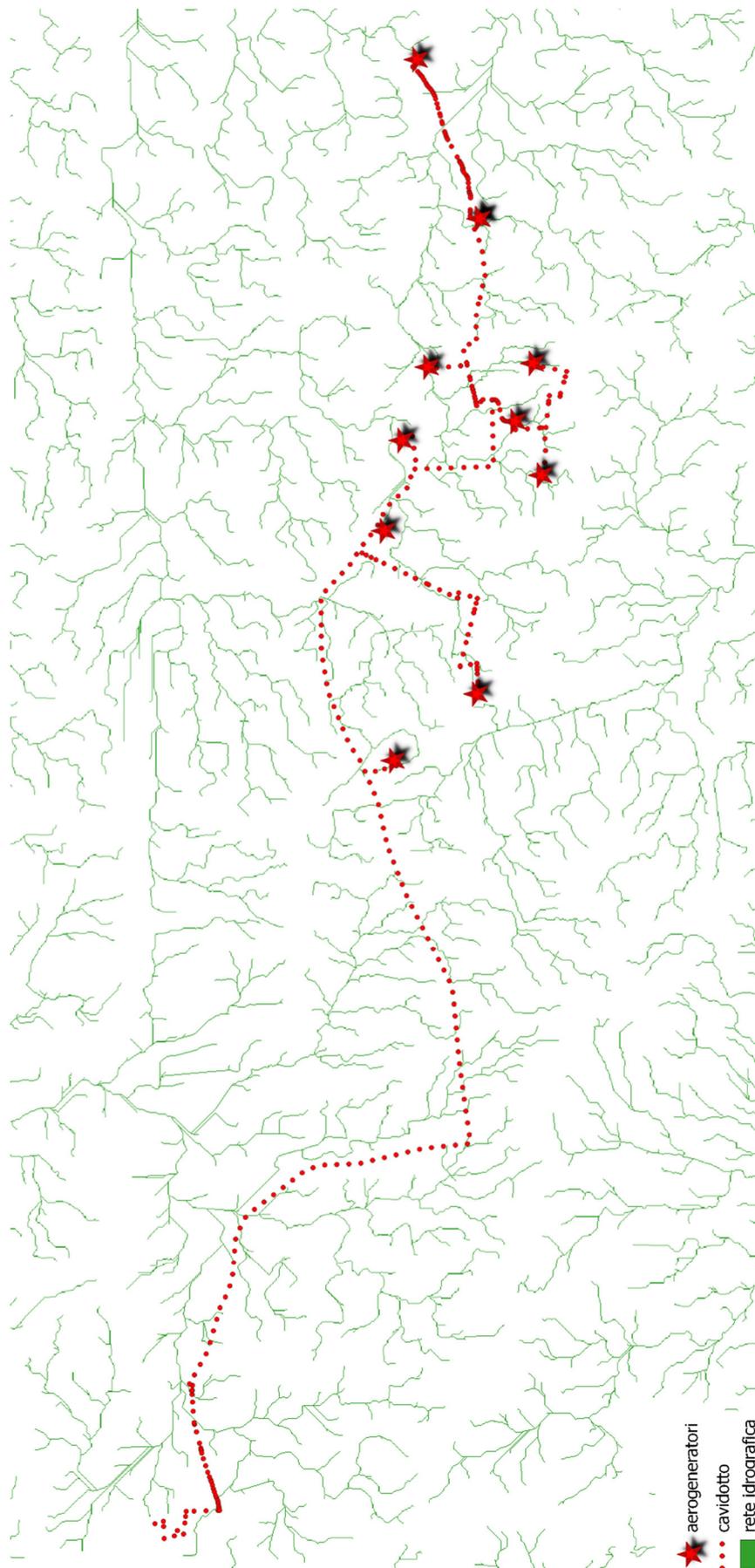


Fig. 2.7 – Modello di rete di drenaggio estratta da DTM Puglia con l'utilizzo di MATLAB

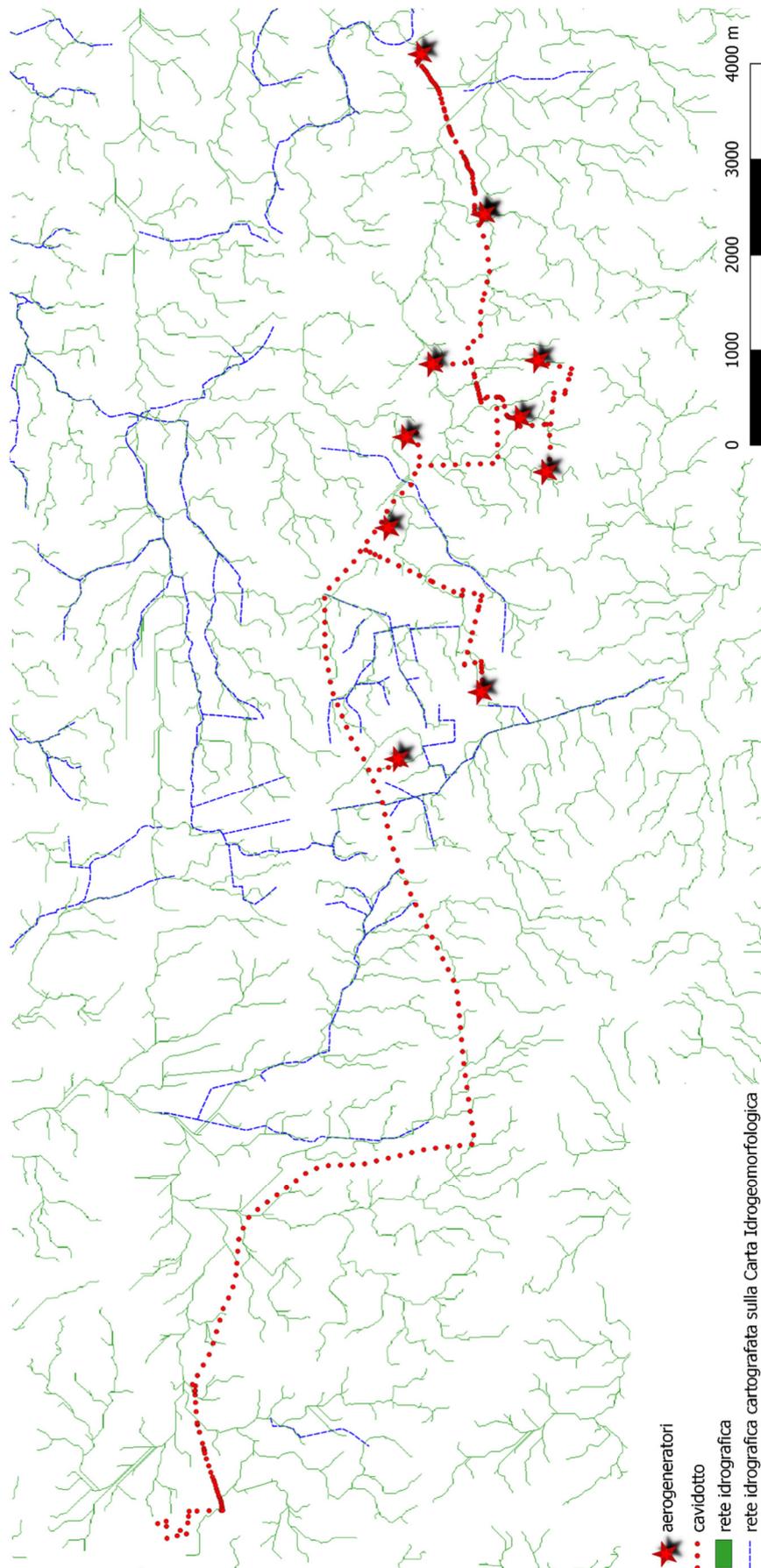


Fig. 2.8 – Sovrapposizione tra la rete idrografica della carta geomorfologica ed il modello estratto da DTM Puglia con il software MATLAB

Attraverso questa ulteriore operazione di **overlay mapping**, infatti, emerge chiaramente che all'interno dei vari bacini idrografici esistono numerose depressioni chiuse di varia estensione (corrispondenti sotto il profilo geomorfologico a conche alluvionali), interconnesse idraulicamente tra loro dalla rete di drenaggio, che descrivono nel complesso una organizzazione idrografica di tipo "a cascata" (Fig. 2.9B).

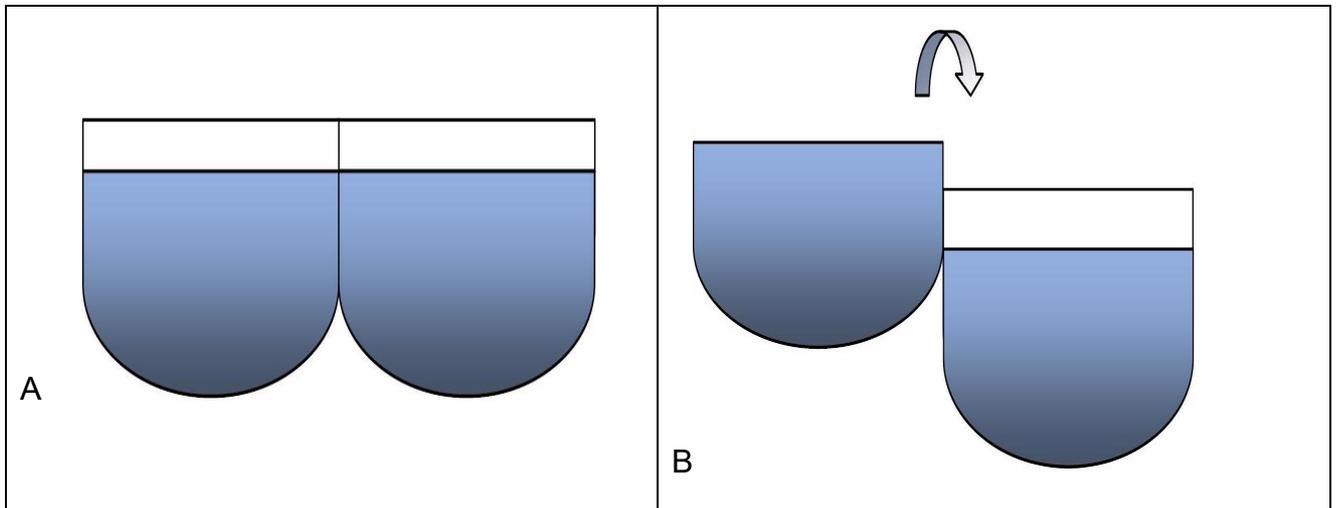


Fig. 2.9 - Schema grafico del rapporto funzionale tra conche alluvionali: indipendenza (A); "a cascata" (B).

Pertanto, all'interno di ciascun 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 sia dagli eventuali deflussi provenienti dal sottobacino di monte (Fig. 2.10).

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 da un sottobacino all'altro

La dinamica idrologica che caratterizza il territorio di interesse è sostanzialmente quella sopradescritta; all'esistenza della rete di drenaggio (sono quindi direttamente collegate sia la dinamica geomorfologica, nel senso più ampio di questo termine, sia la pericolosità geologica. Questi aspetti, infatti, sono connessi solidamente all'azione delle acque di corrivazione ed

alla presenza di aree dove per la conforma altimetrica ed assetto geomorfologico del territorio si accumulano proprio le acque di corrivazione.

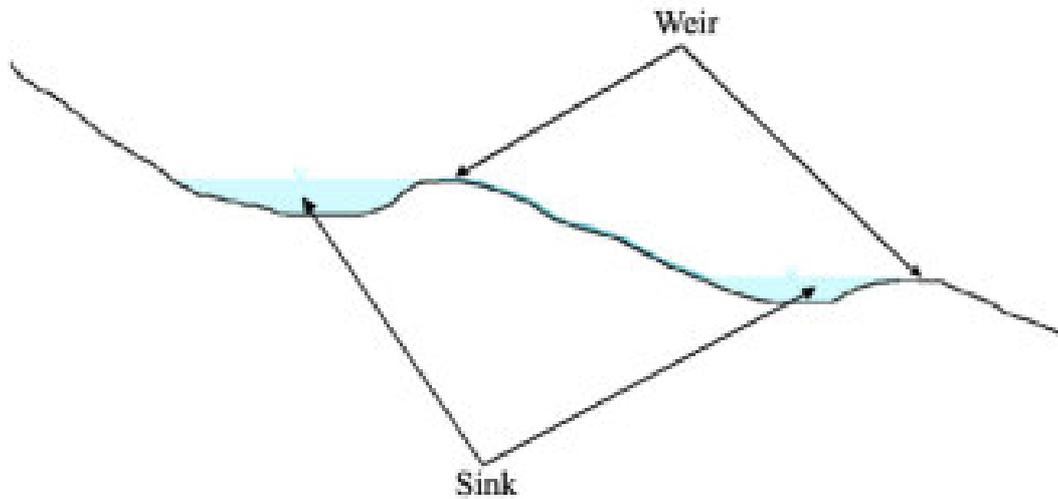


Fig. 2.10 – Profilo schematico di un bacino con serbatoi multipli e deflusso che si attiva per stramazzo rispetto ad una soglia morfologica (figura estratta da: RATIONALE FOR FLOOD PREDICTION IN KARST ENDORHEIC AREAS (2014) – V. Iacobellis, A. Castorani, A. R. Di Santo, A. Gioia. Journal of Arid Environments xxx (2014) 1-11)

3 – INTERFERENZE CON LA RETE IDROGRAFICA DELLA REGIONE PUGLIA ED IL PAI

Il PAI, con la finalità della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, individua il reticolo idrografico regionale nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali.

In tutte queste aree è consentito lo svolgimento di attività che non comportano alterazioni morfologiche o funzionali né un apprezzabile pericolo per l'ambiente e le persone.

Tali attività sono definite all'articolo 6 delle NTA che comunque prescrivono, in funzione della valutazione del rischio associato alla realizzazione di piani e progetti, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area di intervento. Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia allegata al PAI e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, tali prescrizioni si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m cui si aggiunge una striscia di ulteriori 75 m di ampiezza qualora la "fascia di pertinenza fluviale" (di cui all'articolo 10 delle NTA) non è arealmente individuata nelle cartografie del PAI.

Analogamente il PAI riconosce e cartografa aree ad alta probabilità di inondazione, a media probabilità di inondazione ed a bassa probabilità di inondazione, individuando gli interventi consentiti nel loro perimetro (Artt. 7, 8 e 9 delle NTA). Per tutti gli interventi consentiti è comunque richiesta, in funzione della valutazione del rischio ad associato alla loro realizzazione, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata.

Con riferimento al caso di studio le interferenze tra le opere di progetto e le aree a pericolosità idraulica e la rete idrografica della regione Puglia così come cartografata nella carta Idrogeomorfologica sono quelle riportate in Figura 3.1 dalla quale si rileva la sovrapposizione areale tra brevi segmenti del cavidotto ed alcune fasce di pertinenza fluviale ed un'area a media pericolosità idraulica. Si osserva comunque che rispetto alla vincolistica vigente tale opera rientra tra quelle assentibili previa redazione dello studio di compatibilità idrologica ed idraulica.

4 – STUDIO IDROLOGICO

4.1 Premessa

Nel presente paragrafo si è proceduto alla definizione delle portate al colmo prodotte da eventi critici di pioggia con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Al fine di ottenere un modello attendibile per la valutazione dei volumi di piena, seguendo le indicazioni di letteratura per l'analisi della stima delle criticità idrauliche legate ai recapiti finali dei bacini endoreici, è stato utilizzato il metodo di Horton. Questo metodo permette di massimizzare i volumi di pioggia netta accumulati durante l'evento critico ed, infatti, consente di valutare il valore della capacità di infiltrazione reale nel tempo $f(t)$ per ogni litologia costituente l'area del bacino drenante

4.2 Metodo di studio

Nei bacini endoreici della Penisola salentina 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.

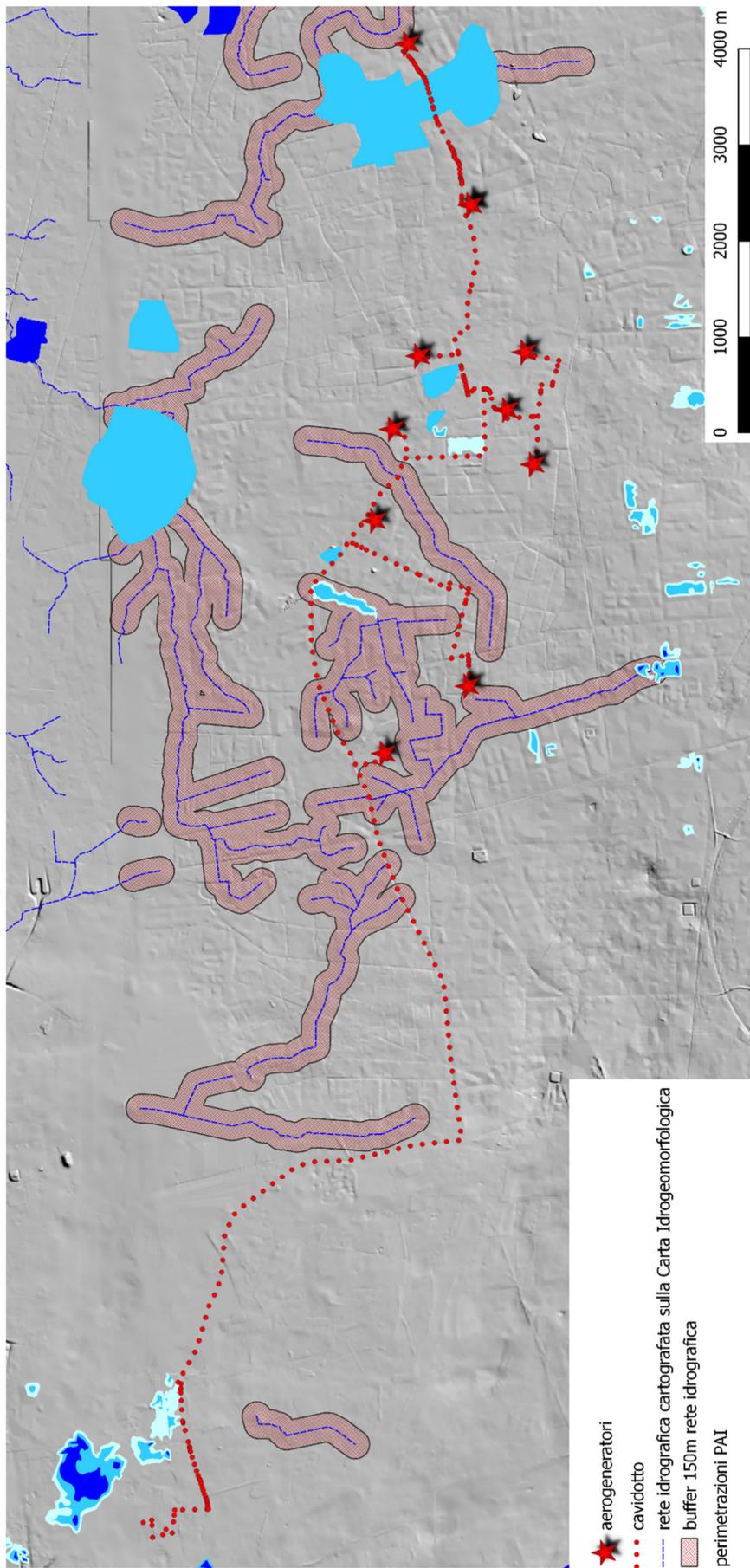


Fig. 3.1 - Interferenze tra le opere di progetto e la cartografia PAI e la Carta Idrogeomorfologica

Queste, generalmente, sono collegate idraulicamente tra loro come ben evidenziato al Capitolo 2 e disposte “a gradinata” secondo lo schema delle figure 2.9B e 2.10; pertanto, all’interno di ciascun bacino è possibile individuare tanti sottobacini per quante sono le conche alluvionali interconnesse dalle linee di deflusso. Ognuno di essi è caratterizzato da una soglia morfologica che funziona come un vero e proprio scolmatore, perciò, 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.

Come importante conseguenza di quanto sopra esposto si ricava che l’estensione del bacino di drenaggio che contribuisce a determinare l’allagamento di un sito può cambiare a seconda dei quantitativi di pioggia connessi all’evento pluviometrico responsabile dell’allagamento (e quindi al tempo di ritorno), che possono o no determinare l’attivazione delle soglie scolmatrici tra un sottobacino all’altro

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

1. identificare tutti i bacini endoreici circostanti al sito di interesse che potrebbero potenzialmente contribuire all’alluvione per tracimazione in cascata da bacino a bacino
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:

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

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.

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.

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.

4.3 Individuazione dei bacini

Lo studio è stato esteso a tutti i reticoli estratti dal DTM Puglia per i quali esiste una sovrapposizione geometrica con le opere di progetto (cavidotto, strade, aerogeneratori). Le sezioni di chiusura sono state fissate in modo da poter valutare compiutamente gli effetti a monte ed a valle delle opere di progetto. Sono stati individuati 7 bacini (Fig. 4.3.1 e 4.3.2). In ragione di quanto descritto al paragrafo 2 in merito alla dinamica idrologica che caratterizza nello specifico questo tipo di bacini, si è proceduto di caso in caso a suddividere i bacini in sottobacini elementari afferenti alle singole conche alluvionali.

4.4 Calcolo dell'evento critico di pioggia

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:

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

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.

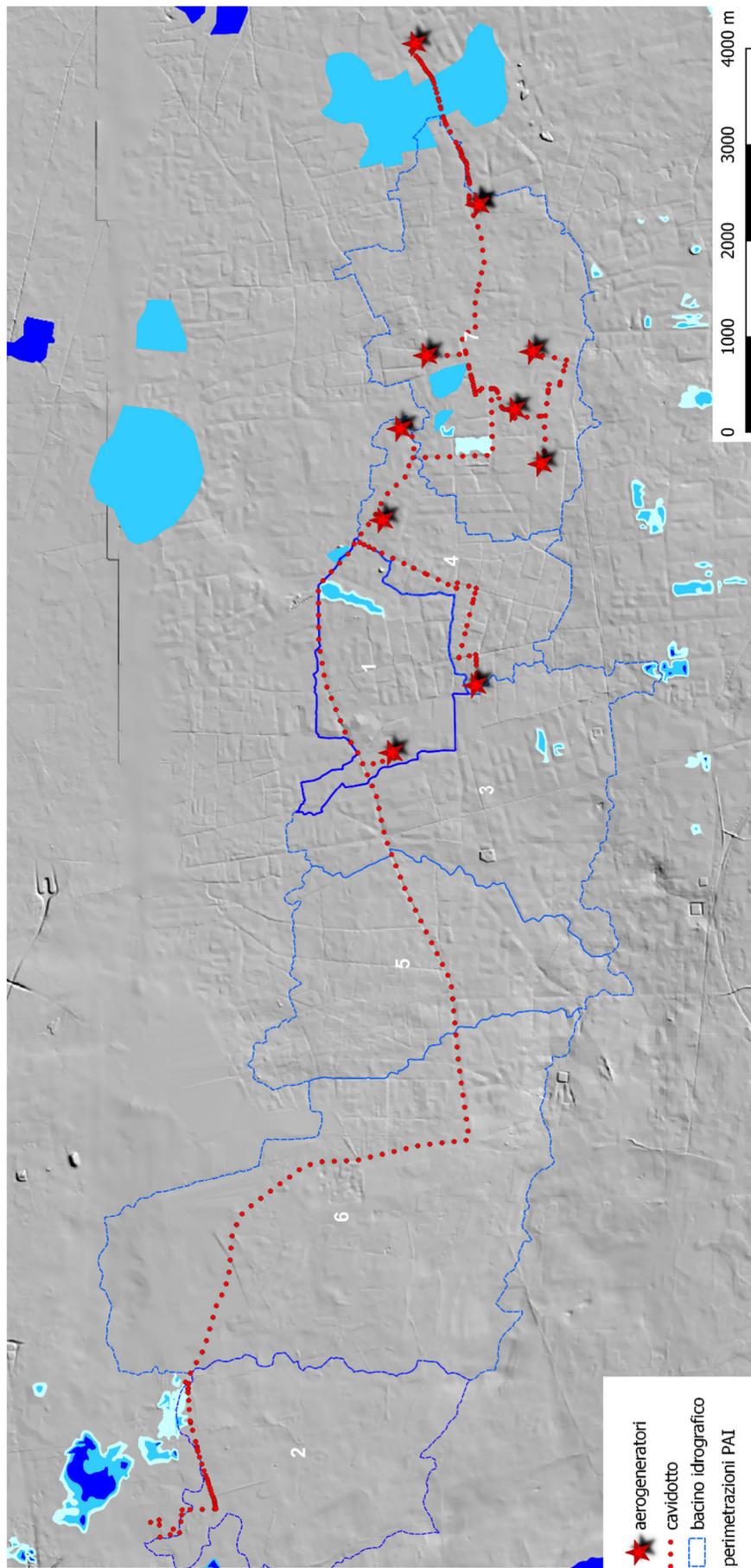


Fig. 4.3.1 - Perimetro dei bacini studiati

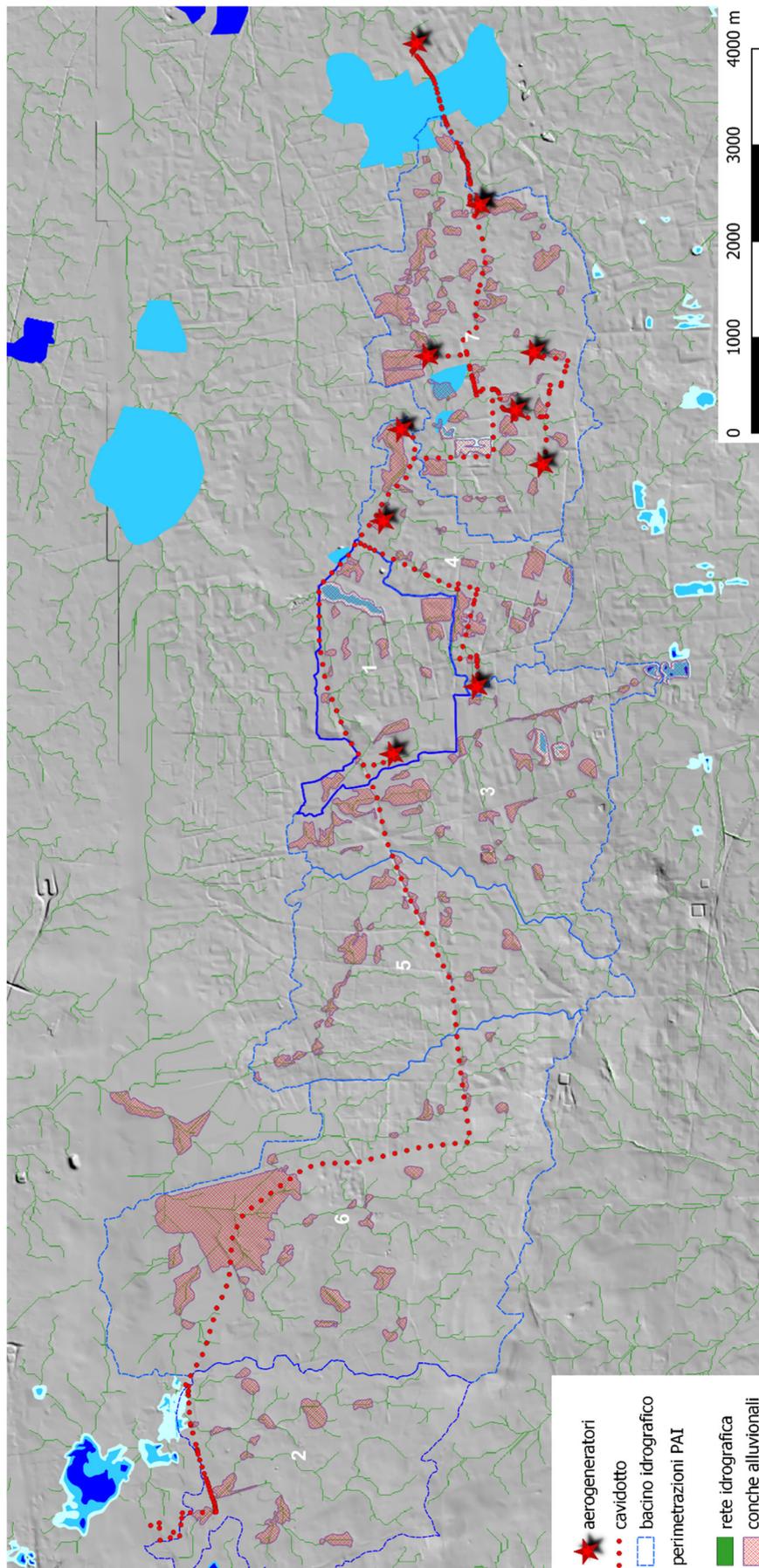


Fig. 4.3.2 - Perimetro dei bacini studiati e conche alluvionali

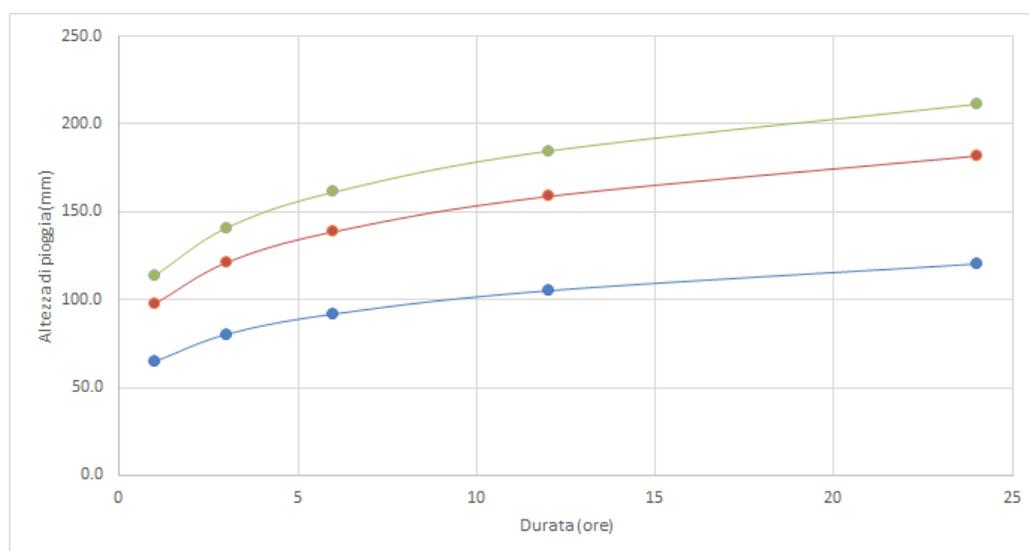
I valori calcolati sono, quindi, correlati ad un determinato tempo di ritorno attraverso la loro moltiplicazione con un coefficiente K_T il cui valore dipende dal tempo di ritorno Tr attraverso la seguente relazione:

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

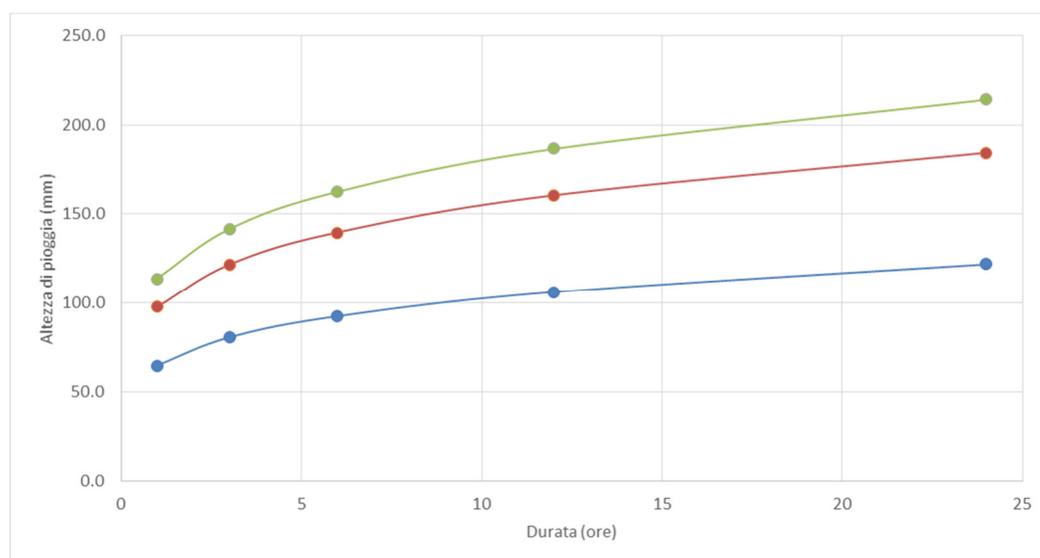
Si è assunta come z la quota media sul livello del mare determinata su base DTM Puglia attraverso il software QGIS per ognuno dei 7 bacini individuati.

Si riportano di seguito le curve di possibilità climatica ottenute.

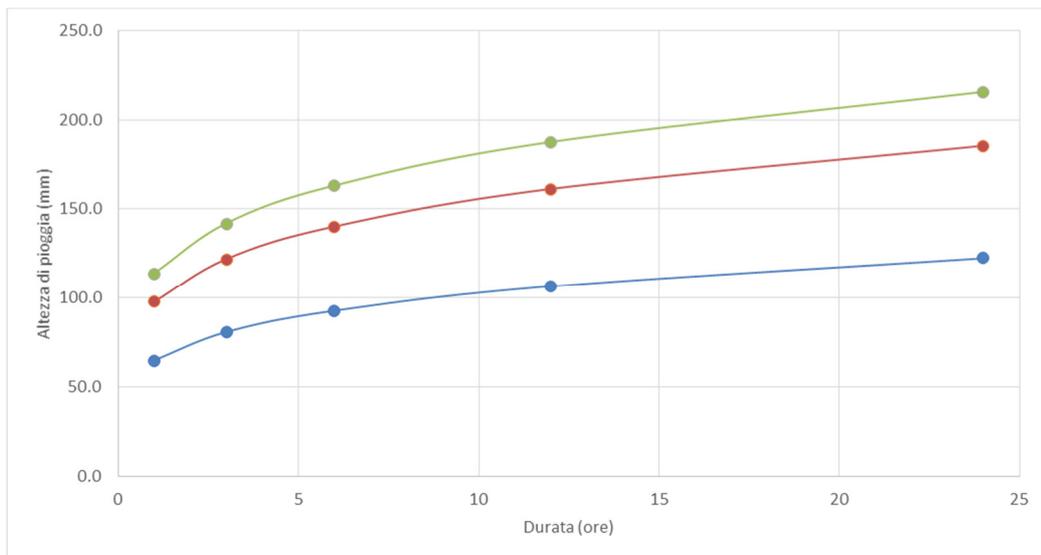
Bacino 1



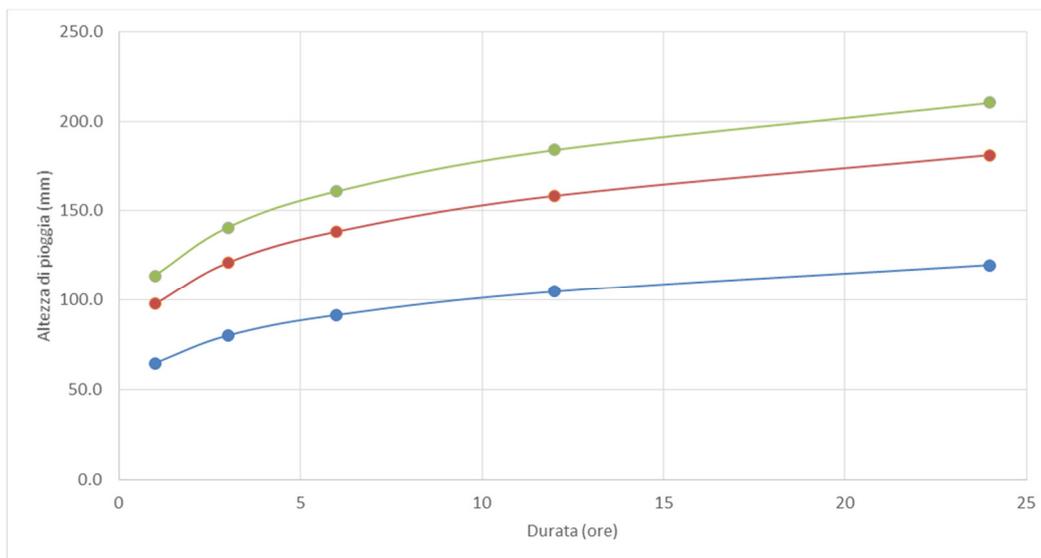
Bacino 2



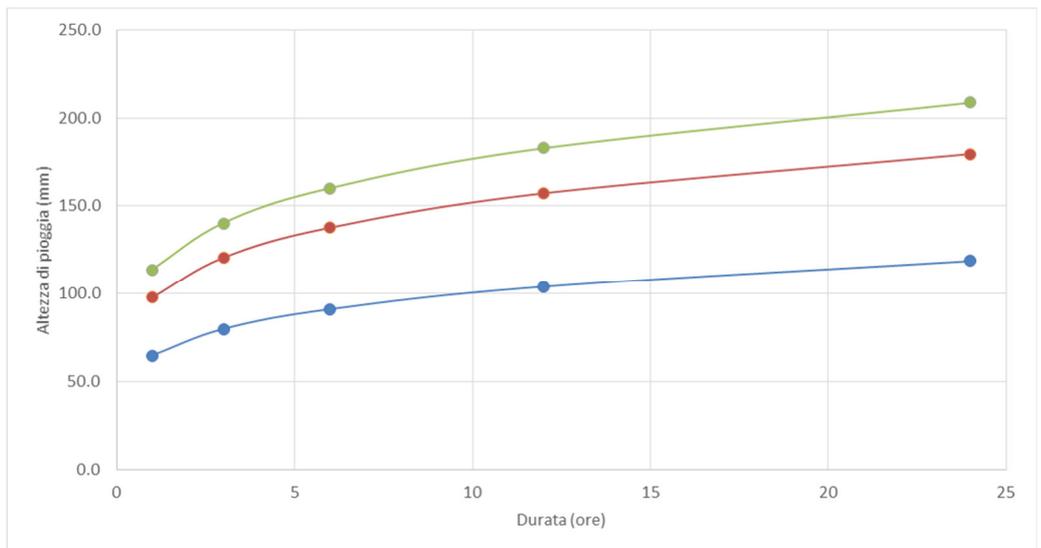
Bacino 3



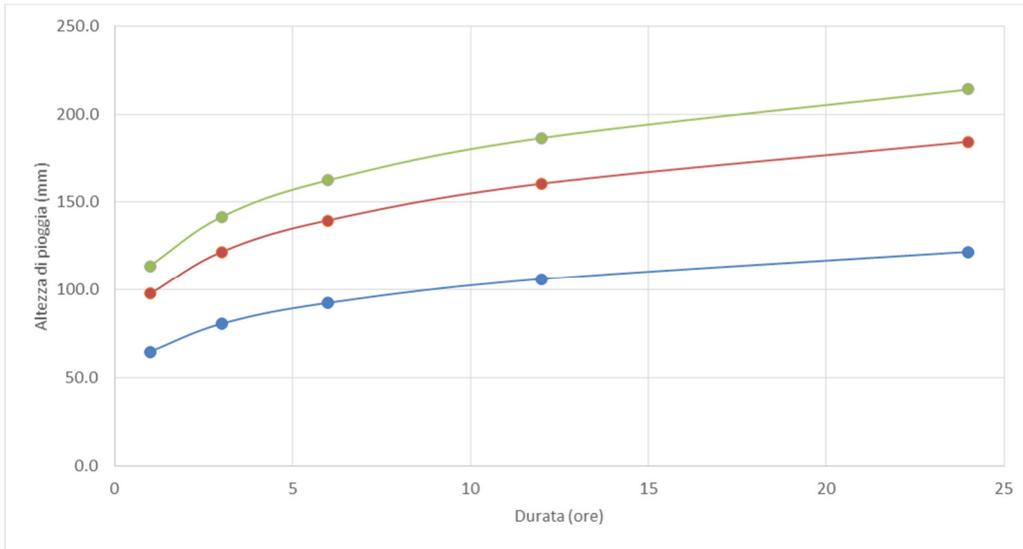
Bacino 4



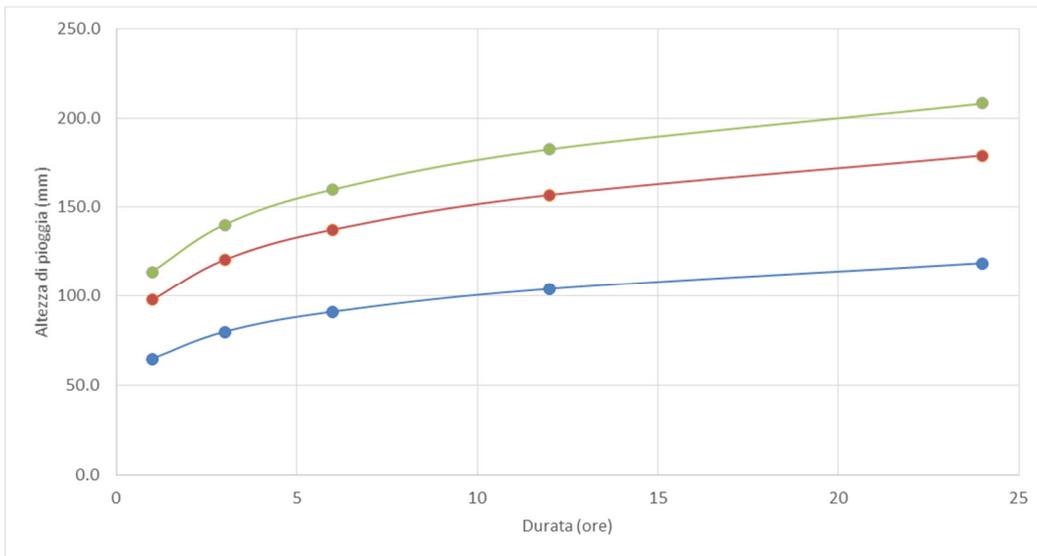
Bacino 5



Bacino 6



Bacino 7



4.4 Calcolo dei volumi

Attraverso i valori n ed a calcolati per i diversi tempi di ritorno e per i diversi bacini considerati sono stati costruiti 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:

$$i(\text{mm/h}) = h/t_p$$

dove:

i = intensità della precipitazione meteorica;

h = altezza della pioggia;

tp = 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 tp è stato posto pari al tempo di corrivazione tc che è stato calcolato per ciascun bacino con le formule proposte in letteratura di seguito tabellate.

Giandotti
Pezzoli
Puglisi
Tournon
Ventura
Viparelli
Kirpich

Tra i diversi valori calcolati è stato utilizzato sempre quello ricavato con la formula di Viparelli ($tc=L$ lunghezza asta principale / A area scolante) che è risultato costantemente il più alto.

Sono stati ottenuti quindi vari ietogrammi. Questi sono globalmente relativi ad un territorio alquanto limitato arealmente, considerando che i bacini sono molto piccoli e confinanti, e descrivono una condizione di variabilità poco realistica. Si è scelto pertanto di utilizzare come ietogrammi di progetto, validi per tutti e sette i bacini, quello di durata maggiore e maggiore intensità di pioggia e quello di breve durata cui è associata la maggiore intensità di pioggia. Gli ietogrammi di riferimento per Tr 20, 200 e 500 anni sono riportati di seguito (Fig. 4.4.1 e 4.4.2).

Ietogramma di progetto 1		Ietogramma di progetto 2	
tp	1.07	tp	0.43
n30	0.19156073	n30	0.19972939
a30	64.60	a30	64.60
n200	0.19156073	n200	0.19972939
a200	97.63	a200	97.63
n500	0.19156073	n500	0.19972939
a500	113.58	a500	113.58
h30	65.45027751	h30	54.64710364
i30	61.13901644	i30	126.3097499
h200	98.91197487	h200	82.58563826
i200	92.39656558	i200	190.8860784
h500	115.0736533	h500	96.07968214
i500	107.4936616	i500	222.0758249

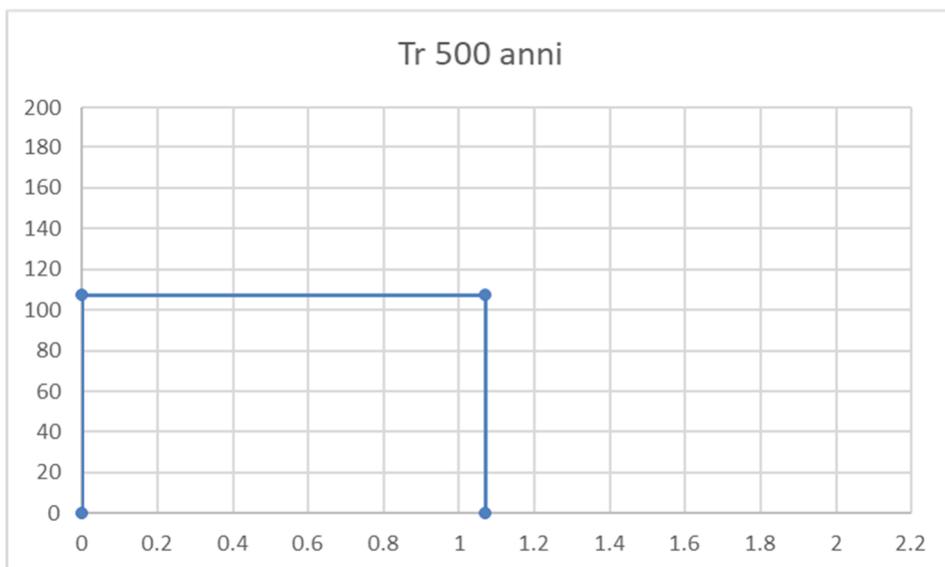
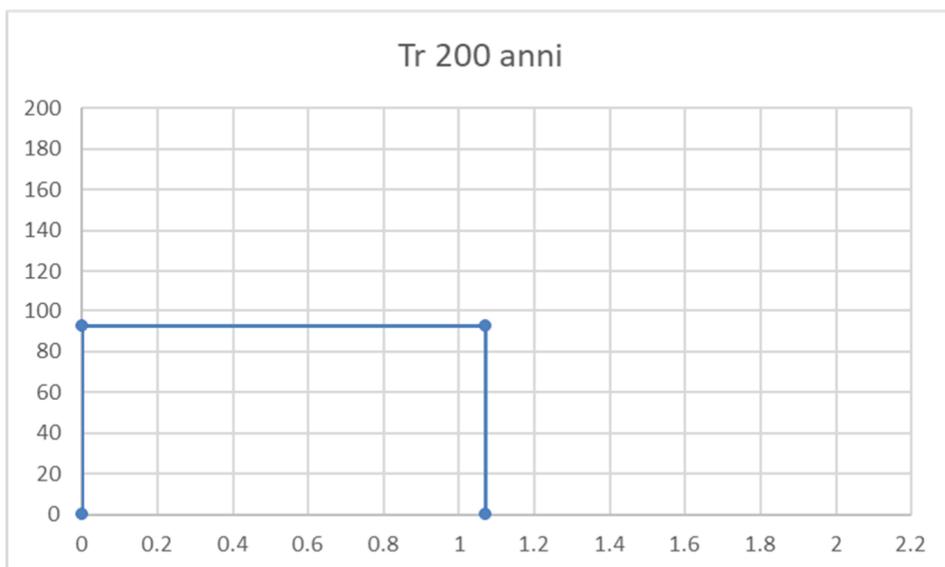
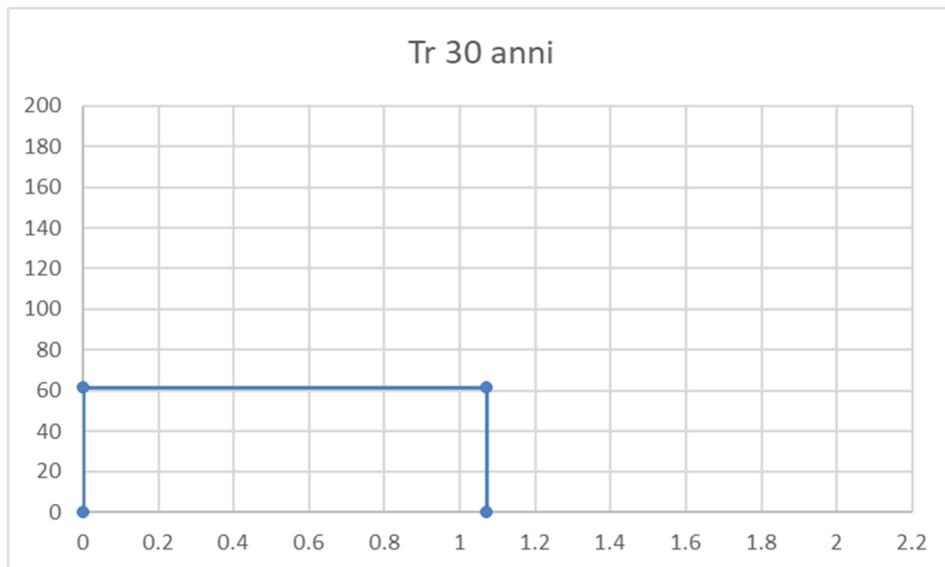


Fig. 4.4.1 – Ietogrammi dell'evento di durata maggiore e maggiore intensità di pioggia

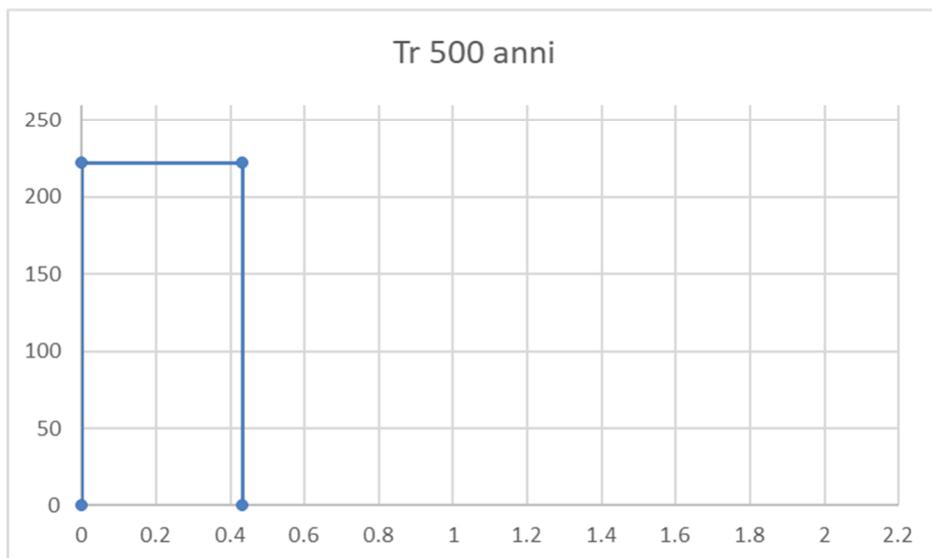
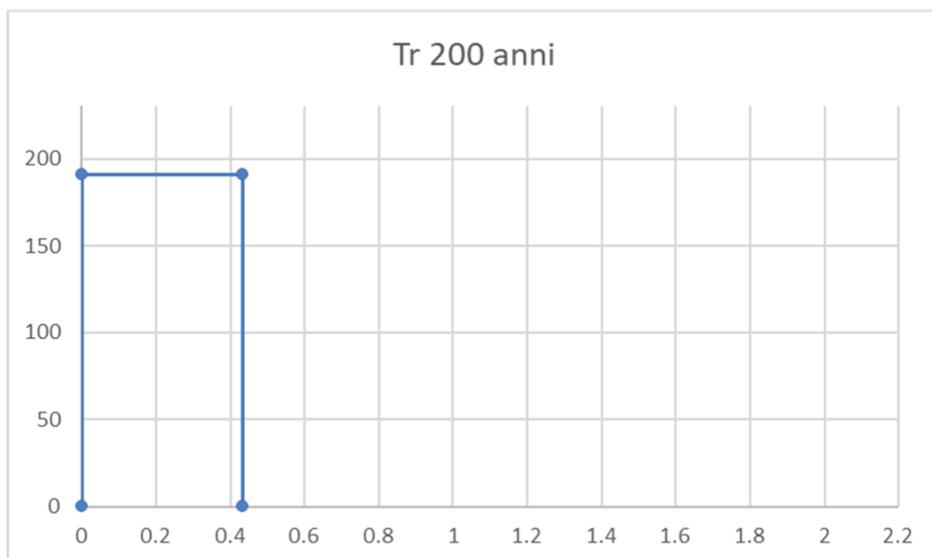
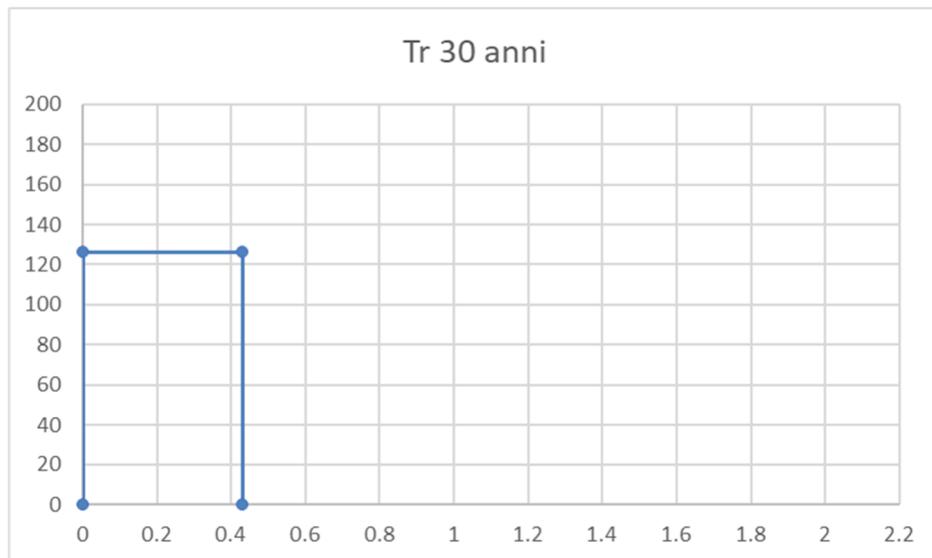


Fig. 4.4.2 – Ietogrammi dell'evento di breve durata ed alta intensità di pioggia

Sono stati studiati quindi gli effetti della pioggia prodotta dai due eventi considerando però in via cautelativa una durata di progetto dell'evento pari al doppio (2 volte t_p) 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 . 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 4.2 attribuendo il substrato geologico del territorio di interesse al **Gruppo C**. Tale attribuzione è suggerita dalla cartografia geologica e dai dati geologici di letteratura che evidenziano la presenza su gran parte del territorio dei bacini di un substrato rappresentato in affioramento da terreni limoso-argillosi sia di origine marina che, laddove affiorano le rocce carbonatiche, di origine residuale, avente in generale potenzialità di deflusso moderatamente alta (come testimoniato tra l'altro dalla presenza della stessa rete idrografica) e con scarsa capacità di infiltrazione.

Si è proceduto quindi a calcolare il tempo di poinding dei due eventi pluviometrici, che nel primo caso è risultato pari a 0,75 h e nel secondo pari a 0 (*intensità di pioggia > f_c infiltrazione teorica* già dall'istante $t=0$) e determinare i deflussi per unità di superficie considerando in via cautelativa, come già scritto, una durata dell'evento di progetto raddoppiata rispetto a quella di calcolo; per un T_r pari a 200 anni nel primo caso (maggiore durata e media intensità) il deflusso è risultato pari a 0,038 m/mq mentre nel secondo caso (breve durata ed alta intensità) pari a 0,075 m/mq.