



**REGIONE
PUGLIA**



**COMUNE DI SAN
GIOVANNI ROTONDO**



**PROVINCIA DI
FOGGIA**



**COMUNE DI
MANFREDONIA**



**COMUNE DI SAN
MARCO IN LAMIS**

IMPIANTO AGROVOLTAICO “LA FEUDALE” ED OPERE DI CONNESSIONE

RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido

00	15/06/2023	RECEPIMENTO RICHIESTE INTEGRAZIONI MASE REGISTRO UFFICIALE(U).0001433.10-02-2023	V.B.	E.S.	L.S.
<i>REV.</i>	<i>DATE</i>	<i>DESCRIPTION</i>	<i>PREPARED</i>	<i>VERIFIED</i>	<i>APPROVED</i>

VALIDO PER

IMPIANTO AGROVOLTAICO LA FEUDALE

PROGETTO

DEFINITIVO

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
2.1. Individuazione del bacino idrografico	6
3. INQUADRAMENTO VINCOLISTICO DEI PIANI DI SETTORE	8
3.1. Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI)	8
3.2. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	13
4. ANALISI IDROLOGICA	17
4.1. Caratterizzazione climatica dell'area di intervento	17
4.1.1. Comune di San Giovanni Rotondo	17
4.1.2. Comune di Manfredonia	20
4.1.3. Comune di San Marco in Lamis	23
4.2. Distribuzione statistica TCEV secondo la metodologia VAPI	26
4.3. Trasformazione Afflussi - Deflussi: Metodo CN - SCS	30
4.4. Schema idrologico del bacino	34
4.5. Stima del tempo di corrivazione	36
4.6. Stima del Curve Number	38
4.7. Stima degli ietogrammi per i sottobacini	40
4.8. Stima degli idrogrammi di progetto	42
5. ANALISI IDRAULICA	43
6. INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO, AREE PERIMETRATE DAL PAI E SOTTOSERVIZI .	47
7. DIMENSIONAMENTO DELLA RETE DI DRENAGGIO	50
8. CONCLUSIONI	61

1. PREMESSA

Il presente documento ha lo scopo di verificare la compatibilità idraulica del progetto di nuova realizzazione dell'impianto Agrivoltaico denominato "La feudale", per la generazione di energia elettrica proposto da Luminora La feudale s.r.l.. C.F. 16073411007 con Sede Legale in Roma Via Tevere 41 CAP 00198, nella Regione Puglia, ricadente nei territori comunali di Manfredonia (FG), San Giovanni Rotondo (FG) e San Marco in Lamis (FG).

La progettazione dell'impianto agrivoltaico, della potenza nominale pari a 32292,48 kWp, è stata sviluppata tenendo in considerazione una serie di criteri sociali, ambientali e territoriali, che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell'ambito territoriale considerato nel pieno rispetto degli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente, della protezione della salute umana e dell'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è situata nei territori comunali Manfredonia, San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis in provincia di Foggia. Di seguito si riportano gli inquadramenti territoriali su base satellitare:













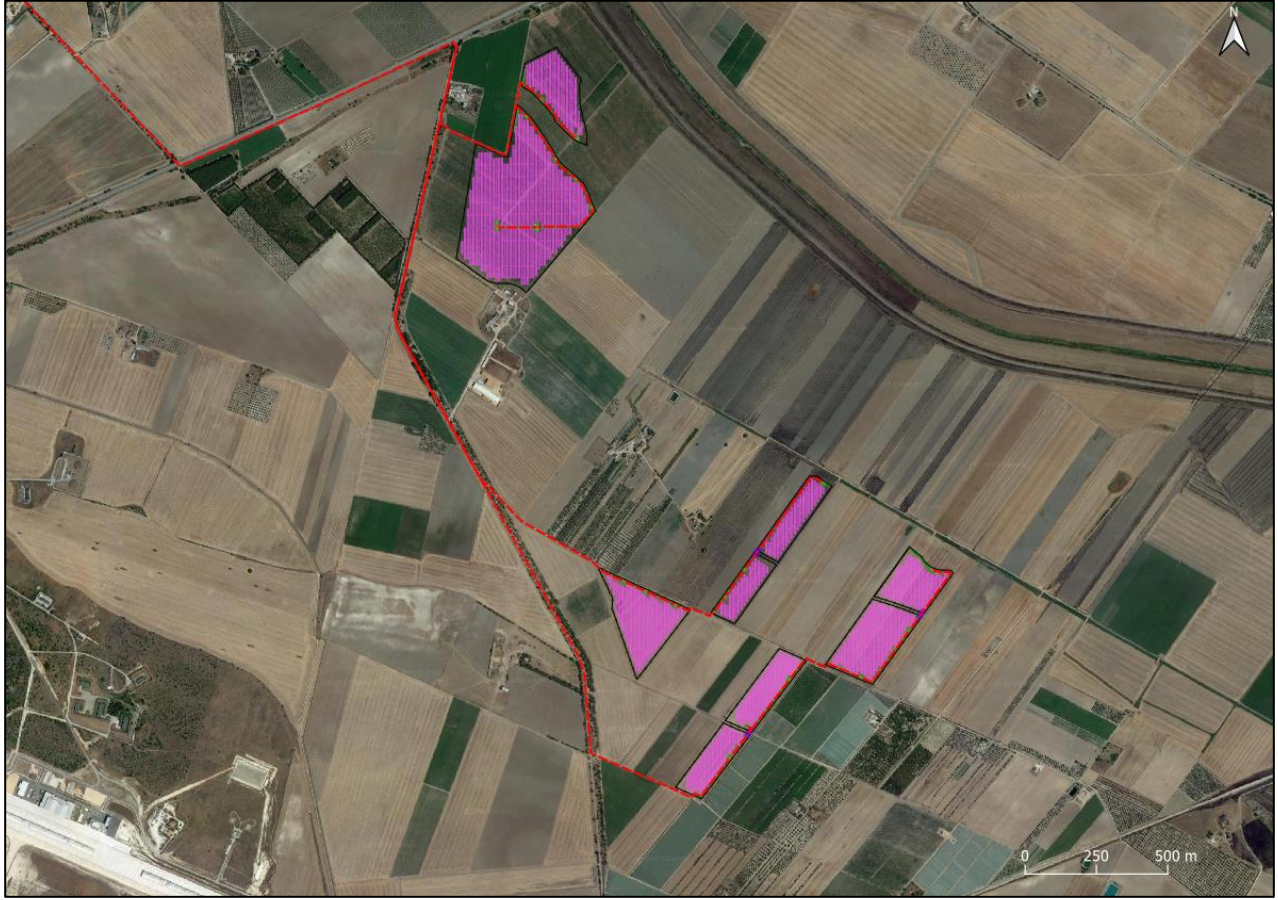
	Recinzione in progetto		Sottostazione elettrica utente 150/20 kV
	Cavidotto MT		Cabine utente
	Cavidotto AT		Attraversamento in TOC
	Moduli fotovoltaici		Viabilità interna
	SE 150 kV Innanzi esistente		Limiti comunali

Figura 1 - Inquadramento su base satellitare dell'impianto





- | | | | |
|---|--------------------------|---|------------------------|
|  | Cabine utente |  | Moduli fotovoltaici |
|  | Cavidotto MT in progetto |  | Recinzione in progetto |
|  | Attraversamento e TOC |  | Viabilità interna |

Figura 2 - Inquadramento di dettaglio dell'area occupata dall'impianto in progetto su base satellitare

2.1. Individuazione del bacino idrografico

L'area oggetto di studio ricade all'interno del bacino idrografico del torrente Candelaro, un fiume della provincia di Foggia, dalla lunghezza di 70 km, utilizzato principalmente per l'irrigazione dei campi.

Il bacino del torrente è quasi esclusivamente impostato sul tipico ambiente geomorfologico del Tavoliere di Puglia. Solo le parti più montane dei corsi d'acqua risultano essere incise, peraltro per brevi tratti, nei terreni flyscioidi appartenenti alle unità del bordo orientale esterno della catena appenninica. Il torrente scorre ai piedi del Gargano, con direzione Nord Ovest – Sud Est, in corrispondenza di una faglia di distensione instauratasi durante l'emersione del promontorio e accoglie le acque di un bacino di 2050 km².

Poco sviluppato è il versante sinistro, in corrispondenza della parete di faglia, mentre molto più esteso è il versante destro, solcato da vari affluenti. I principali sono i torrenti Triolo, Salsola e Celone che hanno origine nel Subappennino dauno e, dopo aver ricevuto numerosi subaffluenti, talvolta importanti, attraversano la piana di Capitanata in direzione Sud Ovest – Nord Est, confluendo nel Candelaro all'altezza del suo corso medio.

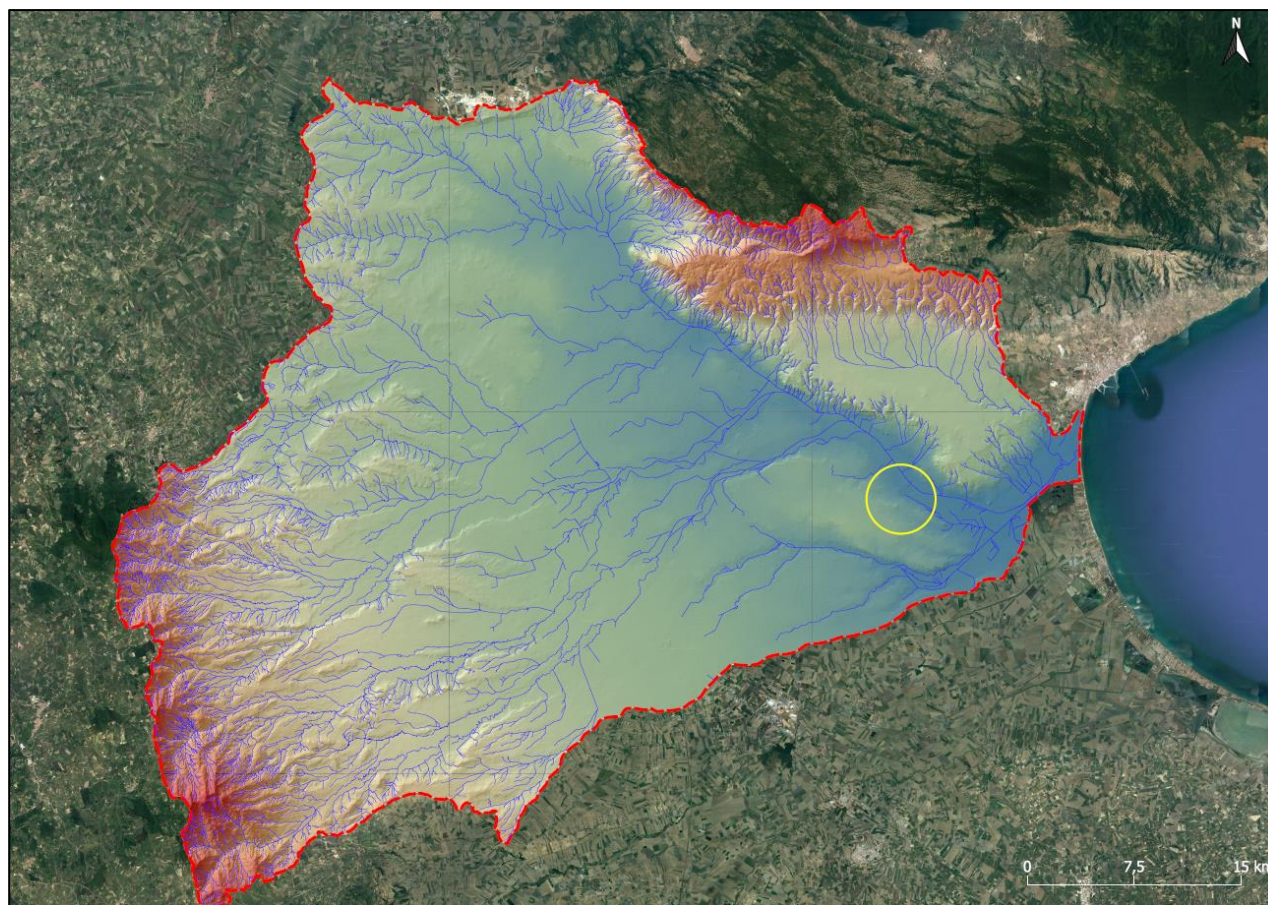


Figura 3 - Inquadramento del bacino del torrente Candelaro con evidenza dell'area interessata dall'impianto (cerchio giallo).
(elaborazione GIS)

L'area su cui sorgerà l'impianto agrivoltaico risulta ubicata in prossimità del torrente Candelaro. L'analisi idrologica sarà rivolta alla stima dell'idrogramma di piena transitante attraverso una sezione di chiusura posta poco a monte dell'area di impianto.

Questa sezione è definita come il punto in cui il deflusso idrico superficiale, raccolto dalla porzione di territorio posta a monte, viene convogliato.

Grazie ad elaborazioni GIS su un modello digitale del terreno con risoluzione 20 m è stato possibile estrarre il bacino idrico che raccoglie le acque che insistono sulla sezione di chiusura sopra detta:

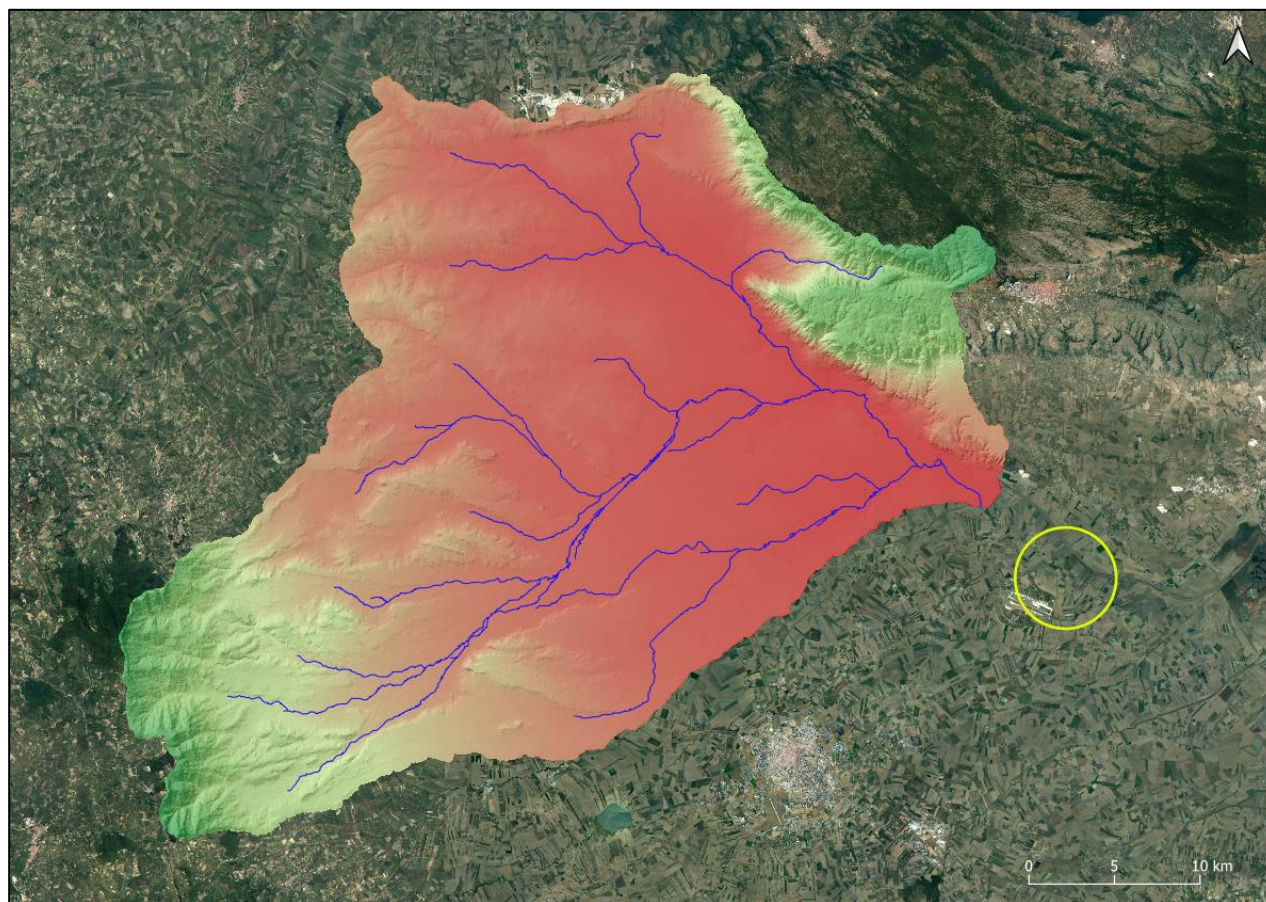


Figura 4 - Inquadramento del bacino idrico a monte dell'impianto in progetto. Il cerchio giallo individua l'area di impianto

Tabella 1 - Caratteristiche principali del bacino sotteso alla sezione di chiusura

Area [km ²]	Lunghezza dell'asta principale [km]	Pendenza dell'asta principale [-]	Pendenza media del bacino [-]	Quota massima [m.s.l.m.]	Quota minima [m.s.l.m.]	Quota media [m.s.l.m.]
1298.6	66.93	0.014	0.064	1008	15	161.7

3. INQUADRAMENTO VINCOLISTICO DEI PIANI DI SETTORE

3.1. Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale è lo strumento con il quale l'Autorità di Bacino della Puglia ha individuato le norme finalizzate alla prevenzione del rischio idrogeologico ed alla difesa e valorizzazione del suolo, e ha fornito i criteri di pianificazione e programmazione per l'individuazione delle aree a differente livello di pericolosità e rischio, per la difesa ed il consolidamento dei versanti e delle aree instabili, per la difesa degli abitati e delle infrastrutture contro i movimenti franosi ed altri fenomeni di dissesto, per il riordino del vincolo idrogeologico, la difesa, la sistemazione e la regolazione dei corsi d'acqua, lo svolgimento funzionale dei servizi di polizia idraulica, di piena, di pronto intervento idraulico, nonché di gestione degli impianti.

La Legge 183/1989 sulla difesa del suolo ha definito il bacino idrografico ("territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente" art.1) come l'ambito fisico di pianificazione che consente di superare le frammentazioni e le separazioni prodotte dall'adozione di aree di riferimento basate sui confini amministrativi.

L'intero territorio nazionale è suddiviso in bacini idrografici a livello nazionale, interregionale e regionale.

Lo strumento che regola il bacino idrografico è il Piano di Bacino. Il Piano Assetto Idrogeologico della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità dei versanti, necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio. Il PAI 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.

Tali sopracitati obiettivi del Piano sono realizzati mediante la definizione della pericolosità idrogeologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti, gli interventi per il controllo, salvaguardia e regolarizzazione dei corsi d'acqua e la sistemazione dei versanti a protezione di abitati e infrastrutture, la manutenzione e integrazione dei sistemi di difesa per controllare l'evoluzione dei fenomeni di dissesto e di esondazione.

Il PAI consente, dunque, di individuare il livello di pericolosità idraulica, geomorfologica e il livello di rischio individuando:

- le aree soggette a pericolosità idraulica bassa (BP), media (MP) e alta (AP);
- le aree soggette a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1), elevata (PG2) e molto elevata (PG3);
- le aree caratterizzate da rischio idraulico basso (R1), medio (R2), elevato (R3) e molto elevato (R4).

Nelle seguenti figure vengono riportati gli inquadramenti dell'area di intervento con i tematismi del Piano:

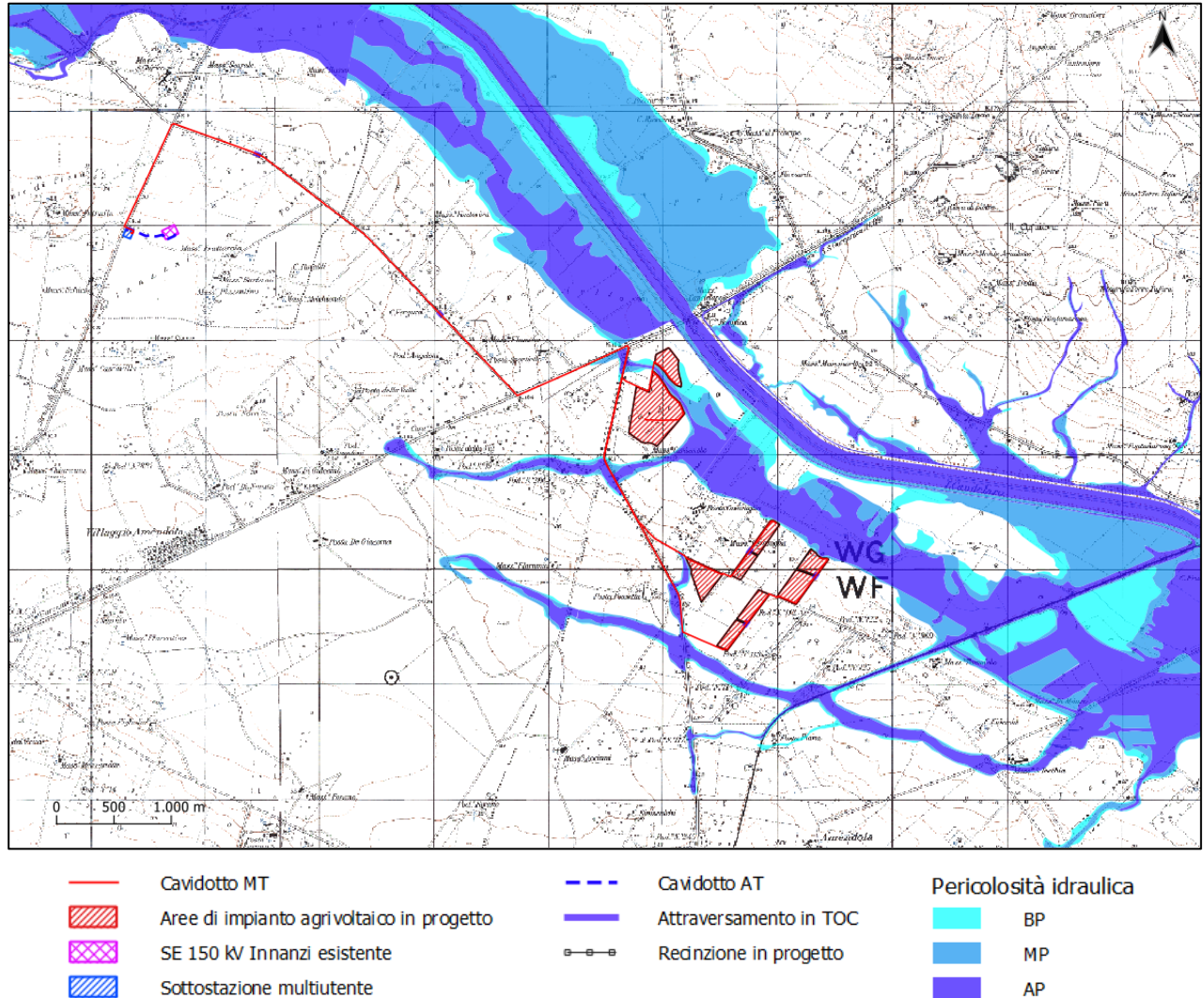


Figura 5 - Inquadramento dell'impianto con i tematismi del PAI. (Fonte:

<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/elaborati-di-piano-menu/ex-adb-puglia-menu/piano-assetto-idrogeologico-pericolosita-idraulica-menu>)

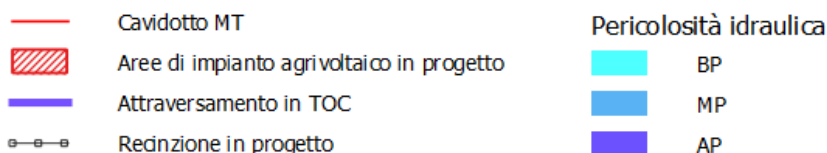
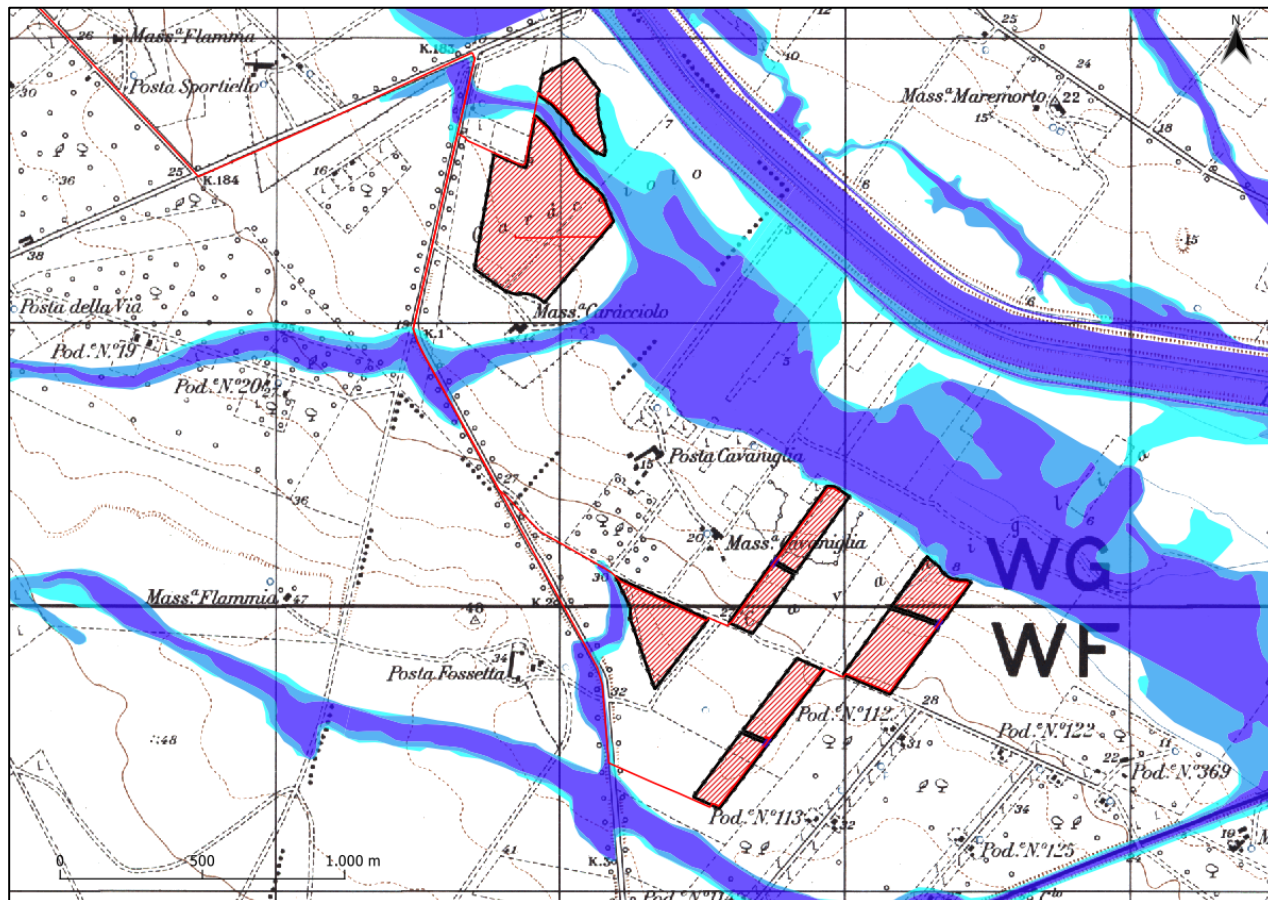


Figura 6 - Inquadramento di dettaglio dell'area occupata dai pannelli fotovoltaici con i tematismi del PAI. (Fonte: <https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/elaborati-di-piano-menu/ex-adb-puglia-menu/piano-assetto-idrogeologico-pericolosita-idraulica-menu>).

Dalla consultazione delle figure sopra riportate si evince che l'area occupata dall'impianto fotovoltaico non è direttamente interessata dalle tematiche del PAI, mentre per quanto concerne le opere di connessione, alcuni tratti del cavidotto MT interferiscono le perimetrazioni a pericolosità idraulica (BP, MP e AP).

Di seguito si riportano gli artt. 7-8-9 del PAI in cui vengono individuati gli interventi consentiti in tali perimetrazioni.

ARTICOLO 7 Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.)

1. Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

- a) interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;
- b) interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti,

purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;

c) interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;

d) interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;

e) interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;

f) interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non concorrano ad incrementare il carico urbanistico;

g) adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;

h) ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;

i) 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;

2. 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. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h) e i).

ARTICOLO 8 Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica (M.P.)

Nelle aree a media probabilità di inondazione oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

a) *interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;*

b) *interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;*

c) *interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;*

d) *interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;*

e) *interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;*

f) *interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i.;*

g) *adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;*

h) *ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;*

i) *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;*

j) *interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lett. d) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;*

k) *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 e comunque secondo quanto previsto agli artt. 5, 24, 25 e 26 in materia di aggiornamento dal PAI. In caso di contestualità, nei provvedimenti autorizzativi ovvero in atti unilaterali d'obbligo, ovvero in appositi accordi laddove le Amministrazioni competenti lo ritengano necessario, dovranno essere indicate le prescrizioni necessarie (procedure di adempimento, tempi, modalità, ecc.) nonché le condizioni che possano pregiudicare l'abitabilità o l'agibilità. Nelle more del completamento delle opere di mitigazione, dovrà essere comunque garantito il non aggravio della pericolosità in altre aree.*

2. 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. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h), i), j) e k).

ARTICOLO 9 Interventi consentiti nelle aree a bassa pericolosità idraulica (B.P.)

Nelle aree a bassa probabilità di inondazione 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.

2. 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.

3. In tali aree, nel rispetto delle condizioni fissate dagli strumenti di governo del territorio, il PAI persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti, ai sensi della legge 225/92, di programmi di previsione e prevenzione.

In conclusione, i tratti di cavidotto MT che interferiscono con le perimetrazioni PAI si svilupperanno totalmente su strada asfaltata, non comportando un ulteriore aggravio del rischio idraulico. Pertanto, si rimanda ai successivi capitoli, nei quali verrà trattata nel dettaglio la compatibilità idraulica delle opere in progetto.

3.2. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

Con la Direttiva Europea 2007/60/CE, in Italia dal D.Lgs. 49/2010, si crea un Piano di Gestione del Rischio delle Alluvioni. Questo piano rappresenta lo strumento con cui valutare e gestire il rischio alluvioni per ridurre gli impatti negativi per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.

Sono state specificate dalle mappe di criticità (pericolosità e rischio) le misure di prevenzione, protezione, preparazione e recupero post-evento per la messa in sicurezza del territorio. Questo Piano permette il coordinamento dell'Autorità di Bacino e della Protezione Civile per la gestione delle piene in tempo reale, con la direzione del Dipartimento Nazionale. Viene svolta un'analisi del danno associando le categorie di elementi esposti a condizioni omogenee di danno potenziale.

Il Piano stabilisce quattro (4) classi di danno potenziale che tengono conto dei seguenti fattori:

- danno alle persone;
- danno al tessuto socio-economico;
- danni non monetizzabili.

Di seguito si descrivono queste quattro (4) classi di danno:

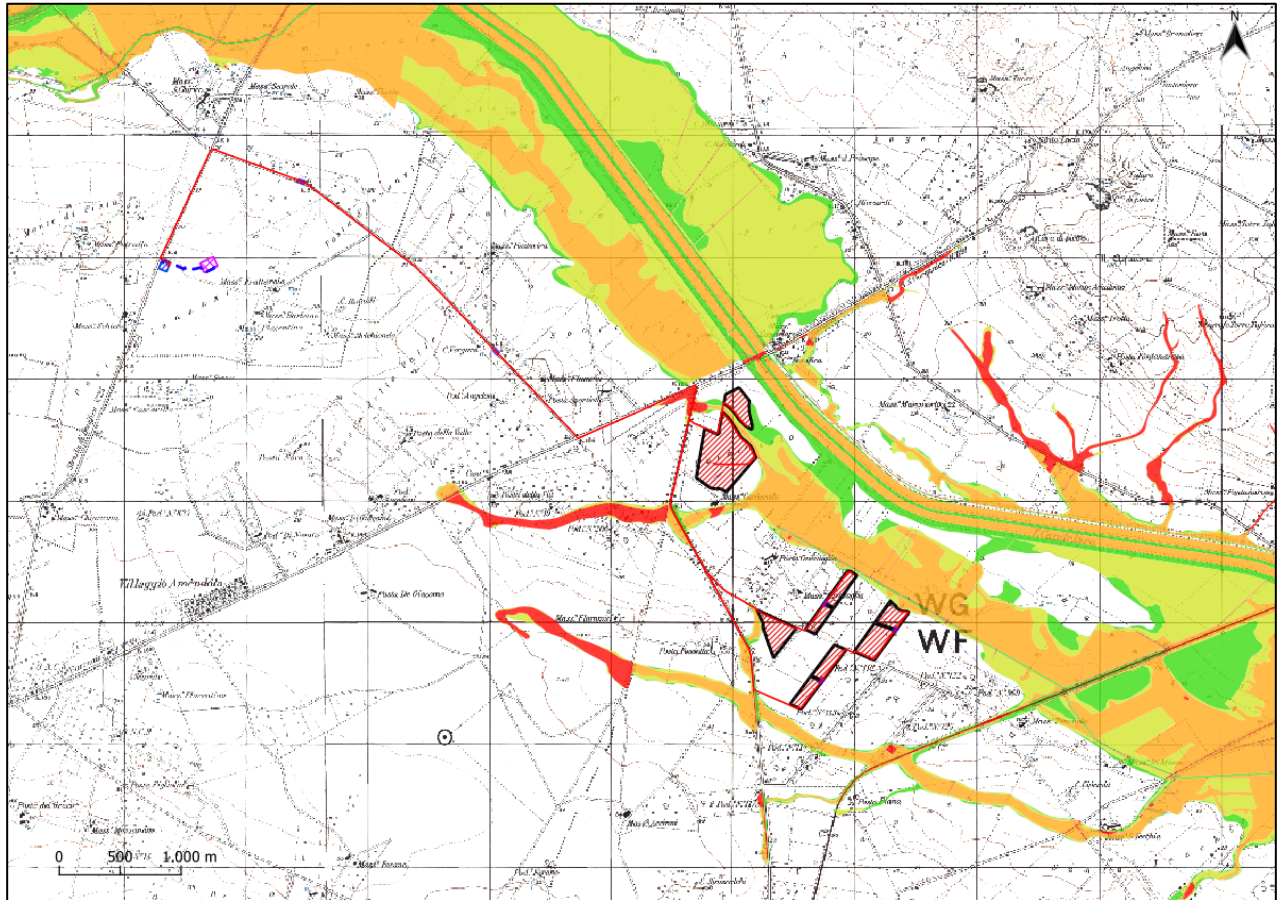
- D4 (Danno potenziale molto elevato): aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico – ambientali;
- D3 (Danno potenziale elevato): aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- D2 (Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- D1 (Danno potenziale moderato o nullo): comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Le classi di danno vengono correlate con le probabilità di inondazione descritte nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAI (B.P. - M.P. - A.P.) per la determinazione del Rischio secondo la seguente tabella:

Tabella 2 - Tabella classi di rischio di alluvione secondo il PGRA per la Regione Puglia

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		AP	MP	BP
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R3	R2
	D3	R3	R3	R2
	D2	R2	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

Si riporta di seguito l'inquadramento dell'impianto in progetto con le tematiche del PGRA:



- | | | | | | |
|---|---|-------|------------------------|---|--------------------------|
| — | Cavidotto MT | - - - | Cavidotto AT | ■ | Classi di Rischio (PGRA) |
| ▨ | Aree di impianto agrivoltaico in progetto | — | Attraversamento in TOC | ■ | R1 |
| ▤ | SE 150 kV Innanzi esistente | —○— | Recinzione in progetto | ■ | R2 |
| ▥ | Sottostazione multiutente | | | ■ | R3 |
| | | | | ■ | R4 |

Figura 7 - Inquadramento dell'impianto con i tematismi del PGRA. (Fonte:

<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/ii-ciclo-2016-2021-menu/piano-adottato-menu/aggiornamento-mappe-ii-ciclo-menu>)

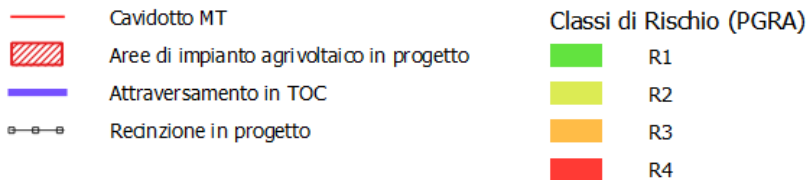
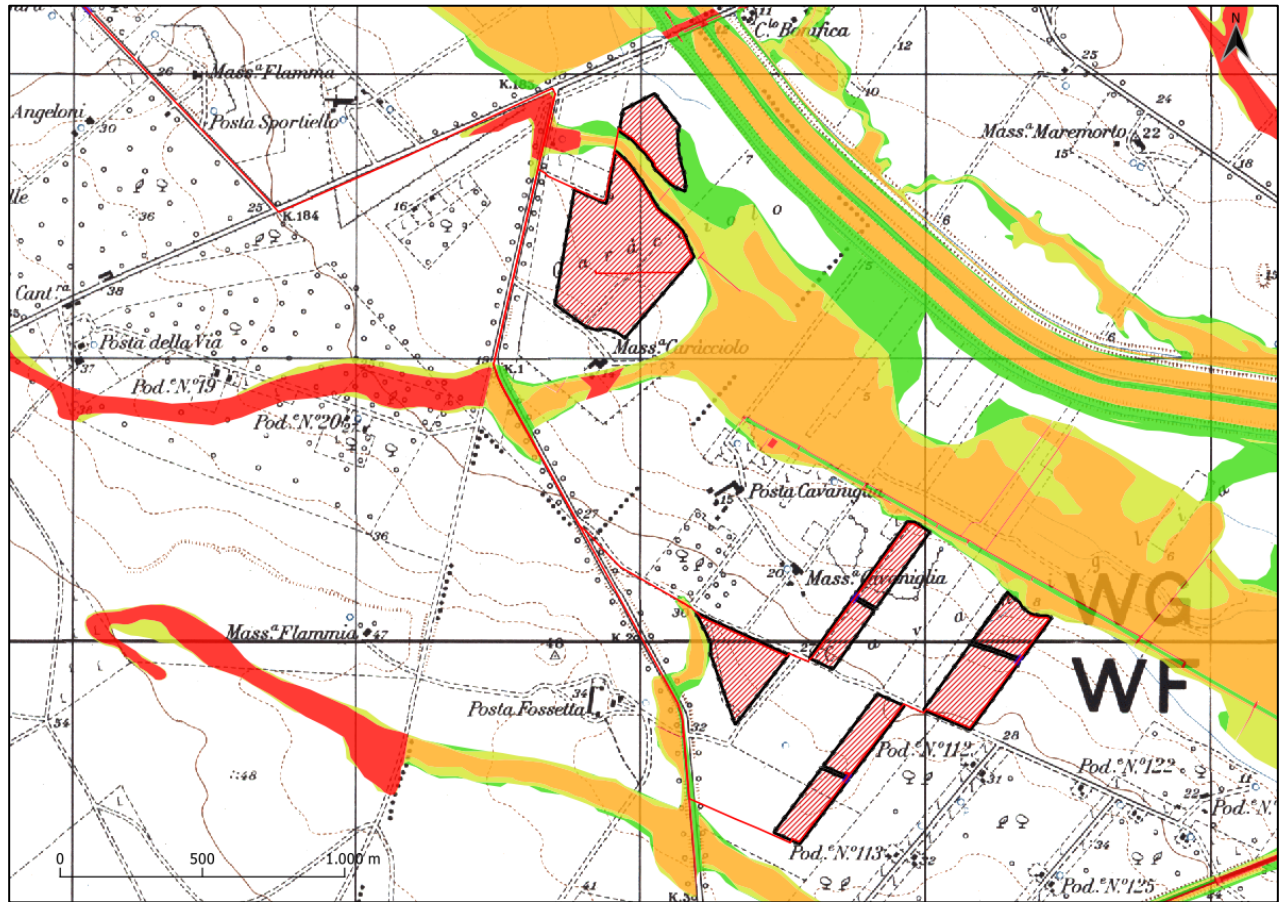


Figura 8 - Inquadramento di dettaglio dell'area occupata dai pannelli fotovoltaici con i tematismi del PGRA. (Fonte: <https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/ii-ciclo-2016-2021-menu/piano-adottato-menu/aggiornamento-mappe-ii-ciclo-menu>)

Come si evince dalle immagini sopra riportate l'area occupata dai pannelli fotovoltaici non interseca le tematiche del PGRA mentre, per i tratti di cavidotto interferenti con le perimetrazioni del rischio idraulico, valgono le prescrizioni viste per il PAI.

4. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica risulta di importanza fondamentale per il prosieguo dello studio in quanto consente di determinare la portata in uscita, nella sezione di chiusura, da utilizzare come input nel modello di calcolo idraulico.

L'analisi fa riferimento allo studio sulla Valutazione delle Piene (VAPI) che riguarda la Puglia effettuato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, conformemente al DPCM del 29/09/1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005.

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

4.1. Caratterizzazione climatica dell'area di intervento

4.1.1. Comune di San Giovanni Rotondo

A livello climatico il comune di San Giovanni Rotondo presenta estati brevi, calde e asciutte e prevalentemente sereno e gli inverni sono lunghi, molto freddi, ventosi e parzialmente nuvolosi. Durante l'anno, la temperatura varia da 3 °C a 28 °C ed è raramente inferiore a -1 °C o superiore a 33 °C.

La *stagione calda* dura 2,8 mesi, dal 15 giugno al 9 settembre, con una temperatura giornaliera massima di oltre 24 °C. Il mese più caldo dell'anno è *agosto*, con una temperatura media massima di 27 °C e minima di 19 °C.

La *stagione fresca* dura 4,0 mesi, da 22 novembre a 22 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 12 °C. Il mese più freddo dell'anno è *febbraio*, con una temperatura media massima di 3 °C e minima di 9 °C.

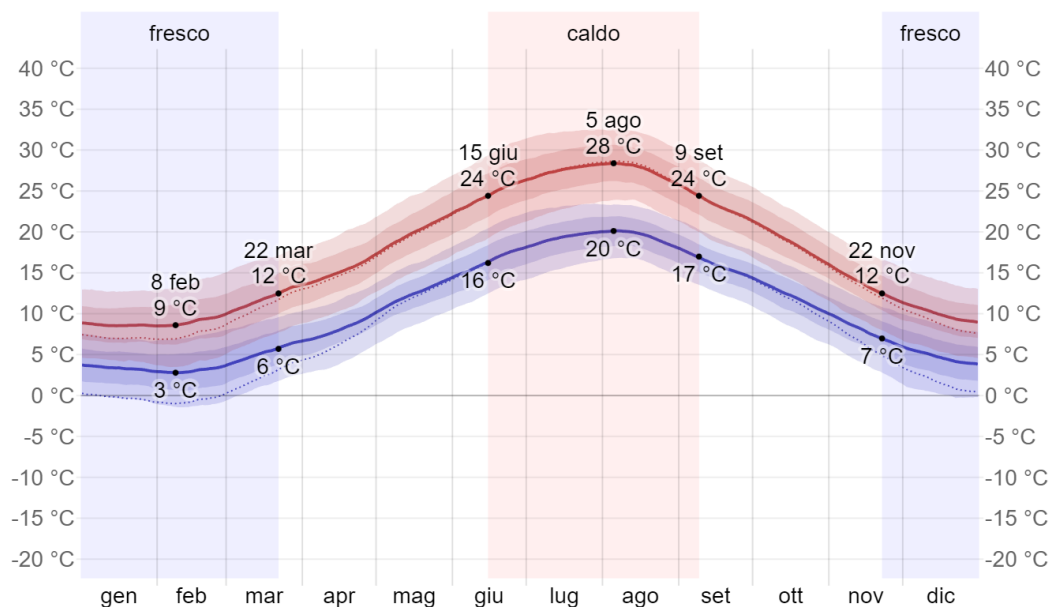


Figura 9 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie, con fasce del 25° - 75° e 10° - 90° percentile. Le righe sottili tratteggiate rappresentano le temperature medie percepite. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78808/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Giovanni-Rotondo-Italia-tutto-l'anno>)

La figura qui di seguito mostra una caratterizzazione compatta delle temperature medie orarie per tutto l'anno. L'asse orizzontale rappresenta il giorno dell'anno, l'asse verticale rappresenta l'ora del giorno, e il colore rappresenta la temperatura media per quell'ora e giorno.

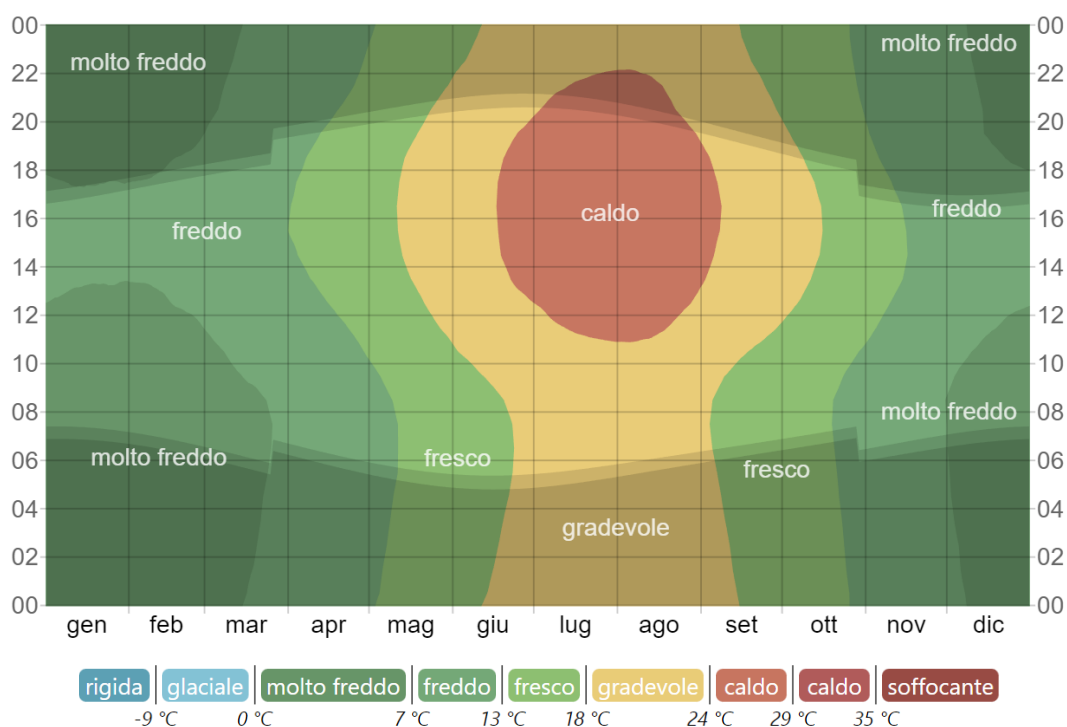


Figura 10 -La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78808/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Giovanni-Rotondo-Italia-tutto-l'anno>)

La stagione *più piovosa* dura *8,0 mesi*, dal *10 settembre* al *10 maggio*, con una probabilità di oltre *18%* che un dato giorno sia piovoso. Il mese con il maggiore numero di giorni piovosi è *novembre*, con in media *7,3 giorni* di almeno *1 millimetro* di precipitazioni.

La stagione *più asciutta* dura *4,0 mesi*, dal *10 maggio* al *10 settembre*. Il mese con il minor numero di giorni piovosi è *luglio*, con in media *3,1 giorni* di almeno *1 millimetro* di precipitazioni.

Fra i giorni piovosi, viene fatta differenza fra giorni con *solo pioggia*, *solo neve*, o un *misto* dei due. Il mese con il numero maggiore di giorni di *solo pioggia* è *novembre*, con una media di *7,3 giorni*. In base a questa categorizzazione, la forma più comune di precipitazioni durante l'anno è *solo pioggia*, con la massima probabilità di *26%* il *21 novembre*.

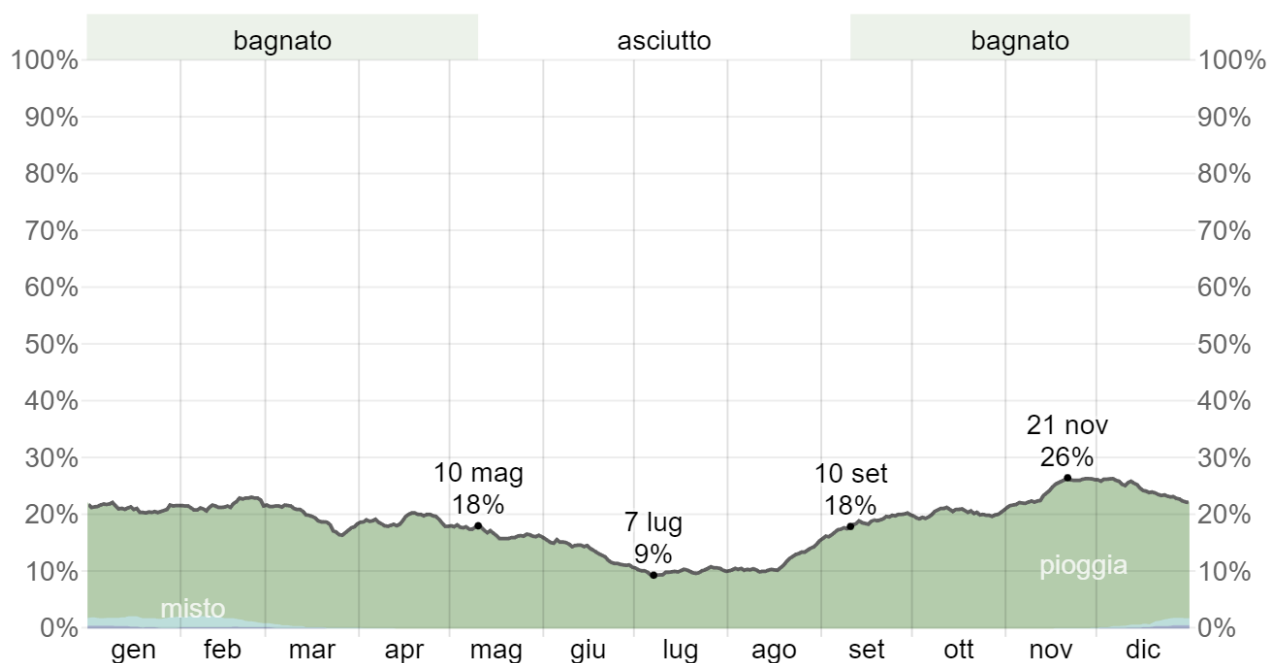


Figura 11 - Probabilità giornaliera di precipitazioni. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78808/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Giovanni-Rotondo-Italia-tutto-l'anno>)

Dall'immagine che segue si può notare che la pioggia cade in tutto l'anno. Il mese con la maggiore quantità di pioggia è *novembre*, con piogge medie di *54 millimetri*, mentre quello con la minore quantità è *luglio*, con piogge medie di *14 millimetri*.

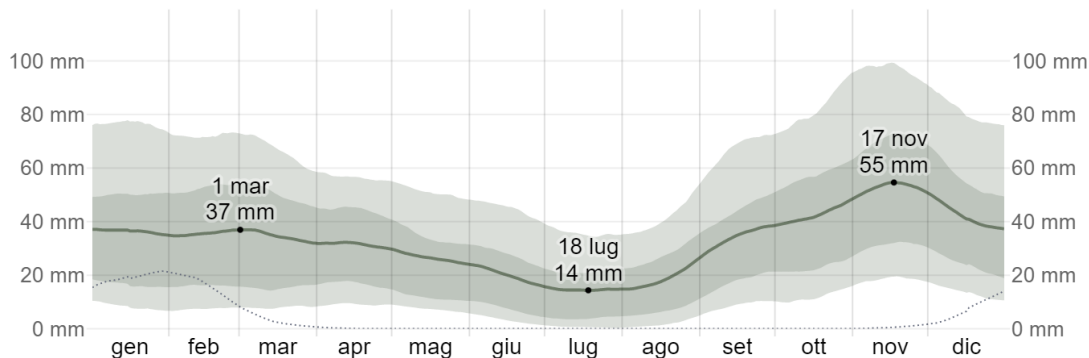


Figura 12 - Precipitazioni mensili medie (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78808/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Giovanni-Rotondo-Italia-tutto-l'anno>)

4.1.2. Comune di Manfredonia

Il clima di Manfredonia è caratterizzato da estati brevi, calde, umide e prevalentemente serene e da inverni lunghi, freddi, ventosi e parzialmente nuvolosi. Durante l'anno, la temperatura in genere varia da 5 °C a 31 °C ed è raramente inferiore a 2 °C o superiore a 34 °C.

La *stagione calda* dura 2,9 mesi, dal 14 giugno al 10 settembre, con una temperatura giornaliera massima di oltre 27 °C. Il mese più caldo dell'anno a Manfredonia è *luglio*, con una temperatura media massima di 30 °C e minima di 21 °C.

La *stagione fresca* dura 4,1 mesi, da 20 novembre a 23 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 16 °C. Il mese più freddo dell'anno è *gennaio*, con una temperatura media massima di 6 °C e minima di 12 °C.

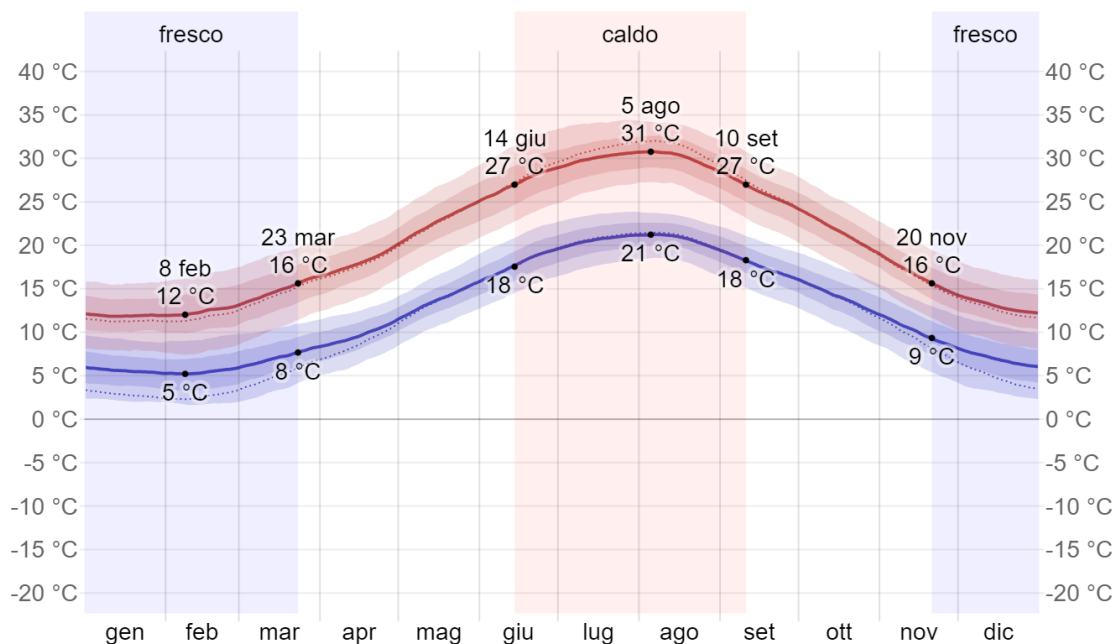


Figura 13 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie, con fasce del 25° - 75° e 10° - 90° percentile. Le righe sottili tratteggiate rappresentano le temperature medie percepite. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78832/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Manfredonia-Italia-tutto-l'anno>)

La figura qui di seguito mostra una caratterizzazione compatta delle temperature medie orarie per tutto l'anno. L'asse orizzontale rappresenta il giorno dell'anno, l'asse verticale rappresenta l'ora del giorno, e il colore rappresenta la temperatura media per quell'ora e giorno.

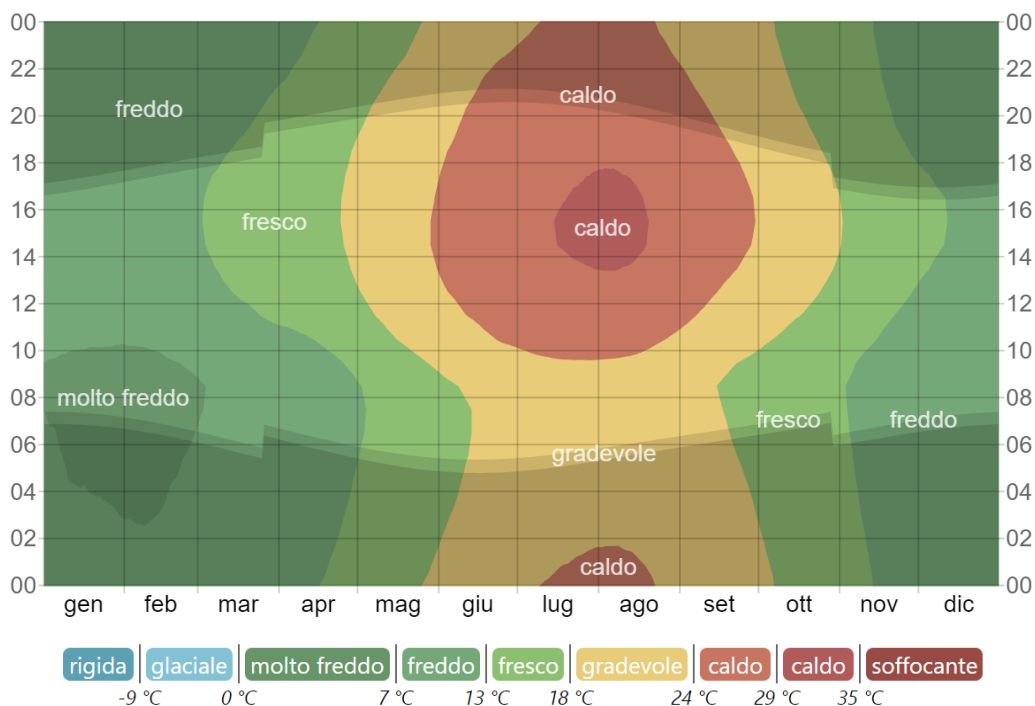


Figura 14 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78832/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Manfredonia-Italia-tutto-l'anno>)

Per quanto riguarda le precipitazioni, la stagione *più piovosa* dura *7,6 mesi*, dal *10 settembre* al *28 aprile*, con una probabilità di oltre *18%* che un dato giorno sia piovoso. Il mese con il maggiore numero di giorni piovosi è *novembre*, con in media *7,4 giorni* di almeno *1 millimetro* di precipitazioni.

La stagione *più asciutta* dura *4,4 mesi*, dal *28 aprile* al *10 settembre*. Il mese con il minor numero di giorni piovosi è *luglio*, con in media *3,1 giorni* di almeno *1 millimetro* di precipitazioni.

Fra i giorni piovosi, viene fatta differenza fra giorni con *solo pioggia*, *solo neve*, o un *misto* dei due. Il mese con il numero maggiore di giorni di *solo pioggia* è *novembre*, con una media di *7,4 giorni*. In base a questa categorizzazione, la forma più comune di precipitazioni durante l'anno è *solo pioggia*, con la massima probabilità di *27%* il *21 novembre*.

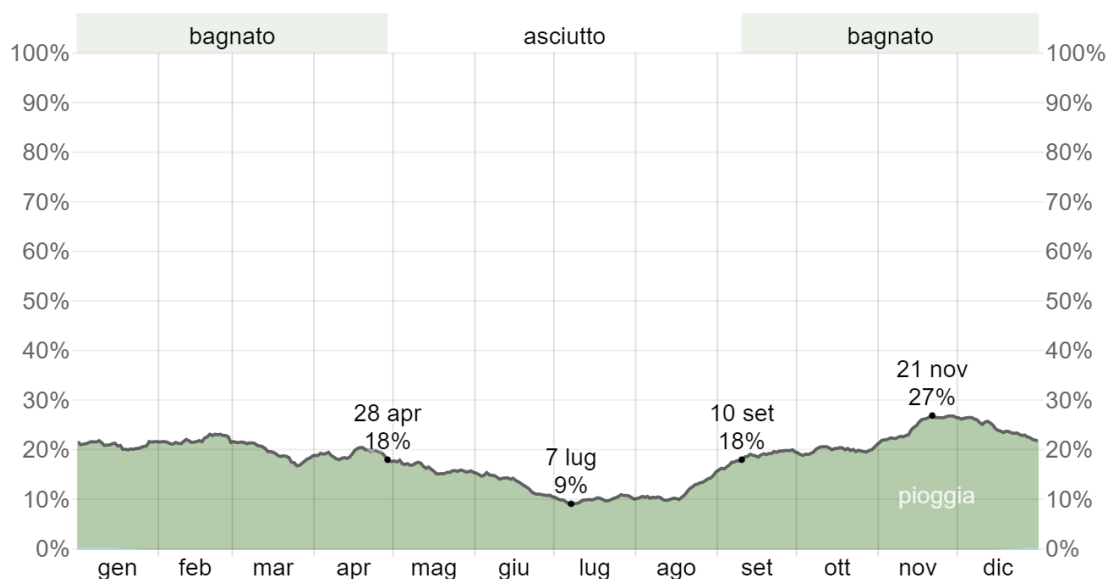


Figura 15 - Probabilità giornaliera di precipitazioni. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78832/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Manfredonia-Italia-tutto-l'anno>)

Dall'immagine che segue si può notare che la pioggia cade in tutto l'anno. Il mese con la maggiore quantità di pioggia è *novembre*, con piogge medie di *54 millimetri*. Il mese con la minore quantità di pioggia è *luglio*, con piogge medie di *14 millimetri*.

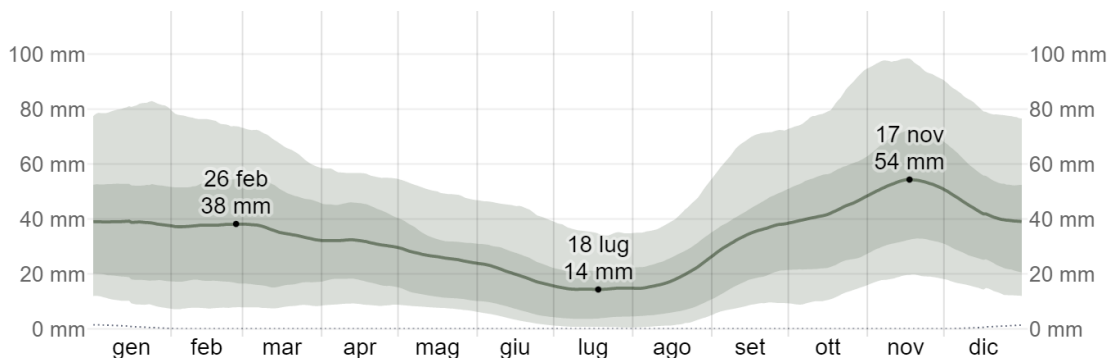


Figura 16 - Precipitazioni mensili medie (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78832/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Manfredonia-Italia-tutto-l'anno>)

4.1.3. Comune di San Marco in Lamis

A San Marco in Lamis, le estati sono brevi, calde, asciutte e prevalentemente serene, gli inverni sono lunghi, molto freddi, ventosi e parzialmente nuvolosi. Durante l'anno, la temperatura in genere va da 2 °C a 28 °C ed è raramente inferiore a -2 °C o superiore a 33 °C.

La *stagione calda* dura 2,8 mesi, dal 15 giugno al 9 settembre, con una temperatura giornaliera massima di oltre 24 °C. Il mese più caldo dell'anno è agosto, con una temperatura media massima di 28 °C e minima di 19 °C.

La *stagione fresca* dura 4,0 mesi, da 22 novembre a 22 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 12 °C. Il mese più freddo dell'anno è febbraio, con una temperatura media massima di 3 °C e minima di 9 °C.

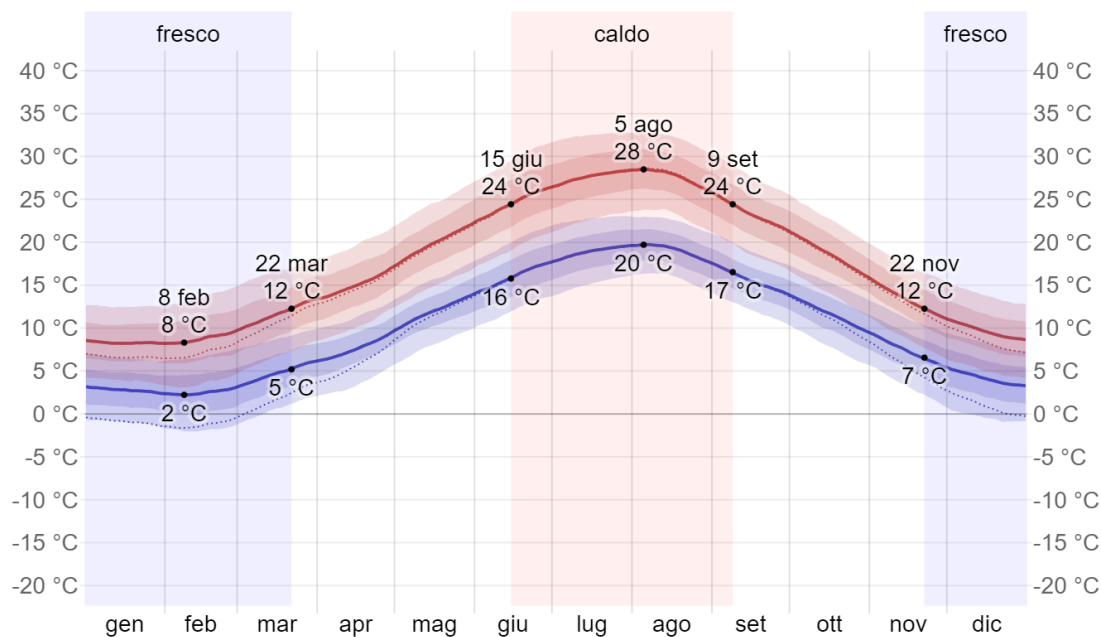


Figura 17 - - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliera medie, con fasce del 25° - 75° e 10° - 90° percentile. Le righe sottili tratteggiate rappresentano le temperature medie percepite. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78807/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Marco-in-Lamis-Italia-tutto-l'anno>)

La figura qui di seguito mostra una distribuzione compatta delle temperature medie orarie per tutto l'anno. L'asse orizzontale rappresenta il giorno dell'anno, l'asse verticale rappresenta l'ora del giorno, e il colore rappresenta la temperatura media per quell'ora e giorno.

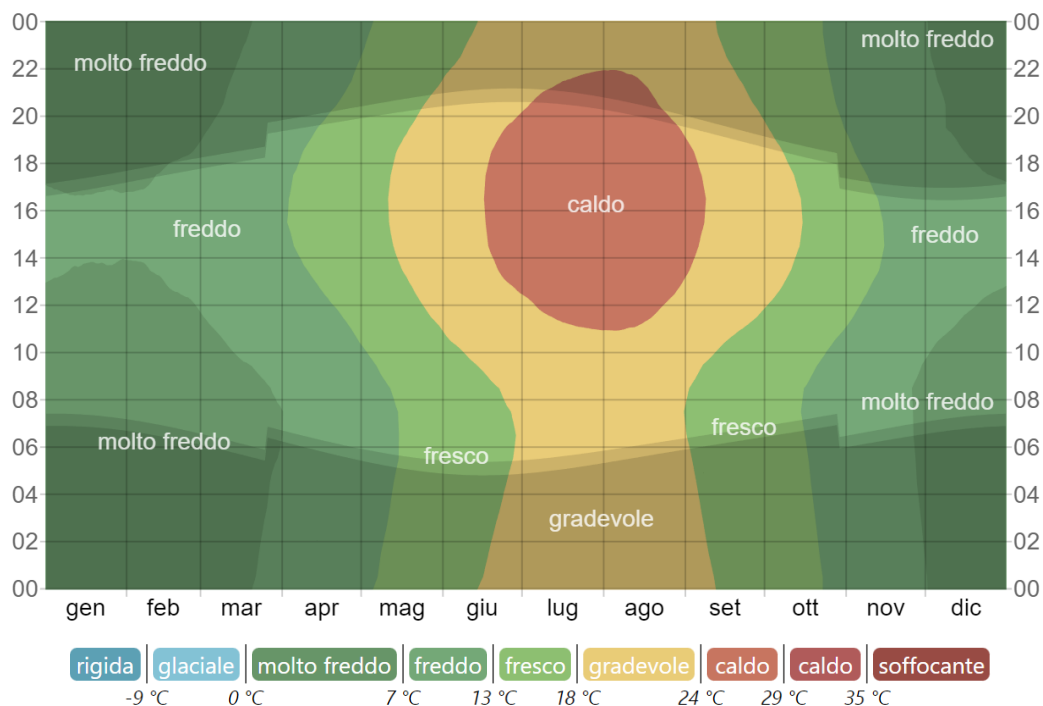


Figura 18 - - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78807/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Marco-in-Lamis-Italia-tutto-l'anno>)

Per quanto riguarda le precipitazioni la stagione *più piovosa* dura *8,0 mesi*, dal *10 settembre* al *11 maggio*, con una probabilità di oltre *18%* che un dato giorno sia piovoso. Il mese con il maggiore numero di giorni piovosi è *novembre*, con in media *7,2 giorni* di almeno *1 millimetro* di precipitazioni.

La stagione *più asciutta* dura *4,0 mesi*, dal *11 maggio* al *10 settembre*. Il mese con il minor numero di giorni piovosi è *luglio*, con in media *3,1 giorni* di almeno *1 millimetro* di precipitazioni.

Fra i giorni piovosi, viene fatta differenza fra giorni con *solo pioggia*, *solo neve*, o un *misto* dei due. Il mese con il numero maggiore di giorni di *solo pioggia* è *novembre*, con una media di *7,2 giorni*. In base a questa categorizzazione, la forma più comune di precipitazioni durante l'anno è *solo pioggia*, con la massima probabilità di *26%* il *21 novembre*.

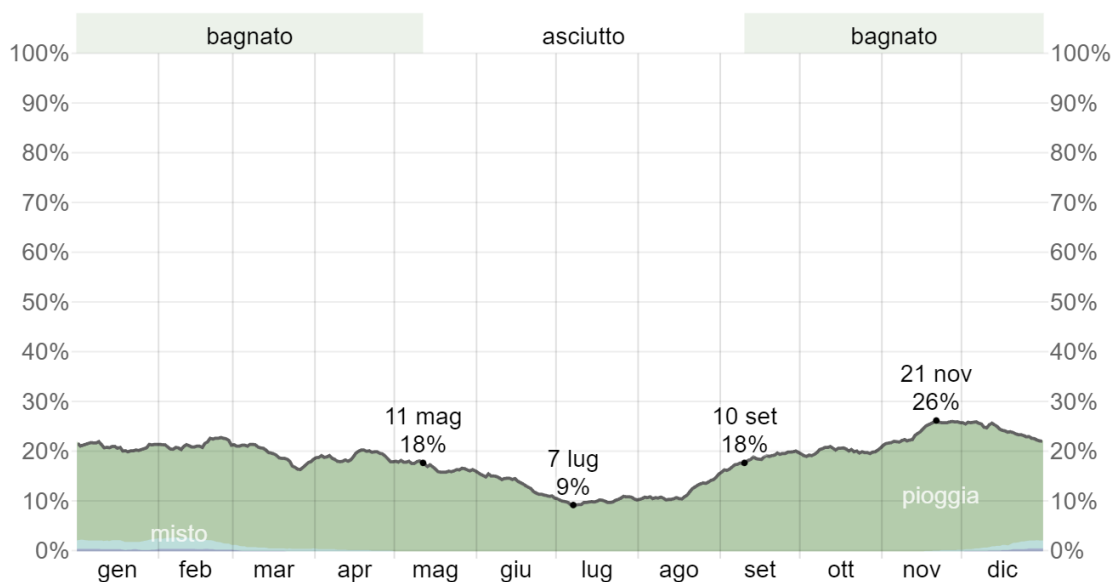


Figura 19 - Probabilità giornaliera di precipitazioni. (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78807/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Marco-in-Lamis-Italia-tutto-l'anno>)

Dall'immagine che segue si può notare che la pioggia cade in tutto l'anno a San Marco in Lamis. Il mese con la maggiore quantità di pioggia è *novembre*, con piogge medie di *54 millimetri*, mentre il mese con la minore quantità di pioggia è *luglio*, con piogge medie di *15 millimetri*.

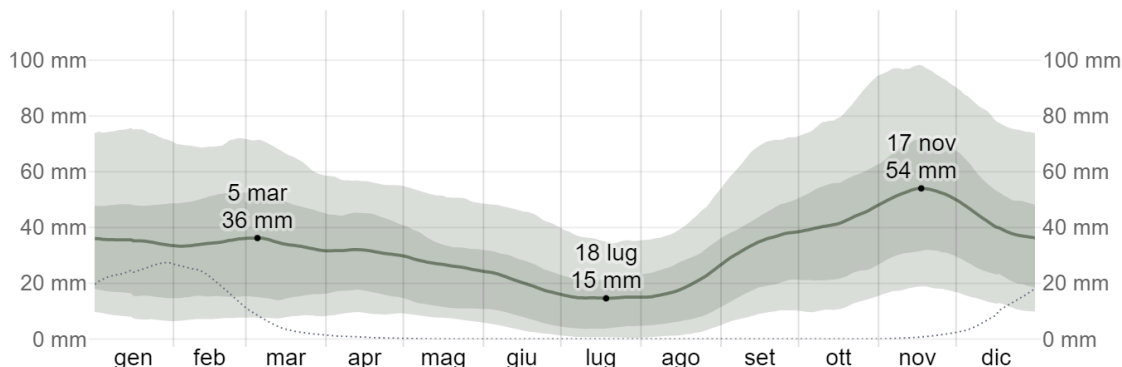


Figura 20 - Precipitazioni mensili medie (Fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78807/Condizioni-meteorologiche-medie-a-San-Marco-in-Lamis-Italia-tutto-l'anno>)

4.2. Distribuzione statistica TCEV secondo la metodologia VAPI

L'analisi statistica degli estremi idrologici è stata condotta attraverso la distribuzione statistica TCEV secondo la metodologia VAPI, effettuata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, che consente la valutazione dell'altezza di pioggia anche in bacini non strumentati o comunque in aree dove i dati misurati risultano insufficienti.

Nel VAPI si fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione degli estremi idrologici. Non esiste, quindi, un valore massimo assoluto, ma ad ogni valore (di altezza e/o di portata) viene associata una probabilità che si verifichino eventi con valori superiori. In termini probabilistici, nella metodologia VAPI viene adottata una distribuzione di probabilità a doppia componente, la TCEV (Two Component Extreme Value Distribution), che traduce in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, interpretando gli eventi massimi annuali come il valore estratto da una miscela di due popolazioni distinte (che avrebbero come massimo annuale due diverse funzioni di probabilità di tipo Gumbel). La prima produce gli eventi massimi ordinari, componente ordinaria, più frequenti e meno intensi in media; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, componente straordinaria, meno frequenti e più intensi.

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

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



Figura 21 - Zone omogenee della Puglia

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

$$\text{Zona 1: } x(t, z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 2: } x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

$$\text{Zona 3: } x(t, z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 4: } x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

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

$$\text{Zona 6: } x(t, z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0002z)/3.178]}$$

In particolare il bacino analizzato ricade nella **zona omogenea numero 2**.

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato quindi adottato il modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali.

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della sottozona pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione

fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita KT:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})}$$

I parametri ottenuti per l'intera regione Puglia sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 3 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Puglia

$\theta_* = 2.352$	$\Lambda_* = 0.772$	$\Lambda_1 = 45$	$\eta = 5.662$
--------------------	---------------------	------------------	----------------

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa dell'equazione vista precedentemente per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita KT. Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, i valori di KT ottenuti numericamente per alcuni valori del periodo di ritorno.

Tabella 4 - valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno T

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (pioggia)	0.91	1.26	1.53	1.81	1.90	2.10	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata d, m[h(d)], con la durata stessa. Per la Puglia è stata adottata una espressione del tipo:

$$m[h(d)] = ad^n$$

I parametri dell'equazione precedente sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra.

L'identificazione delle aree omogenee viene effettuata con riferimento al valor medio del massimo annuale dell'altezza di pioggia giornaliera, m(h_g): è stato infatti osservato che è possibile suddividere l'area indagata in 4 aree pluviometriche omogenee in funzione del legame caratteristico tra m(h_g) e la quota Z, nelle stazioni di misura. Questo permette di generalizzare l'equazione precedente per tener conto della variabilità di m[h(d)] con la quota Z, attraverso un'espressione del tipo:

$$m[h(d, Z)] = ad^{n(Z)}$$

$$n(Z) = \frac{CZ + D + Lna - Lna}{Ln24}$$

n cui $a = x_g / x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misure. Per la Puglia il valore del coefficiente a è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89.

Infine, la valutazione della intensità di pioggia media sull'intero bacino (pioggia media areale) viene effettuata moltiplicando l'equazione precedente per il fattore di riduzione areale K_A :

$$K_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^{c_3})$$

dove A è l'area del bacino, espressa in km², d la durata della pioggia, espressa in ore, ed i coefficienti valgono:

$$c_1 = 0.0021$$

$$c_2 = 0.53$$

$$c_3 = 0.25$$

I risultati ottenuti sono stati raccolti nella tabella seguente per tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni:

Tabella 5 - Altezze di pioggia ottenute con la metodologia VAPI per diverse durate e diversi tempi di ritorno

		Tr [anni]		
		30	200	500
	d[ore]			
h [mm]	1	19.76	27.62	31.42
	3	30.81	43.06	48.99
	6	40.49	56.60	64.40
	12	52.86	73.89	84.06
	24	68.45	95.67	108.85

I risultati sono stati espressi sotto forma di *curve di probabilità pluviometrica*, rappresentate in forma esponenziale secondo la seguente espressione:

$$h = a \cdot d^n$$

Dove h è l'altezza di pioggia espressa in millimetri, a è un coefficiente espresso in mm/ora che determina la

dipendenza della relazione al tempo di ritorno Tr , d è la durata della pioggia espressa in ore ed n un parametro di forma non dipendente dal tempo di ritorno.

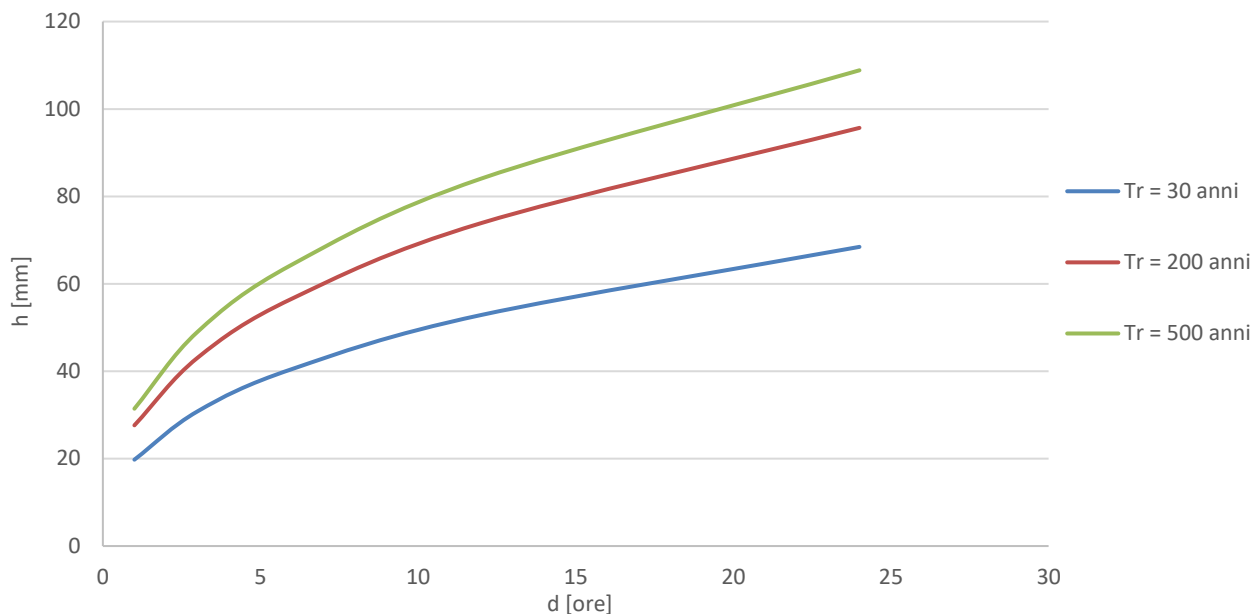


Figura 22 - Curve di possibilità pluviometrica

Tabella 6 - Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi periodi di ritorno

Tr	a	n
30	19.923	0.3913
200	27.849	0.3913
500	31.684	0.3913

4.3. Trasformazione Afflussi – Deflussi: Metodo CN – SCS

La stima della portata di piena per un assegnato tempo di ritorno viene condotta attraverso l'impiego di modelli afflussi-deflussi che trasformano l'input pluviometrico in deflusso superficiale.

Tra i modelli afflussi-deflussi disponibili in letteratura si farà riferimento in particolare al metodo proposto dal Soil Conservation Service americano (1972), nel seguito indicato come Metodo S.C.S.

Questo metodo, messo a punto dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (Soil Conservation Service, S.C.S.), nel 1972, è una procedura con ampia diffusione in ambiente americano e che consente la ricostruzione delle piene in bacini idrografici di superficie medio piccola, in genere non superiore a 20-30 km². Il metodo, noto anche come metodo "del numero di curva" dalla denominazione inglese di Curve Number, terminologia che deriva dal simbolo usato per la sua parametrizzazione, consente sia la

determinazione del volume della piena e della sua portata al colmo sia, qualora di interesse, la completa ricostruzione dell'idrogramma.

La procedura di calcolo che viene prevista dal metodo in trattazione viene illustrata nei seguenti passaggi, sintetizzati per punti:

- a) Stima del *Curve Number*, relativo a condizioni di elevata umidità (CN(III)), utilizzando la seguente formula:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{(0.43 + 0.0057 \cdot CN(II))}$$

dove:

CN(II) = *Curve Number*, relativo a condizioni di umidità media, desumibile dalla seguente tabella in funzione di diversi tipi di suolo e copertura:

Tabella 7 - Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura, considerando condizioni di media umidità CN(II).

Corine LIVELLO 3	SCS-CN per diversi HSG				Rif. USDA 1986
	A	B	C	D	
111 - Tessuto urbano continuo	89	92	94	95	Commercial and business (85% imp.)
112 - Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)/small>
121 - Unità industriali o commerciali	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
122 - Reti di strade e binari e territori associati	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
123 - Aree portuali	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
124 - Aeroporti	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
131 - Luoghi di estrazioni di minerali	76	85	89	91	Gravel (including right of way)
132 - Discariche	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
133 - Luoghi di costruzione	77	86	91	94	Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)
141 - Aree di verde urbano	49	69	79	84	Fair condition (grass cover 50 to 75%)
142 - Strutture di sport e tempo libero	68	79	86	89	Poor condition (grass cover <50%)

211 - Seminativi non irrigati	61	73	81	84	Contoured (C)
212 - Suolo permanentemente irrigato	67	78	85	89	Straight row (SR)
213 - Risaie	62	71	78	81	Contoured & terraced (C&T)
221 - Vigneti	76	85	90	93	Crop residue cover
222 - Frutteti e frutti minori	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
223 - Oliveti	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
231 - Pascoli	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
241 - Colture annuali associate a colture permanenti	61	73	81	84	Small grain
242 - Coltivazione complessa	61	73	81	84	Small grain
243 - Suoli principalmente occupati dall'agricoltura	61	73	81	84	Small grain
244 - Aree di agro-selvicoltura	43	65	76	82	Small grain
311 - Foreste a latifoglie	36	60	73	79	Woods
312 - Foreste a conifere	36	60	73	79	Woods
313 - Foreste miste	36	60	73	79	Woods
321 - Prateria naturale	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
322 - Lande e brugheria	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
323 - Vegetazione sclerofila	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
324 - Transizione suolo boscoso/arbusti	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
331 - Spiagge, dune e piani di sabbia	46	65	77	82	12% imp.
332 - Roccia nuda	96	96	96	96	Artificial desert landscaping
333 - Aree scarsamente vegetate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)
334 - Aree bruciate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)
335 - Ghiacciai e nevi perenni	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
411 - Paludi interne	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
412 - Torbiere	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
421 - Paludi di sale	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
422 - Saline	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
423 - Piani intertidali	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
511 - Corsi d'acqua	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
512 - Corpi d'acqua	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
521 - Lagune costiere	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
522 - Estuari	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
523 - Mare	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies

Tabella 8 - Tipi idrologici di suolo da considerare nella scelta del parametro CN.

Tipo di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in superficie.

- Stima del volume specifico di saturazione del terreno con la seguente formula:

$$V_s = 25.4 \left(\frac{1000}{CN(III)} - 10 \right)$$

dove:

V_s = Volume specifico di saturazione del terreno [mm];

CN(III) = Parametro numerico precedentemente calcolato.

- Stima della pioggia efficace con la seguente formula:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot V_s)^2}{(P + 0.8 \cdot V_s)}$$

dove:

P_e = Pioggia efficace [mm];

P = Pioggia totale [mm], esprimibile sulla base delle curve di probabilità pluviometrica risultanti dall'analisi idrologica e riferibile ad una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (t_c);

V_s = Volume specifico di saturazione del terreno [mm], precedentemente calcolato.

- Calcolo del tempo di accumulo nel bacino (t_a) in ore, in funzione del tempo efficace (t_{eff}) in ore e del tempo di ritardo (t_r) in ore, usando le seguenti formule:

$$t_a = 0.5 \cdot t_{eff} + t_r$$

$$t_{eff} = T_c \left(1 - \frac{0.2 S}{h_{T_c, T}} \right)$$

$$t_r = 0.6 \cdot T_c$$

dove:

$h_{Tc,T}$ (mm) = Altezza di pioggia esprimibile sulla base delle curve di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno (T) e del tempo totale di pioggia assunto pari al tempo di corrivazione del bacino (Tc);

Tc (ore) = Tempo di corrivazione del bacino considerato.

- Calcolo dell'idrogramma unitario, usando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{P_e \cdot S}{t_a}$$

dove:

Q_p = Portata di picco dell'idrogramma unitario [$m^3/sec \cdot mm$];

P_e = Pioggia efficace [mm];

S = Estensione del bacino [km^2];

t_a = Tempo di accumulo [ore].

- Calcolo della portata al colmo, usando la seguente formula:

$$Q = Q_p \cdot h_{Tc,T}$$

dove:

Q = Portata al colmo [m^3/s];

Q_p = Portata di picco dell'idrogramma unitario [$m^3/sec \cdot mm$];

$h_{Tc,T}$ = Altezza di pioggia calcolata sulla base della curva di probabilità pluviometrica in relazione ad un evento di durata pari al tempo di corrivazione (tc) e di fissato tempo di ritorno (T).

La trattazione a seguire riguarderà la stima dei parametri di input da inserire nel modello idrologico, sviluppato grazie all'ausilio del software HEC-HMS, al fine di valutare gli idrogrammi di piena

4.4. Schema idrologico del bacino

Il software HEC-HMS permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura; sia riferiti a grandi bacini idrografici che a piccole aree urbane o naturali.

La rappresentazione fisica del bacino idrografico viene fatta nella schematizzazione di bacino attraverso varie componenti, come sottobacini, tronchi fluviali, giunzioni, ritenute, fuoriuscite, sorgenti e pozzi, unite tra

di loro a formare una rete completa. Il software utilizza in pratica una schematizzazione a parametri concentrati del bacino idrografico, cioè il bacino idrografico viene schematizzato come un insieme di sottobacini idrografici uniti insieme tra loro dai tronchi fluviali e dalle giunzioni. Ogni sottobacino risponde alla evento pluviometrico secondo delle caratteristiche che sono del sottobacino ma che derivano dalle caratteristiche morfologiche, di uso del suolo, ecc. presenti nello stesso sottobacino.

Di seguito si riporta la schematizzazione del bacino mostrato in Figura 4:

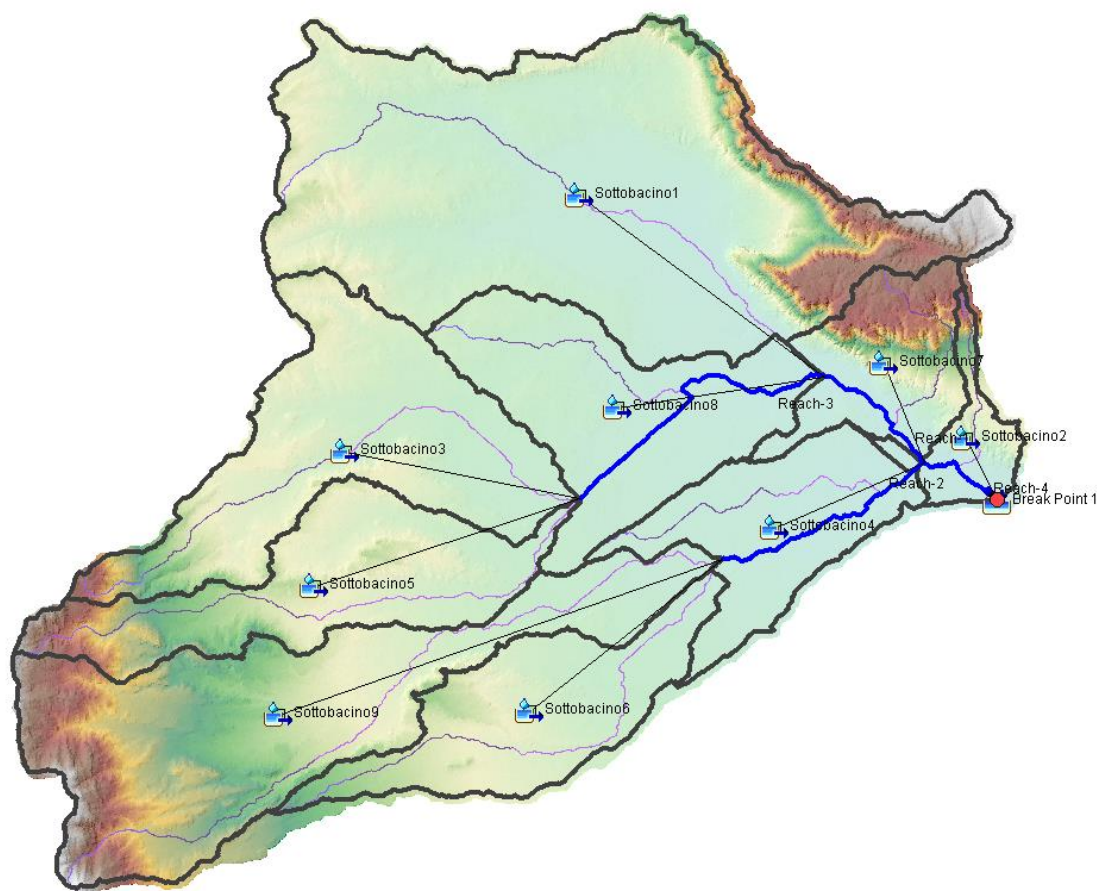


Figura 23 - Schematizzazione del bacino idrografico a monte dell'area di impianto

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche principali dei sottobacini mostrati in Figura 23:

Tabella 9 - Caratteristiche principali dei sottobacini

Sottobacini	Area [km ²]	Lunghezza dell'asta principale [km]	Pendenza dell'asta principale [-]	Pendenza media del bacino [-]	Quota massima [m.s.l.m.]	Quota minima [m.s.l.m.]	Quota media [m.s.l.m.]
Sottobacino 1	389.5	39.39	0.005	0.081	1010	15	149.3
Sottobacino 2	26.4	14.80	0.040	0.067	613	15	102.8
Sottobacino 3	165.0	34.53	0.018	0.044	715	55	133.4
Sottobacino 4	84.8	22.01	0.002	0.006	66	20	37.4
Sottobacino 5	121.9	36.73	0.025	0.070	981	55	208.5
Sottobacino 6	99.6	32.99	0.009	0.022	326	41	124.8
Sottobacino 7	64.0	16.40	0.040	0.147	725	15	245.9
Sottobacino 8	129.0	25.61	0.004	0.010	106	15	54.0
Sottobacino 9	218.3	45.53	0.021	0.093	1009	41	302.3

4.5. Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione del bacino coincide con il tempo di durata della pioggia. Tale parametro indica il tempo che impiega una goccia d'acqua dal punto idraulicamente più svantaggiato a raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Per il calcolo del tempo di corrivazione sono state utilizzate le seguenti formule presenti in letteratura:

- **Formula di Pezzoli**

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_k}} \text{ (ore)}$$

- **Formula di Pasini**

$$t_c = \frac{0.108^3 \sqrt{A_b * L}}{\sqrt{i_k}} \text{ (ore)}$$

- **Formula di Viparelli**

$$t_c = \frac{L}{3.6 * V} \text{ (ore)}$$

- **Formula di Ventura**

$$t_c = 0.1272 * \sqrt{\frac{A_b}{i}} \text{ (ore)}$$

- **Formula di Giandotti**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{H_{med} - H_{min}}} \text{ (ore)}$$

dove:

- A_b = Area del bacino [km²];
- i = Pendenza media del bacino [-];
- L = Lunghezza dell'asta principale [km];
- i_k = Pendenza media dell'asta principale [-];
- V = Velocità media della corrente assunta pari a 1,5 m/s.

Di seguito si riportano i valori di t_c per i sottobacini di interesse:

Tabella 10 - Valori del tempo di corrivazione per i sottobacini di interesse.

	Pezzoli	Pasini	Viparelli	Ventura	Giandotti	tc medio [ore]
Sottobacino 1	31.94	39.57	7.29	8.82	14.89	20.50
Sottobacino 2	4.05	3.93	2.74	2.52	5.71	3.79
Sottobacino 3	14.21	14.43	6.39	7.82	14.57	11.48
Sottobacino 4	28.37	31.17	4.08	15.14	20.94	19.94
Sottobacino 5	12.72	11.21	6.80	5.29	10.01	9.21
Sottobacino 6	19.55	17.30	6.11	8.52	12.20	12.74
Sottobacino 7	4.50	5.47	3.04	2.66	4.66	4.06
Sottobacino 8	23.64	27.00	4.74	14.14	16.79	17.26
Sottobacino 9	17.26	16.00	8.43	6.16	9.85	11.54

Il tempo di corrivazione finale è stato ottenuto come media dei tempi di corrivazione calcolati con le formule di letteratura.

4.6. Stima del Curve Number

Per calcolare il Curve Number per il sottobacino di interesse secondo il metodo SCS si considerano le tematiche relative all'uso del suolo e alla litologia dell'area in esame riportate nel seguito:

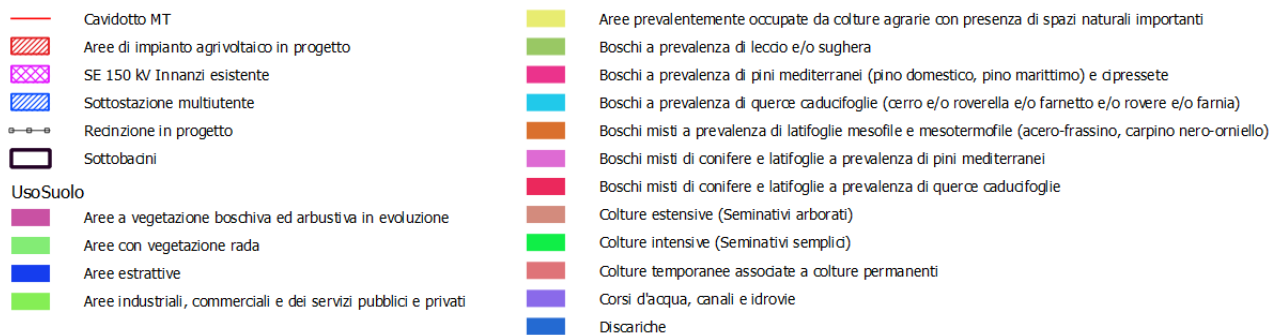
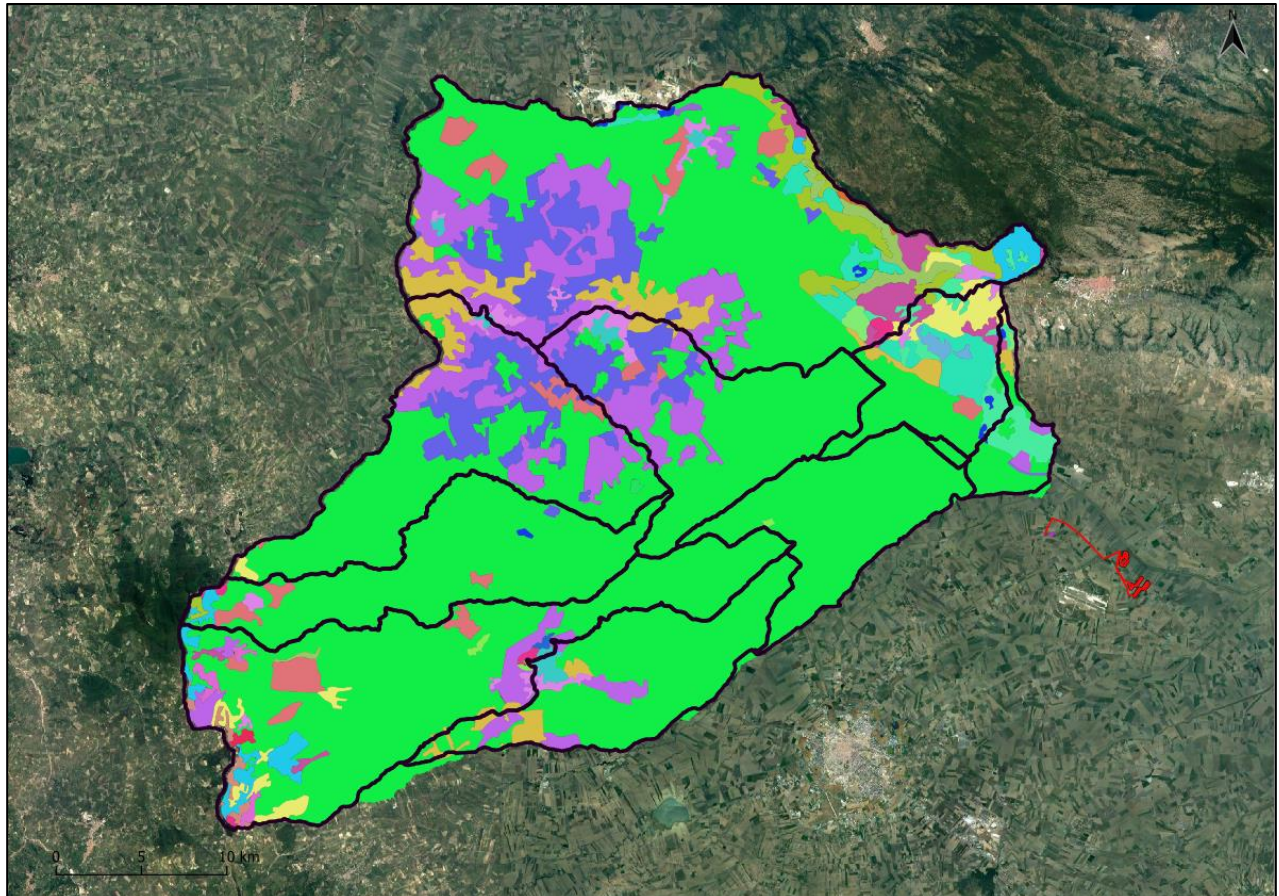
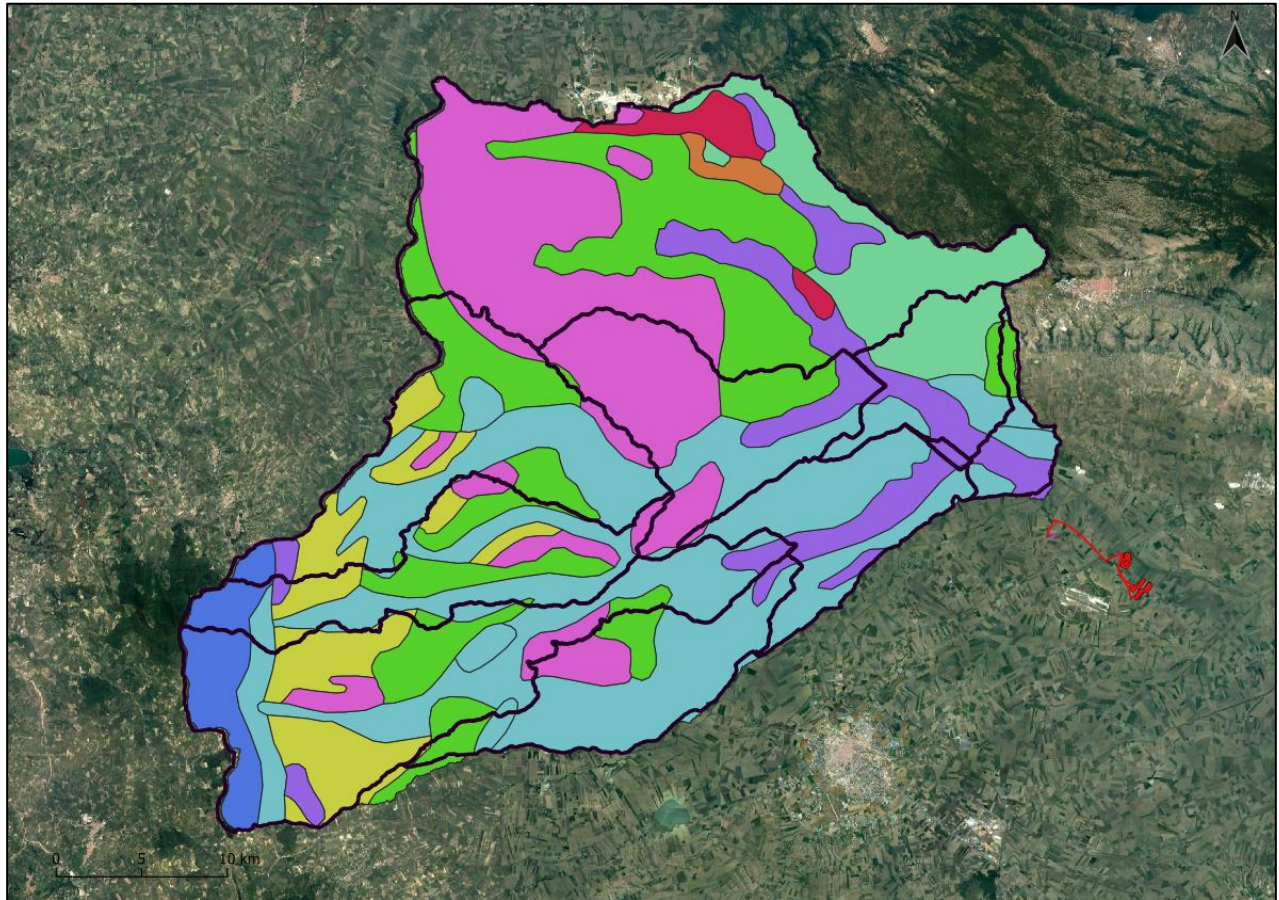


Figura 24 - Uso del suolo del bacino in esame. (Fonte: Corine Land Cover 2012 – IV livello)



- | | | | |
|-----------|--|---|---|
| — | Cavidotto MT | ■ | Calcari detritici ed organogeni tipo panchina |
| ▨ | Aree di impianto agrivoltaiico in progetto | ■ | Calcari e talvolta dolomie dolomitidi neritici e di piattaforma |
| ▩ | SE 150 kV Innanzi esistente | ■ | Calcari organogeni e biodetritici neritici e di piattaforma |
| ▧ | Sottostazione multiutente | ■ | Detriti, alluvioni terrazzate, fluvioacustri e fluvioacustri |
| —○— | Redinzione in progetto | ■ | Detriti, depositi alluvionali e fluvioacustri, spiagge attuali |
| ▭ | Sottobacini | ■ | Sabbie e conglomerati |
| Litologia | | ■ | Unita'calcareo-marnose (torbiditiche) |
| ■ | Argille | | |

Figura 25 - Tipologia del suolo del sottobacino in esame. (Fonte: Carta Geolitologica – Geoportale Nazionale)

Dalla combinazione delle informazioni sopra riportate viene assegnato un valore univoco del Curve Number per ogni sottobacino considerato:

Tabella 11 - Valori del Curve Number medio

	CN(II)
Sottobacino 1	75
Sottobacino 2	59
Sottobacino 3	67
Sottobacino 4	67
Sottobacino 5	63
Sottobacino 6	61
Sottobacino 7	51
Sottobacino 8	64
Sottobacino 9	62

4.7. Stima degli ietogrammi per i sottobacini

L'input idrologico da inserire nel modello è lo ietogramma, definito come distribuzione temporale della precipitazione da utilizzare per la progettazione o per la verifica in condizioni estreme di specifiche opere.

Esso rappresenta un modello, cioè una schematizzazione, più o meno complessa, ideata per ottenere, in maniera univoca e riproducibile, l'evoluzione temporale dell'evento pluviometrico.

Il modello usato in questa trattazione è lo ietogramma Chicago il quale risulta coerente con la curva di probabilità pluviometrica.

Alla luce di ciò si procede al calcolo dei parametri a e n per ogni sottobacino considerato utilizzando nuovamente la distribuzione statistica TCEV secondo la metodologia VAPI per un tempo di ritorno di 200 anni.

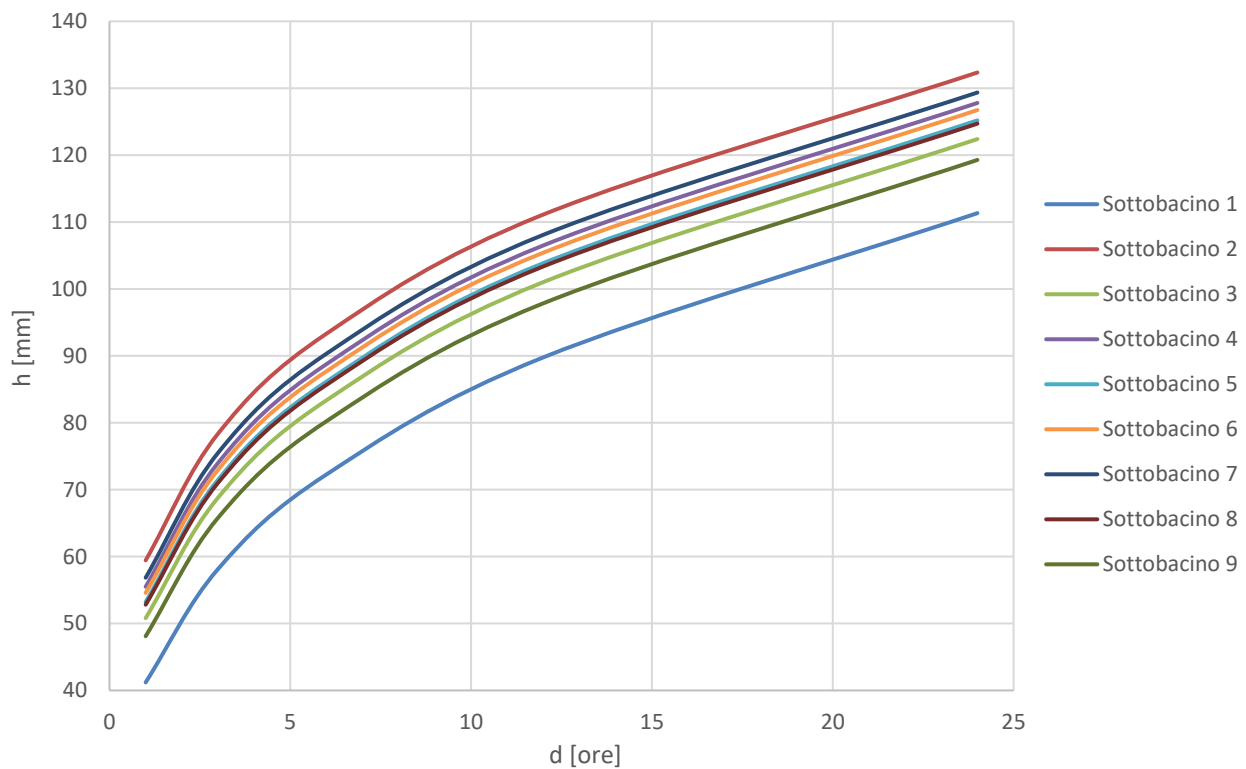


Figura 26 - Curve di possibilità pluviometrica relative ai sottobacini per un periodo di ritorno di 200 anni

Tabella 12 - Coefficienti a ed n per i sottobacini

	a	n
Sottobacino 1	41.22	0.3129
Sottobacino 2	59.431	0.2519
Sottobacino 3	50.788	0.2767
Sottobacino 4	55.474	0.2625
Sottobacino 5	53.21	0.2691
Sottobacino 6	54.549	0.2652
Sottobacino 7	56.83	0.2587
Sottobacino 8	52.79	0.2704
Sottobacino 9	48.087	0.2858

Ottenuti i parametri delle curve di possibilità pluviometrica è possibile calcolare gli ietogrammi di progetto per i singoli bacini per un evento pluviometrico di durata pari a 6 ore di cui vengono riportati i grafici di seguito:

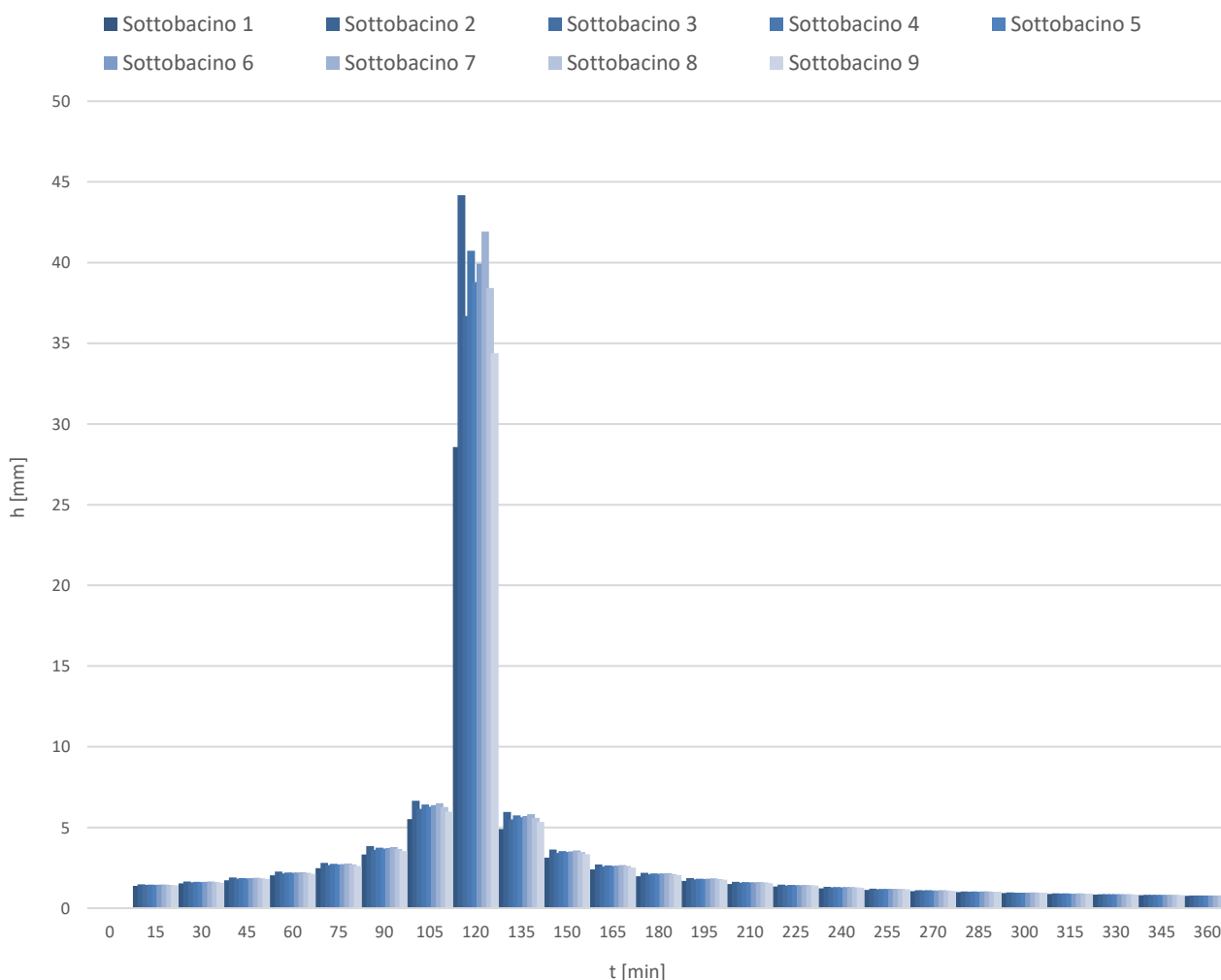


Figura 27 - Ietogrammi di progetto per un tempo di ritorno di 200 anni

4.8. Stima degli idrogrammi di progetto

Una volta ottenuti tutti i parametri da inserire nel modello è possibile avviare la simulazione idrologica che darà come risultati gli idrogrammi di piena per i sottobacini in considerazione.

Osservando lo schema idrologico del bacino riportato in Figura 23, l'idrogramma che verrà utilizzato come input nella simulazione idraulica sarà quello che si avrà nella sezione di chiusura indicata in figura come *break point 1*.

L'idrogramma risultante dalla simulazione è mostrato nella figura seguente:

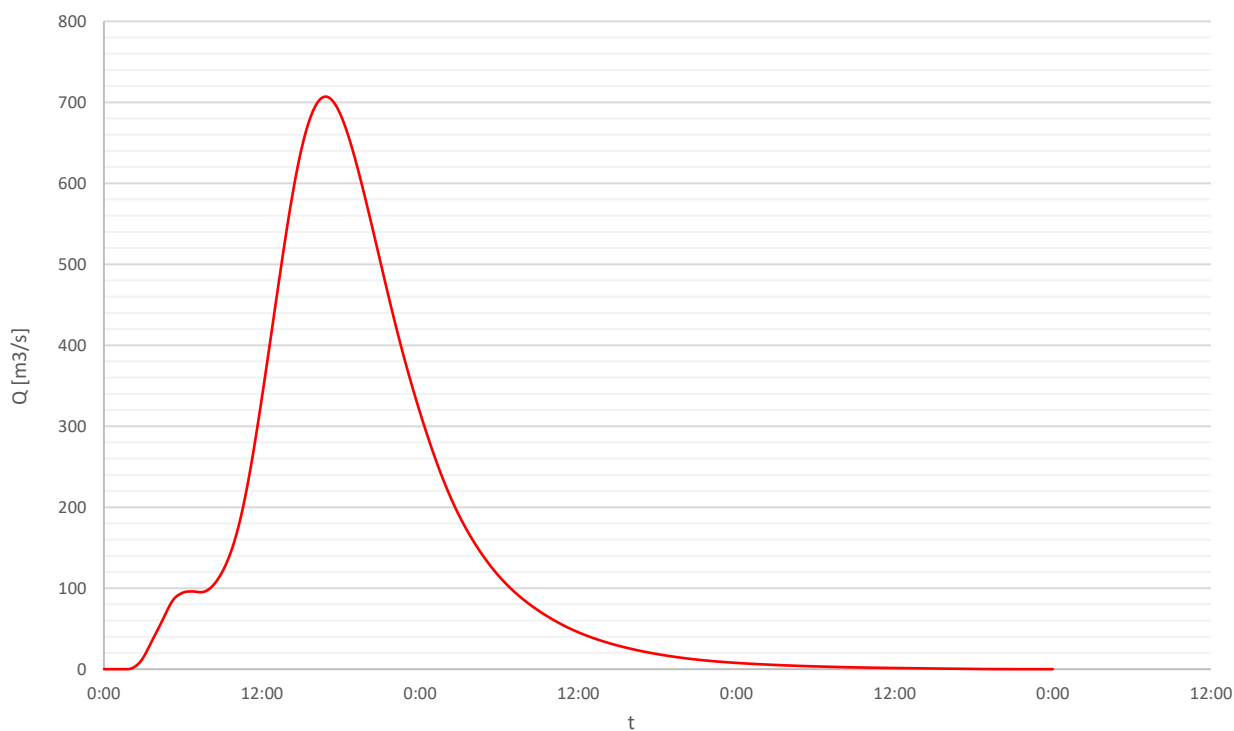


Figura 28 - Idrogramma di piena nella sezione di chiusura del bacino a monte dell'impianto

La portata di picco raggiunta nella sezione di chiusura è pari a 707 m³/s e si verifica dopo circa 17 ore dall'inizio dell'evento pluviometrico con tempo di ritorno di 200 anni.

5. ANALISI IDRAULICA

Nell'analisi idraulica si è proceduto con la simulazione della propagazione delle piene dapprima in moto permanente e successivamente, nel caso di esondazione degli argini, in moto vario al fine di individuare le aree inondabili e stabilire i livelli di pericolosità idraulica delle aree oggetto di interesse.

L'output dello studio idraulico, simulando un evento con tempo di ritorno 200 anni, consente di individuare la parte di territorio allagabile e stabilire se le aree interessate dall'impianto sono investite dall'inondazione.

I risultati per la valutazione del deflusso superficiale sono stati ottenuti implementando un modello idraulico grazie all'utilizzo del software HEC-RAS 6.2, programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS).

Nel caso in esame è stato predisposto un modello idrodinamico combinato modimensionale e bidimensionale, in quanto ritenuto il più idoneo a simulare in maniera corretta lo scenario degli allagamenti che si potrebbero verificare nella zona. Il modello è costituito da due componenti:

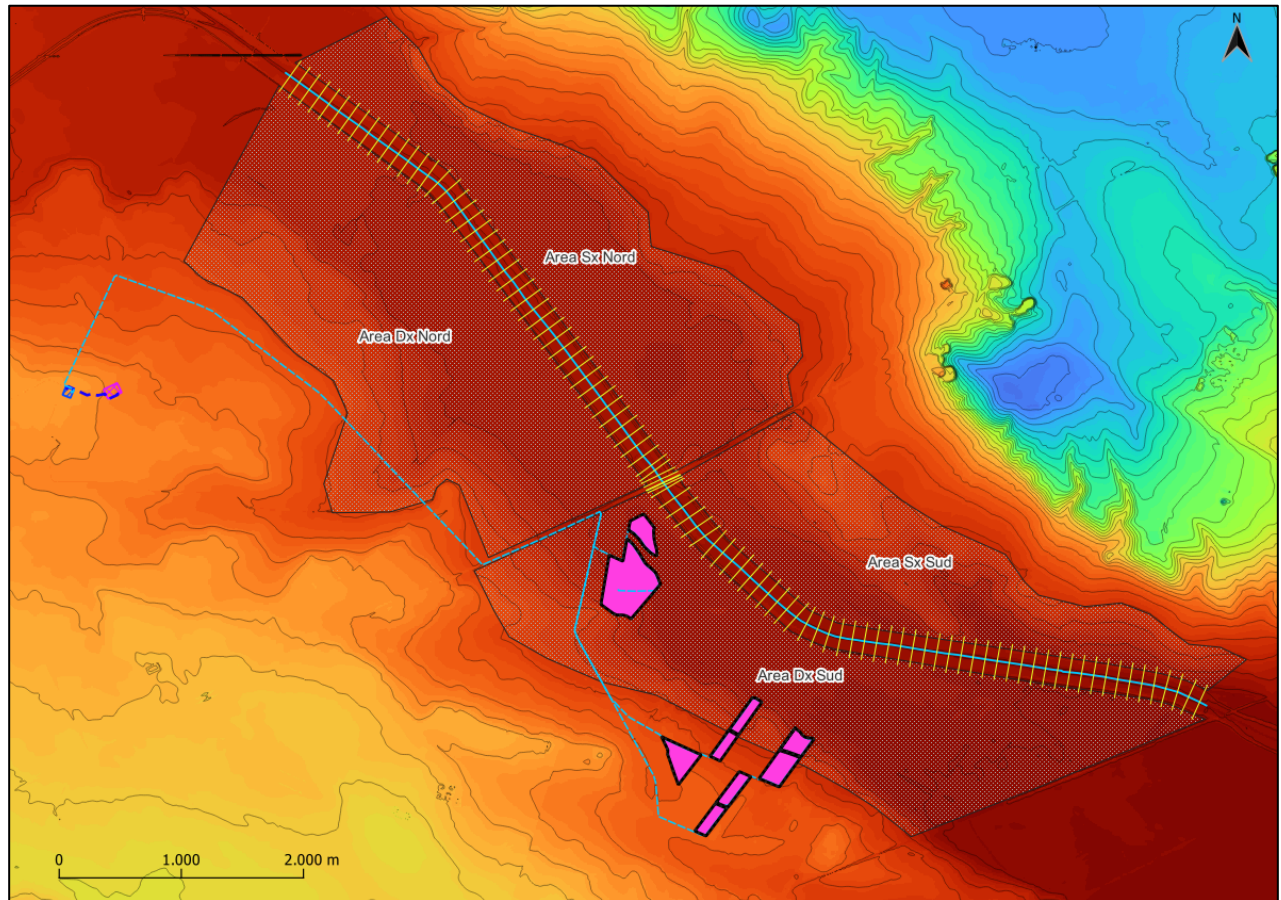
- Monodimensionale, lungo il tratto del torrente Candelaro che costeggia l'area di impianto, per simulare la propagazione dell'onda di piena lungo il corso d'acqua e valutare eventuali fuoriuscite;
- Bidimensionale, nelle aree esterne che si inondano per effetto delle fuoriuscite, in modo da simulare la propagazione dei deflussi sul piano campagna.

Il modello digitale del terreno è stato ottenuto dal geoportale della Regione Puglia ed ha una risoluzione di 8 m.

La parte monodimensionale del modello è costituita da sezioni trasversali perpendicolari all'alveo del torrente Candelaro poste a distanza di 100 m a cui poi sono state aggiunte ulteriori sezioni interpolate a distanza di 50 m.

La parte bidimensionale è formata da 4 aree a flusso 2D collegate alla geometria monodimensionale dell'alveo tramite sfioratori laterali modellati in modo da riprodurre (secondo il modello digitale del terreno) le arginature esistenti.

Di seguito si riporta l'inquadramento della geometria su base DTM:












- | | | | |
|---|---------------------------------------|--|------------------------|
|  | Cavidotto MT |  | Redinzione in progetto |
|  | Cavidotto AT |  | River |
|  | Aree di impianto agricolo in progetto |  | Cross Sections |
|  | SE 150 kV Innanzi esistente |  | Aree a flusso 2D |
|  | Sottostazione multiutente | | |

Figura 29 - Inquadramento su DTM della geometria del modello

Immediatamente a monte dell'impianto le sezioni sono state infittite per meglio caratterizzare il ponte esistente.

Si riportano di seguito i risultati della simulazione su base satellitare:

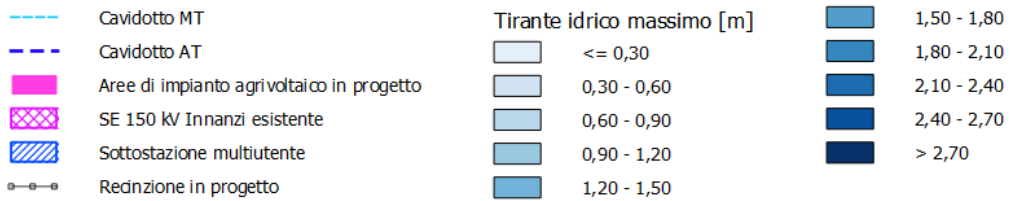
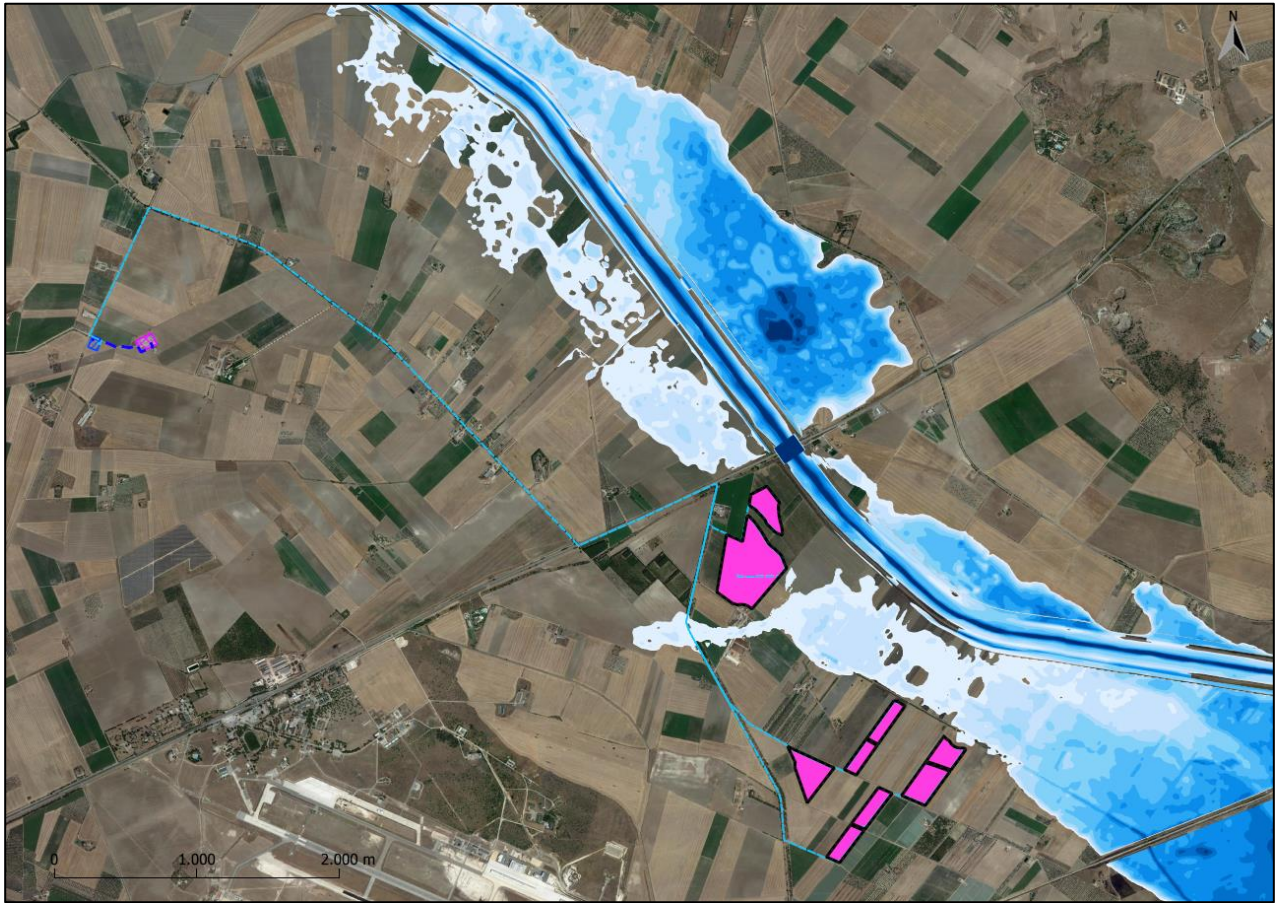


Figura 30 - Inquadramento su base satellitare del tirante idrico massimo raggiunto

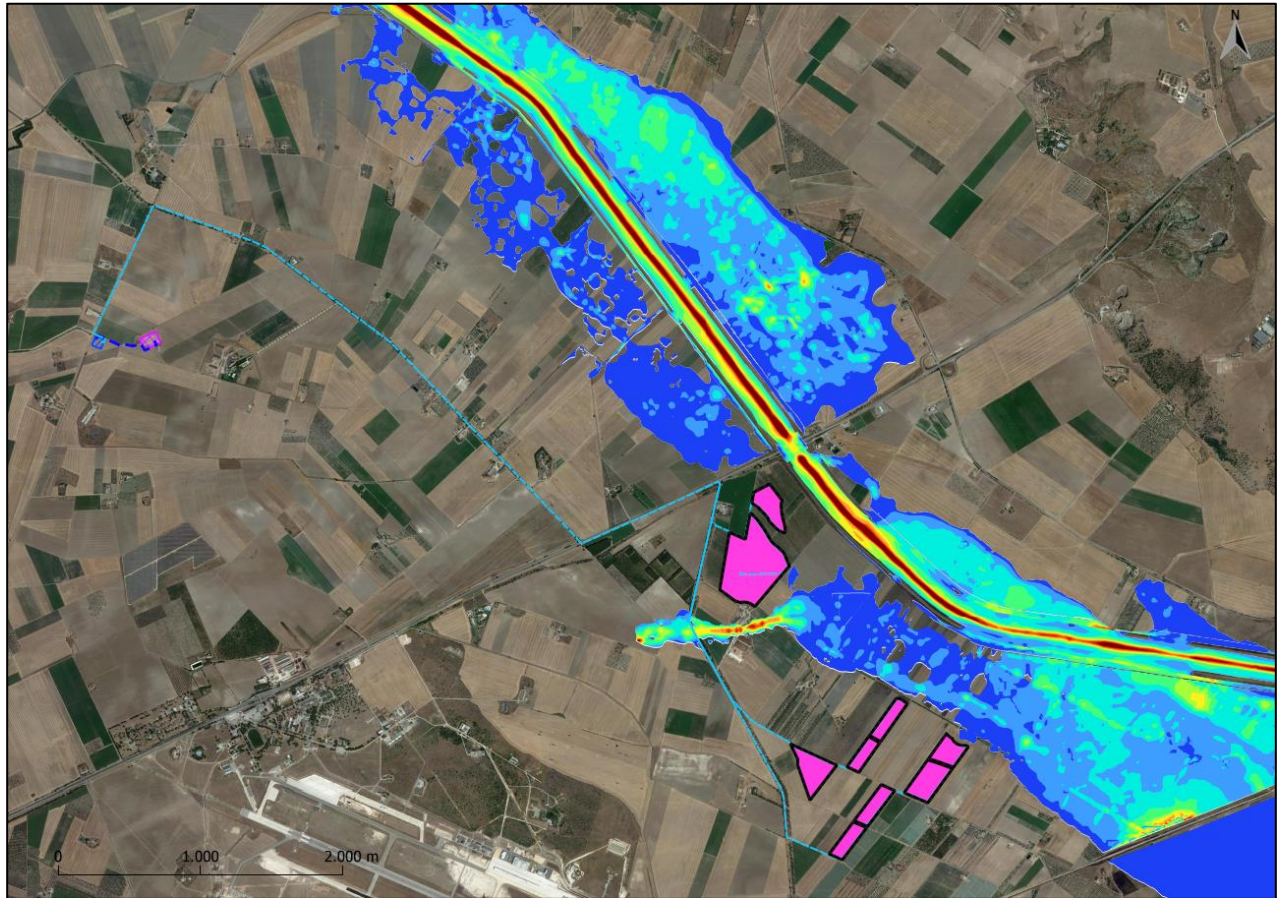


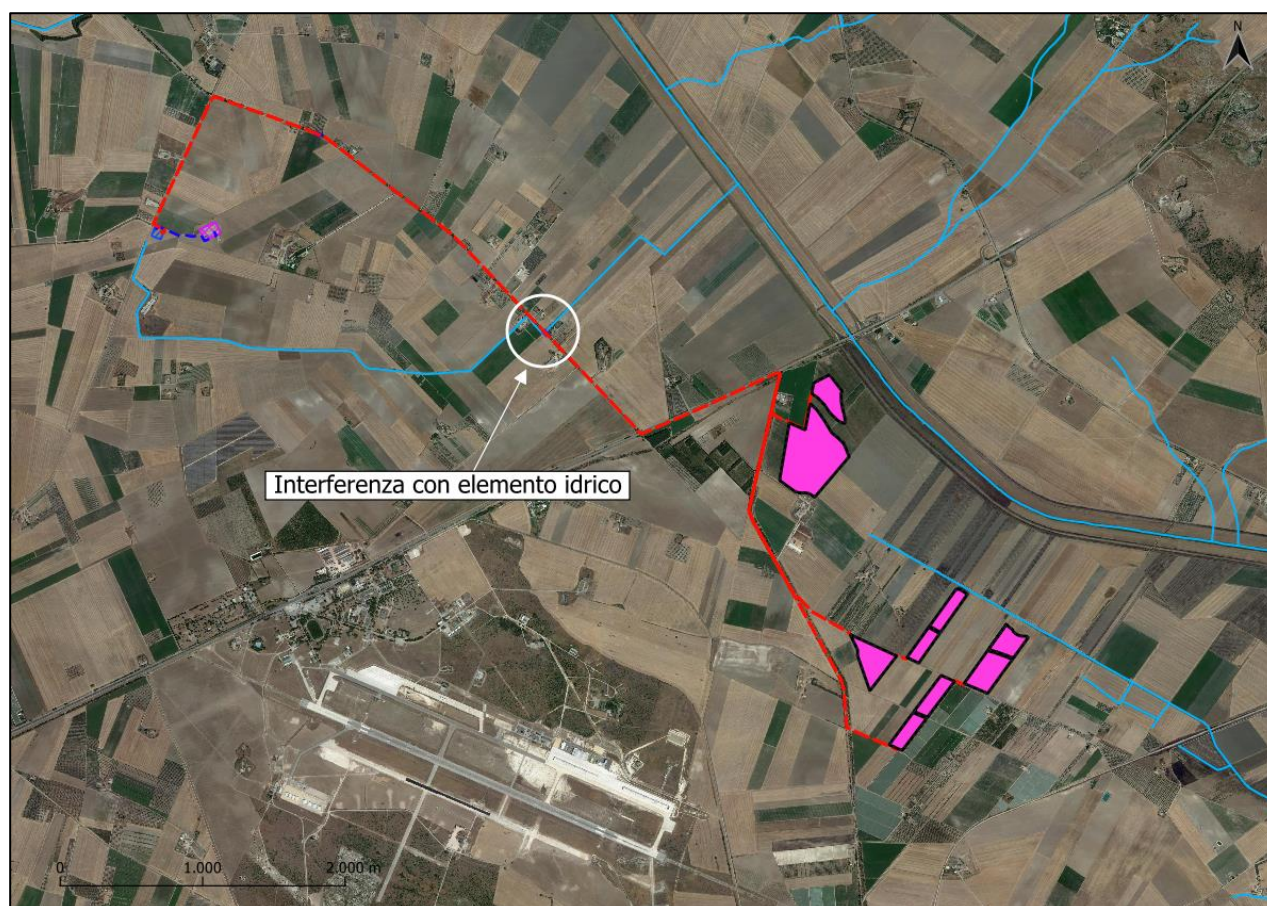
Figura 31 - Mappa delle massime velocità raggiunte

I risultati dimostrano che l'impianto non viene interessato dall'inondazione causata dall'evento pluviometrico con tempo di ritorno di 200 anni.

È inoltre possibile osservare che il tratto stradale situato immediatamente a monte dell'impianto funge da barriera per il deflusso scongiurando il pericolo di inondazione.

6. INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO, AREE PERIMETRATE DAL PAI E SOTTOSERVIZI

Come riportato in Figura 5 e in Figura 6, il layout di impianto interferisce con aree a pericolosità idraulica perimetrata dal PAI. Inoltre, in alcuni punti, il tracciato del cavidotto MT in progetto interferisce con un elemento idrico censito dall'AdB Puglia come riportato nell'immagine a seguire:











	Cavidotto MT		Sottostazione multiutente
	Cavidotto AT		Attraversamento in TOC
	Aree di impianto agrivoltaico in progetto		Recinzione in progetto
	SE 150 kV Innanzi esistente		Reticolo idrografico

Figura 32 - Inquadramento del layout di impianto e il reticolo idrografico

L'interferenza con il reticolo idrografico verrà risolta tramite la tecnica di trivellazione controllata (TOC) la quale, permette il superamento e la posa delle tubazioni in condizioni dove sarebbe difficile se non impossibile intervenire con scavi a cielo aperto. La trivellazione avviene mediante l'inserimento nel terreno di una serie di aste flessibili rotanti, la prima delle quali collegata ad una testa di trivellazione orientabile. L'asportazione del terreno in eccesso avviene per mezzo di fanghi bentonitici e vari polimeri biodegradabili

che, passando attraverso le aste di perforazione e fuoriuscendo dalla testa, asporta il terreno facendolo defluire a ritroso lungo il foro, fino alla buca di partenza (immersione) sotto forma di fango.

Il controllo della testa di trivellazione, generalmente, avviene ad onde radio o via cavo per mezzo di una speciale sonda che, alloggiata all'interno della testa, è in grado di fornire in ogni istante dati multipli su profondità, inclinazione e direzione sul piano orizzontale.

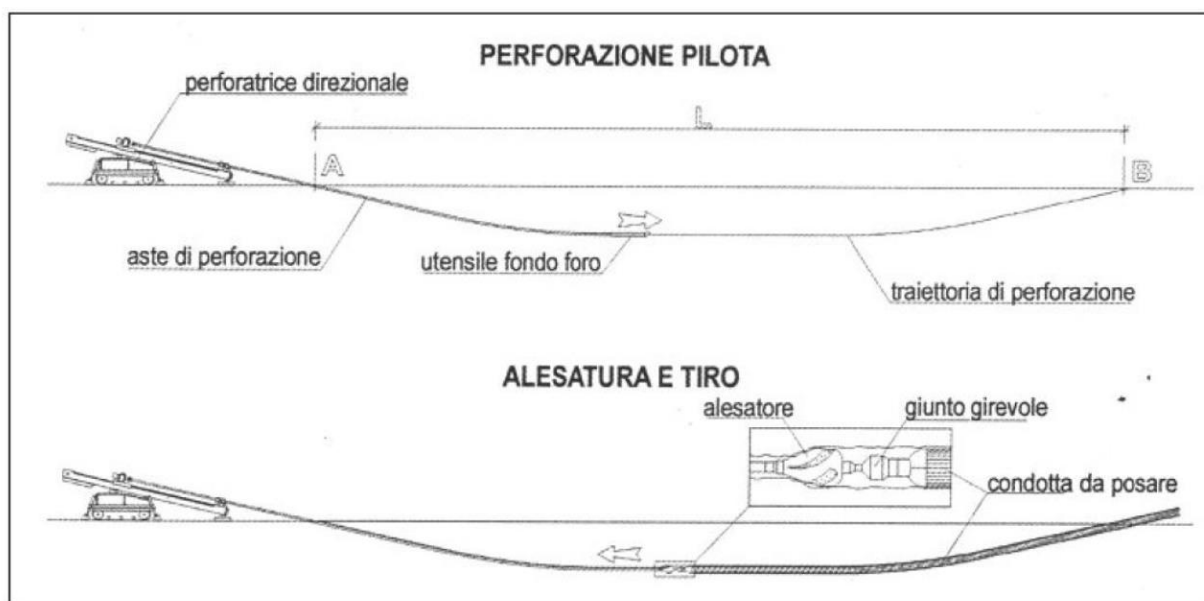


Figura 33 - Fasi tipiche della realizzazione di una TOC

Per quanto riguarda le interferenze del cavidotto MT con le aree censite dal PAI, questo, si svilupperà su viabilità esistente asfaltata e, in quanto opera interrata, non andrà ad alterare la pericolosità idraulica poiché, a seguito della posa in opera, la sezione stradale interessata dall'intervento verrà ripristinata allo stato ante operam.

Infine, si segnala la presenza, nelle aree di impianto poste a sud, di alcuni sottoservizi di competenza del Consorzio per la bonifica della capitanata di Foggia identificate come condotte consortili, di cui se ne riporta l'ubicazione dettagliata nell'immagine seguente:

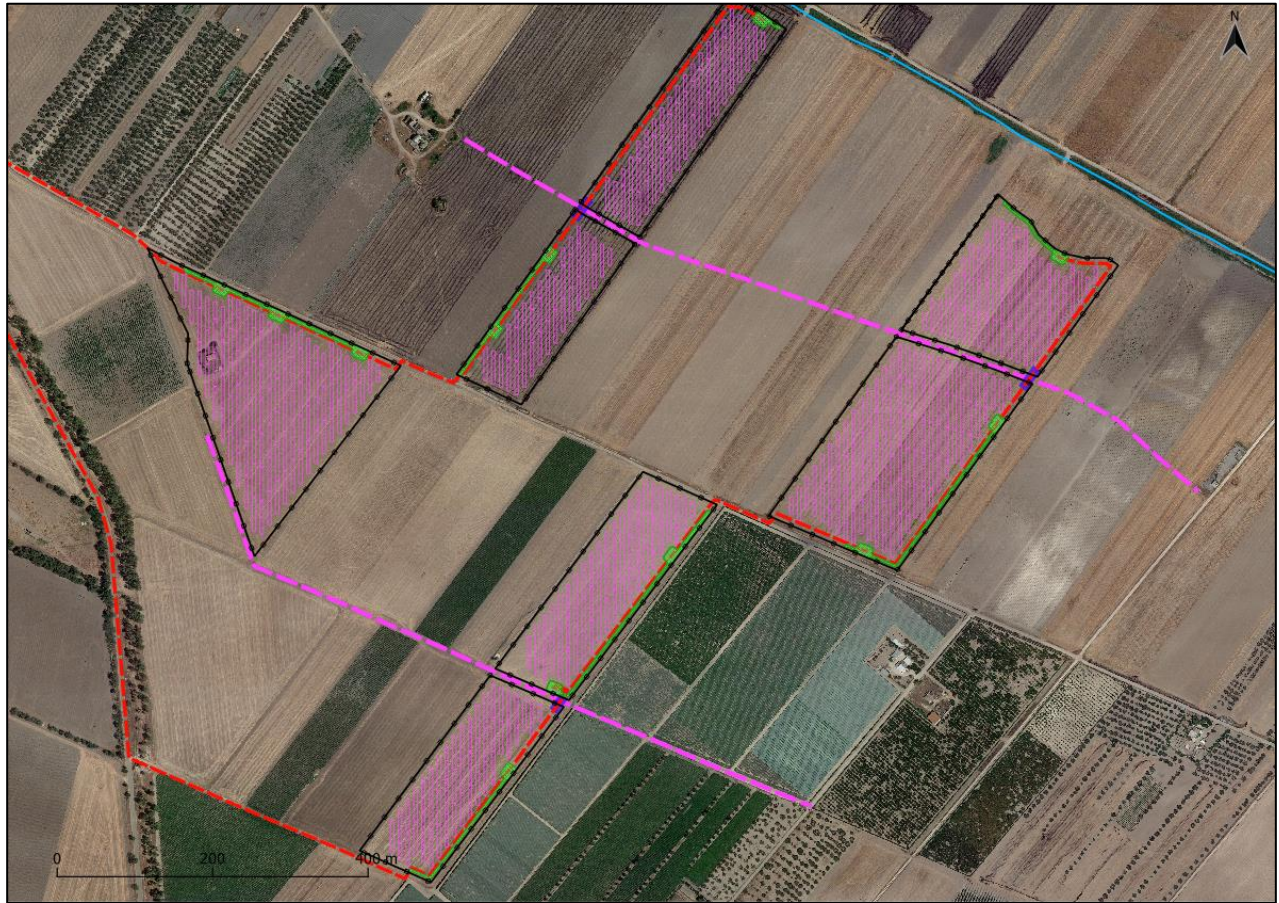


Figura 34 - Inquadramento del layout di impianto con individuazione delle condotte consortili

Anche in questo caso le interferenze verranno risolte mediante trivellazione orizzontale controllata prevedendo il passaggio dei cavi MT al di sotto del sottoservizio.

7. DIMENSIONAMENTO DELLA RETE DI DRENAGGIO

Il dimensionamento della rete di drenaggio verrà stimato considerando una portata massima di progetto con un tempo di ritorno di 10 anni, secondo una trasformazione afflussi-deflussi basata sul metodo razionale (o metodo cinematico).

Il Metodo Razionale è un procedimento particolarmente semplice ed efficace per calcolare la portata al colmo di piena Q con un tempo di ritorno T assegnato alla sezione di chiusura di un bacino. Generalmente utilizzato nel caso di bacini di estensione inferiore a 10 kmq si fonda sulla seguente formula:

$$Q = \frac{C \cdot S \cdot a \cdot T_c^{n-1}}{360}$$

dove:

Q = Portata di progetto [mc/s];

S = Sottobacino imbrifero a monte della sezione di chiusura [ha];

C = Coefficiente di deflusso medio del sottobacino imbrifero [-];

T_c = Tempo di corrivazione del bacino [ore];

a = Parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), funzione del T_r , coincidente con l'inclinazione della retta di tendenza della curva su scala logaritmica [mm/h];

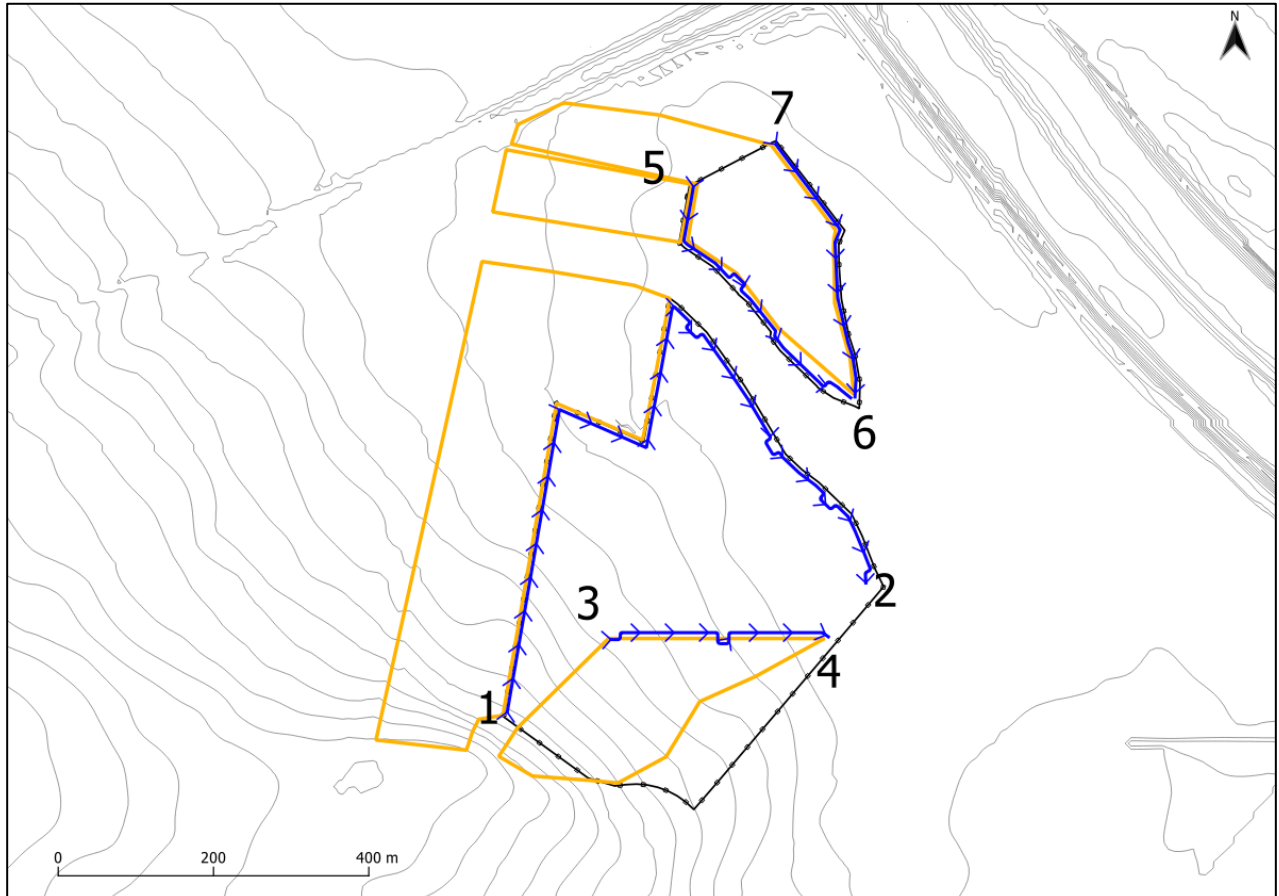
n = Parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), funzione del T_r , coincidente con l'intercetta della retta di tendenza della c.p.p. su scala logaritmica [-].

Il modello adottato assume le seguenti ipotesi:

- Piogge caratterizzate da un tempo di ritorno T_r generano portate al picco di identico tempo di ritorno T_r ;
- a parità di tempo di ritorno T_r , la portata al colmo maggiore è quella determinata dall'evento di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione (T_c , che diventa quindi tempo critico);
- la portata al colmo Q , determinata da una pioggia di intensità costante e durata T_c , è proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata all'area e dell'area del bacino S , attraverso un coefficiente C che comprende l'effetto delle perdite per infiltrazione.

La prima ipotesi risulta abbastanza aderente alla realtà, mentre la seconda e la terza assunzione possono giustificarsi schematizzando opportunamente il fenomeno della trasformazione afflussi – deflussi assumendo che le perdite siano proporzionali all'intensità di pioggia e che il tempo impiegato dall'acqua a raggiungere la sezione di chiusura dipenda soltanto dalla lunghezza del percorso compiuto.

Il predimensionamento della rete di drenaggio relativa dell'area di impianto è stato eseguito riferendosi all'ipotesi dei tracciati dei singoli drenaggi, individuando in maniera preliminare, i sottobacini che verosimilmente si sviluppano in corrispondenza della sezione di chiusura:




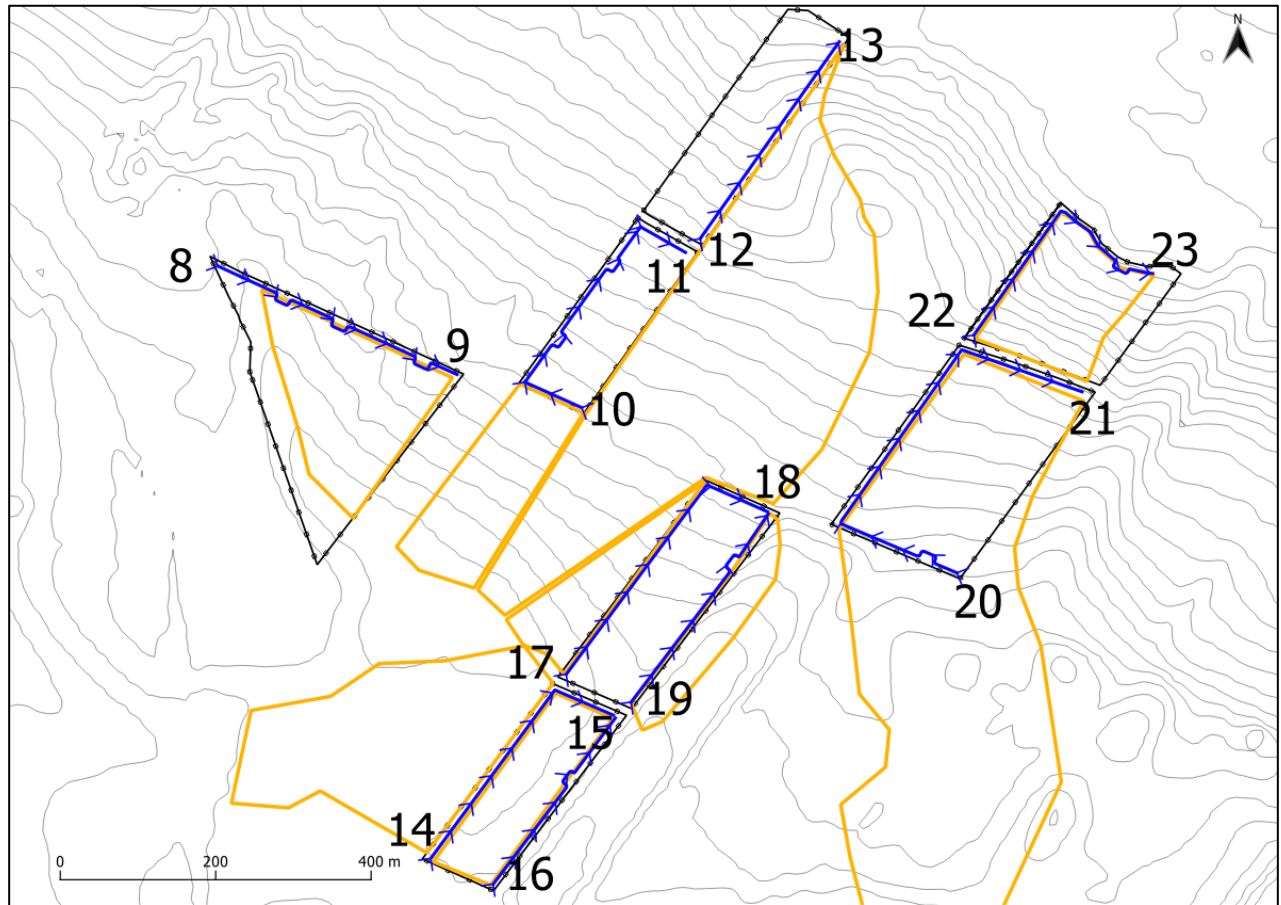
— — — — — Redinzione in progetto  Condotte di drenaggio  Badni cunette

Figura 35 - Inquadramento delle cunette di drenaggio e dei sottobacini di scolo corrispondenti



Redinzione in progetto

→
 Condotte di drenaggio
 Bacini cunette

Figura 36 - Inquadramento delle cunette di drenaggio e dei sottobacini di scolo corrispondenti

Si riportano di seguito le caratteristiche principali dei sottobacini individuati:

Sottobacini	Area [mq]	Area [ha]	Lunghezza asta [m]	Pendenza asta [-]
1-2	107851	10.79	1174	0.011
3-4	39485	3.95	454.5	0.024
5-6	19246	1.92	561	0.004
7-6	51984	5.20	637.5	0.005
8-9	34712	3.47	271.5	0.011
10-11	27225	2.72	687	0.020
12-13	135502	13.55	865.6	0.027
14-15	62087	6.21	596	0.002
16-15	20664	2.07	265.5	0.001
17-18	15793	1.58	400.4	0.017
19-18	14724	1.47	313.7	0.021
20-21	156592	15.66	1006.5	0.013
22-23	24382	2.44	346	0.027

Il calcolo della portata al colmo per i singoli bacini individuati, viene eseguito applicando la formula del *Metodo Razionale* riportata precedentemente.

Si riportano di seguito i risultati per i sottobacini esaminati:

Tabella 13 - Calcolo della portata di picco per i sottobacini considerati

Sottobacini	Tc [ore]	Tc [min]	C	Qp [m3/s]
1-2	0.43	25.74	0.2	0.30
3-4	0.15	9.15	0.2	0.08
5-6	0.35	20.83	0.2	0.05
7-6	0.37	22.16	0.2	0.14
8-9	0.14	8.16	0.2	0.07
10-11	0.23	13.58	0.2	0.06
12-13	0.24	14.35	0.2	0.32
14-15	0.50	30.17	0.2	0.18
16-15	0.33	19.55	0.2	0.05
17-18	0.16	9.40	0.2	0.03
19-18	0.12	7.21	0.2	0.03
20-21	0.36	21.48	0.2	0.41
22-23	0.12	7.02	0.2	0.05

Il dimensionamento viene effettuato confrontando il valore di portata proveniente dal calcolo del Metodo Razionale, con il valore di portata ricavato dall'equazione di continuità di Manning, considerando il materiale di finitura e le caratteristiche geometriche della sezione idraulica delle cunette e delle tubazioni:

$$Q = A_m K_s R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i}$$

dove:

- Q = Portata del canale [m³/s];
- A_m = Area bagnata [m²];
- K_s = Coefficiente di resistenza di Strickler [m^{1/3}/s];
- i = Pendenza longitudinale delle cunette [-];
- R = Raggio idraulico, così definito:

$$R = \frac{A_m}{P_m}$$

dove:

- P_m = Perimetro bagnato [m].

La verifica idraulica delle cunette viene eseguita ricercando il tirante idrico della sezione per il quale si verifica

la portata nota.

In questo contesto, dunque si fa affidamento alla seguente espressione:

$$y(h) = A_m K_s R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} - Q_p$$

dove:

- Q_p = Portata ricavata col metodo razionale.

Quello che si vuole ricercare è il tirante idrico h per il quale la funzione $y(h)$ è uguale a zero.

Di seguito si riportano le dimensioni delle sezioni che soddisfano la relazione sopra riportata e le velocità che si verificano nelle cunette:

Tabella 14 - Caratteristiche geometriche delle cunette

B [m]	b [m]	h [m]	β [°]	A[m ²]
1.2	0.4	0.4	45	0.32

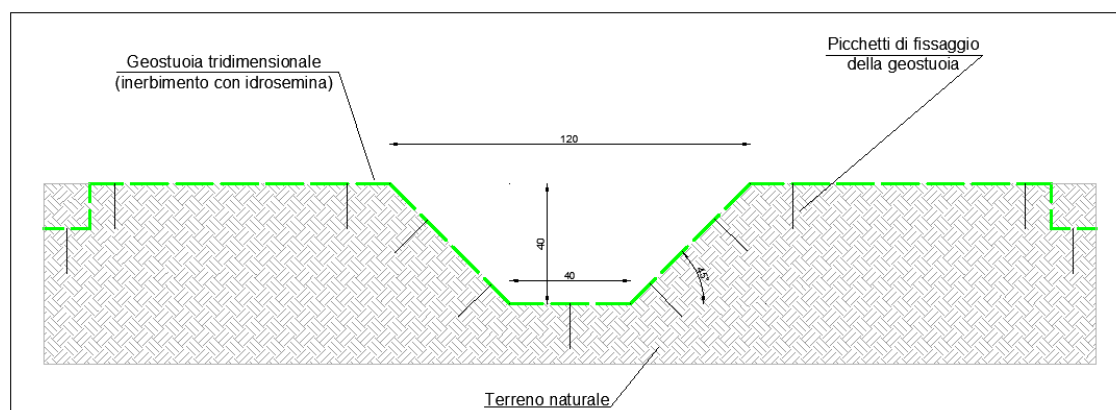


Figura 37 - Sezione trasversale delle cunette in progetto

Di seguito si riportano i risultati utili ai fini del dimensionamento delle cunette:

Sottobacini	h	B [m]	Am [mq]	Pm [m]	R	i	Ks	Am/A	v [m/s]
1-2	0.34	1.07	0.25	1.35	0.18	0.007	45	0.77	1.21
3-4	0.15	0.70	0.08	0.83	0.10	0.011	45	0.26	1.02
5-6	0.21	0.82	0.13	0.99	0.13	0.001	45	0.40	0.40
7-6	0.24	0.89	0.16	1.09	0.14	0.005	45	0.49	0.88
8-9	0.16	0.73	0.09	0.87	0.11	0.006	45	0.29	0.78
10-11	0.12	0.63	0.06	0.73	0.08	0.016	45	0.19	1.07
12-13	0.24	0.88	0.15	1.08	0.14	0.029	45	0.48	2.10
14-15	0.30	0.99	0.21	1.24	0.17	0.004	45	0.65	0.86
16-15	0.19	0.78	0.11	0.94	0.12	0.002	45	0.35	0.47
17-18	0.08	0.56	0.04	0.63	0.06	0.016	45	0.12	0.88
19-18	0.07	0.55	0.03	0.61	0.06	0.017	45	0.11	0.86
20-21	0.34	1.07	0.25	1.35	0.18	0.013	45	0.77	1.67
22-23	0.08	0.57	0.04	0.64	0.06	0.027	45	0.13	1.19

Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche, considerando che la tipologia di suolo su cui ricade l'impianto ha una discreta permeabilità, la scelta progettuale ricade sull'installazione di pozzetti drenanti a termine di ogni tratto interessato dal dreno stesso.

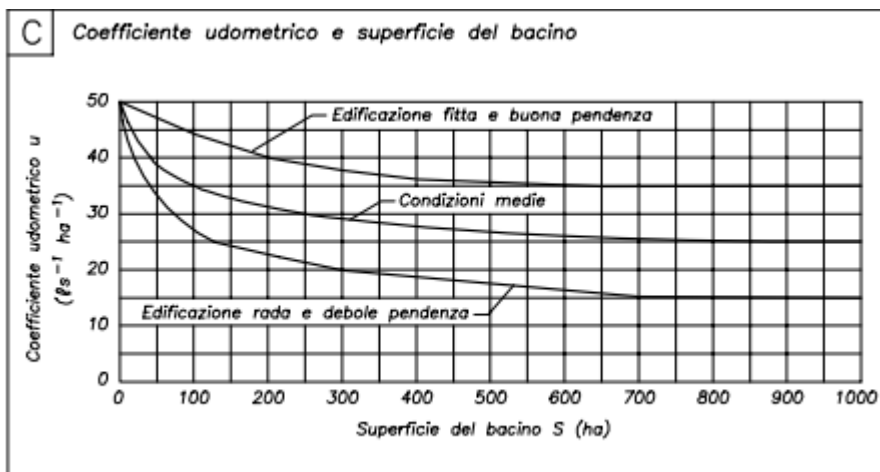
Si riportano di seguito le formule empiriche utilizzate per il dimensionamento dei pozzi:

$$Q = u * A * f$$

Dove u è il coefficiente udometrico (l/s*ha), A è l'area del bacino scolante (ha) ed f è il coefficiente d'assorbimento medio ponderale del bacino.

Determinazione indicativa di f:

0,3 – 0,4 Villette con giardini
0,6 – 0,8 Comparti industriali
0,9 Parcheggi e/o piazzali



Una volta calcolata Q va determinata la portata massima in uscita dal pozzo, assunta come:

$$Q_u = P * Q \quad (l/s)$$

P è la percentuale sulla portata in ingresso che si assume dispersa dal pozzo, per ragioni di sicurezza un valore coerente può essere il 10% - 15 %.

Successivamente va calcolata la portata in uscita dal pozzo riferita alla totalità della superficie scolante impermeabile con la formula:

$$Q_{u \text{ imp}} = Q_u / (A * f) \quad (l/s * ha_{\text{imp}})$$

Una volta calcolato $Q_{u \text{ imp}}$ si entra in tabella determinando il volume del pozzo perdente in calcestruzzo relativo ad una superficie di 1 ha. ($V_{\text{pozzo imp}}$).

Tabella 15 - Volume dei pozzi in funzione della portata in uscita

$Q_{u \text{ imp}}$ (l/s ha imp)	Volume pozzo in c.a: $V_{\text{pozzo imp}}$ (mc/ha imp)
5	1080
10	780
20	460
30	390
40	345
50	310
70	270
100	220

Il valore trovato si riferisce alla superficie impermeabile quindi va modificato in relazione alla capacità drenante della zona:

$$V_{\text{effettivo pozzo}} = V_{\text{pozzo imp}} * f * A$$

Viene così determinato il volume effettivo dei pozzi da posare.

Tabella 16 - Dimensionamento pozzi

Punto	Condotte	u	f	A	Q (l/s)	P	Qu	Qu imp	V pozzo imp	V effettivo pozzo [l]	V effettivo pozzo [m ³]
1	1-2	40	0.3	10.79	129.42	0.125	16.18	5	1080	3494.37	3.49
2	3-4	40	0.3	3.95	47.38	0.125	5.92	5	1080	1279.31	1.28
3	5-6-7	40	0.3	7.12	85.48	0.125	10.68	5	1080	2307.85	2.31
4	8-9	40	0.3	3.47	41.65	0.125	5.21	5	1080	1124.67	1.12
5	10-11	40	0.3	2.72	32.67	0.125	4.08	5	1080	882.09	0.88
6	12-13	40	0.3	13.55	162.60	0.125	20.33	5	1080	4390.26	4.39
7	14-15-16	40	0.3	8.28	99.30	0.125	12.41	5	1080	2681.13	2.68
8	17-18-19	40	0.3	3.05	36.62	0.125	4.58	5	1080	988.75	0.99
9	20-21	40	0.3	15.66	187.91	0.125	23.49	5	1080	5073.58	5.07
10	22-23	40	0.3	2.44	29.26	0.125	3.66	5	1080	789.98	0.79

Si riportano nella seguente tabella le caratteristiche tecniche dei pozzi disperdenti presenti in commercio:



Anelli H50cm/H100cm
con bicchiere



Anelli H100cm
con incastro mezzo spessore

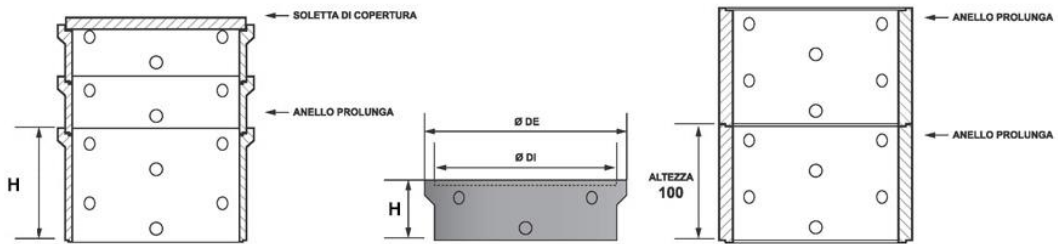


Figura 39 - Tipologico pozzo disperdente

Di seguito vengono riportate le tipologie di pozzo da installare in funzione del volume effettivo degli stessi ed in base al tipologico presente in commercio:

Tabella 17 - Caratteristiche dimensionali pozzi

Descrizione	Ø int. cm	Ø est. cm	H cm	N° Fori per Anello	Superficie Servita	Peso Kg
Anello Perdente Ø 80 H 50	80	88	50			242
Anello Perdente Ø 80 H 100	80	88	100			485
Anello Perdente Ø 100 H 50	100	110	50			350
Anello Perdente Ø 100 H 100	100	110	100			700
Anello Perdente Ø 150 H 50	150	172	50			625
Anello Perdente Ø 150 H 100	150	172	100			1250
Anello Perdente Ø 200 H 50	200	223	50			1550
Anello Perdente Ø 200 H 100	200	223	100			775

Pozzetto	V effettivo pozzo [m ³]	Anello perdente
1	3.49	Ø 150 H 100, n. 2 anelli
2	1.28	Ø 150 H 100, n. 2 anelli
3	2.31	Ø 150 H 50, n. 3 anelli
4	1.12	Ø 100 H 50, n. 3 anelli
5	0.88	Ø 150 H 50, n. 1 anello
6	4.39	Ø 200 H 50, n. 3 anelli
7	2.68	Ø 150 H 50, n. 3 anelli
8	0.99	Ø 100 H 50, n. 3 anelli
9	5.07	Ø 150 H 100, n. 3 anelli
10	0.79	Ø 100 H 100, n. 1 anello

8. CONCLUSIONI

Sulla scorta di quanto illustrato nel presente studio è possibile affermare che:

- L'area oggetto di studio ricade all'interno del bacino idrografico del torrente Candelaro, un fiume della provincia di Foggia, dalla lunghezza di 70 km, utilizzato principalmente per l'irrigazione dei campi.
- L'analisi statistica degli estremi idrologici è stata condotta attraverso la distribuzione statistica TCEV secondo la metodologia VAPI, effettuata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR.
- La stima dell'idrogramma di piena è stata eseguita ricorrendo al modello afflussi-deflussi SCS curve number il quale ha dato come risultato una portata di picco pari a 707 m³/s per un tempo di ritorno di 200 anni.
- L'analisi idraulica svolta per il torrente Candelaro è stata sviluppata ricorrendo ad un modello combinato monodimensionale-bidimensionale i cui risultati non hanno prodotto particolari criticità per l'impianto in progetto.
- Per quanto riguarda le interferenze del cavidotto MT con le aree censite dal PAI, questo, si svilupperà su viabilità esistente asfaltata e, in quanto opera interrata, non andrà ad alterare la pericolosità idraulica poiché, a seguito della posa in opera, la sezione stradale interessata dall'intervento verrà ripristinata allo stato ante operam.
- La rete di drenaggio interna all'impianto è costituita da cunette a sezione trapezoidale rivestite in geostuoia le quali, raccoglieranno le acque superficiali e le convoglieranno a dei pozzetti drenanti i quali avranno il compito di smaltire le acque nel terreno.

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido



The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Leonardo Sblendido". The signature is written over a circular professional stamp. The stamp contains the following text: "INGEGNERE COSENZA" at the top, "Ingegnere" in the center, "LEONARDO SBLENDIDO" in large letters, "Laurea - Ingegneria" below the name, "Soluzione A. 1. 1947" below the name, and "Informazione" on the right side. At the bottom of the stamp, it lists "Civile - Ambientale - Industriale".