

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.: 21a	Titolo: STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA	
Scala:	Formato Stampa:	Codice Identificatore Elaborato
0	A4	HOS2I51_DocumentazioneSpecialistica_21a

Progettazione:	Committente:
ENERWIND s.r.l. Via San Lorenzo 155 - cap 72023 MESAGNE (BR) P.IVA 02549880744 - REA BR-154453 - enerwind@pec.it	TRE TORRI ENERGIA s.r.l. Piazza del Grano n.3 - 39100 BOLZANO (BZ) p. iva 0305799214 - REA BZ 283988 tretorrienergia@legalmail.it
MSC innovative solutions s.r.l.s. Via Milizia n.55 - 73100 LECCE (ITALY) P.IVA 05030190754 - msc.innovativesolutions@pec.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
Ing. Santo Masilla iscritto all'Ordine Ing. di Brindisi al n.478	

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

Il presente studio è stato condotto al fine dell'espressione del parere di competenza da parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia per il 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.

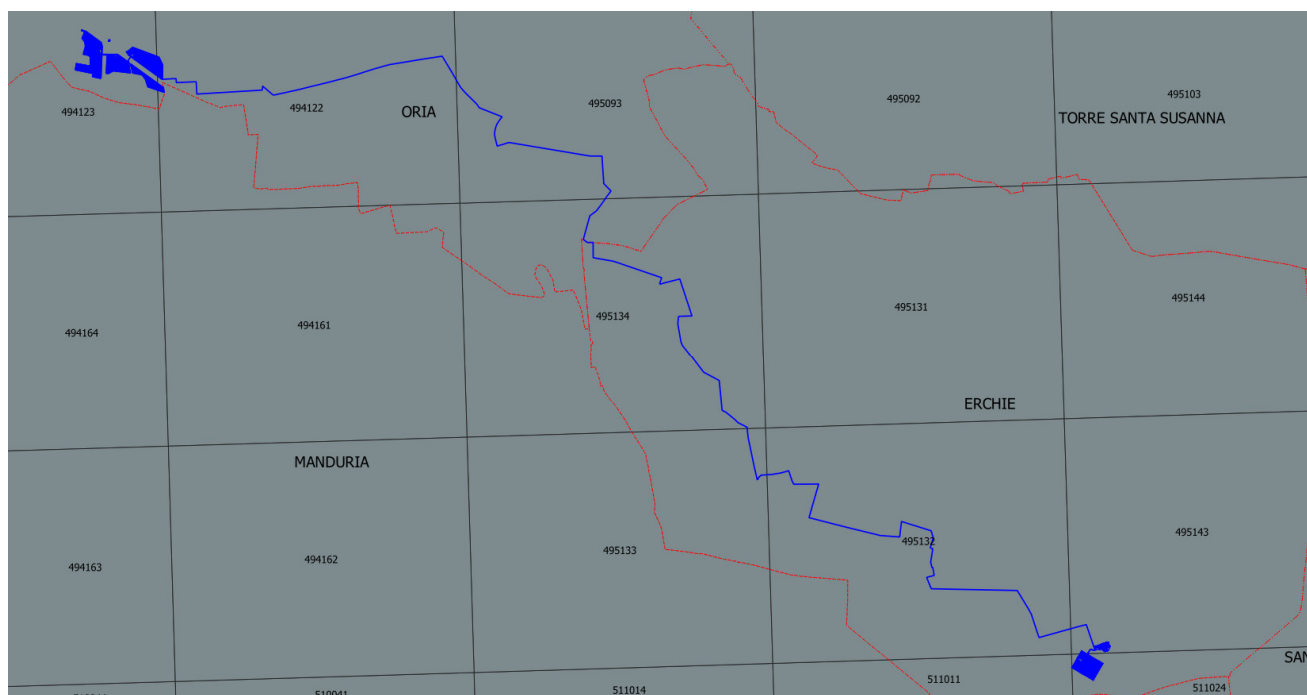


Fig. 1.1 – Inquadramento territoriale rispetto ai confini comunali ed al grigliato della CTR in scala 1:5000

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 ed 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 alle condizioni di pericolosità idraulica determinate dalla presenza della rete idrografica cartografata negli strumenti di pianificazione (tavole

- 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 ED IDROGEOLOGICI, 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 cui 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.

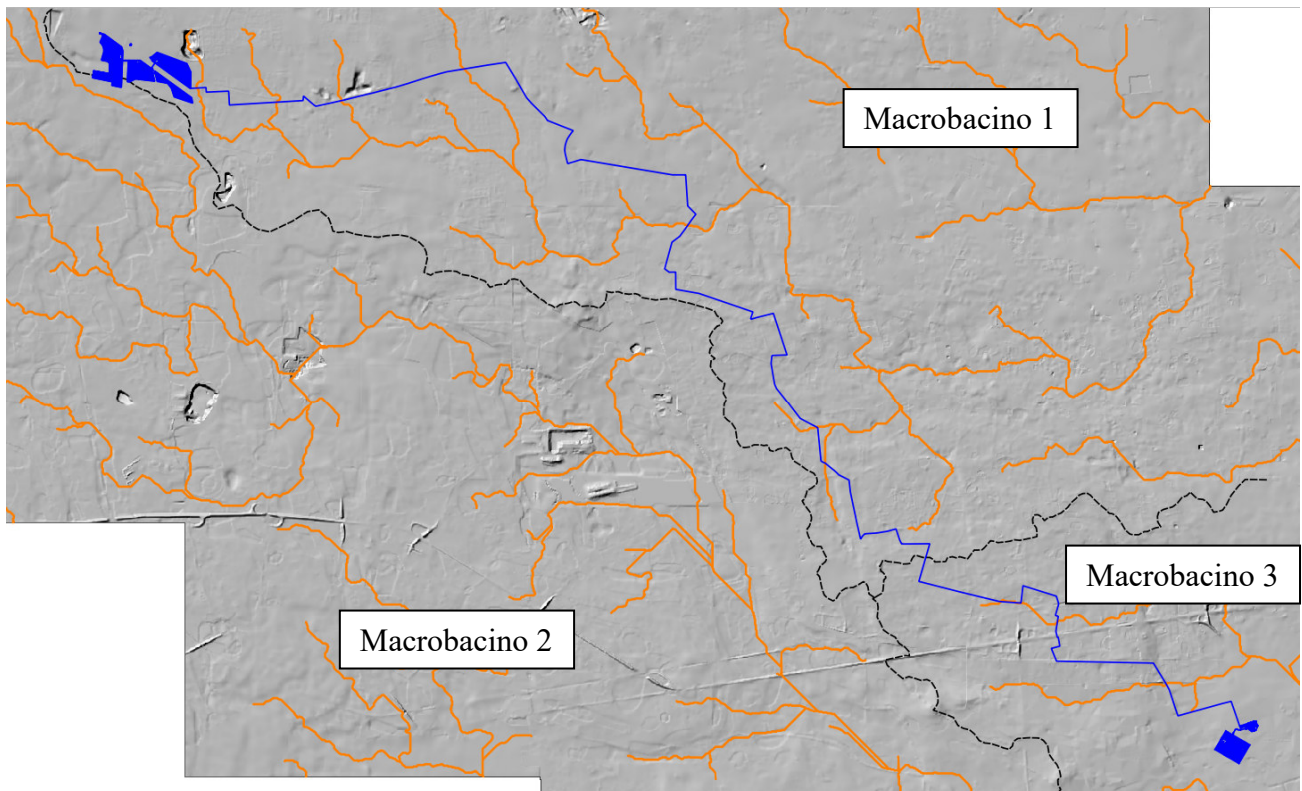


Fig. 3.1 – Organizzazione della rete idrografica estratta dal DTM Puglia; in nero è tracciato lo spartiacque principale mentre le linee di impluvio sono cartografate in arancione. In blu sono individuate schematicamente le opere di progetto.

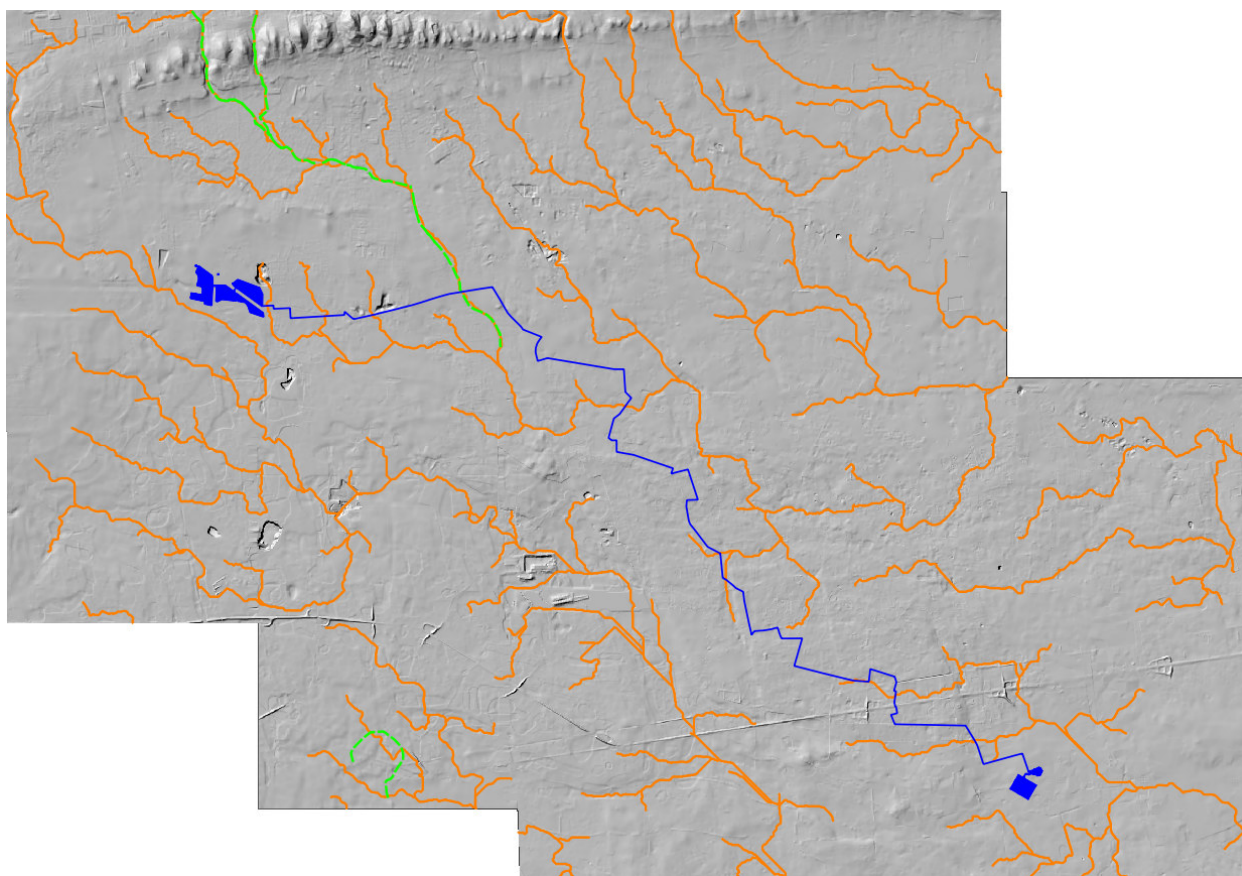


Fig. 3.2 – Sovrapposizione della rete idrografica estratta dal DTM Puglia (in arancione) con la rete idrografica riportata sulla Carta Idrogeomorfologica (in verde)

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.

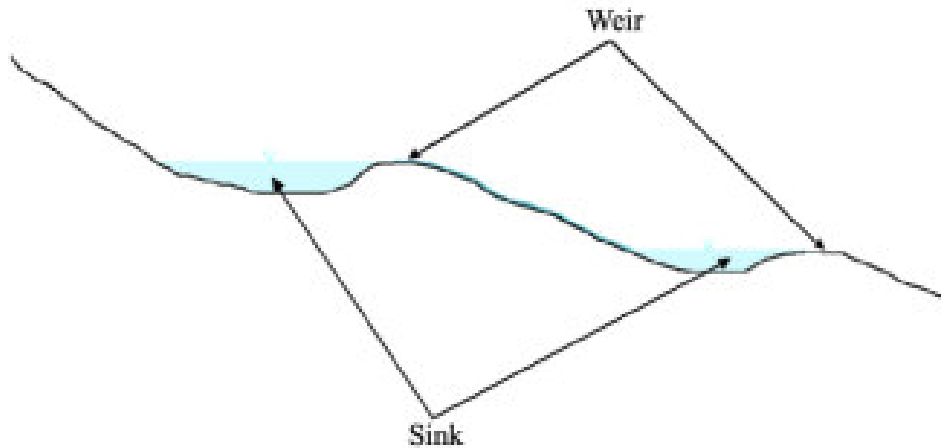


Fig. 3.3 – Profilo schematico di un bacino con serbatoi multipli e deflusso che si attiva per stramazzo rispetto ad una soglia morfologica (figura estratta da: RATIONALE FOR FLOOD PREDICTION IN KARST ENDORHEIC AREAS (2014) – V. Iacobellis, A. Castorani, A. R. Di Santo, A. Gioia. Journal of Arid Environments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

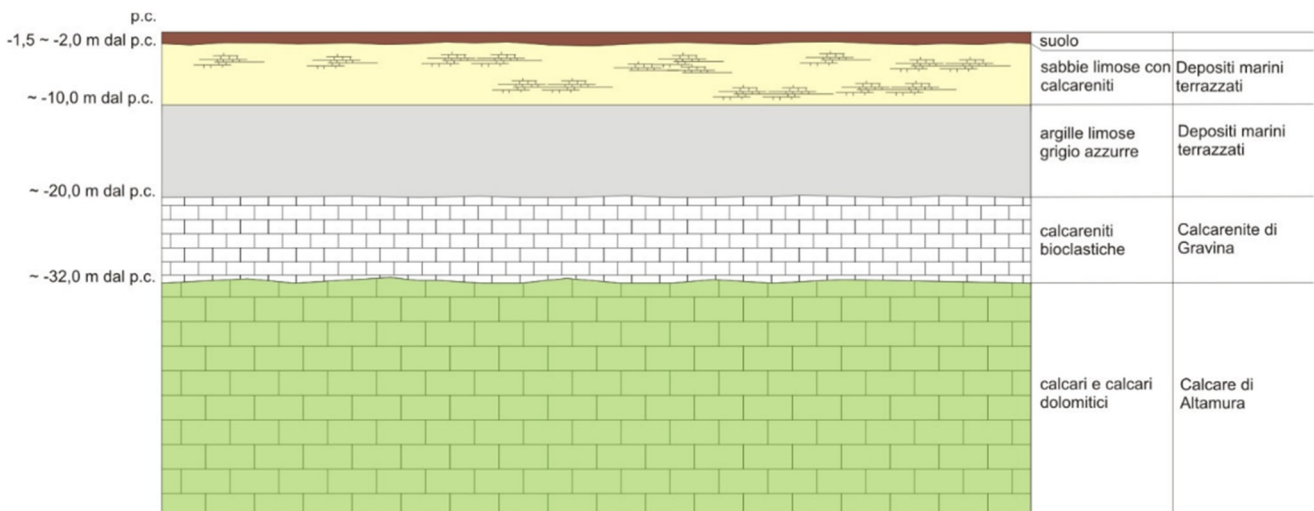


Fig. 3.4 – Schema dei rapporti stratigrafici

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 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.

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.

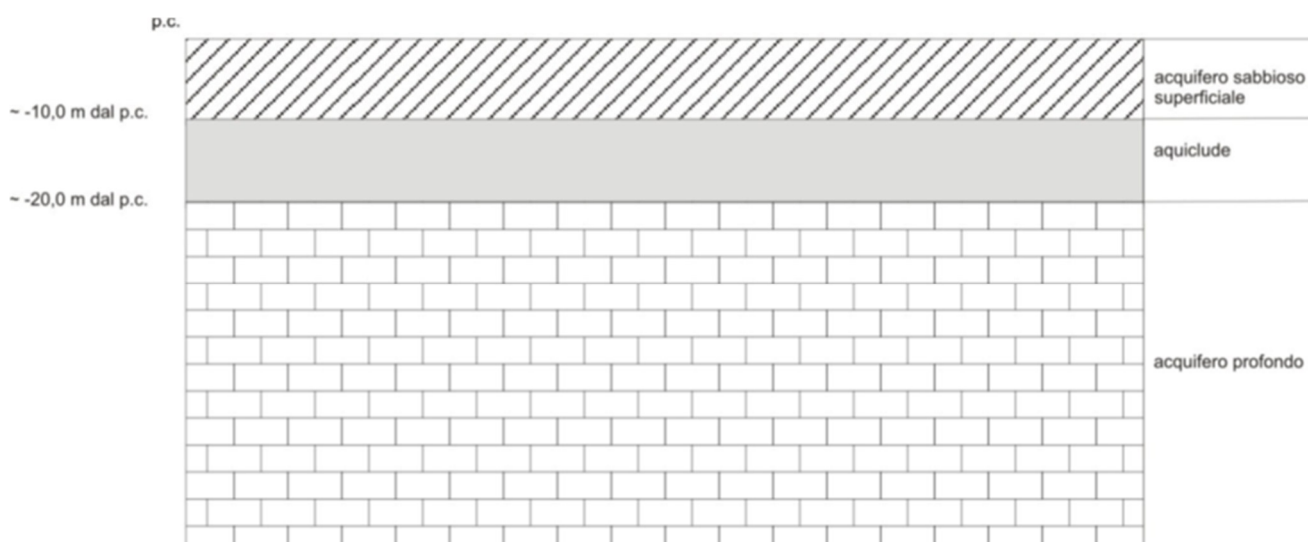


Fig. 3.5 – Schema dell'assetto idrogeologico

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. 2.6).



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

4 – INTERFERENZE CON LA RETE IDROGRAFICA DELLA REGIONE PUGLIA, IL PAI ED IL PGA

Il Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto idrografico Appennino Meridionale PGRA DAM è stato adottato, ai sensi dell'art. 66 del d.lgs. 152/2006, con Delibera n° 1 del Comitato Istituzionale Integrato del 17 dicembre 2015, è stato approvato dal Comitato Istituzionale Integrato in data 3 marzo 2016. Con l'emanazione del DPCM in data 27/10/2016 si è concluso il I ciclo di Gestione e con Delibera n.2 della Conferenza istituzionale permanente del 20 dicembre 2021 è stato adottato, ai sensi degli artt. 65 e 66 del D.Lgs. 152/2006, il primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (2021-2027) – II Ciclo di gestione- di cui all'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e all'art. 7 del D.Lgs. 49/2010, predisposto al fine degli adempimenti previsti dal comma 3 dell'art. 14, della Direttiva medesima.

Con specifico riferimento al sito di interesse si rileva che esso ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Interregionale della Puglia (AdBP), che è

caratterizzato da realtà geomorfologiche con peculiarità differenti ed il cui territorio di competenza, sostanzialmente, può essere diviso in un'area caratterizzata prevalentemente da bacini esoreici (il Gargano, l'Ofanto e i fiumi della Capitanata, i bacini carsici della terra di Bari, del brindisino e dell'arco ionico) e da una seconda parte a carattere endoreico che si sviluppa principalmente nel Salento. Nello specifico tale territorio è stato suddiviso in diversi ambiti omogenei; il sito di interesse è ricompreso nell' "Ambito dei bacini a mare delle Serre salentine e delle Murge tarantine". Tale ambito omogeneo è caratterizzato dalla presenza di piccoli corsi d'acqua, canali e solchi di drenaggio, a luoghi anche con evidenze morfologiche molto significative e con un discreto livello di organizzazione gerarchica ma anche dalla presenza di diffuse opere di bonifica in prossimità della costa rappresentate da bacini a marea collegati con il mare.

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, dal confronto tra PAI, Carta Idrogeomorfologica e planimetria delle opere di progetto emerge che (Fig. 4.1):

1. esiste una sola sovrapposizione tra le opere di progetto e le perimetrazioni di alta, media e bassa pericolosità idraulica;
2. esiste una sola interferenza tra la rete idrografica riportata negli strumenti di gestione e pianificazione e le opere di progetto.

Entrambe le interferenze sono connesse allo stesso reticolo idrografico e riguardano il cavidotto. Si osserva che rispetto alla vincolistica vigente l'opera interferente rientra tra quelle assentibili previa redazione dello studio di compatibilità idrologica ed idraulica. In ragione delle evidenze sopra riportate è stato quindi sviluppato il presente studio.

5 – STUDIO IDROLOGICO

5.1 Premessa e metodo di studio

Sulla base delle evidenze discusse nel precedente capitolo lo studio di compatibilità idrologica ed idraulica è stato svolto esclusivamente con riferimento all'interferenza rilevata che riguarda il cavidotto di progetto (che sarà realizzato interrato e lungo la viabilità esistente) ed un piccolo reticolo idrografico riportato sulla Carta Idrogeomorfologica cui è associata una estesa area a pericolosità idraulica (Fig. 4.1a). Questo reticolo 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 di una zona a pericolosità idraulica la cui consistenza areale ha pochissima confidenza con il reale andamento altimetrico del territorio (trattandosi probabilmente di una delle ormai poche perimetrazioni mai aggiornate rispetto alla prima stesura del PAI). 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 e classificata come area a pericolosità idraulica e di altre presenti a valle di essa (si veda lo schema idrografico di Fig. 5.1.1).

Da queste semplici considerazioni 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.

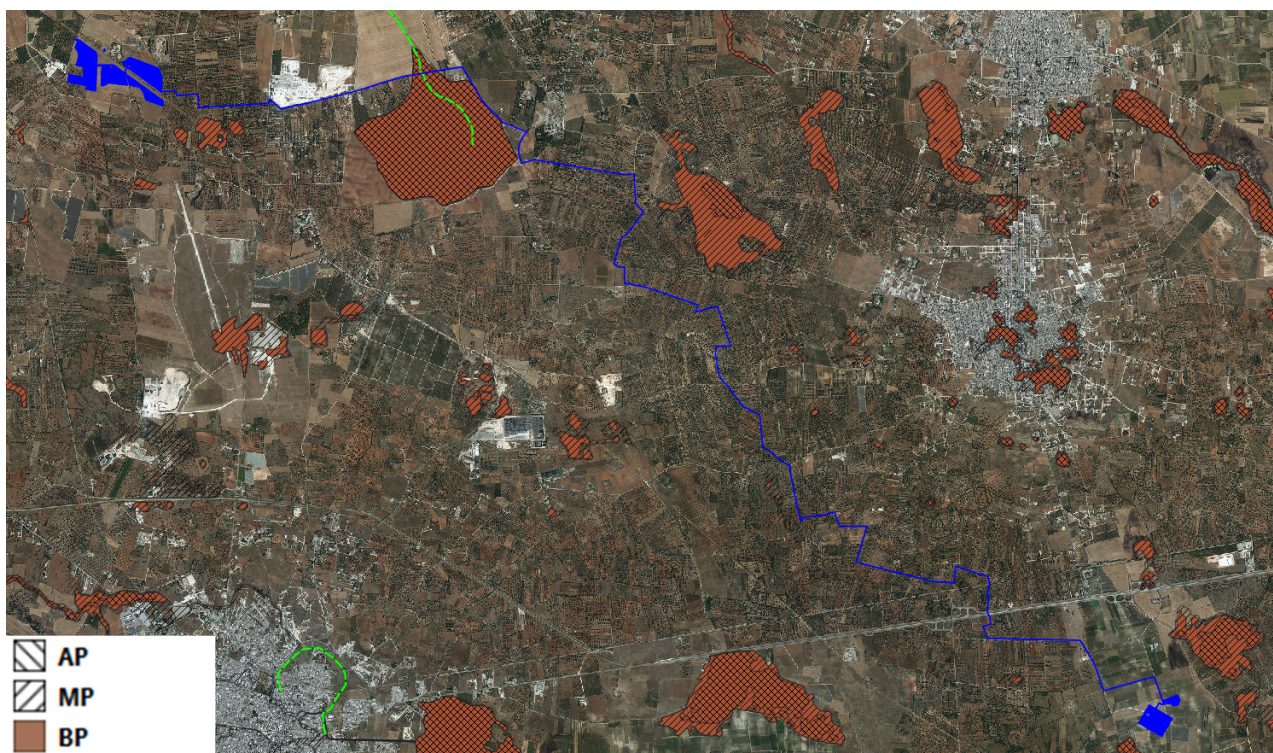


Fig. 4.1 – Interferenze tra gli interventi di progetto e le aree a pericolosità idraulica e la rete idrografica (in verde - estratta dalla Carta Idrogeomorfologica)

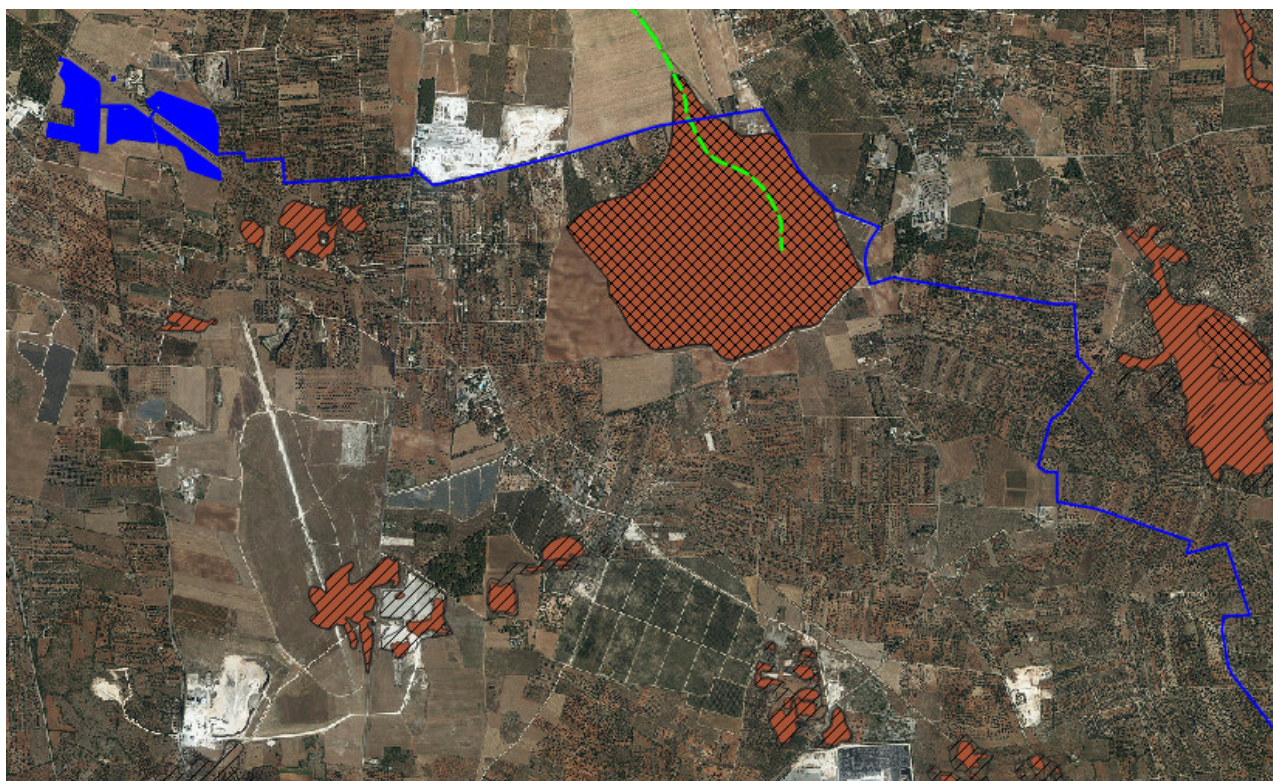


Fig. 4.1a – Stralcio della Figura 4.1, settore settentrionale



Fig. 4.1b – Stralcio della Figura 4.1, settore centrale

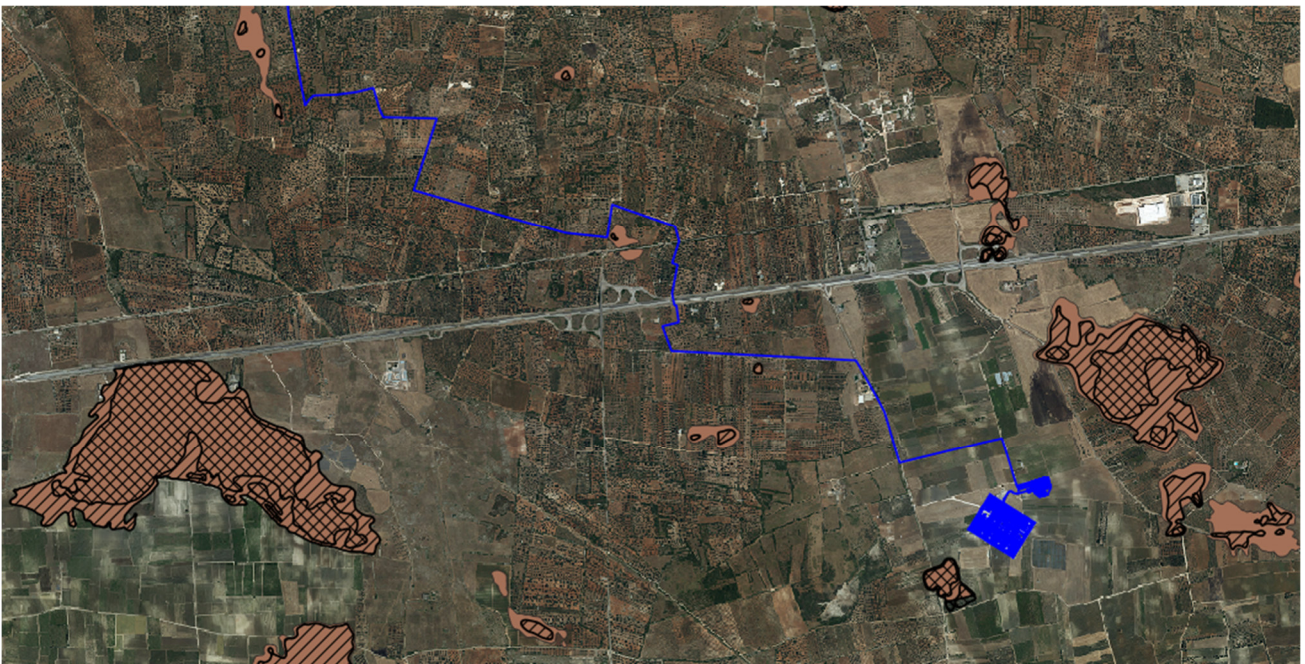


Fig. 4.1c – Stralcio della Figura 4.1, settore meridionale

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.

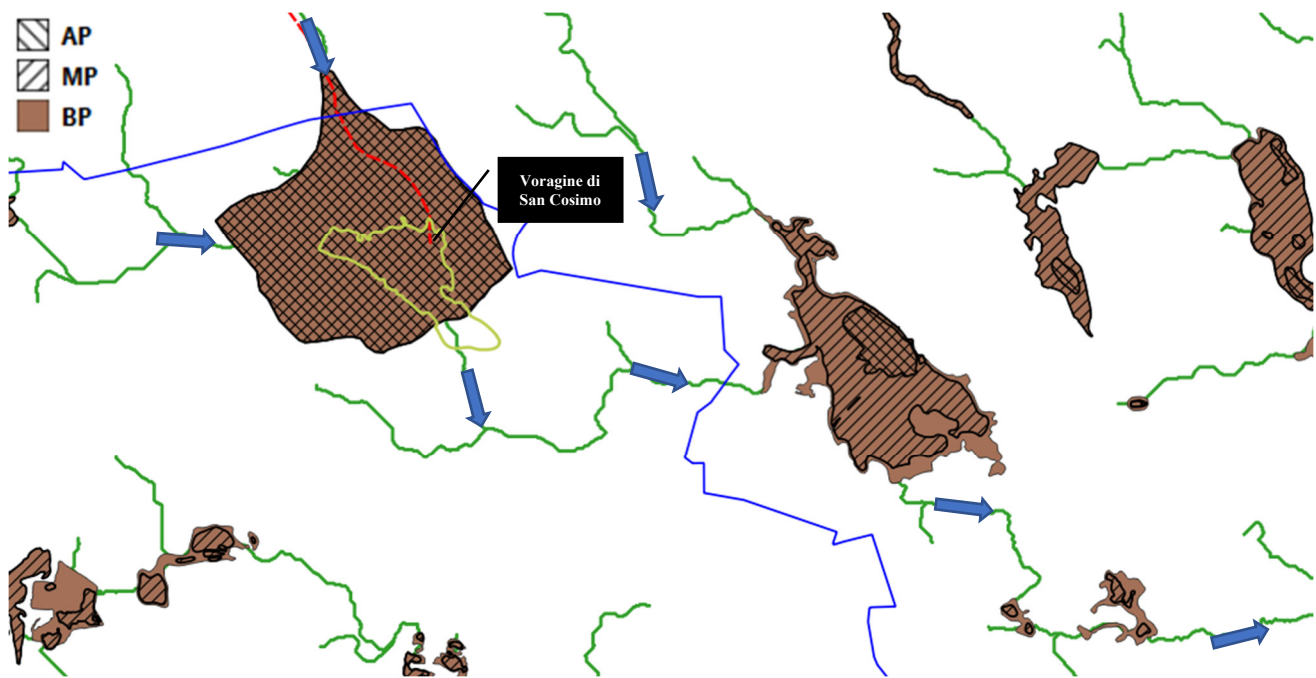


Fig. 5.1.1 – Schema idrografico relativo alla interferenza di fig. 4.1a; in blu è riportato il tracciato del cavidotto, in verde la rete idrografica estratta dal DTM Puglia (le frecce celesti indicano il verso di deflusso), in rosso la rete idrografica riportata sulla Carta idrogeomorfologica. Il perimetro della conca alluvionale che contiene la Voragine di San Cosimo è indicato in giallo

Qui il volume di piena è determinato sia dalla pioggia netta direttamente precipitata nei limiti del sottobacino stesso che dagli eventuali deflussi provenienti dal sottobacino di monte. Nel perimetro di un bacino endoreico come quello di interesse 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.

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.

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.

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 infila 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.

5.2 Perimetrazione dei sottobacini

Il primo passo dello studio consiste nella definizione della sezione di chiusura del bacino 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 e che essa intercetta il cavidotto sia in corrispondenza della già rilevata interferenza (con esclusivo riferimento quanto riportato sulla Carta idrogeomorfologica) che anche più a valle (si veda a tale proposito la Fig. 5.1.1 e successive) si è ritenuto di chiudere il bacino di interesse poco a valle di quest'ultima interferenza e quindi immediatamente prima dell'area a pericolosità idraulica cartografata nel PAI e indicata in Fig. 5.2.1 con la lettera A.

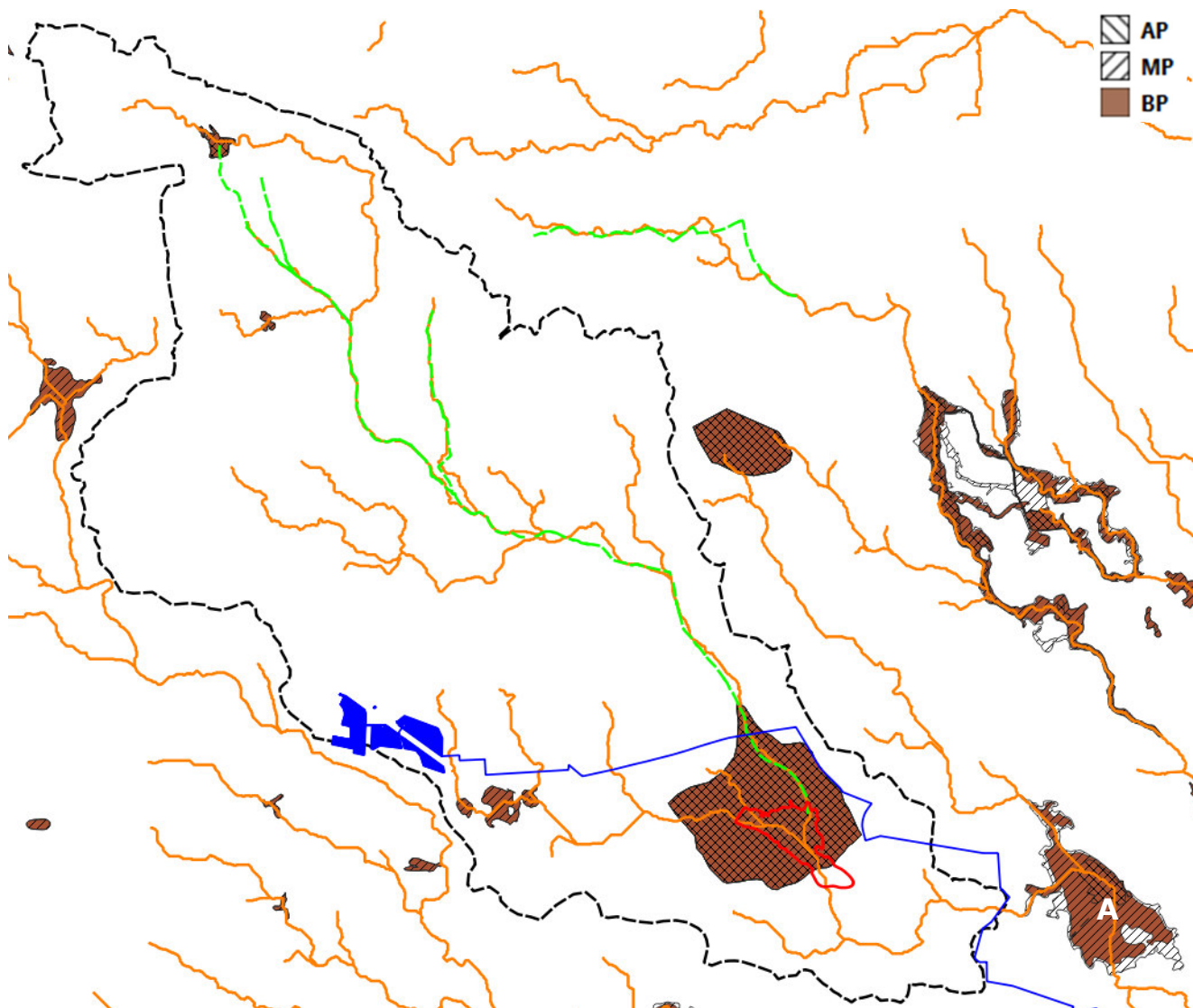


Fig. 5.2.1 – Perimetro del bacino di progetto (in nero); in verde è riportata la rete idrografica secondo la sua consistenza cartografata nella Carta Idrogeomorfologica

Successivamente sono state ricercate nel perimetro del bacino di riferimento le conche alluvionali presenti lungo il tracciato della rete idrografica. Sono state riconosciute 8 conche chiuse, alcune delle quali sono già state correttamente perimetrare come aree a pericolosità idraulica (nella fattispecie quelle ricadenti nei territori amministrativi dei comuni di Manduria e Francavilla Fontana); ognuna di queste è stata identificata da valle verso monte con un numero progressivo da 1 a 8 (Fig. 5.2.2). Il bacino di progetto può dunque essere suddiviso in 8 sottobacini.

5.3 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.

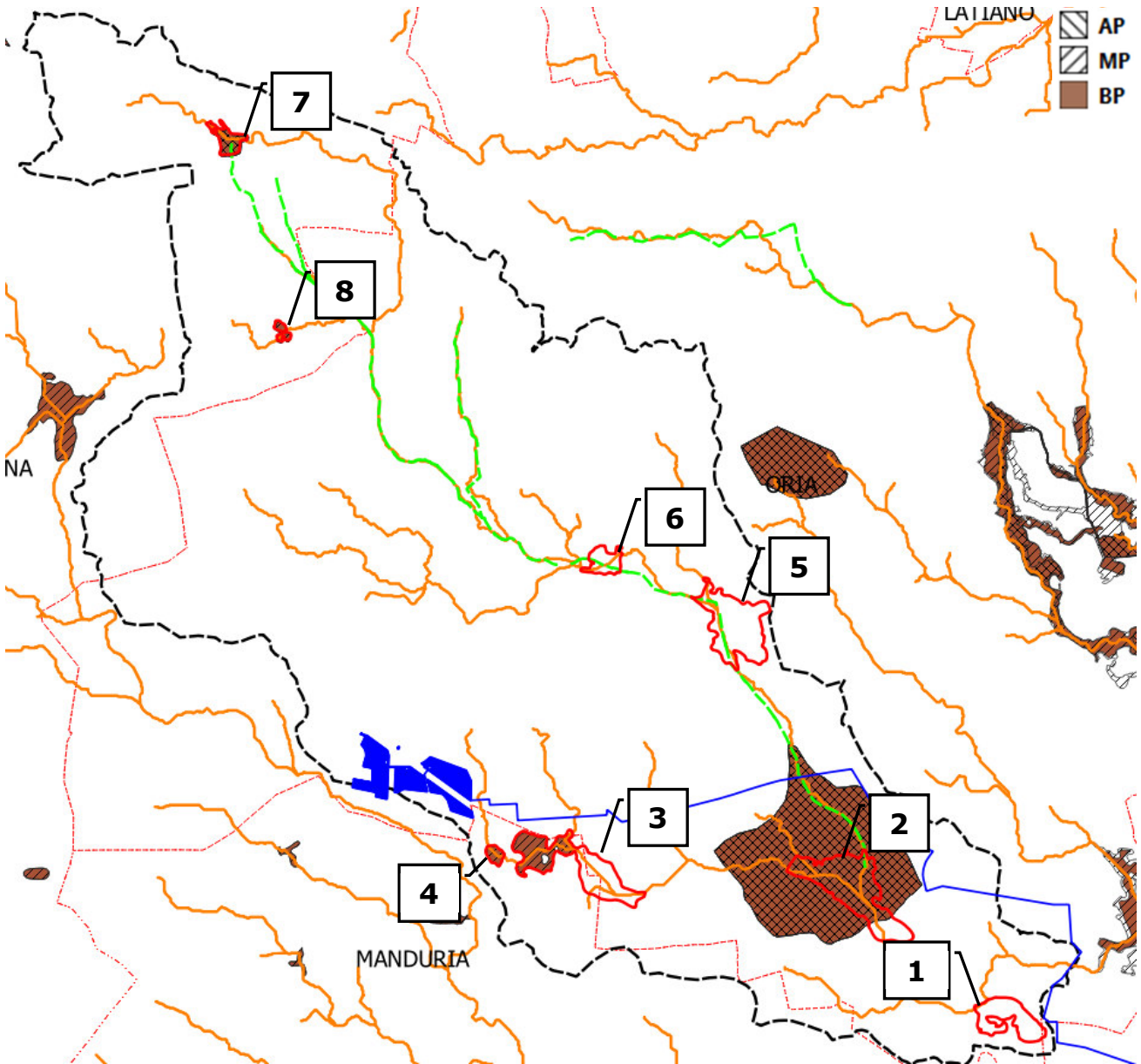


Fig. 5.2.2 – Perimetrazione delle 8 conche alluvionali presenti nel bacino di progetto

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. I

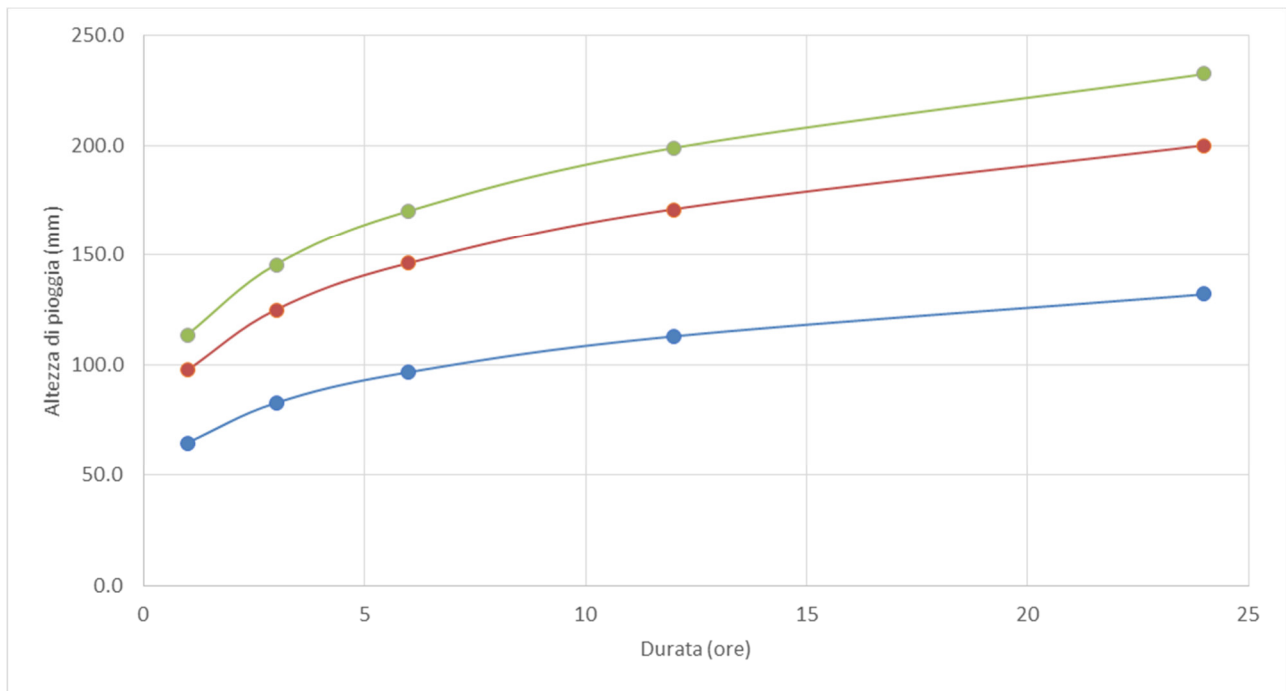
valori calcolati sono, quindi, correlati ad un determinato tempo di ritorno attraverso la loro moltiplicazione con un coefficiente K_T il cui valore dipende dal tempo di ritorno Tr attraverso la seguente relazione:

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

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.

d	1	3	6	12	24
z	103.80				
x	33.7	43.2	50.5	59.0	69.0
Tempo ritorno	30		$K_{t_{30}}$	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		$K_{t_{200}}$	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		$K_{t_{500}}$	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



5.4 Calcolo dei volumi

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;

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 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

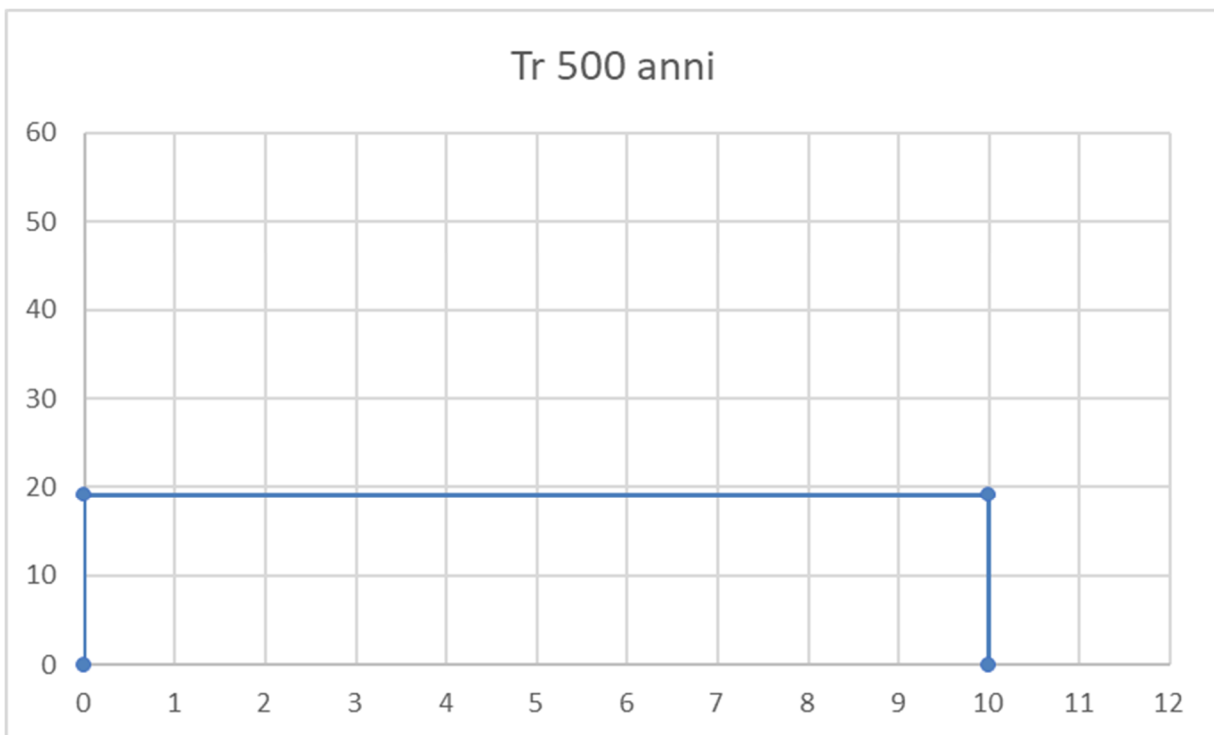
I dati di input sono riportati nella seguente tabella

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 Tr 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 . 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 poinding 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.

6 – VERIFICHE IDRAULICHE

Come descritto nel precedente paragrafo il bacino di progetto può essere suddiviso in 8 sottobacini incentranti sulle 8 conche alluvionali individuate lungo il tracciato della rete idrografica estratta dal DTM Puglia (Fig. 6.1).

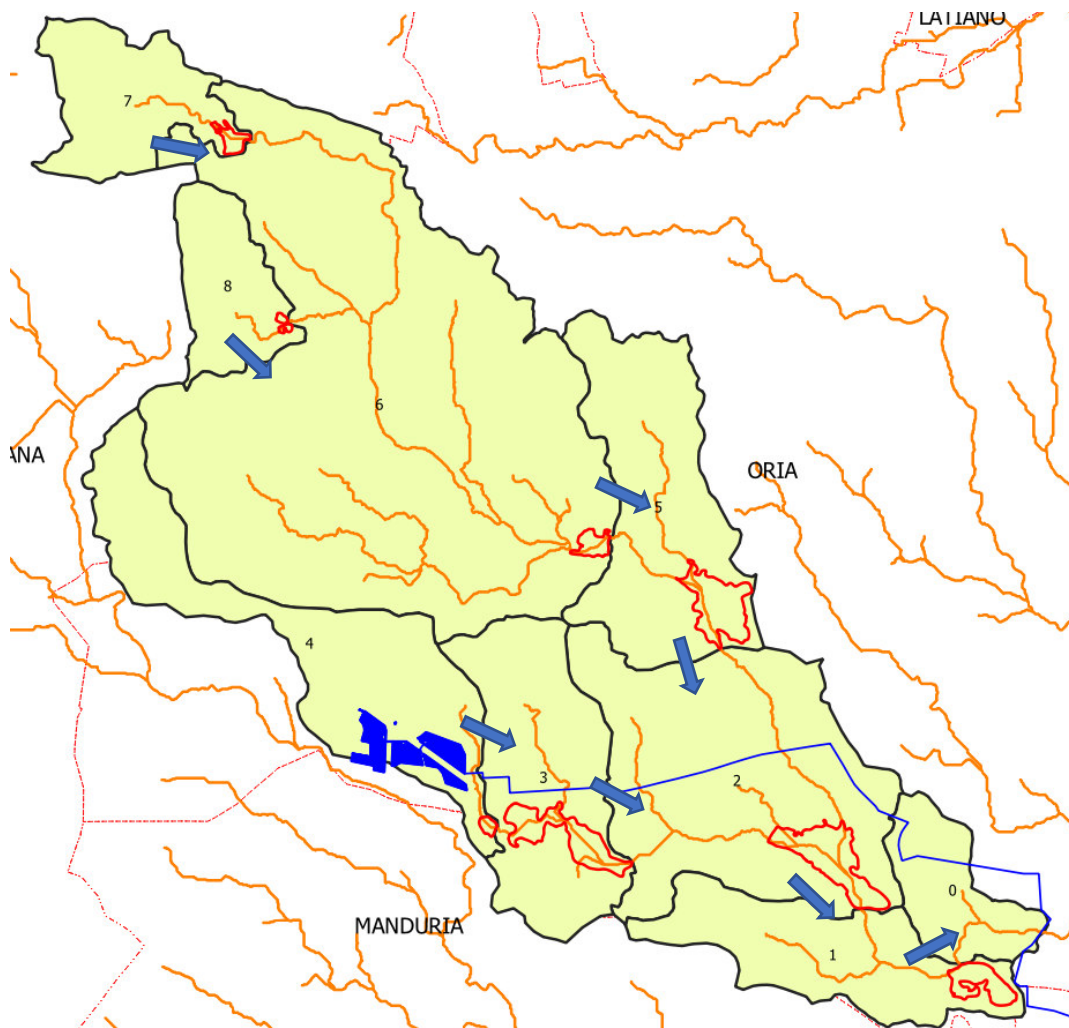


Fig. 6.1 – Sottobacini idrografici e schema di deflusso

Il modello di distribuzione della piena è stato costruito sulla base delle seguenti assunzioni:

1. i deflussi seguono un percorso invariante dipendente solo dal punto in cui si generano,
2. la velocità del flusso è costante nel tempo,
3. il deflusso si ottiene sommando i contributi provenienti da aree sorgenti a monte.

Nel processo di costruzione della piena non si tiene conto, dunque, di eventuali processi di attenuazione o diffusione; d'altronde, come già specificato nel testo ed in accordo con la bibliografia di settore si è ritenuto che nell'ambito territoriale studiato, come accade per tutti i bacini endoreici pugliesi, le criticità idrauliche non sono attribuibili al passaggio del colmo della piena bensì all'accumulo nelle zone morfologicamente depresse dei deflussi superficiali diffusi, questo perché il deflusso si svolge prevalentemente se non quasi esclusivamente come un fenomeno di corrivazione e quindi in modo diffuso.

Di ognuno dei sottobacini di progetto è stato calcolato:

1. il volume di acqua di ruscellamento che si origina in seguito all'evento meteorico di progetto (con Tr 200 anni),
2. la capacità di invaso della conca alluvionale cui il sottobacino afferisce,
3. gli afflussi complessivi derivanti dal cumulo tra le eventuali aliquote provenienti dai sottobacini di monte ed il volume di acqua di ruscellamento prodotta all'interno del sottobacino stesso;
4. il deflusso (calcolato come differenza tra afflusso complessivo e capacità di invaso).

ID sottobacino	V evento meteorico	Capacità di invaso	V afflussi complessivi	Deflusso
0	57725.5	-----	1128302.59	1128302.6
1	112508.2	54359.99	1124937.08	1070577.1
2	259593.9	111887.31	1124316.19	1012428.9
3	144593.5	202226.25	312076.98	109850.73
4	172484	5000.52	172484	167483.48
5	161631.3	133640.97	888512.53	754871.56
6	637116.6	24218.64	751099.87	726881.23
7	83534.1	27736.07	83534.1	55798.03
8	63218.6	5033.36	63218.6	58185.24

Sulla base dei risultati del calcolo di cui al punto 4 del precedente elenco si è proceduto a distribuire la piena sulla base dei rapporti di interdipendenza esistenti tra i vari sottobacini.

Dallo studio emerge che l'evento meteorico di progetto determina il riempimento fino alla soglia di scollamento di tutte le conche alluvionali riconosciute e l'instaurarsi di deflussi da un sottobacino all'altro secondo lo schema sintetizzato graficamente in Fig 6.1. Pertanto, dal sottobacino 1 defluiscono 1070577 mc d'acqua (alla sezione di chiusura del bacino di progetto transitano invece 1128303 mc d'acqua).

Il modello di distribuzione della piena è del tutto coerente e geometricamente sovrapponibile con quanto riportato sul PAI con riferimento alle perimetrazioni ricadenti nei territori comunali di Manduria e Francavilla Fontana; non vi è invece alcuna coerenza geometrica con la perimetrazione di pericolosità idraulica ricadente in territorio di Oria incentrata sull'inghiottitoio carsico Voragine di San Cosimo (PU_1480) ma essa, come già osservato, ha pochissima confidenza con il reale andamento altimetrico del territorio trattandosi probabilmente di una delle ormai poche perimetrazioni mai aggiornate rispetto alla prima stesura del PAI. In tale ambito amministrativo, inoltre, sono state individuate altre aree a media pericolosità idraulica. Il modello complessivo di distribuzione della piena è riportato in figura 6.2.

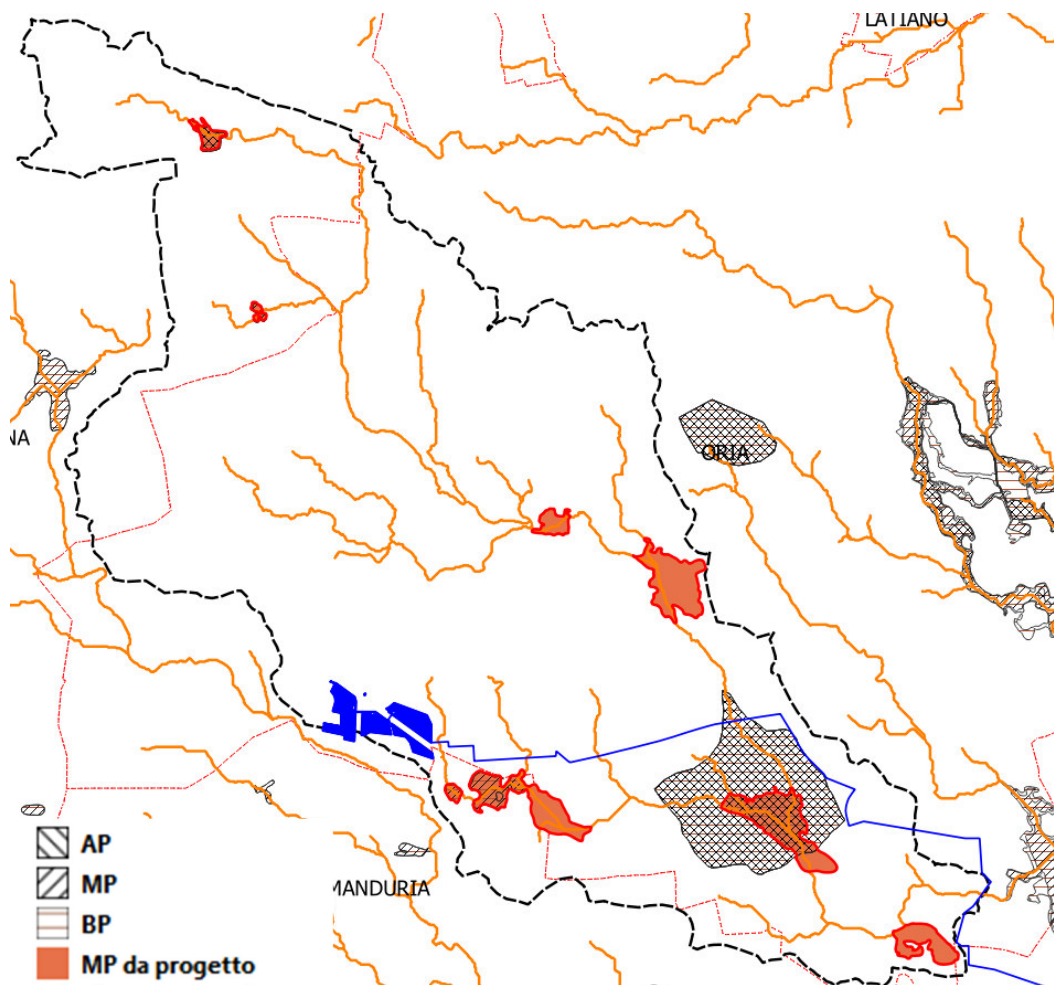


Fig. 6.2 - Distribuzione della piena di progetto e confronto con le perimetrazioni PAI

7 – CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha permesso di riconoscere analiticamente le interazioni potenziali tra le opere di progetto e la rete idrografica riportata sulla carta idrogeomorfologica e le aree a pericolosità idraulica del PAI.

Dallo studio è emerso che l'evento meteorico di progetto (Tr 200 anni) determina il riempimento fino alla soglia di scolamento di tutte le conche alluvionali riconosciute nel perimetro del bacino di progetto e l'instaurarsi di deflussi secondo lo schema sintetizzato graficamente in Fig 6.1. Pertanto, alla sezione di chiusura del bacino di progetto transitano 1128303 mc d'acqua. Il modello di distribuzione della piena ottenuto è del tutto coerente e geometricamente sovrapponibile con quanto riportato sul PAI con riferimento alle perimetrazioni ricadenti nei territori comunali di Manduria e Francavilla Fontana; non vi è invece alcuna coerenza geometrica con la perimetrazione di pericolosità idraulica ricadente in territorio di Oria incentrata sull'inghiottitoio carsico Voragine di San Cosimo (PU_1480) ma essa, come già osservato, ha pochissima confidenza con il reale andamento altimetrico del territorio trattandosi probabilmente di una delle ormai poche perimetrazioni mai aggiornate rispetto alla prima stesura del PAI. In tale ambito amministrativo, inoltre, sono state individuate altre aree a media pericolosità idraulica non riportate nel PAI.

Il modello complessivo di distribuzione della piena è restituito in figura 6.2; da esso si evince che non vi è alcuna sovrapposizione tra le opere di progetto e le aree a media pericolosità idraulica. I territori interessati dagli interventi previsti in progetto sono dunque in condizione di totale sicurezza idraulica.

Si rileva comunque che la rete viaria su cui correrà il cavidotto interrato interseca in più punti la rete idrografica estratta dal DTM Puglia (Fig. 7.1) ed in particolare nel punto di coordinate WGS84 UTM Lat. 725591,5E e Long. 4482703.1N (Fig. 7.1) interseca il canale di scolo riportato sulla Carta idrogeomorfologica. In questi punti non sussistono condizioni di pericolosità idraulica, tuttavia, per evitare qualsiasi impatto sull'assetto idraulico del bacino, si consiglia, successivamente alla posa del cavo, di avere grande cura nel ripristino del piano campagna e dello stato dei luoghi alle condizioni ante operam al fine di non creare avvallamenti o dossi o barriere che possano modificare o ostacolare il deflusso ed in corrispondenza dell'intersezione con il canale di scolo riportato sulla Carta idrogeomorfologica di procedere con la tecnica T.O.C.

In conclusione, con riferimento alla condizione dello stato di progetto e con l'applicazione degli accorgimenti tecnici sopra raccomandati si può affermare che la realizzazione delle opere di progetto non comporta modificazioni dell'assetto idraulico dell'area di intervento

e nessuna variazione del livello di sicurezza idraulica; gli interventi, pertanto, risultano compatibili con le finalità e prescrizioni del PAI.

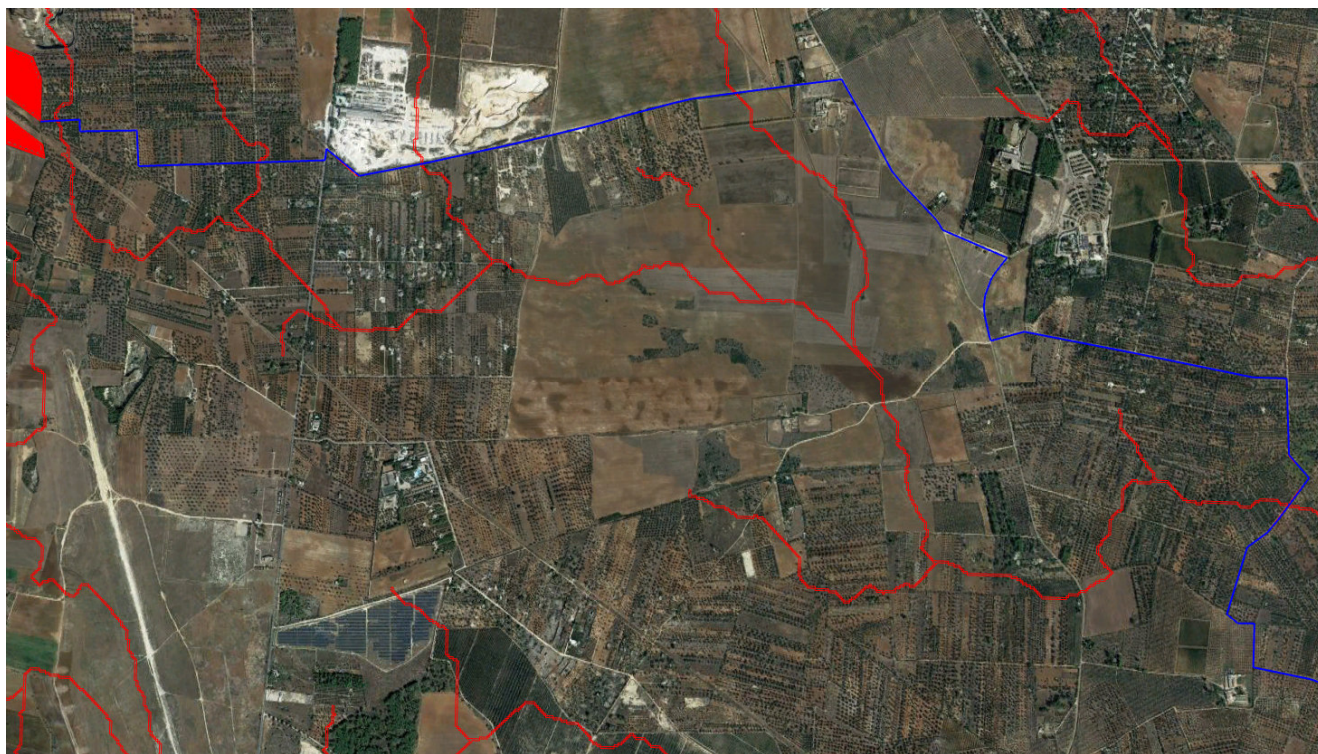


Fig. 7.1 – Intersezioni del cavidotto con la rete idrografica estratta dal DTM Puglia