

DICEMBRE 2022



SORGENIA

Realizzazione di un impianto agrivoltaico da ubicare in agro dei comuni di Manfredonia (FG) in località “La Pesca” ed Orta Nova (FG) in località “Santa Felicità” e delle relative opere di connessione alla RTN.

Impianto Agrivoltaico in Aree Agricole

Verifica di Compatibilità idraulica

Progettisti (o coordinamento)

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Codice elaborato

2865_4672_MA_R01_Verifica di Compatibilità Idraulica_rev.docx

Manfredonia



Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2865_4672_MA_R01_Verifica di Compatibilità Idraulica_rev.docx	12/2022	Prima emissione	LAL	FL	L. Conti

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Direzione Tecnica	Ordine Ing. Pavia 1726
Corrado Pluchino	Project Manager	Ord. Ing. Milano A27174
Fabio Lassini	Ingegnere civile Idraulico	Ord. Ing. Milano 29719
Daniele Crespi	Coordinamento SIA	
Laura Annovazzi Lodi	Ingegnere ambientale	
Enzo Baldi	Ingegnere civile idraulico	
Massimo Busnelli	Geologo	



INDICE

1. PREMESSA	4
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	6
3. DATI DI RIFERIMENTO	7
3.1 LOCALIZZAZIONE.....	7
3.2 DATI TOPOGRAFICI	7
3.2.1 Modello digitale del terreno Regione Puglia 8x8	7
3.2.2 Modello digitale del terreno Tinality	7
3.2.3 Rilievo topografico in sito GPS	7
4. CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE E CLIMATICHE	10
4.1 INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO	10
4.2 CARATTERISTICHE CLIMATICHE	13
4.3 INQUADRAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL’AREA DI PROGETTO E DELLA LINEA DI CONNESSIONE ...	15
4.3.1 Piano Assetto Idrologico (PAI).....	15
4.3.2 Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)	18
5. ANALISI IDROLOGICA	20
5.1 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO	20
5.2 ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE	21
5.3 DEFINIZIONE BACINO IDROGRAFICO	24
5.4 VALUTAZIONE PIOGGIA EFFICACE (NETTA)	25
5.5 CALCOLO PORTATE CRITICHE – METODO AFFLUSSI/DEFLUSSI.....	31
6. ANALISI E VERIFICA IDRAULICA	34
6.1 MODELLAZIONE.....	34
6.1.1 Software HEC-RAS.....	34
6.1.2 Ipotesi di moto	34
6.1.3 Modello geometrico della rete (Canale Carapelluzzo)	35
6.1.4 Modello dei ponti	36
6.2 RISULTATI SIMULAZIONE	37
7. CONCLUSIONI	40



1. PREMESSA

Il progetto oggetto della presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico della Potenza nominale in DC di 39,8268 MWp e potenza in immissione massima in AC 37,8 MW denominato “La Pescia” da realizzarsi nella Provincia di Foggia, in due lotti agricoli non contigui di cui il primo nel comune di Manfredonia (FG), in località “La Pescia”, ed il secondo nel comune di Orta Nova, in località “Santa Felicità”.

Il collegamento tra i due lotti avverrà mediante cavo interrato di connessione a 30 kV di lunghezza pari a circa 7.985 mt ed attraverserà i comuni di Foggia, Carapelle, Cerignola, Manfredonia ed Orta Nova. L’impianto sarà connesso in antenna a 36 kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/150 kV di Manfredonia, tramite cavo interrato a 36 kV di lunghezza pari a circa 4.250 mt.

Il presente elaborato di compatibilità idraulica relativo è richiesto in quanto il primo lotto nel comune di Manfredonia (FG) risulta caratterizzato da fasce di pericolosità idraulica classificate media e bassa definite dal PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni).

Il presente elaborato illustra i risultati di uno studio idrologico e idraulico di dettaglio, eseguito per due tratti specifici del canale Carapelluzzo e del canale Pescia, affluenti del canale Peluso, canale scolmatore del fiume Carapelle, compresi nel comune di Manfredonia (FG) in località “La Pescia”.

Si prevede quindi uno studio di dettaglio che attesti la quantificazione dell’eventuale allagamento e del suo tirante idraulico atteso e la definizione delle opere necessarie per la messa in sicurezza tali da non rientrare più nell’allagamento e al tempo stesso assicurando la non modifica del rischio di monte e valle.

Lo studio riporta l’analisi idrologica atta alla definizione delle portate con tempi di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni e la simulazione idraulica di moto vario misto monodimensionale e bidimensionale dei corsi idrici nei tratti di interesse.

In prima battuta il modello idraulico è stato elaborato unicamente per il ramo principale del Canale Carapelluzzo (fase I) presentata di seguito e in seconda battuta sarà analizzato anche il canale Pescia e si terrà conto dei rilevati stradali (fase II) che risulta in fase di modellazione.

Nella presente relazione viene presentata l’analisi idrologica completa ed una prima descrizione del modello idraulico la cui modellazione è attualmente in corso.

Lo studio in oggetto è svolto secondo le Norme Tecniche di Attuazione del Piano d’Assetto Idrogeologico redatto dall’Autorità di Bacino della Puglia, ed è costituito da:

- analisi delle piogge, eseguita utilizzando le indicazioni riportate sul progetto Valutazione Piene (VAPI) del Gruppo Nazionali Difesa Catastrofi Idrogeologiche (GNDICI);
- valutazione della durata dell’evento pluviometrico di progetto di durata pari al tempo critico del bacino idrografico oggetto di studio (tempo di corrivazione e ietogramma di progetto);
- determinazione delle portate di riferimento;
- modellazione idraulica del corso d’acqua in oggetto con definizione delle fasce di allagamento.

Il rilievo del sito ha mostrato la presenza di numerose strade realizzate in rilevato che possono fungere da arginature/deviatori delle portate esondate e la presenza di ponti caratterizzati da una esigua luce di passaggio (quantificabile in sezioni tra i 3 e i 7 mq). Da un primo modello 1D/2D qualitativamente si può osservare come il ponte a monte dell’area di progetto (Sezione rilevata n.33 del Canale Carapelluzzo) sia insufficiente idraulicamente e comporti un forte allagamento localizzato in corrispondenza del suo timpano di monte. Tale diffuso allagamento, unito alla presenza della strada in rilevato adiacente al ponte stesso forma una barriera tra le zone allagate e l’area di progetto.

La prima modellazione ha mostrato come risultato qualitativo il non interessamento dell’area di progetto dalle esondazioni. La presente relazione sarà successivamente integrata con ulteriori verifiche



di dettaglio sia dal punto di vista topografico sia dal punto di vista idrologico/idraulico aggiungendo all'analisi il canale Pescia, che non risulta tuttavia interessato da dati idrologici del PGRA e anch'esso mostra la presenza di tombinature.

La prima modellazione ha mostrato come risultato qualitativo il non interessamento dell'area di progetto dalle esondazioni. La presente relazione sarà successivamente integrata con ulteriori verifiche di dettaglio sia dal punto di vista topografico sia dal punto di vista idrologico/idraulico aggiungendo all'analisi il canale Pescia, che non risulta tuttavia interessato da dati idrologici del PGRA e anch'esso mostra la presenza di tombinature.



2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

I seguenti documenti sono stato utilizzati come principali riferimenti per lo studio:

- D.Lgs 152/06 e smi;
- DPCM 04/04/2018 in merito alle competenze delle Autorità di Bacino;
- Direttiva Comunitaria 2007/60/CE – Valutazione e gestione del rischio di alluvioni/ D.Lgs. 49/2010;
- Regione Puglia - Servizio Protezione Civile - Centro Funzionale Regionale. Precipitazioni medie e di massima intensità registrate nella stazione pluviometrica locale 1921-2010,
- Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Appennino Meridionale (DAM), elaborato ai sensi dell’art. 7 della direttiva 2007/60/CE e dell’art.7 comma 8 del D.Lgs. 49/2010;
- Piano Gestione Acque (PGA) del Distretto Appennino Meridionale, elaborato ai sensi dell’art. 3 della Direttiva 2000/60/CE e dell’art. 117 del D.Lgs. 152/2006;
- Territorio dell’Unità di Gestione (UoM) Puglia: Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con Delibera del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Puglia n. 39 del 30 Novembre 2005 e successivi aggiornamenti;
- Manuale di riferimento del software HEC-RAS “U.S. Army Corps of Engineers’ River Analysis System”, versione 6.3.1;
- La sistemazione dei bacini idrografici, Vito Ferro, McGraw – Hill editore.

3. DATI DI RIFERIMENTO

3.1 LOCALIZZAZIONE

La relazione di compatibilità idraulica in oggetto riguarda il lotto 1 del progetto dell’impianto agrivoltaico di potenza nominale 39,82 MW. Il lotto ricade in un’area compresa nel comune di Manfredonia (FG) in località “La Pesca”.

La figura di seguito riporta l’area dell’impianto di progetto in rosso, in blu il canale Carapelluzzo e in azzurro il canale Pesca, affluenti del canale Peluso, canale scolmatore del fiume Carapelle.

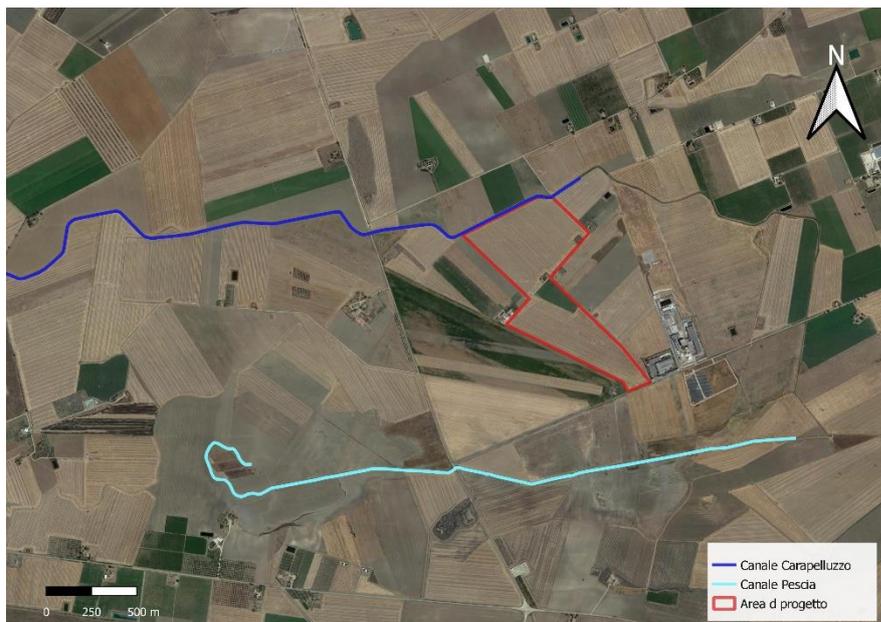


Figura 3-1: Inquadramento territoriale. In rosso l’area di progetto, in blu il tracciato del canale Carapelluzzo e in azzurro il tracciato del canale Pesca.

3.2 DATI TOPOGRAFICI

La campagna investigativa topografica e di rilievo ha interessato tutta l’area di progetto in modo completo e dettagliato.

Sono stati utilizzati i modelli digitali del terreno disponibili dalla fonte ufficiale Regione Puglia e il rilievo ottenuto mediante GPS eseguiti nel dicembre 2022.

3.2.1 Modello digitale del terreno Regione Puglia 8x8

Attraverso la fonte ufficiale Regione Puglia è stato ottenuto il modello digitale del terreno con una risoluzione spaziale 8x8 metri di tutta l’area di progetto.

3.2.2 Modello digitale del terreno Tinality

Attraverso la fonte ufficiale INGV- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è stato ottenuto il modello digitale del terreno Tinality con una risoluzione spaziale 10x10 metri di tutta l’area di progetto.

3.2.3 Rilievo topografico in sito GPS

Nel mese di dicembre 2022, al fine di elaborare la modellazione fluviale, è stato eseguito un rilievo topografico di dettaglio.

In particolare sono stati rilevati:

- Il corso del Canale Carapelluzzo, sono battute un totale di 43 sezioni distanti circa 50 metri tra di loro nei tratti rettilinei e con una maggiore frequenza in corrispondenza degli attraversamenti stradali (ponti) e in corrispondenza delle curve.
- Il corso del Canale Pescaia, sono battute un totale di 61 sezioni distanti circa 50 metri tra di loro nei tratti rettilinei e con una maggiore frequenza in corrispondenza degli attraversamenti stradali (ponti) e in corrispondenza delle curve.
- Le sezioni dei rilevati stradali che circondano l’area di studio con un passo medio di 200 metri.

Il presente studio presenta l’analisi delle sezioni del canale Carapelluzzo, mentre le altre sezioni sono ancora in fase di digitalizzazione.



Figura 3-2 Sezioni battute lungo il torrente Carapelluzzo

Per ognuna delle sezioni è stata rilevata la quota minima per ricostruire la linea di thalweg. Devono essere rilevati in generale tutti i punti che definiscono la forma della sezione.

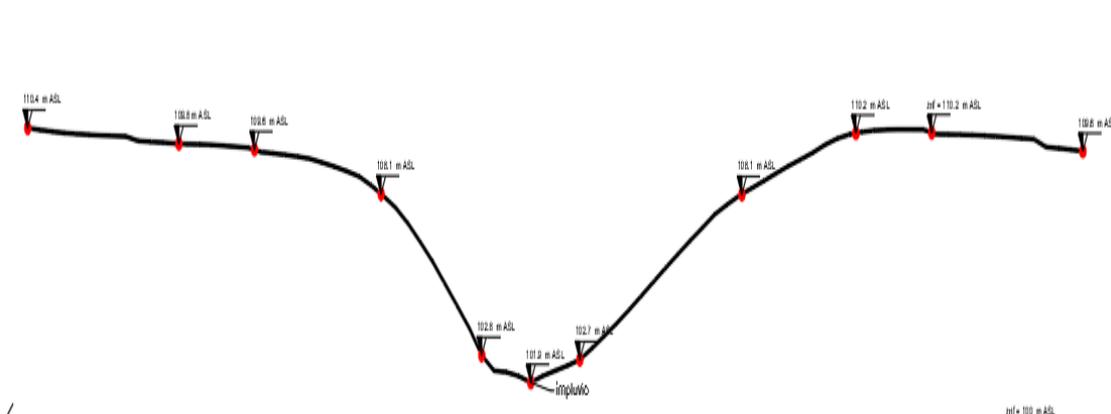


Figura 3-3 Tipologico del rilievo di una sezione fluviale

Il rilievo, è stato allargato di 75 metri con la battuta di ulteriori punti oltre il punto di quota massima della sponda in modo da rilevare.

A titolo di esempio viene presentato di seguito il rilievo del ponte posizionato a monte dell’area di progetto (sezione 33).

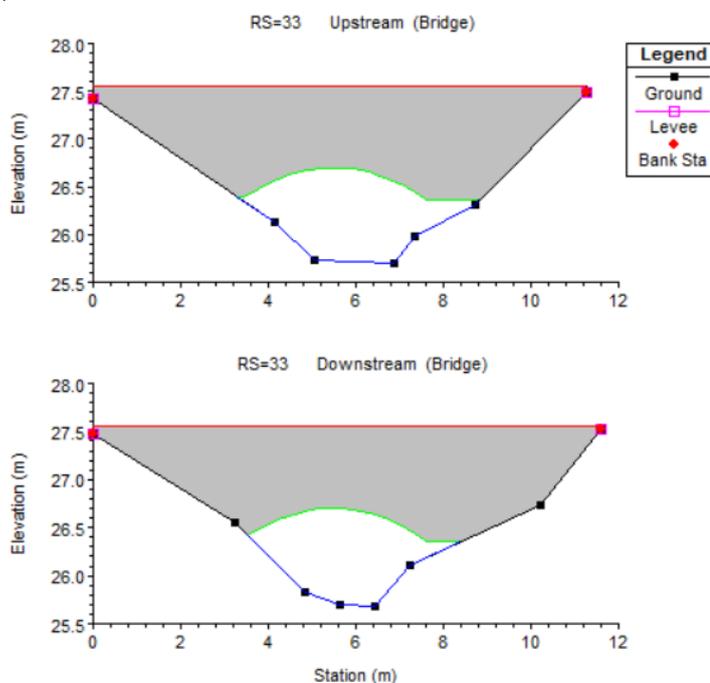


Figura 3-4 Sezione trasversale del ponte in sezione 33.

Si evidenzia a partire dalla sezione V2 visibile in Figura 3-2 la presenza di una strada in rilevato che incrocia il canale Carapelluzzo in corrispondenza della sezione 33.

4. CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE E CLIMATICHE

La Puglia presenta una situazione idrologico-ambientale caratterizzata da scarsa disponibilità idrica superficiale avente distribuzione molto differenziata sul territorio. L’area in analisi risulta a carattere torrentizio e come gran parte del resto del territorio pugliese si caratterizza per un esteso sviluppo di solchi erosivi naturali in cui vengono convogliate le acque in occasione di eventi meteorici intensi, a volte compresi in ampie aree endoreiche aventi come recapito finale la falda circolante negli acquiferi carsici profondi.

L’area di interesse ricade nel bacino del Torrente Carapelle, appartenente ai ‘Fiumi Settentrionali’ della regione pugliese.

4.1 INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO

L’area di progetto ricade all’interno del bacino del torrente Carapelle. Il sito in oggetto risulta inserito in un contesto agricolo fortemente antropizzato e caratterizzato dalla presenza di due canalizzazioni, una a nord del sito e una posizionata a sud, entrambi appartenenti al reticolo idrografico minore ed entrambi suscettibili di possibili esondazioni. Gli specifici tratti di interesse comprendono il canale Carapelluzzo e il canale Pesca, affluenti del canale Peluso, canale scolmatore del fiume Carapelle, e sono compresi nel comune di Manfredonia (FG) in località “La Pesca”, come mostrato in Figura 4-1.

Il progetto “Strati Prioritari di Interesse Nazionale” (DBPrior10k), è stato realizzato nell’ambito dell’Intesa Stato-Regioni-Enti Locali sui Sistemi Informativi Geografici (IntesaGIS) a partire dal settembre 2003, ed è stato consegnato dal Centro Interregionale, che ne ha svolto la direzione lavori nel giugno 2005. Esso rappresenta la copertura della viabilità stradale e ferroviaria, dell’**idrografia** e dei limiti amministrativi, in scala 1:10.000, del territorio Nazionale. Tramite il progetto DBPRIOR10K è disponibile il reticolo idrografico dei bacini facenti parte di tale progetto, tra i quali il Carapelle.



Figura 4-1: Inquadramento dei corsi d’acqua ricadenti nel bacino del T. Carapelle (Fonte: DBPRIOR10K). In rosso l’area di progetto.

L’asta del torrente Carapelle sottende un bacino idrografico complessivo di circa 715 km², attraversando le regioni della Campania nel tratto montano e della Puglia per la parte restante del bacino. Le sue acque solcano, in direzione sud-est, porzioni di territorio ricadenti nei comuni, da monte verso valle, di Trevico, Vallata, Bisaccia, Anzano di Puglia, Scampitella, Lacedonia, Monteleone di Puglia, Sant’Agata di Puglia,

Rocchetta Sant'Antonio, Accadia, Deliceto, Candela, Castelluccio dei Sauri, Ascoli Satriano, Foggia, Ortona, Stornarella, Orta Nova, Carapelle e Manfredonia. In sinistra idraulica confluiscono le acque del torrente Frugno, Rio Speca, Carapellotto, e del Canale Ponte Rotto; mentre in destra idraulica vi sono il Vallone della Scafa, il Torrente San Gennaro, il Canale Biasifiocco, il canale Trionfo, la Pidocchiosa e Marana Castello. Si tratta di alvei prevalentemente naturali, caratterizzati da estese piane alluvionali che si alternano a tratti morfologicamente incisi. Prevalgono i seminativi nell'intero tratto e, nella parte valliva, vi è una buona percentuale di vigneti.

Nello specifico, l'area di progetto fa parte del bacino del Torrente Carapelle, fortemente antropizzato.



Figura 4-2: Canale Carapelluzzo in corrispondenza della sezione 33

La Figura 4-3 presenta uno stralcio della Carta idrogeomorfologica della Regione Puglia dove si mostra la tipologia dei depositi e note di dettaglio in merito all'idrografia e alla morfologia.

Due tipologie di depositi sono riconoscibili nell'area di interesse: depositi sciolti a prevalente componente pelitica e depositi sciolti a prevalente componente sabbioso ghiaiosa.

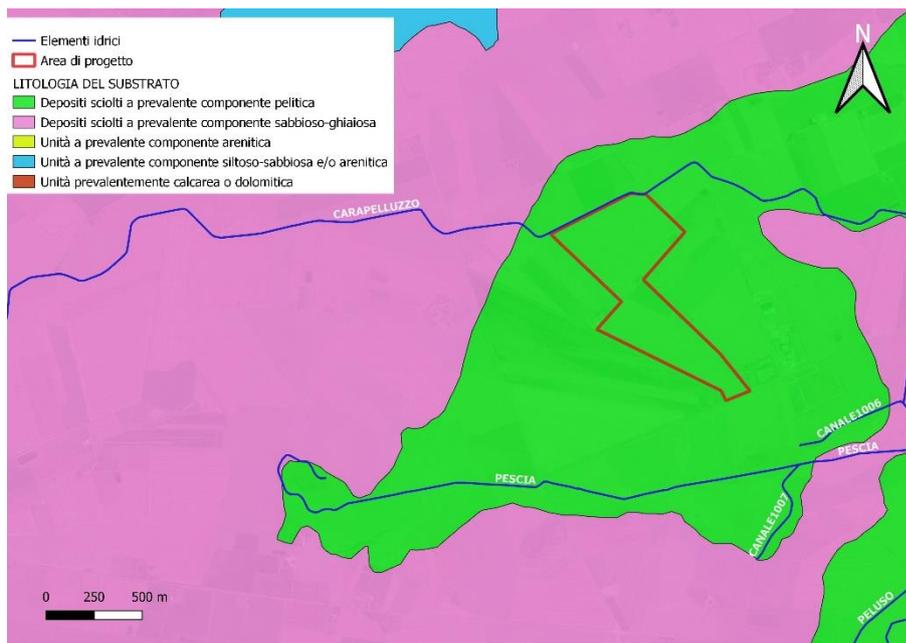


Figura 4-3: Stralcio carta idrogeomorfologica della Regione Puglia.

L’area in questione idrograficamente appartiene al bacino del Carapelle. Il territorio pugliese è suddivisibile nei seguenti ambiti territoriali omogenei:

- Gargano;
- Fiumi Settentrionali (Candelaro, Cervaro e **Carapelle**);
- Ofanto;
- Bari e Brindisi;
- Arco Ionico;
- Salento.

L’ambito territoriale dei Fiumi Settentrionali è caratterizzato dalla presenza di corsi d’acqua che sottendono bacini di alimentazione di rilevante estensione, dell’ordine di alcune migliaia di km², che comprendono settori altimetrici di territorio che variano da quello montuoso a quello di pianura. I corsi d’acqua principali sono rappresentati dal Candelaro, Cervaro e Carapelle.

Il torrente Carapelle è un fiume della provincia di Foggia che scorre per circa 98 km nel tavoliere delle Puglie prima di sfociare nel golfo di Manfredonia in località Torre Rivoli, presso Zapponeta.

I Fiumi Settentrionali sottendono bacini di elevata estensione che comprendono settori altimetrici del territorio che variano da quello montano a quello di pianura. Le aree del Tavoliere, ove le pendenze si riducono notevolmente, sono quelle maggiormente interessate dai fenomeni di allagamento legati principalmente al sormonto delle strutture arginali lungo i principali corsi d’acqua sino alla foce, all’insufficienza degli attraversamenti idraulici, le cui luci possono risultare ostruite da vegetazione o materiale trasportato dalla corrente e all’insufficienza delle sezioni al contenimento delle portate idrologiche.

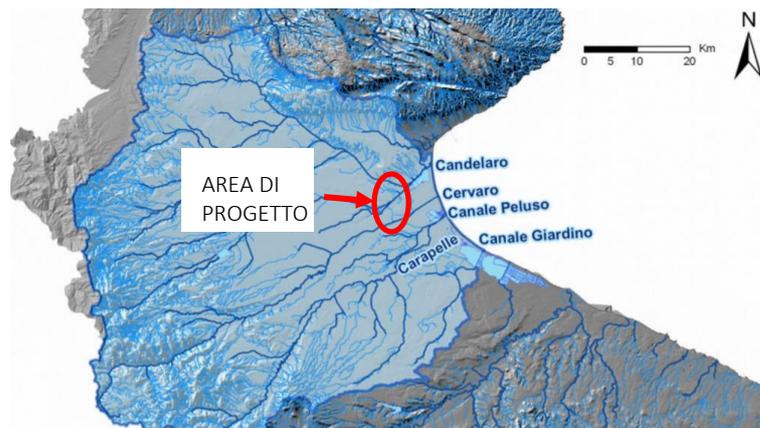


Figura 4-4: Corpi idrici superficiali (Relazione PGRA - AdB Puglia) ed ubicazione area di progetto.



Figura 4-5: Definizione bacini principali. L’area di studio (in rosso) ricade all’interno del bacino del Carapelle.

L’area di studio, idrograficamente, ricade nel bacino del Carapelle. Nel paragrafo 5.4, in maniera più dettagliata, verrà identificato il sotto-bacino del canale in analisi, al fine di identificare le portate critiche in funzione del tempo di ritorno.

4.2 CARATTERISTICHE CLIMATICHE

All’interno della Relazione di piano del PAI è descritto come la regione Puglia sia “caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo, con inverno mite e poco piovoso e stagione estiva calda e secca”.

I mesi estivi sono caratterizzati da siccità dovuta alle masse d’aria calda e secca tropicale che dominano sul bacino del Mediterraneo.

I mesi invernali e autunnali presentano frequente nuvolosità e piogge relativamente abbondanti, recate in genere da venti sciroccali, avvicendate con periodi sereni e piuttosto freddi provocati da venti settentrionali e di Nord Est.

I giorni piovosi sono scarsi: il loro numero è compreso tra 60 e 80. Annualmente la regione riceve in media poco più di 600 mm di pioggia; la maggiore piovosità si osserva sul Gargano con 1.100-1.200 mm

totali annui, interessato da piogge di tipo orografico a cui si aggiungono quelle d'origine frontale legate al ciclo genesi del Mediterraneo orientale.

La minore piovosità si osserva sul Tavoliere, con valori totali annui al di sotto dei 450 mm ed in una ristretta fascia costiera intorno a Taranto. Nel Subappennino Dauno si avvicina a 900 mm annui e la maggior parte delle aree pianeggianti ha meno di 700 mm annui. In tutta la regione, le precipitazioni si concentrano per oltre il 60% nei mesi autunno-invernali, con massimi nel Salento dove raggiungono l'80%.

Il ciclo annuo mostra un solo massimo di piovosità ben distinto in novembre o in dicembre, mentre il minimo quasi sempre ricade in luglio per tutta la regione.

La stagione estiva è caratterizzata da una generale aridità su tutto il territorio: infatti, ad eccezione del Gargano e del Subappennino dove si hanno precipitazioni di poco superiori a 50 mm, i valori sono inferiori a 30 mm; in alcuni anni i mesi estivi sono stati del tutto privi di pioggia. Succede, tuttavia, che non siano infrequenti i brevi ed intensi rovesci estivi con punte 30-50 mm in pochi minuti. Elevata è, infine, la variabilità inter-annuale delle piogge: si può passare in una qualunque stazione dai 300 mm di un anno ai 900-1.000 mm dell'anno seguente, come è accaduto a Bari nel 1913 (371 mm) e nel 1915 (1.095 mm).” (Fonte Autorità di Bacino della Puglia - Dicembre 2004 – RELAZIONE DI PIANO)

Dal sito della Protezione Civile, <http://www.protezionecivile.puglia.it>, è possibile scaricare i dati di interesse meteorologico e idrologico. Il dataset fornito è articolato in 127 record, uno per stazione di monitoraggio presente sul territorio pugliese.

Il regime pluviometrico regionale evidenzia che quello della Puglia centrale, dopo quello del Tavoliere di Foggia, risulta il clima più arido; dai 450 mm annui di acqua intorno a Taranto si arriva fino ai 600-700 mm nella parte più alta della Murgia, per poi riscendere a circa 550 mm intorno a Bari. Caratteristica per la Puglia è la distribuzione non ideale delle piogge che prevalentemente avvengono nel semestre settembre-marzo, creando spesso situazioni di intensa e prolungata siccità nel restante periodo dell'anno. Frequente, anche se in modo irregolare, soprattutto nel periodo estivo, è il fenomeno della grandine che risulta molto dannoso per il mondo agricolo e forestale, in particolare sulle fasce costiere.

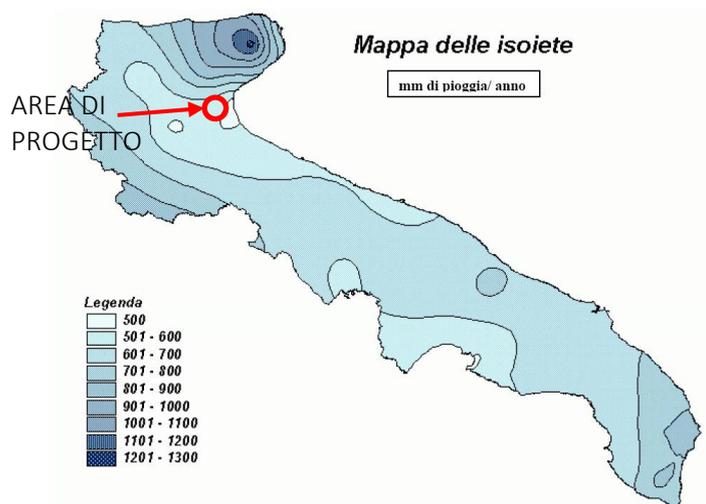


Figura 4-6: Mappa delle isoiete della Regione Puglia.

4.3 INQUADRAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO E DELLA LINEA DI CONNESSIONE

Il comune di Manfredonia (FG) appartiene al Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (DAM), l'unità di gestione del Bacino Regionale Puglia e Interregionale è l'ITR161I020.

Con D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. sono state soppresse le Autorità di Bacino di cui alla ex L.183/89 e istituite, in ciascun distretto idrografico, le Autorità di Bacino Distrettuali. Ai sensi dell'art. 64, comma 1, del suddetto D.lgs. 152/2006, come modificato dall'art. 51, comma 5 della Legge 221/2015, il territorio nazionale è stato ripartito in 7 distretti idrografici tra i quali quello dell'Appennino Meridionale, comprendente i bacini idrografici nazionali Liri-Garigliano e Volturno, i bacini interregionali Sele, Sinni e Noce, Bradano, Saccione, Fortore e Biferno, Ofanto, Lao, Trigno ed i bacini regionali della Campania, della **Puglia**, della Basilicata, della Calabria, del Molise.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente nonché ogni altra funzione attribuita dalla legge o dai regolamenti. Con il DPCM del 4 aprile 2018 (pubblicato su G.U. n. 135 del 13/06/2018) - emanato ai sensi dell'art. 63, c. 4 del decreto legislativo n. 152/2006 - è stata infine data definitiva operatività al processo di riordino delle funzioni in materia di difesa del suolo e di tutela delle acque avviato con Legge 221/2015 e con D.M. 294/2016.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, in base alle norme vigenti, ha fatto proprie le attività di pianificazione e programmazione a scala di Bacino e di Distretto idrografico relative alla difesa, tutela, uso e gestione sostenibile delle risorse suolo e acqua, alla salvaguardia degli aspetti ambientali svolte dalle ex Autorità di Bacino Nazionali, Regionali, Interregionali in base al disposto della ex legge 183/89 e concorre, pertanto, alla difesa, alla tutela e al risanamento del suolo e del sottosuolo, alla tutela quali-quantitativa della risorsa idrica, alla mitigazione del rischio idrogeologico, alla lotta alla desertificazione, alla tutela della fascia costiera ed al risanamento del litorale (in riferimento agli articoli 53, 54 e 65 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.).

La pianificazione di bacino fino ad oggi svolta dalle ex Autorità di Bacino ripresa ed integrata dall'Autorità di Distretto, costituisce riferimento per la programmazione di azioni condivise e partecipate in ambito di governo del territorio a scala di bacino e di distretto idrografico.

4.3.1 Piano Assetto Idrologico (PAI)

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Il PAI trova applicazione nei territori su cui ha competenza l'Autorità di Bacino della Puglia, definiti secondo le indicazioni contenute nella Legge 183/89 e nelle delibere del Consiglio regionale n. 109 del



18 dicembre 1991 e n. 110 del 18 dicembre 1991 in cui si stabilisce apposita intesa con le Regioni Basilicata e Campania per il governo sul bacino idrografico interregionale del fiume Ofanto e dalla Legge Regionale n. 12 del 20/04/2001 riguardante l'intesa raggiunta tra le Regioni Abruzzo, Campania, Molise e Puglia per l'istituzione dell'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore.

L'assetto idrogeologico comprende:

- a) l'assetto idraulico riguardante le **aree a pericolosità e a rischio idraulico**;
- b) l'assetto dei versanti riguardante le aree a pericolosità e a rischio di frana.

4.3.1.1 Classi di Pericolosità idraulica

Il PAI individua e perimetra a scala di bacino le aree inondabili per eventi con tempo di ritorno assegnato e le classifica in base al livello di pericolosità idraulica.

Si individuano le seguenti tre classi di aree a diversa pericolosità idraulica:

1) per le aree studiate su base idraulica:

- a) **Aree a pericolosità idraulica alta (AP)**: aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;
- b) **Aree a pericolosità idraulica moderata (MP)**: aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 e minore o uguale a 200 anni;
- c) **Aree a pericolosità idraulica bassa (BP)**: aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 e minore o uguale a 500 anni.

L'elenco degli interventi consentiti in corrispondenza delle aree di pericolosità idraulica si riporta negli artt. 7,8 e 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI Regione Puglia.

Nelle aree a bassa probabilità idraulica sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale, senza l'obbligo di presentazione dello studio di compatibilità idraulica. Secondo le NTA, *"Per tutti gli interventi nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata"* (Norme Tecniche di Attuazione PAI, art.9 Interventi consentiti nelle aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.)).

Nelle aree ad alta e media probabilità di inondazione è consentita la realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata, con l'obbligo di presentazione dello studio di compatibilità idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Inoltre, per le aree a media pericolosità idraulica sono consentiti *"ulteriori tipologie di intervento a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, previo parere favorevole dell'autorità idraulica competente e dell'Autorità di Bacino sulla coerenza degli interventi di messa in sicurezza anche per ciò che concerne le aree adiacenti"* (Norme Tecniche di Attuazione PAI, art.8 Interventi consentiti nelle aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.)). Ai sensi del comma 2 del medesimo articolo 8 *"Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata."*

Nel lotto 1 risultano presenti le fasce di pericolosità idraulica media e bassa (Figura 4-7).



Figura 4-7: Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Pericolosità idraulica Puglia/Ofanto UoM ITR1611020

Come riportato precedentemente, nel lotto 2 ricadente nel comune di Orta Nova non risultano presenti aree a pericolosità idraulica.

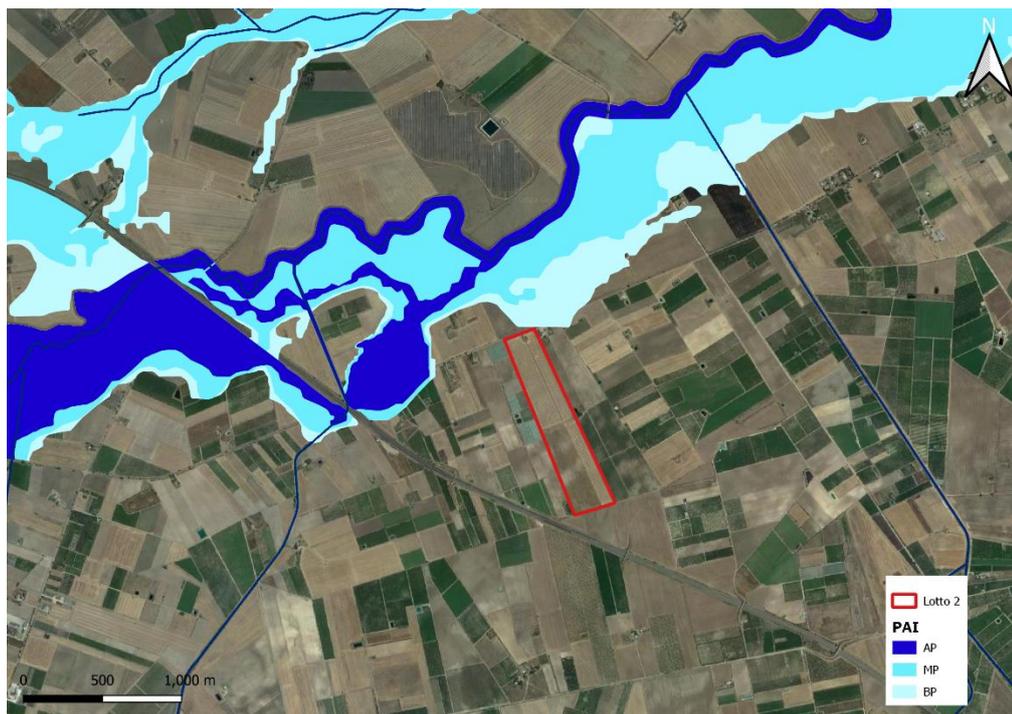


Figura 4-8: Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Pericolosità idraulica Puglia/Ofanto UoM ITR161I020 – Lotto 2

4.3.2 Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di Gestione del rischio alluvioni (PGRA) è lo strumento di riferimento nella pianificazione in ambito distrettuale della strategia per la gestione del rischio da alluvioni. In considerazione dell'art.7 co.6 lett. a) e b) del D.Lgs. 49/2010, gli Enti territorialmente interessati sono tenuti a conformarsi alle disposizioni del PGRA rispettandone le prescrizioni nel settore urbanistico, ai sensi dei commi 4 e 6 dell'articolo 65 del decreto legislativo n. 152 del 2006 e predisponendo o adeguando, nella loro veste di organi di protezione civile, per quanto di competenza, i piani urgenti di emergenza di cui all'articolo 67, comma 5, del decreto legislativo n. 152 del 2006, facendo salvi i piani urgenti di emergenza già predisposti ai sensi dell'articolo 1, comma 4, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, convertito, con modificazioni, dalla legge 3 agosto 1998, n. 267. Si specifica, inoltre, che dalla data di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale e sul Bollettini Regionali, negli ambiti perimetrati dalle mappe del PGRA e non ricompresi nei PAI, vigono misure di salvaguardia, le quali decadono con l'adozione del Decreto Segretariale di aggiornamento dei relativi PAI e, comunque, non oltre novanta giorni dalla data di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale e sui Bollettini Ufficiali delle Regioni della delibera di adozione di tali misure di salvaguardia da parte della Conferenza Istituzionale permanente.

La perimetrazione delle aree allagabili rispetto tre diversi livelli di pericolosità è disponibile sul geoportale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

4.3.2.1 Definizione degli scenari di probabilità nel Distretto

La definizione degli scenari di probabilità nel Distretto dell'Appennino Meridionale partendo dalle indicazioni fornite dal D.Lgs. 49/2010 tiene conto innanzitutto dell'origine dell'alluvione (fluviale, pluviale, marina da elevato trasporto solido). Per le alluvioni di origine fluviale i tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni sono i seguenti:

- a) **Aree ad alta pericolosità (HPH):** aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;
- b) **Aree a media pericolosità (MPH):** aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore o uguale a 200 anni;
- c) **Aree a bassa pericolosità (LPH):** aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 anni e minore o uguale a 500 anni.

Nell’area di progetto risultano presenti le fasce di pericolosità idraulica media e bassa.

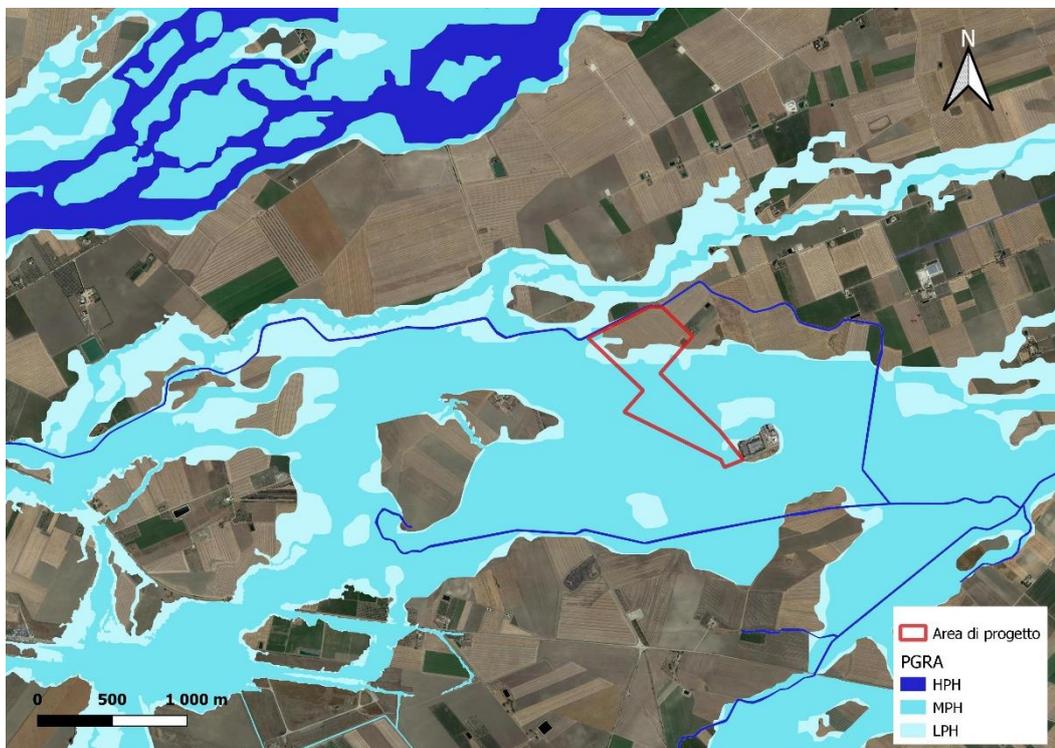


Figura 4-9: stralcio PGRA – Estensione dell’area allagabile associata a tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Il PGRA riporta anche la stima della portata associata a ciascuno degli scenari per i rami più importanti del distretto idrografico tra i quale anche l’asta principale del Canale Carapelluzzo.

La sezione dove sono state rilevate le portate risulta essere circa 500 metri a monte dell’area di progetto ed i valori associati sono i seguenti:

- a) **Aree ad alta pericolosità (HPH):** non rilevato;
- b) **Aree a media pericolosità (MPH):** 20,6 mc/s;
- c) **Aree a bassa pericolosità (LPH):** 40 mc/s.

5. ANALISI IDROLOGICA

5.1 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO

L'evento di pioggia di progetto alla base dei calcoli idrologici e della simulazione/dimensionamento idraulico è scelto in base al concetto di tempo di ritorno.

Il periodo di ritorno di un evento, definito anche come “tempo di ritorno”, è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Oltre al concetto di tempo di ritorno vi è poi la probabilità che un evento con tempo di ritorno T si realizzi in N anni:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Il grafico riportato di seguito esprime il rischio di superare l'evento con tempo di ritorno T durante N anni.

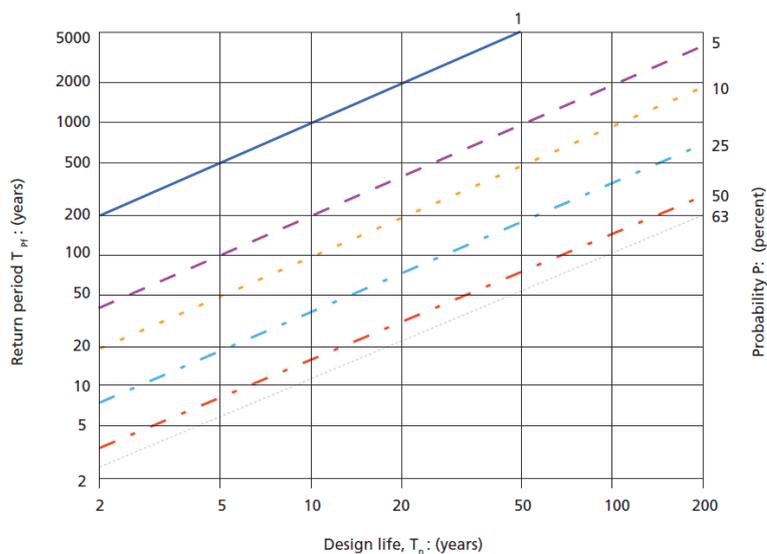


Figura 5-1: Probabilità che un evento con determinate Tempo di ritorno si verifichi in N anni.

Oggetto di studio è la stima delle condizioni di sicurezza idraulica, come definite dall'art. 36 del PAI, per possibili esondazioni dei canali Carapelluzzo e Pescaia, affluenti del torrente Carapelle, a seguito di eventi meteorici aventi tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni, e per i quali valgono le disposizioni di cui gli artt. 6 e 10 dalle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

I tempi di ritorno per il calcolo della precipitazione di progetto sono stati assunti pari a **50, 100 e 200 anni**.

5.2 ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

Per l'applicazione del metodo dell'invaso lineare, impiegato nella stima delle portate meteoriche superficiali è stato necessario determinare la curva di possibilità climatica caratteristica dell'area oggetto di intervento.

Secondo quanto previsto dalla “Relazione di Piano (dic. 2004) – AdB” lo studio idrologico a livello di bacino per la determinazione delle portate attese con diversi tempi di ritorno è da condurre in conformità a quanto previsto dal progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionali di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) e deve in ogni caso tener conto dei dati raccolti dagli Uffici periferici dell'ex Servizio Mareografico e Idrografico Nazionale e da eventuali elaborazioni dei dati prodotti dagli stessi Uffici.

L'analisi pluviometrica è stata svolta sulla base dell'Analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 24 ore. Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987) in cui per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello è stato fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate (Gabriele e Liritano, 1994).

Il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia dal punto di vista dell'approccio pluviometrico, sulla base dei risultati ottenuti è stato pertanto suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica.

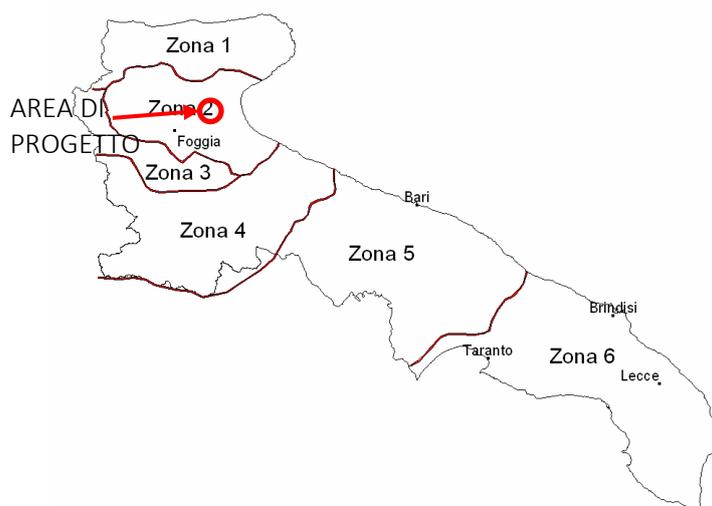
L'area in cui ricade l'intervento in oggetto è nella sottozona omogenea 2 della Puglia settentrionale, da cui risulta la seguente equazione determinante la CPP:

$$h(t, z) = 22,23 T_c^{0,247}$$

Dove:

$h(t, z)$ = Altezza della pioggia (mm) per fissata durata t e quota z ;

T_c = durata dell'evento pluviale (ore).



La Curva di Possibilità pluviometrica permette di stimare le altezze di precipitazione relative ad eventi pluviali con durate superiori ad 1h, in quanto i parametri di tale equazione vengono ottenuti mediante



l'analisi di eventi pluviometrici di lunga durata ($t > 60$ minuti). Nel caso di eventi brevi ($t < 60$ minuti) è possibile stimare le altezze di precipitazione mediante la legge di Bell:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

Dove:

$h_{60,T}$ = Altezza di precipitazione (mm) con durata pari a 60 min e fissato T;

s = coefficiente dipendente dalla regione in esame, per la Puglia assunto pari a 0,227.

A tali altezze di precipitazione vanno applicati inoltre coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al Fattore di Riduzione Areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in kmq, e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

Per le zone 1-2-3-4 (Puglia Settentrionale):

$$K_T = 0,5648 + 0,415 \ln T$$

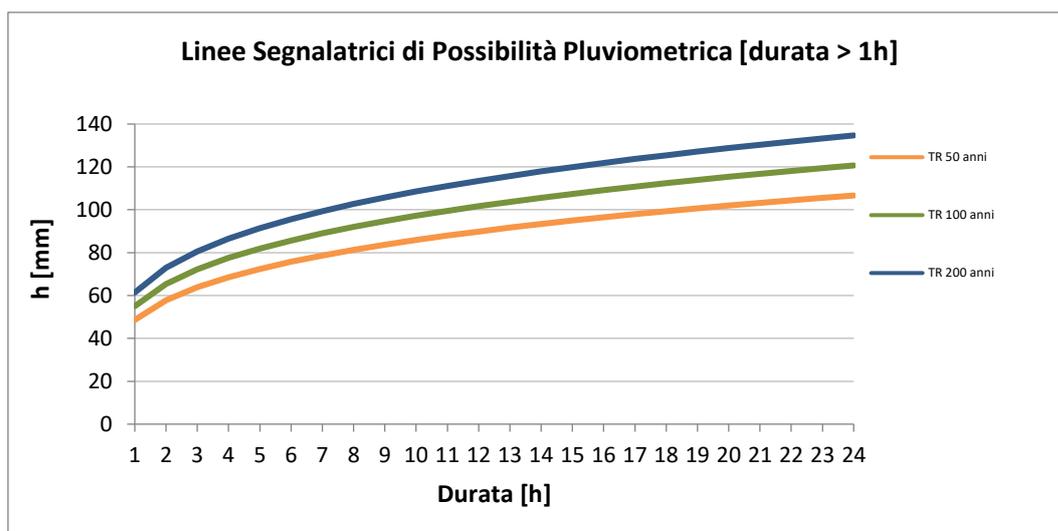
dove T è il Tempo di Ritorno di progetto considerato.

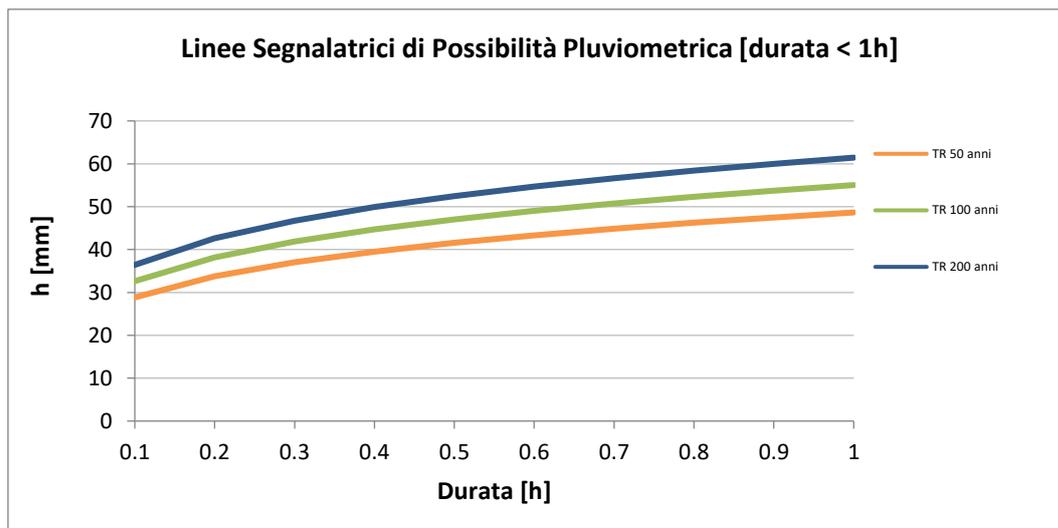
Nel caso in cui si debba condurre uno studio idrologico in un'area estesa, la precipitazione deve essere ragguagliata alla superficie del bacino idrografico considerato per tener conto del fatto che la precipitazione, calcolata come descritto in precedenza, è un valore puntuale e quindi va opportunamente ridotta di un valore (Fattore di Riduzione Areale) che dipende dall'estensione dell'area studiata e dalla durata dell'evento. Per quanto concerne il Fattore di Riduzione Areale K_A :

$$K_A = 1 - (1 - e^{-0.0021A}) \cdot e^{-0.53d^{0.25}}$$

Tale fattore di correzione è stato trascurato nel contesto di progetto in quanto i bacini idrografici di riferimento risultano di estensione limitata.

Di seguito si riportano le Curve di Possibilità pluviometrica distinte per eventi pluviali di durata superiore o inferiore ad 1h e per tempi di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni.





Nella tabella seguente si riportano inoltre, per diverse durate (0,5 -24 h), i valori delle altezze di precipitazione $h_T(t)$ espresse in mm, con tempi di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni.



Tabella 5.1: Altezza di pioggia per le diverse durate

DURATA EVENTO CRITICO [H]	ALTEZZA PIOGGIA CRITICA PER TR 50 ANNI [MM]	ALTEZZA PIOGGIA CRITICA PER TR 100 ANNI [MM]	ALTEZZA PIOGGIA CRITICA PER TR 200 ANNI [MM]
0,5	42	47	52
1	49	55	61
2	58	65	73
3	64	72	81
4	69	78	87
5	72	82	91
6	76	86	96
7	79	89	99
8	81	92	103
9	84	95	106
10	86	97	108
11	88	100	111
12	90	102	113
13	92	104	116
14	93	106	118
15	95	107	120
16	96	109	122
17	98	111	124
18	99	112	125
19	101	114	127
20	102	115	129
21	103	117	130
22	104	118	132
23	106	119	133
24	107	121	135

5.3 DEFINIZIONE BACINO IDROGRAFICO

Nel presente paragrafo si identifica l’area scolante e le principali caratteristiche sulla base delle quali calcolare le portate idrologiche di riferimento.

Il sito in oggetto è caratterizzato dalla presenza di due canalizzazioni, una a nord del sito e una posizionata a sud, entrambi appartenenti al reticolo idrografico minore ed entrambi suscettibili di possibili esondazioni.

È stata eseguita una simulazione del modello digitale del terreno disponibile con lo scopo di identificare le principali informazioni morfologiche ed idrologiche a scala di bacino (pendenze e isoipse, linea spartiacque, rete principale e secondaria).

Attraverso il modello digitale del terreno Tinitaly di risoluzione 10x10, sono stati rilevati i bacini dei corsi episodici in analisi. In Figura 5-2 vi è una rappresentazione dei bacini identificati di tali canali, dalla sorgente alle loro affluenze nel canale Peluso, che identifichiamo come sezione di chiusura.

I canali in analisi sono affluenti del canale Peluso, che si immetterà nel fiume Carapelle più ad est.

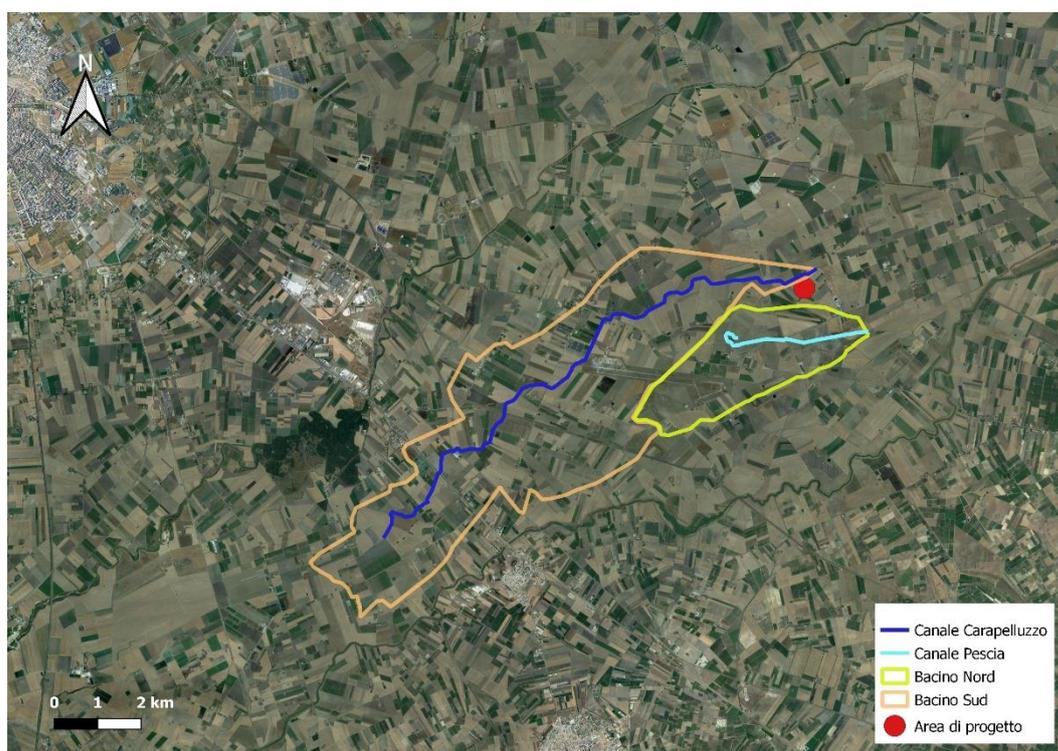


Figura 5-2: Bacini (in giallo e arancione) dei corsi d’acqua in analisi (in blu e celeste), secondo il DTM 10x10 m Tinitaly. In rosso l’area di progetto.

5.4 VALUTAZIONE PIOGGIA EFFICACE (NETTA)

La determinazione della pioggia efficace ovvero della porzione di volume della precipitazione che contribuisce effettivamente alla formazione dell’onda di piena è stata eseguita applicando il “metodo percentuale” ϕ .

Questo metodo ipotizza che le perdite costituiscano una percentuale costante della quantità di pioggia durante l’evento.

Si considera il coefficiente di deflusso ϕ , caratteristico dell’evento nella sua totalità, come rapporto tra il volume di precipitazione netta (P_{netta}) ed il volume di precipitazione totale (P):



$$\varphi = \frac{P_{\text{netta}}}{P}$$

Al fine di ottenere lo ietogramma di pioggia netta, la pioggia sintetica “di progetto” viene moltiplicata per il parametro φ , ammettendosi così che i fenomeni di infiltrazione e perdita idrica siano costanti durante tutta la durata dell’evento piovoso.

L’area in analisi si sviluppa su aree seminative di tipo semplice ed il terreno, come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Secondo l’analisi dell’Autorità di Bacino della Puglia, aggiornata al 2013, riguardo la stima del Curve Number (CN) e della capacità di assorbimento delle diverse unità geolitologiche della regione (metodo SCS-CN), il terreno in esame ricade nelle categorie di permeabilità di tipo B e D.

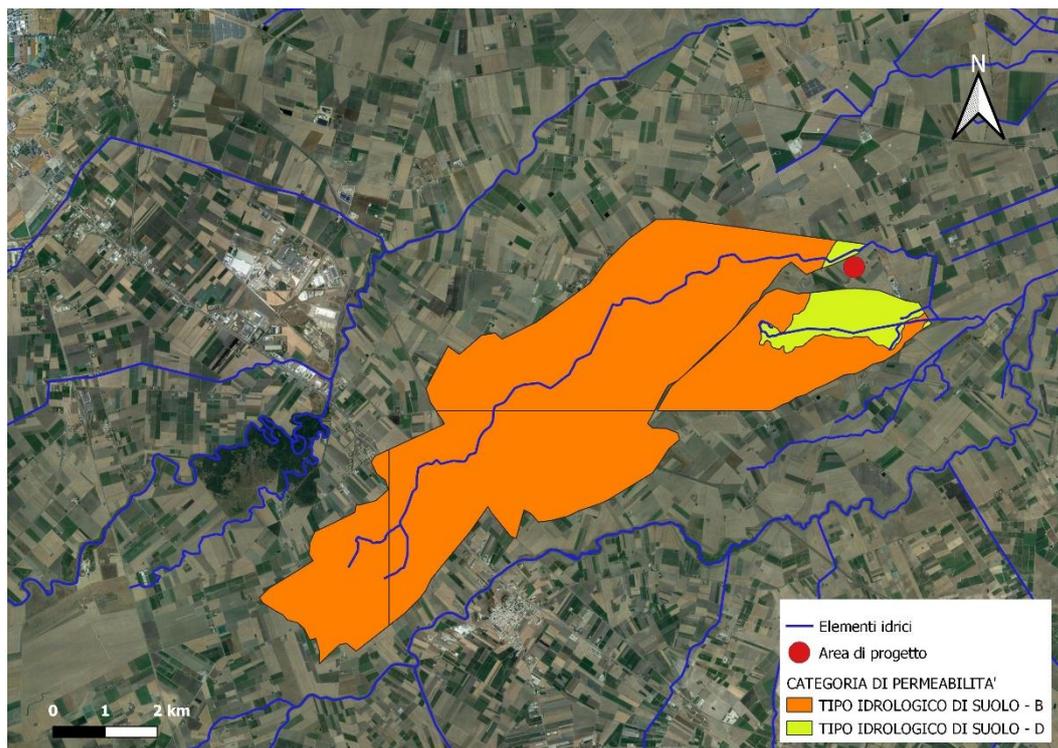


Figura 5-3: Categoria di permeabilità a scala di bacino (Fonte: AdBP Carapelle - Allegato 1.2.1). In rosso l'area di progetto.

Tabella 5.2: Raggruppamento delle unità geolitologiche in classi di permeabilità con indicazione della superficie interessata nella Regione Puglia e della percentuale rispetto alla superficie complessiva del territorio regionale.

UNITA' GEOLITOLOGICA	Area km ²	%	CLASSE
Carbonati di margine e scarpata. Paleogene Carbonati di piattaforma. Giurassico-Cretacico Carbonati di scarpata. Giurassico-Cretacico Conglomerati di ambiente di transizione. Pliocene Conglomerati e ghiaie con lenti sabbiose di ambiente di transizione e/o continentale. Pleistocene inf. Gessi di ambiente evaporitico e carbonati di ambiente di transizione (Punta delle Pietre Nere). Triassico Ghiaie e conglomerati di ambiente alluvionale (depositi continentali terrazzati). Pleistocene medio Sabbie di piana costiera. Pleistocene sup. - Olocene	8075	42,11	A
Areniti silicoclastiche e/o carbonatiche di ambiente di transizione. Pliocene Carbonati di piattaforma aperta. Pliocene medio - Pleistocene inf. Ghiaie e pietrischi di versante e di conoide alluvionale. Pleistocene sup. - Olocene Sabbie e arenarie, ghiaie e conglomerati, calcareniti, silt e argille di ambiente di transizione e/o continentale (depositi marini terrazzati). Pleist. medio - sup. Sabbie e areniti con lenti argillose e ghiaioso-conglomeratiche di ambiente di transizione e/o continentale. Pleistocene inf. Sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale (depositi continentali terrazzati). Pleistocene sup. - Olocene	7584	39,55	B
Alternanze arenaceo-peltiliche di ambiente torbiditico. Miocene Alternanze calcareo-argillose di ambiente torbiditico. Miocene Breccie calcaree di versante. Pleistocene Carbonati di bacino. Giurassico-Cretacico Carbonati di piattaforma aperta. Paleogene-Miocene Materiali caotici ed eterogenei (corpi di frana). Pleistocene sup. - Olocene Silt, argille, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale (depositi di fondovalle). Pleistocene sup. - Olocene	2021	10,54	C
Argille, argille siltose e argille marnose di piattaforma. Pliocene medio - Pleistocene medio Complesso argilloso caotico da mélange tettonico. Cretacico - Miocene Rocce ignee (Punta delle Pietre Nere). Terzario sup Silt e argille da colmata antropica. Olocene Silt e argille lagunari e palustri. Pleistocene sup. - Olocene Silt e argille residuali, eluviali e colluviali. Pleistocene sup. - Olocene	1495	7,80	D

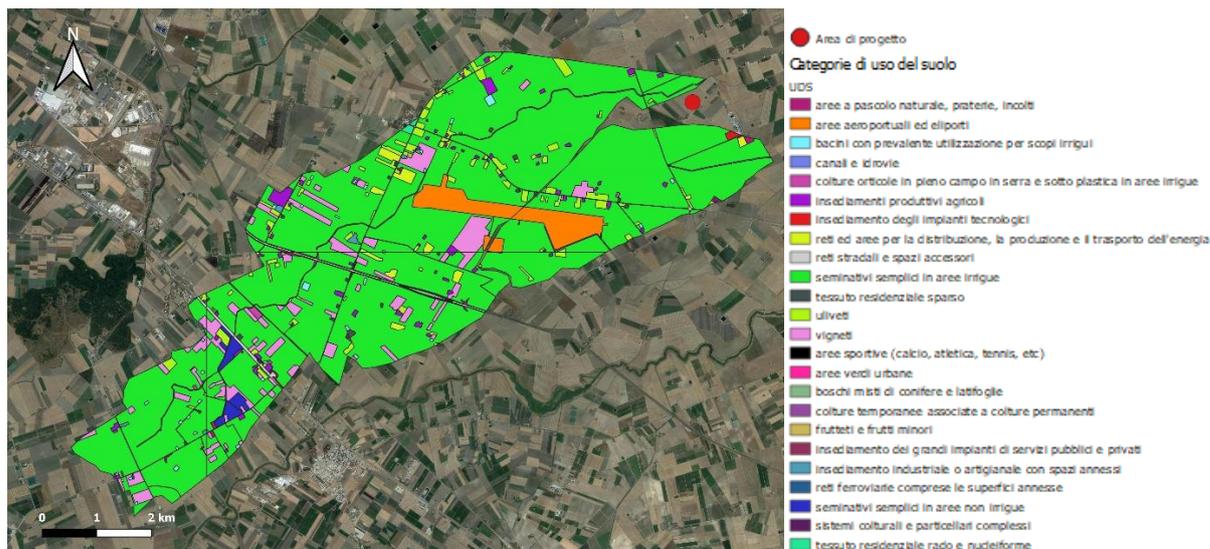


Figura 5-4: Categorie di uso del suolo a scala di bacino. In rosso l'area di progetto.

Si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena.

A seconda di tale valore, vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

Nella figura di seguito si riporta il grafico di correlazione CN-SCS/coefficiente di deflusso e Altezza di Pioggia/coefficiente di deflusso.

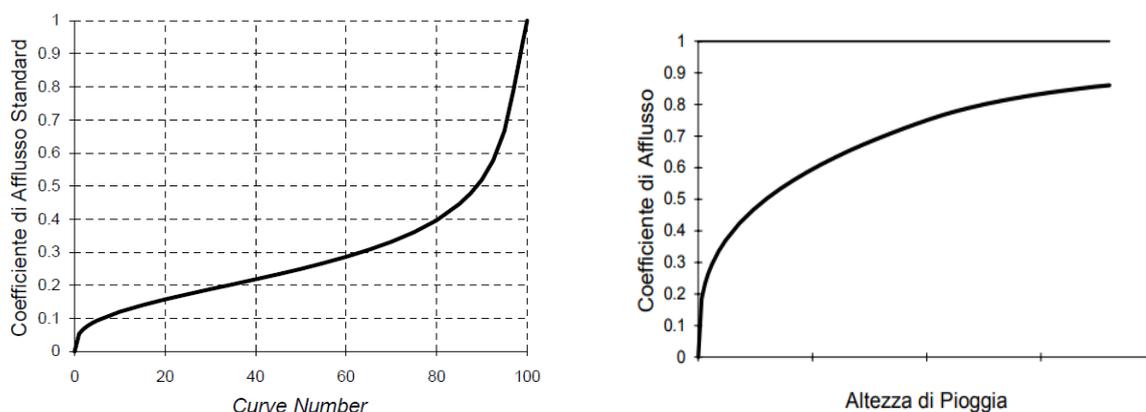


Figura 5-5: A sinistra, correlazione da letteratura SCS-CN vs. coeff. afflusso/deflusso. A destra, correlazione da letteratura Altezza di Pioggia vs. coeff. afflusso/deflusso

Per ogni bacino è stato calcolato il CN(II) medio ponderale, pesato rispetto alla superficie, assegnando ad ogni superficie caratterizzata da un valore di tipo idrologico di suolo e di uso del suolo un valore, secondo la seguente tabella (da letteratura):



Tabella 5.3: Determinazione dei valori di Curve Number per le categorie di uso del suolo della CTR Puglia

Categorie di uso del suolo	Macrocategoria associata	A	B	C	D
Acquaculture	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Altre colture permanenti	Terre coltivate con trattamenti di conservazione del suolo	62	71	78	81
aree a pascolo naturale, praterie, incolti	Pasolo in cattive condizioni	68	79	86	89
aree a ricolonizzazione artificiale (rimboschimenti nella fase di novelleto)	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
aree a ricolonizzazione naturale	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
aree a vegetazione sclerofilla	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Aree aeroportuali ed eliporti	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Aree agroforestali	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Aree archeologiche	Terreno incolto	77	86	91	94
Aree con vegetazione rada	Pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Aree estrattive	Superfici al 100 % permeabili	0	0	0	0
Aree interessate da incendi o altri eventi dannosi	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Aree per gli impianti delle telecomunicazioni	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Aree portuali	Parcheggi, tetti, strade carrabili	98	98	98	98
Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali	Terre coltivate con trattamenti di conservazione del suolo	62	71	78	81
Aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Aree verdi urbane	Aree residenziali (12 % impermeabili)	46	65	77	82
Bacini con prevalentemente utilizzazione per scopi irrigui	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Boschi di conifere	Boschi con copertura media	36	60	73	79
Boschi di latifoglie	Boschi con copertura media	36	60	73	79
Boschi misti di conifere e latifoglie	Boschi con copertura media	36	60	73	79
Campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalows o simili	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Canali e idrovie	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Cantieri e spazi in costruzione e scavi	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Cespuglieti e arbusteti	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Cimiteri	Aree residenziali (38 % impermeabili)	61	75	83	87
Colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue	Colture in filari, dritti in cattive condizioni	72	81	88	91
Colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree non irrigue	Colture in filari, dritti in cattive condizioni	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanenti	Terre coltivate con trattamenti di conservazione del suolo	62	71	78	81
Depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95



Categorie di uso del suolo	Macrocategoria associata	A	B	C	D
Discariche e depositi di cave, miniere, industrie	Terreno incolto	77	86	91	94
Estuari	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Fiumi, torrenti e fossi	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Frutteti e frutti minori	Colture in filari dritti in buone condizioni	67	78	85	89
Grandi impianti di concentrazione e smistamento merci	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Insedimenti ospedalieri	Aree commerciali (72 % impermeabili)	81	88	91	93
Insedimenti produttivi agricoli	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Insedimento commerciale	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Insedimento degli impianti tecnologici	Aree commerciali (72 % impermeabili)	81	88	91	93
Insedimento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Insedimento in disuso	Aree residenziali (38 % impermeabili)	61	75	83	87
Insedimento industriale o artigianale con spazi annessi	Aree commerciali (72 % impermeabile)	81	88	91	93
Lagune, laghi e stagni costieri	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Paludi interne	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Paludi salmastre	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Parchi di divertimento (acquapark, zoosafari e simili)	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Prati alberati, pascoli alberati	Pascolo in condizioni medie	49	69	79	84
Reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Reti ferroviarie comprese le superfici annesse	Strade in ghiaia	76	85	89	91
Reti stradali e spazi accessori	Strade pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	98
Rocce nude, falesie e affioramenti	Terreno incolto	77	86	91	94
Saline	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Seminativi semplici in aree irrigue	Grano in buone condizioni (filari dritti)	63	75	83	87
Seminativi semplici in aree non irrigue	Grano in cattive condizioni (filari dritti)	65	76	84	88
Sistemi colturali e particellari complessi	Terre coltivate senza trattamenti di conservazione del suolo	72	81	88	91
Spiagge, dune, sabbie	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Suoli rimaneggiati e artefatti	Terreno incolto	77	86	91	94
Superfici a copertura erbacea densa	Pascolo in condizioni medie	49	69	79	84
Tessuto residenziale continuo antico e denso	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Tessuto residenziale continuo, denso, recente e alto	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Tessuto residenziale discontinuo	Aree residenziali (65 % impermeabile)	77	85	90	92
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	Aree residenziali (38 % impermeabili)	61	75	83	87
Tessuto residenziale sparso	Aree residenziali (30 % impermeabili)	57	72	81	86
Uliveti	Colture in filari dritti in buone condizioni	67	78	85	89
Vigneti	Colture in filari dritti in buone condizioni	67	78	85	89

I valori di permeabilità riportati in Tabella 5.3 sono relative al Curve Number in condizioni di umidità antecedenti l'evento CN (II).



Di seguito i valori del CN(II) medio ponderale ottenuti per i bacini Nord e Sud:

BACINO	CN(II) MEDIO PONDERALE
Nord	76
Sud	80

Basandosi su fonte da letteratura e sulle curve sopra riportate e in base alla durata degli eventi critici e ai CN calcolati, i parametri ϕ sono stati quindi assunti pari a **0,40** sia per il bacino Nord che per quello Sud.

5.5 CALCOLO PORTATE CRITICHE – METODO AFFLUSSI/DEFLUSSI

La portata valutata in sezione di chiusura, o a valle dell’area di impianto, è stata calcolata usando la formula razionale.

Per calcolare le portate di scolo dal bacino imbrifero, si è determinato l’evento critico, cioè l’evento meteorico che produce la massima portata al colmo (portata critica). A tal fine si è adottato il modello cinematico (o della corrivazione).

Ipotizzando che la precipitazione sia a intensità costante e che la curva tempi aree del bacino sia lineare, la durata critica coincide con il tempo di corrivazione del bacino e la portata critica (portata di progetto) è data dall’espressione:

$$Q_P = \phi \cdot \frac{i(T_0, t_C) \cdot A}{360}$$

Dove:

Q_P = portata critica (netta) [m³/s];

ϕ = coefficiente di deflusso, mediante il quale si tiene conto delle perdite per infiltrazione e detenzione superficiale [adimensionale];

$i(T_0, t_C)$ = intensità media della precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (t_C - min) ed avente un tempo di ritorno (T – anni) [mm/h];

A = superficie del bacino [ha].

Il valore del tempo di corrivazione è stato calcolato come somma del tempo di entrata in rete più il tempo di rete. Il tempo di ritorno per questa modellazione idraulica è stato assunto pari a **50, 100 e 200 anni**.

Sulle base di queste considerazioni, i parametri geomorfologici e i risultati delle portate di valle per i bacini Carapelluzzo e Pescia sono riportati nelle tabelle seguenti.



Tabella 5.4: Parametri geomorfologici per i bacini Carapelluzzo e Pesca

BACINO	CARAPELLUZZO	PESCIA
S [ha]	3 102.24	811.27
L _{asta} [m]	14050	3793
t _c [h]	6,75	2,01

Tabella 5.5: Valutazione portate per i bacini Carapelluzzo e Pesca per tempo di ritorno T di 50 anni

BACINO T=50 ANNI	CARAPELLUZZO	PESCIA
Kt [-]	2,19	2,19
h(t) [mm]	78	57
Intensità [mm/h]	12	28
Coeff. deflusso	0,40	0,40
Portata al colmo [mc/s]	39,79	25,60



Tabella 5.6: Valutazione portate per i bacini Carapelluzzo e Pesca per tempo di ritorno T di 100 anni

BACINO T=100 ANNI	CARAPELLUZZO	PESCIA
Kt [-]	2,48	2,48
h(t) [mm]	88	64
Intensità [mm/h]	13	32
Coeff. deflusso	0,40	0,40
Portata al colmo [mc/s]	45,02	28,97

Tabella 5.7: Valutazione portate per i bacini Carapelluzzo e Pesca per tempo di ritorno T di 200 anni

BACINO T=200 ANNI	CARAPELLUZZO	PESCIA
Kt [-]	2.76	2.76
h(t) [mm]	98	72
Intensità [mm/h]	15	36
Coeff. deflusso	0,40	0,40
Portata al colmo [mc/s]	50,25	32,33

In questa fase è stato assunto un idrogramma avente una portata di picco pari a 40 mc/s, in accordo con la massima portata estratta dai valori notevoli del PGRA per il ramo principale del Canale Carapelluzzo, nelle fasi successive della modellazione saranno utilizzati degli idrogrammi determinati tramite modello afflusso-deflussi per ognuno dei periodi di ritorno considerati e per entrambi i bacini idrografici oggetto di studio.

A vantaggio di sicurezza, non potendo verificare e calibrare il modello afflussi-deflussi con delle misure rilevate di portata è stato considerato come input al modello idraulico l'intera portata idrologica dei bacini idrografici, trascurando quindi eventuali esondazioni poste più a monte dell'area di studio e i rispettivi ritardi sulla propagazione del picco di piena.



6. ANALISI E VERIFICA IDRAULICA

6.1 MODELLAZIONE

Il modello idraulico presenta le seguenti ipotesi:

- **Ietogramma rettangolare:** basato sull'assunzione che l'evento di pioggia critico (ovvero massimizzante la portata) sia caratterizzato da una durata pari al tempo di corrivazione del bacino idrografico ed un'intensità costante concorde con quanto definito dal LSPP costruite con il metodo VAPI;
- **Pioggia efficace netta:** calcolata con il metodo percentuale;
- **Curva Area tempi del bacino idrografico:** lineare;
- **Moto all'interno dei canali principali:** monodimensionale;
- **Moto al di fuori dei canali principali:** bidimensionale (2D flow areas);
- **Conessione tra alveo principale ed aree allagabili:** Lateral structures (strutture arginali) con assegnata legge di efflusso a stramazzo.

6.1.1 Software HEC-RAS

Lo studio idraulico del deflusso di piena dei corsi episodici in analisi, è stato sviluppato mediante l'impiego di un software (HEC-RAS, *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*, versione 6.3.1.) in grado di operare in condizioni di moto vario monodimensionale e bidimensionale (portata e geometria dell'alveo variabile).

Questo modello permette di calcolare la variazione del pelo libero per condizioni di moto vario monodimensionale all'interno dell'alveo principale del canale, consente una valutazione della portata tracimabile oltre le arginature ed una stima delle aree allagabili e del relativo tirante idraulico tramite una simulazione bidimensionale delle aree poste oltre le arginature. Il sistema può considerare sia una rete completa di canali, sia un sistema endoreico e sia infine un singolo corso d'acqua.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale.

Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica.

L'equazione dei momenti è utilizzata nelle situazioni in cui il pelo libero dell'acqua subisce variazioni repentine. Questa situazione comprende la valutazione in corrente mista (es: risalto idraulico), dell'idraulica dei ponti e dei profili in corrispondenza della confluenza tra diversi corsi d'acqua.

L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua può essere considerata nei calcoli idraulici.

6.1.2 Ipotesi di moto

Per quanto riguarda le procedure di calcolo HEC-RAS distingue il caso monodimensionale, eseguibile sia in condizioni stazionarie sia in condizioni di moto vario, ed il caso bidimensionale eseguibile solo in condizioni non stazionarie. Nel caso monodimensionale in condizioni stazionarie, ovvero quando si considera soltanto la componente di velocità nella direzione longitudinale del moto, il calcolo dei profili di corrente si basa sulla risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive 1 e 2 mediante il processo iterativo noto come standard step. Il metodo standard step a passo fissato è una procedura iterativa che consente di determinare la differenza di tirante idraulico tra due sezioni successive la prima con tirante noto e la seconda con tirante ignoto poste a distanza nota



Il programma calcola le perdite di carico che come la somma tra le perdite distribuite e le perdite concentrate e per il calcolo di queste ultime richiede un valore di contrazione ed uno di espansione relativo a ciascuna delle sezioni trasversali dell’alveo fluviale. Per i coefficienti di perdita localizzata, sono stati assunti i valori standard da manuale di HEC-RAS (Tabella 6.1).

- L’effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d’acqua è stato considerato nei calcoli idraulici.

Tabella 6.1: valori tipici dei coefficienti di contrazione – espansione in caso di interferenze.

Subcritical Flow Contraction and Expansion Coefficients		
	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Il software esegue quindi una procedura iterativa: noti i coefficienti di espansione e contrazione relativi alle sezioni, i coefficienti di scabrezza dell’alveo e le condizioni al contorno ipotizza il tirante idrico della sezione ignota, calcola le perdite di carico, fino a verificare l’equazione di conservazione dell’energia, con assegnata tolleranza.

Per la modellazione del moto vario il programma utilizza le equazioni di De Saint Venant ovvero un sistema di due equazioni differenziali alle derivate parziali composto dall’equazione di continuità e dall’equazione del bilancio della quantità di moto.

A causa della complessità del modello geometrico del caso studio al fine di rendere sostenibili gli oneri computazionali si è assunta l’ipotesi semplificativa di onda diffusiva.

6.1.3 Modello geometrico della rete (Canale Carapelluzzo)

Per la realizzazione del modello geometrico fluviale sono state utilizzate le sezioni topografiche rese disponibili dal professionista Ing. Leo Baldo Petitti in data Dicembre 2022.

Il tratto in analisi misura circa 1,6 km e interessa l’attraversamento di 2 ponti. Per la caratterizzazione di tale tratto sono state considerate 43 sezioni rappresentative, nei pressi delle singolarità idrauliche o almeno ogni 50-100 metri, come indicato in Figura 6-1.

In relazione alle caratteristiche geometriche, morfologiche e planimetriche dei tratti analizzati, sono stati assunti distinti valori di scabrezza, espressi mediante il coefficiente n di Manning, definiti attribuendo un valore utilizzando l’equazione di Cowan (1956), in funzione della morfologia del fiume, in particolare di:

- Materiale dell’alveo;
- Grado di irregolarità;
- Variazione della sezione trasversale;
- Influenza delle ostruzioni;
- Presenza di vegetazione;
- Grado di tortuosità.

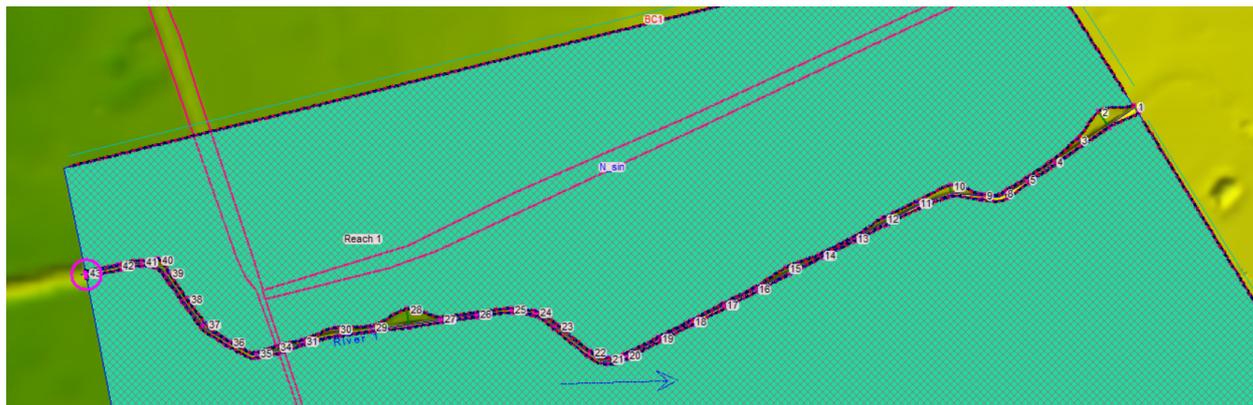


Figura 6-1: ID sezioni trasversali di alvei e ponti eseguite durante la fase di rilievo e inserite nel modello HEC-RAS

A favore di sicurezza sono stati considerati valori cautelativi di scabrezza anche in considerazione della possibile vegetazione presente.

6.1.4 Modello dei ponti

Lungo il tratto in analisi si è riscontrata la presenza di 2 ponti.

Ogni impalcato permette il sottopassaggio del canale rispetto alla strada. Talvolta le strade esistenti, essendo in rilevato, alterano localmente il moto del canale, creando una contropendenza e favorendo maggior allagamento a monte del ponte.

La geometria dei ponti è nota in seguito all’attività di rilievo. Di Seguito si riporta la documentazione fotografica dei ponti riscontrati nel tratto in analisi.

Con particolare riferimento alla modellazione idraulica dei ponti, HEC-RAS dispone di una completa serie di equazioni per l’analisi del flusso in condizioni di questi particolari manufatti. Senza entrare nel dettaglio e rimandando per maggiori ragguagli ai manuali tecnici, si richiamano brevemente i principali metodi a disposizione.

HEC-RAS è in grado di modellare situazioni di flusso così definite:

- Low flow: si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell’intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell’energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO;
- Weir flow: si innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;
- Pressure flow: si verifica quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l’equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.
- High flow: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l’equazione dell’energia.

6.2 RISULTATI SIMULAZIONE

Nell'immagine di seguito si mostra il risultato planimetrico della prima simulazione idraulica in regime di moto vario in condizioni di flusso misto monodimensionale (all'interno dell'alveo principale) e bidimensionale (al di fuori dello stesso).

L'idrogramma utilizzato è stato determinato tramite l'utilizzo di uno ietogramma rettangolare al quale sono stati applicati un calcolo delle precipitazioni efficaci tramite metodo percentuale e un modello afflussi deflussi di corrivazione caratterizzato da curva area-tempi lineare.

Inoltre l'idrogramma di ingresso al modello risulta avere una portata di picco di 40 mc/s.

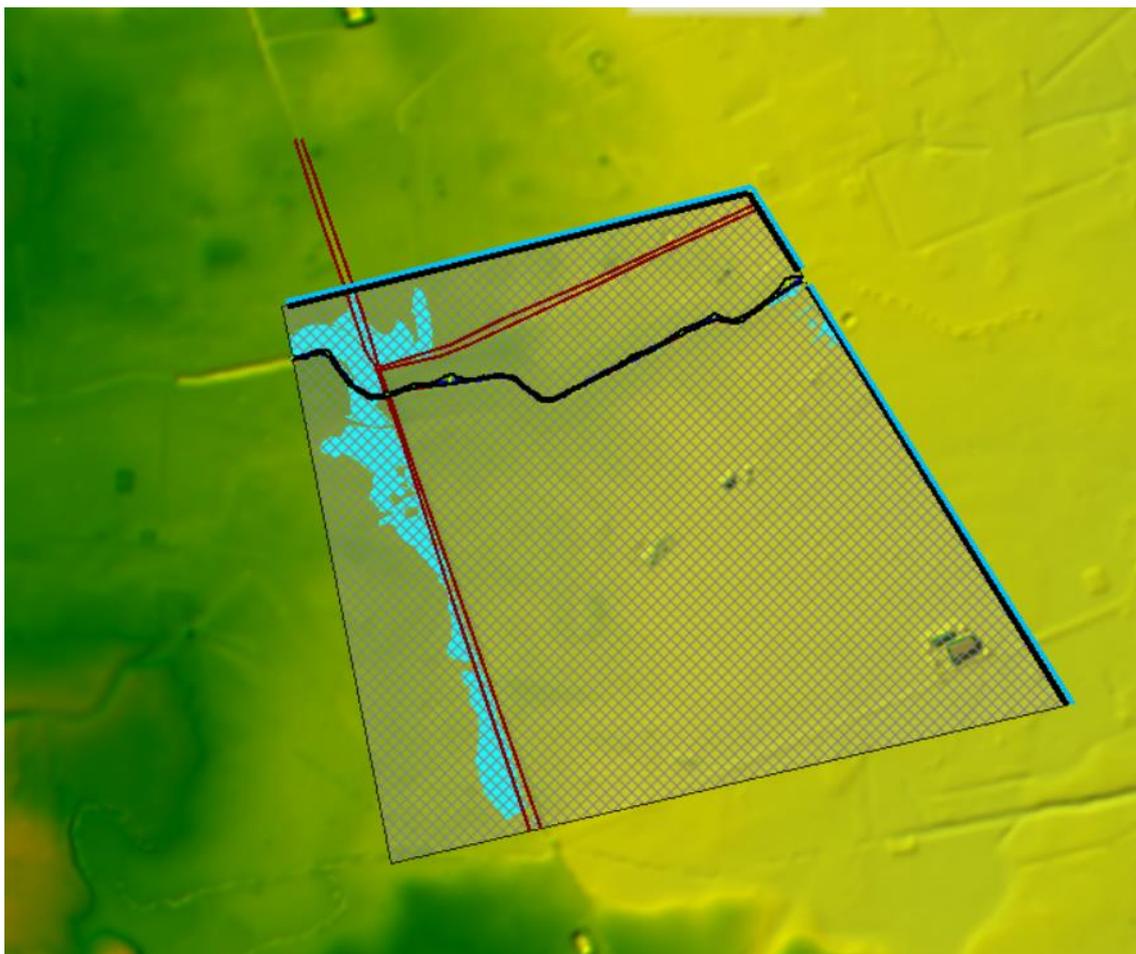


Figura 6-2 Modello Idraulico Canale Carapelluzzo



Figura 6-3 Allagamento atteso con portata di 40 cm/s

Si mostra per completezza la sezione del ponte e del rilevato stradale che rappresentano i principali vincoli del modello.

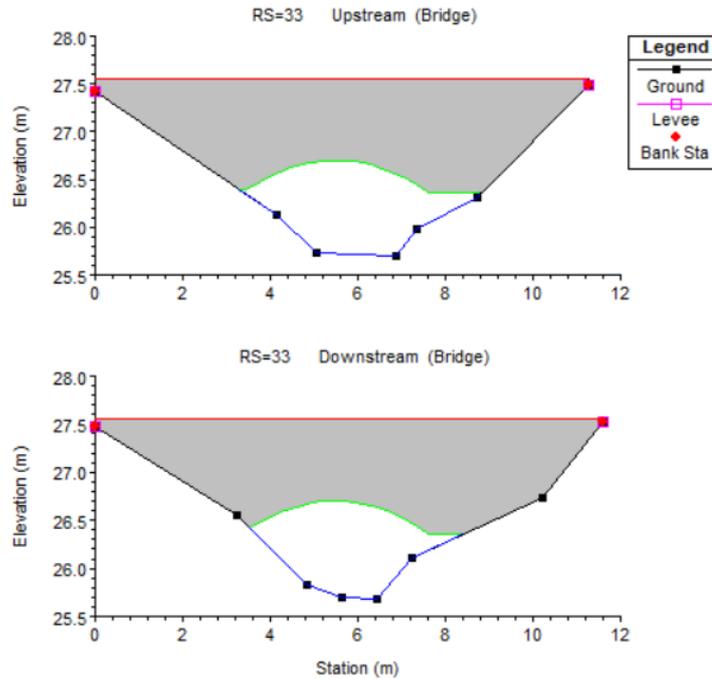


Figura 6-4 Sezione trasversale del ponte in sezione 33.

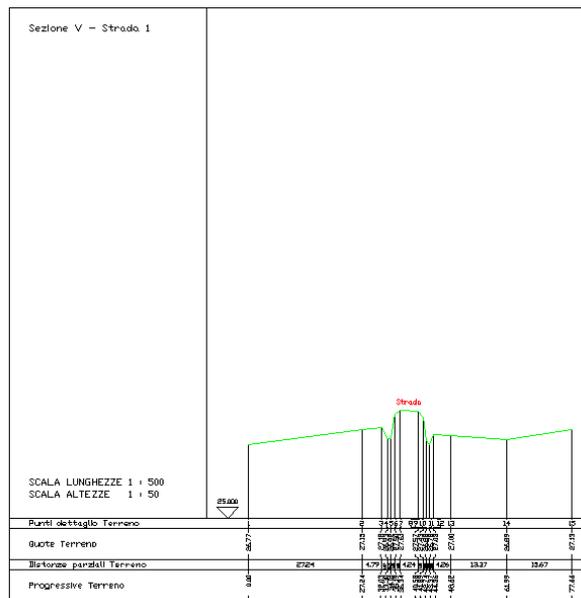


Figura 6-5 Sezione trasversale del rilevato stradale



7. CONCLUSIONI

L'analisi condotta nel presente studio ha avuto lo scopo di chiarire le condizioni di piena (Tempo di ritorno 200 anni) nel tratto indagato, in particolar modo nei pressi del layout di impianto, per evidenziare eventuali criticità o interferenze con l'impianto in progetto.

I confini del layout previsto ricadono all'interno delle fasce di pericolosità idraulica classificate media e bassa definite dal PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni).

Al fine di verificare la compatibilità dell'intervento sono state modellate tramite il software HEC-RAS:

- Il profilo di moto vario delle aste fluviali principali (mediante modellazione 1D);
- Le aree di allagamento al di fuori delle aste fluviali principali i tiranti idraulici attesi nelle zone allagabili (mediante modellazione 2D);

In questa fase è stato assunto un idrogramma avente una portata di picco pari a 40 mc/s, in accordo con la massima portata estratta dai valori notevoli del PGRA per il ramo principale del Canale Carapelluzzo, nelle fasi successive della modellazione saranno utilizzati degli idrogrammi determinati tramite modello afflusso-deflussi per ognuno dei periodi di ritorno considerati e per entrambi i bacini idrografici oggetto di studio.

A vantaggio di sicurezza, non potendo verificare e calibrare il modello afflussi-deflussi con delle misure rilevate di portata è stato considerato come input al modello idraulico l'intera portata idrologica dei bacini idrografici, trascurando quindi eventuali esondazioni poste più a monte dell'area di studio e i rispettivi ritardi sulla propagazione del picco di piena.

Il rilievo del sito ha mostrato la presenza di numerose strade realizzate in rilevato che possono fungere da arginature/deviatori delle portate esondate e la presenza di ponti caratterizzati da una esigua luce di passaggio (quantificabile in sezioni tra i 3 e i 7 mq). Da un primo modello 1D/2D qualitativamente si può osservare come il ponte a monte dell'area di progetto (Sezione rilevata n.33 del Canale Carapelluzzo) sia insufficiente idraulicamente e comporti un forte allagamento localizzato in corrispondenza del suo timpano di monte. Tale diffuso allagamento, unito alla presenza della strada in rilevato adiacente al ponte stesso forma una barriera tra le zone allagate e l'area di progetto.

Allo stato attuale il modello presentato è di una sola simulazione coerente in termini di portata con i dati estratti dal PGRA che sarà poi integrata con il modello di tutte le aste fluviali con ognuno dei tempi di ritorno analizzati nel capitolo dell'analisi idrologica.

A seguito della modellazione di tutte le simulazioni previste sarà possibile riscontrare eventuali allagamenti entro i confini del layout di impianto e valutarne quindi la compatibilità idraulica e la vulnerabilità.

Qualora si verifici un allagamento entro i confini del layout di impianto si valuterà la realizzazione di un argine a protezione idraulica del sito di altezza ipotizzata di 1 metro da piano campagna. Essendo il territorio pianeggiante dovrà essere valutato con la modellazione se la quota di 1 metro può essere relativa ad ogni tratto o se debba essere modificata lungo il percorso. Le dimensioni ipotizzate sono di 6 metri di base e di 1 metro di altezza con un'inclinazione sponda media di 1/2,5. Si suggerisce la messa a dimora di talee arbustive autoctone in quanto nel tempo produrranno un incremento di stabilità superficiale e massiva grazie allo sviluppo di radici.

L'argine, la sua altezza e l'ubicazione rimangono passibili di revisione a seguito dei risultati di tutte le simulazioni.

Allo stato attuale il modello presentato è di una sola simulazione coerente in termini di portata con i dati estratti dal PGRA che sarà poi integrata con il modello di tutte le aste fluviali con ognuno dei tempi di ritorno analizzati nel capitolo dell'analisi idrologica.

La prima modellazione ha mostrato come risultato qualitativo il non interessamento dell'area di progetto dalle esondazioni. La presente relazione sarà successivamente integrata con ulteriori verifiche di dettaglio sia dal punto di vista topografico sia dal punto di vista idrologico/idraulico aggiungendo all'analisi il canale Pescaia, che non risulta tuttavia interessato da dati idrologici del PGRA e anch'esso mostra la presenza di tombinate.

A seguito della modellazione di tutte le simulazioni previste sarà possibile riscontrare eventuali allagamenti entro i confini del layout di impianto e valutarne quindi la compatibilità idraulica e la vulnerabilità.

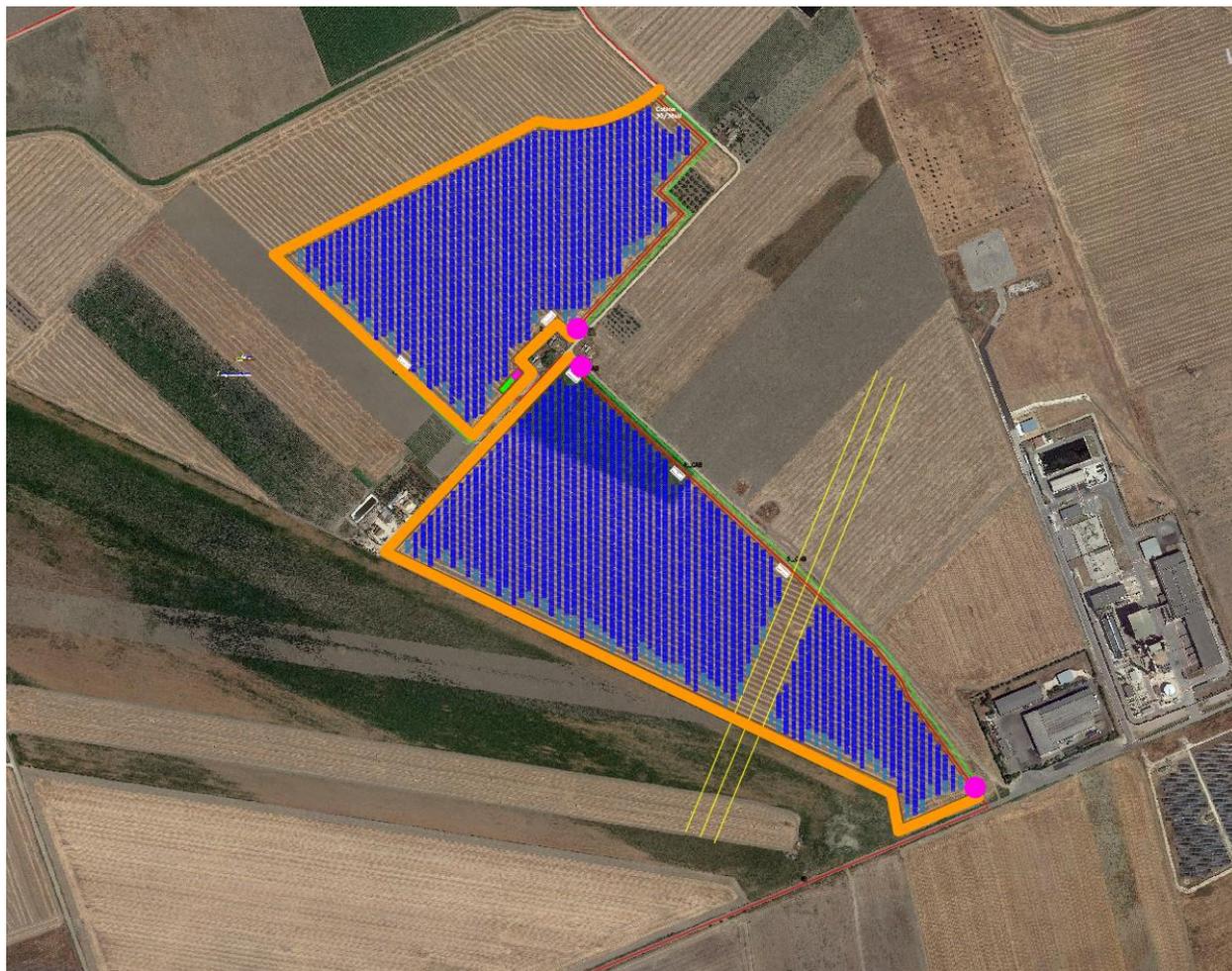


Figura 7-1: Indicazione del perimetro potenzialmente interessato dall'argine (linea arancione)

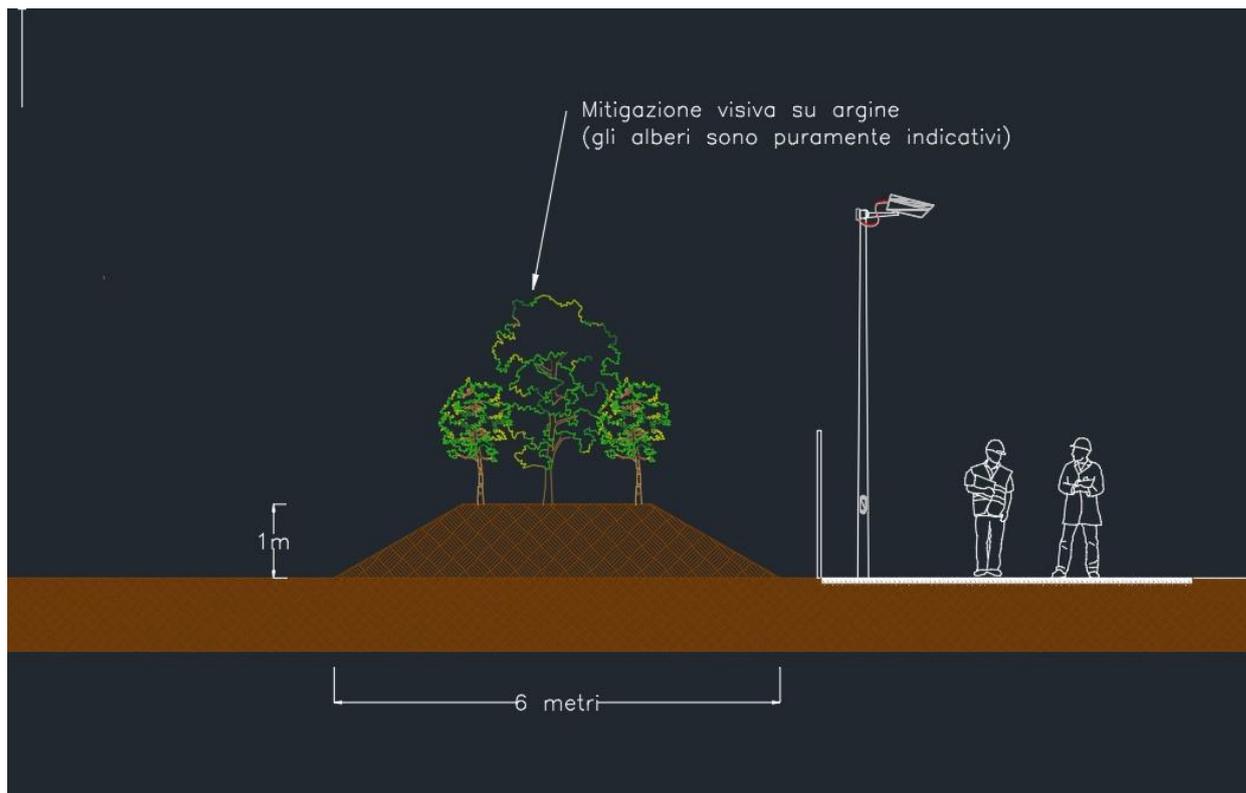


Figura 7-2: Sezione tipo argine per la messa in sicurezza idraulica del sito