



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 71,547 MW DENOMINATO "AGRIVOLT MUSIGNANO"



Ubicazione

COMUNE DI CANINO (VT)

Località "Musignano"

Foglio 3 particelle 7, 8, 9; Foglio 31 particella 2; Foglio 2 particella 80; Foglio 20 particella 42

Elaborato

Relazione Idrologica

Cod. elaborato: FV_MUS01_V7

Contenuti

PRELIMINARE

DEFINITIVO

ESECUTIVO

SCALA: -

FORMATO ISO: A4

Data: Dicembre 2022

Aggiornamenti

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	Dic. 2022	Emissione per VIA art. 23			

Aspetti ambientali e paesaggistici



ENVIarea snc stp

Viale XX Settembre 266bis, Carrara (MS)

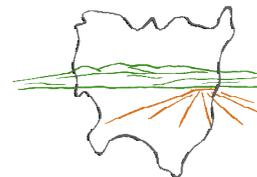
Dott. Ing. Cristina Rabozzi - Ord. Ing. Prov. SP, n. 1324 sez. A

Dott. Agr. Elena Lanzi - Ord. Agr. e For. Prov. PI-LU-MS, n. 688

Dott. Agr. Andrea Vatteroni - Ord. Agr. e For. Prov. PI-LU-MS, n. 580

Soggetto proponente:

AGRIVOLT MUSIGNANO S.r.l.
Via della Conciliazione 30
00193 Roma (RM)



Sommario

1.	PREMESSA	2
2.	INQUADRAMENTO GENERALE	4
2.1	Inquadramento territoriale	4
2.2	Geologia e geomorfologia	5
2.3	Idrogeologia	6
2.4	Caratteristiche meteo-climatiche	7
3.	IDROLOGIA DELL'AREA.....	12
3.1	Bacino idrografico del Fiume Fiora.....	12
3.2	Reticolo idrografico nell'area in esame	13
3.3	Studio idrologico del bacino della Forma della Doganella	15
3.3.1	<i>Caratteri morfometrici</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Tempo di corrivazione.....</i>	<i>17</i>
3.3.3	<i>Analisi delle precipitazioni.....</i>	<i>18</i>
3.3.4	<i>Coefficiente deflusso</i>	<i>22</i>
3.3.5	<i>Coefficiente di ragguglio all'area.....</i>	<i>25</i>
3.3.6	<i>Stima della portata al colmo di piena</i>	<i>25</i>
4.	STUDIO IDRAULICO	27
4.1	Pericolosità idraulica.....	27
4.2	Descrizione del modello idraulico	29
4.3	Analisi Forma della Doganella	32
4.3.1	<i>Dati input</i>	<i>32</i>
4.3.2	<i>Verifica idraulica.....</i>	<i>34</i>
5.	INTERFERENZE DELLE OPERE IN PROGETTO CON IL RETICOLO IDROGRAFICO	37
6.	CONCLUSIONI	40

* § *

Nota

Dove non espressamente indicato, i dati e le fonti utilizzate nel presente documento fanno riferimento a dati di pubblico dominio (conformemente alla Dir. 2006/116/EC) o, in alternativa, a materiale rilasciato sotto licenza Creative Commons (vedi www.creativecommons.it per informazioni e per la licenza) nelle versioni CC BY, CC BY-SA, CC BY-ND, CC BY-NC, CC BY-NC-SA e CC BY-NC-ND. In questo secondo caso, come previsto dai termini generali della licenza Creative Commons, viene menzionata la paternità dell'opera e, laddove consentito ed eventualmente eseguite, vengono indicate le modifiche effettuate sul dato originario.

* § *

1. PREMESSA

Il presente studio idrologico-idraulico è stato svolto a supporto del progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "Agrivolt Musignano" per la produzione di energia da fonte rinnovabile, e delle relative opere di connessione alla RTN, situato nella porzione nord-ovest del Comune di Canino (VT), in località "Case Riminino".

L'iniziativa proposta da AGRIVOLT MUSIGNANO s.r.l. oggetto di valutazione è un progetto AgriPhotoVoltaic (APV) caratterizzato da un utilizzo "ibrido" dei terreni dell'Azienda Agricola Di Musignano per la produzione agricola e la produzione di energia.

La sinergia tra modelli di Agricoltura 4.0 e l'installazione di pannelli fotovoltaici di ultima generazione all'interno dell'azienda agricola, infatti, garantisce diversi vantaggi tra cui l'ottimizzazione del raccolto in termini quali-quantitativi (con conseguente aumento di redditività e occupazione) e la produzione di energia rinnovabile in maniera sostenibile e in armonia con l'ambiente.

La scelta delle specie da utilizzare per l'agrivoltaico è vincolata alle caratteristiche pedoclimatiche del sito, alla larghezza delle fasce coltivabili tra i pannelli ed all'altezza dei moduli fotovoltaici da terra. In base a questi dati, si è deciso quindi di puntare in primo luogo su colture che avessero un *habitus* adatto alla tipologia d'impianto APV. Successivamente, tra queste, si è scelto un set di colture che fosse adatto all'areale del sito d'impianto ed all'assetto dell'azienda agricola. L'azienda alleva bovini ed equini di razza Maremmana in purezza allo stato brado. L'allevamento è reso possibile dall'ampia disponibilità di foraggi provenienti da prati, pascoli e boschi aziendali, che vengono razionalmente utilizzati dal bestiame allevato allo stato brado, a cui si affiancano integrazioni alimentari nei periodi più critici.

La scelta, quindi, è ricaduta su piante erbacee annuali e autoctone ideate in un sistema di rotazione annuale (avvicendamento) per limitare al minimo il fenomeno della stanchezza del terreno. In particolare, si è optato per piante da reddito annuali già coltivate in zona quali, *Vicia faba var. minor* (favino), *Avena sativa* (avena), *Hordeum vulgare* (orzo) ed infine un Erbaio costituito da *Avena sativa* (avena) e *Trifolium squarrosum* (Trifoglio squaroso).

Tutti gli impianti hanno durata annuale. Il favino, l'avena e l'orzo verranno coltivati per la produzione di granella a fini zootecnici, mentre l'erbaio verrà sfalciato per produrre fieno. Tutti i prodotti dell'impianto agrivoltaico verranno impiegati all'interno dell'azienda per il mantenimento dei capi di bestiame. Inoltre, essendo il favino una leguminosa, questo contribuirà anche ad incrementare il contenuto di azoto e di sostanza organica nel terreno tra una coltura e l'altra.

Considerando il progetto APV, in termini di occupazione di suolo aziendale si evidenzia quando segue:

- 13,5 % Superficie Pannelli;
- 71 % Superficie Agricola;
- 15,5 % Superficie Tare e stradoni.

Si evidenzia che il progetto APV proposto rispetta i requisiti degli impianti agrivoltaici definiti dalle Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici¹.

Il progetto fotovoltaico per il quale si richiede la connessione in rete, invece, è un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare che prevede di installare 118.270 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino da 605 Wp ciascuno, su strutture ad inseguimento monoassiale in acciaio zincato a caldo ancorate al terreno mediante infissione.

¹ Prodotte nell'ambito di un gruppo di lavoro coordinato dal Ministero della Transizione ecologica - Dipartimento per l'Energia, pubblicate nel mese di giugno 2022.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito complessivamente da 70 campi fotovoltaici suddivisi in tre settori come di seguito indicato:

- n° 23 campi nel Settore A, costituiti da 38.820 moduli distribuiti elettricamente su 1.294 stringhe connesse a 23 inverter e con una potenza nominale pari a 23.486,10 kWp;
- n° 34 campi nel Settore B, costituiti da 56.520 moduli distribuiti elettricamente su 1.884 stringhe connesse a 34 inverter e con una potenza nominale pari a 34.194,60 kWp;
- n° 13 campi nel Settore C, costituiti da 22.920 moduli distribuiti elettricamente su 764 stringhe connesse a 13 inverter e con una potenza nominale pari a 13.866,60 kWp.

Ogni campo fotovoltaico sarà dotato di una cabina di conversione e trasformazione all'interno della quale verranno installati n.1 inverter per la conversione dell'energia elettrica DC/AC e n°1 trasformatore BT/MT 0,61/20 kV per elevare il livello di tensione dell'energia prodotta dai moduli fotovoltaici. La tensione MT interna al campo fotovoltaico sarà pari a 20 kV.

Le cabine di trasformazione di ciascun campo convoglieranno il flusso di potenza generato verso una cabina di raccolta della distribuzione in media tensione, detta cabina di parallelo di settore, mediante un collegamento a semplice anello e conformemente allo schema elettrico unifilare. I cavidotti interrati in MT uscenti dalle cabine di parallelo di ciascun settore saranno, a loro volta, raccolti presso una cabina denominata cabina di parallelo generale. Da quest'ultima, ubicata all'interno del Settore A, partirà il cavidotto esterno in MT che andrà verso la Stazione Elettrica di trasformazione Utente MT/AT (SEU), dove è prevista l'elevazione della tensione da 20 kV a 132 kV per effettuare, tramite cavo interrato AT 132 kV, la connessione allo stallo 132 kV situato all'interno della Stazione Elettrica (SE) di Terna 380/132 kV che verrà realizzata nel Comune di Manciano e inserita in entra – esce all'esistente linea RTN a 380 kV "Montalto – Suvereto".

Nella relazione è dapprima presentato un inquadramento dell'area oggetto di intervento e successivamente sono descritte l'analisi idrologica e la verifica idraulica del corso d'acqua denominato Forma della Doganella. L'analisi è stata effettuata con un modello monodimensionale in regime di moto permanente al fine di individuare le aree inondabili con tempo di ritorno pari a 200 anni ed eventuali interferenze dei livelli di piena con le opere in progetto. Per la stima della portata di progetto con tempo di ritorno di 200 anni si è fatto riferimento al metodo VA.PI., con particolare riferimento ai modelli regionali della Regione Lazio.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

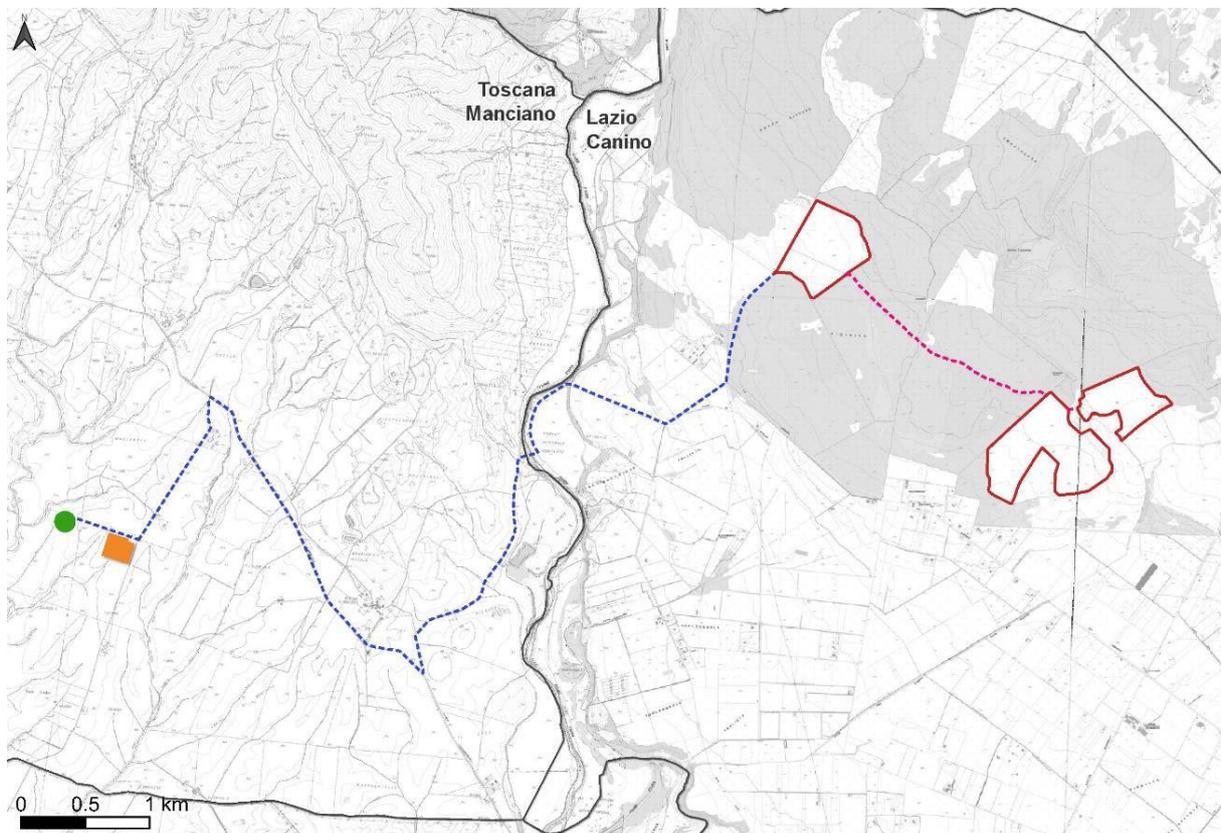
2.1 Inquadramento territoriale

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia da fonte rinnovabile nella porzione nord-ovest del Comune di Canino (VT), nei terreni dell'Azienda Agricola Di Musignano situata in località "Case Riminino".

L'area d'impianto si estende complessivamente per 95,3 ettari ed è suddivisa in 3 lotti di diversa estensione: i lotti più a sud sono rispettivamente di 45,1 ha (Settore B) e 19,4 ha (Settore C) mentre il lotto più a nord (Settore A) si estende per 30,8 ha. Le aree di interesse presentano quote variabili tra i 135 m e i 170 m s.l.m.; per ciò che riguarda le pendenze i terreni risultano essere perlopiù pianeggianti, con pendenze variabili tra lo 0% e il 10%, coltivati principalmente con seminativi semplici e circondati da boschi di latifoglie, cespuglieti ed arbusti, oltre ad aree agricole caratterizzate dall'avanzata reinvasione di specie arbustive.

L'area in esame ricade nelle sezioni 343121, 343122 e 344093 della Carta Tecnica Regionale (CTR) riportata in Figura 1.

Figura 1. Carta di inquadramento territoriale



LEGENDA

□ Ambiti amministrativi

Progetto impianto fotovoltaico "Agrivolt Musignano"

— Area FV

--- Cavidotto MT esterno

--- Cavidotto MT interno

■ SE Terna in fase di approvazione

● SE Utente da definire mediante TT Terna

2.2 Geologia e geomorfologia

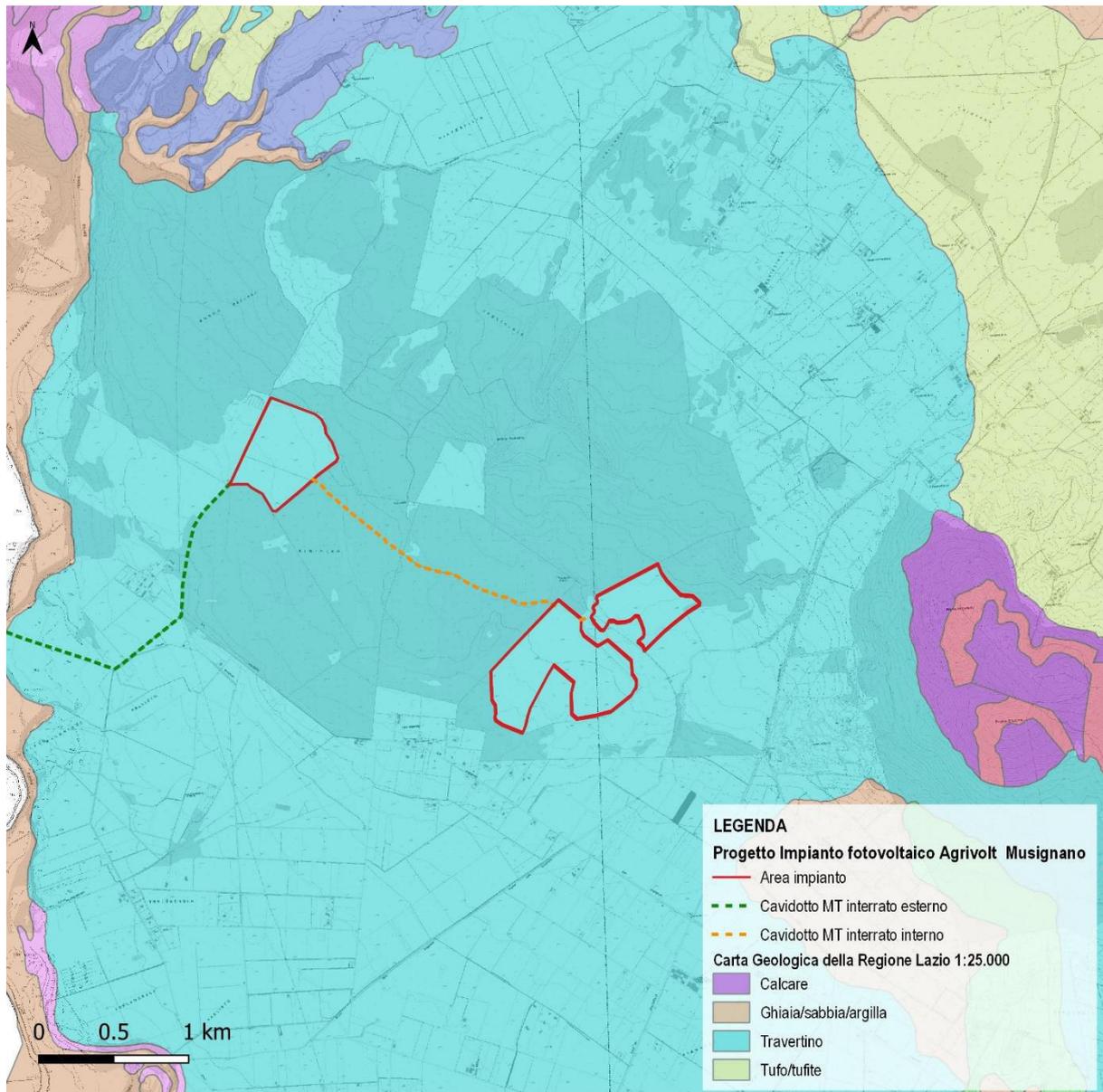
Nel presente paragrafo si riporta una sintesi delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame descritte nel documento "Relazione geologica, e idrogeologica" (cod. elab. FV_MUS01_V8), al quale si rimanda per ulteriori dettagli.

Dall'analisi della Carta Geologica della Regione Lazio in scala 1:25.000 si evince che l'area di intervento ricade all'interno di una placca di travertino con intercalazioni piroclastiche del Pleistocene-Olocene (Figura 2). Questo deposito è uno dei più estesi della regione Lazio e affiora diffusamente in una fascia compresa tra il fiume Fiora ad ovest ed i Monti di Canino ad est, per una superficie complessiva di circa 50 chilometri quadrati. L'età del deposito risale a circa 270.000 anni fa e la formazione dei travertini è ancora attiva in diverse sorgenti sia calde sia fredde all'interno dell'affioramento tra cui si segnalano: sorgenti Carraccio, sorgenti di Poggio Olivastro, sorgente Ficona, Monterozzi ed infine le terme etrusche di Musignano.

Dal punto di vista morfologico l'area di affioramento dei travertini è compresa tra le quote 270 e 120 m s.l.m. ed è caratterizzata da espandimenti a giacitura per lo più orizzontale, che sembrano sovrapposti gli uni agli altri e limitati verso sud da scarpate morfologiche più o meno evidenti e continue, alte da pochi metri fino a più di 10 m.

Il rilievo geologico - geomorfologico di dettaglio effettuato in data 5 aprile 2022 ha confermato che le aree interessate dall'impianto fotovoltaico risultano essere quasi totalmente pianeggianti e la totale assenza di criticità di natura geomorfologica. È risultata inoltre evidente la presenza dei travertini affioranti sottoforma di rocce sparse.

Figura 2. Inquadramento geologico dell'area in esame (Fonte: Carta Geologica della Regione Lazio)



2.3 Idrogeologia

Dall'analisi della Carta delle unità idrogeologiche della Regione Lazio si evince che l'area di intervento ricade all'interno dell'unità vulcanica V1- Monti Vulsini, la quale si estende per 1607 km² e presenta un'infiltrazione media efficace di 240 mm/anno.

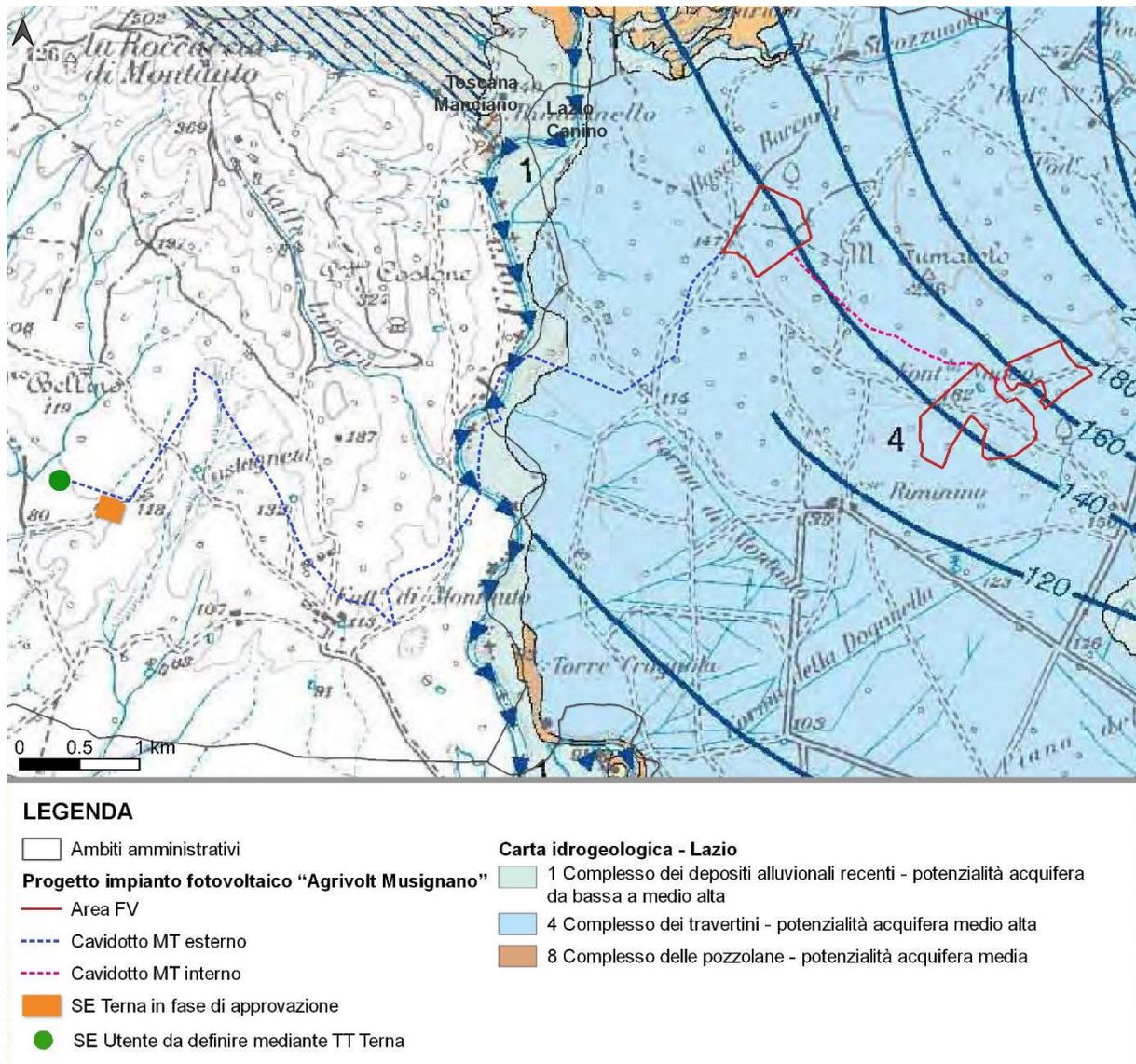
La Carta Idrogeologica della Regione Lazio in scala 1:100.000 suddivide il territorio regionale in 25 complessi idrogeologici costituiti da litotipi con caratteristiche idrogeologiche simili. Il complesso idrogeologico che affiora nell'area di intervento è quello dei Travertini (4), costituito da travertini antichi, recenti ed attuali, concrezioni travertinosi intercalate a depositi alluvionali e lacustri (Pleistocene-Olocene). Lo spessore del complesso è variabile fino ad un massimo di un centinaio di metri, mentre la sua potenzialità acquifera è medio-alta. Dove affiora in estese placche isolate è sede di una circolazione idrica significativa che dà luogo

a falde di buona produttività; dove si trova in continuità idraulica con gli acquiferi alluvionali e/o carbonatici regionali, la produttività della falda aumenta perché ben alimentata.

Nelle vicinanze sono presenti alcune sorgenti termominerali oltre ad emissioni gassose sparse.

A livello comunale, in Figura 3 è possibile osservare che le isopieze variano dalle quote di 240 m s.l.m. nella porzione settentrionale, sino alle quote di 80 metri s.l.m. nella fascia meridionale. La direzione di scorrimento generale della falda risulta essere da nord-est verso sud-ovest, ed il gradiente idraulico diminuisce da valori del 4% sino all'1% procedendo nella medesima direzione.

Figura 3. Assetto idrogeologico dell'area in esame (Fonte: Carta Idrogeologica della Regione Lazio)



2.4 Caratteristiche meteo-climatiche

Il Lazio possiede condizioni climatiche molto variabili in funzione della lontananza dal mare, della quota e del tipo di suolo (vulcanico o calcareo). La Carta fitoclimatica del Lazio (Blasi, 1994) conferma il carattere estremamente diversificato della regione, individuando al suo interno 4 regioni climatiche (temperata,

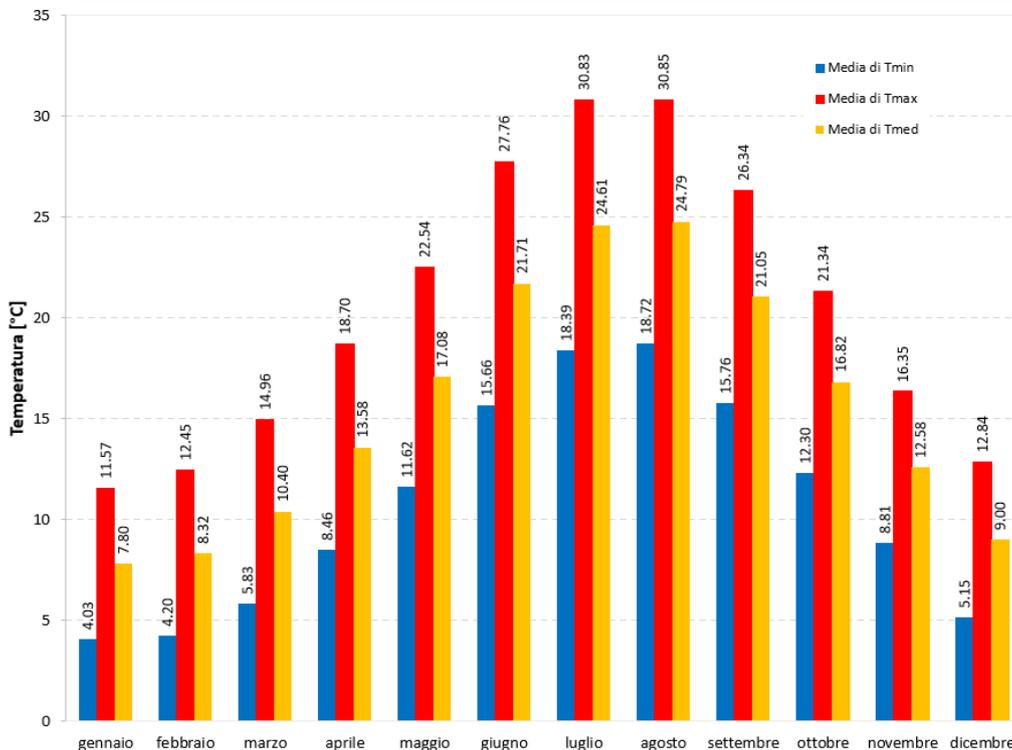
temperata di transizione, mediterranea di transizione e mediterranea) e 14 unità fitoclimatiche, che si estendono dal termotipo subalpino inferiore delle vette appenniniche al termotipo termomediterraneo superiore delle isole ponziane.

L'area interessata dal progetto ricade all'interno della regione "Mediterranea di transizione" e, in particolare, nell'unità fitoclimatica n.9 "Mesomediterraneo medio o collinare inferiore - Ombrotipo subumido superiore", tipica della Maremma Laziale interna e della Campagna Romana. Le località ricadenti in questa unità sono caratterizzate da precipitazioni annue comprese tra 810-940 mm, una temperatura media annua di 14.8 – 15.6°C, aridità nei mesi di giugno, luglio e agosto (a volte anche maggio) e freddo prolungato ma non intenso da novembre a aprile. Tra la vegetazione è possibile osservare la prevalenza di cerreti, querceti misti di rovela e cerro, con elementi del bosco di leccio e sughera.

Le caratteristiche meteorologiche dell'area in esame sono state desunte prendendo a riferimento i dati termo-pluviometrici rilevati dalla stazione del Servizio Integrato Agrometeorologico della Regione Lazio (SIARL) denominata "Canino-San Valeriano" (codice ID VT16CME) durante il periodo 2004-2021². La stazione è situata ad una quota di 280 m s.l.m. e dista circa 5 km in direzione NE dall'area in esame.

Il grafico riportato in Figura 4 mostra l'andamento medio mensile della temperatura nell'area di intervento durante il periodo considerato. È possibile osservare che le temperature medie più basse si raggiungono nei mesi di gennaio e febbraio mentre le più alte in luglio-agosto. La temperatura media annua riscontrata è di 15,6°C, con minime medie di 10,8°C e massime medie di 20,6°C. L'incremento maggiore si ha tra maggio e giugno (+4,6 °C), mentre la diminuzione più marcata si verifica mediamente tra ottobre e novembre (-4,2 °C).

Figura 4. Andamento medio mensile (min, max e medie) delle temperature nell'area di intervento (Fonte: elaborazione originale su dati SIARL)

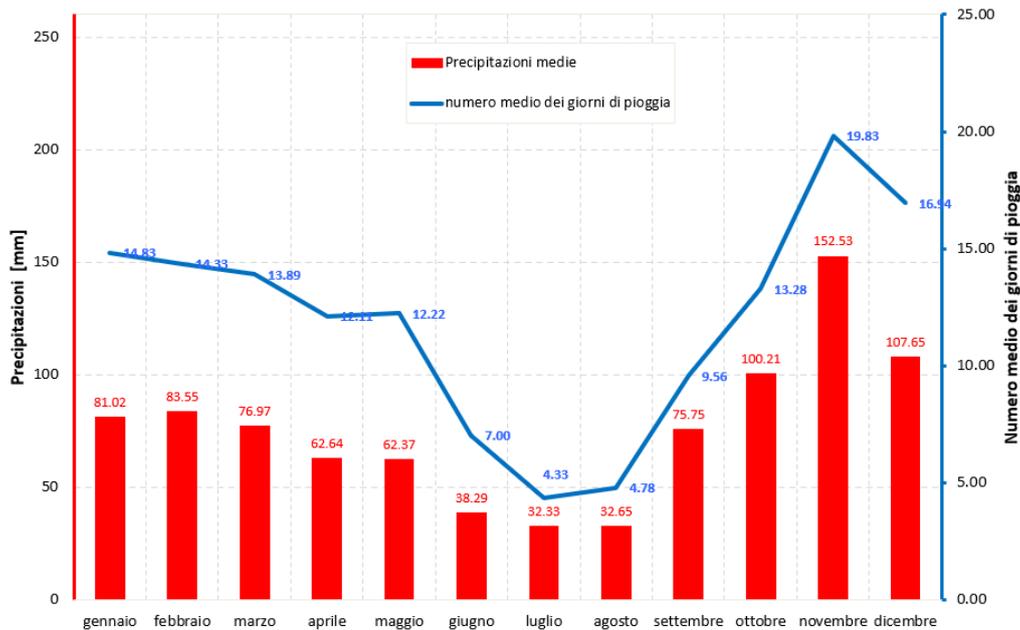


Gli andamenti medi mensili delle precipitazioni e del numero di giorni di pioggia nel periodo 2004-2021 sono rappresentati in Figura 5. È possibile osservare che la piovosità risulta essere minima nel mese di luglio (32,33

² Il dataset climatico è stato ricavato dal portale Open-Data dell'ARSIAL <https://www.siarl-lazio.it/E9.asp>

mm) e massima a novembre (152,53 mm). La piovosità annuale media riscontrata è pari a 906 mm. Per quanto riguarda i giorni di pioggia, essi sono più numerosi in autunno e inverno (15-20 giorni) e il valore minimo è registrato nel mese di luglio (circa 4 giorni).

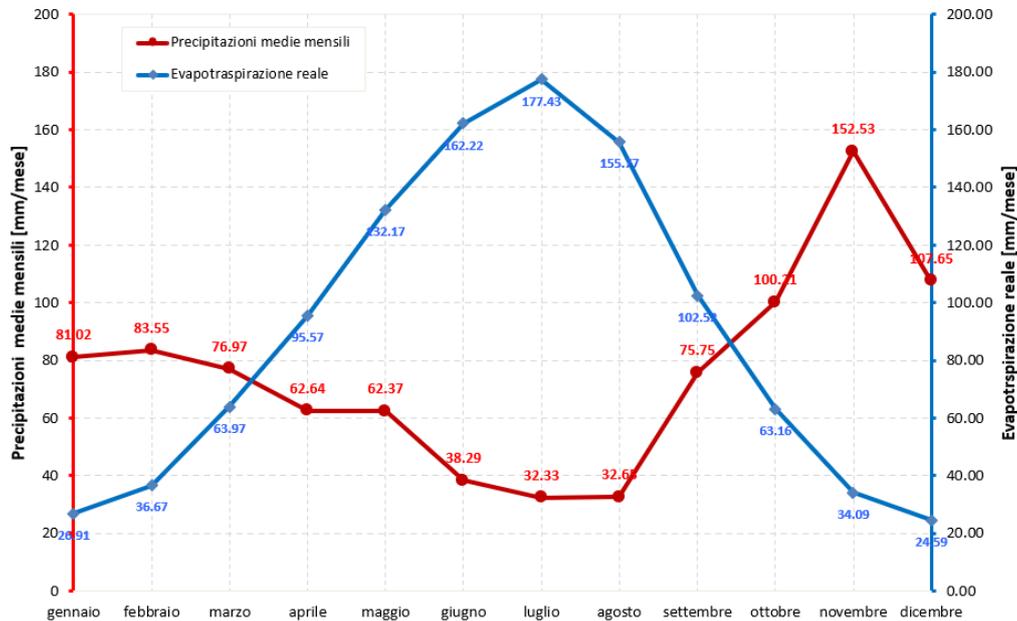
Figura 5. Andamento medio mensile della piovosità dell'area di intervento (Fonte: elaborazione originale su dati SIARL)



La conoscenza dei dati pluviometrici e termometrici relativi all'area in oggetto permette di determinare la richiesta idrica dell'ambiente (in termini di evapotraspirazione potenziale media), attraverso l'applicazione dell'equazione di Hargreaves & Samani³. Riportando in Figura 6 l'andamento della pluviometria media mensile tipica dell'area, nonché la richiesta idrica dell'ambiente esterno, è possibile evidenziare che nel periodo compreso tra metà settembre e inizio marzo si verificano condizioni di surplus idrico, anche in funzione della presenza di basse temperature che rendono minime le richieste energetiche dell'ambiente. Ciò, di conseguenza, determina un bilancio piovosità-evapotraspirazione positivo. Nei mesi da marzo a inizio settembre, invece, il bilancio suddetto tende ad essere negativo, con conseguenti condizioni di non saturazione idrica del terreno e presenza di parziale deficit idrico, che diventa massimo nel mese di luglio.

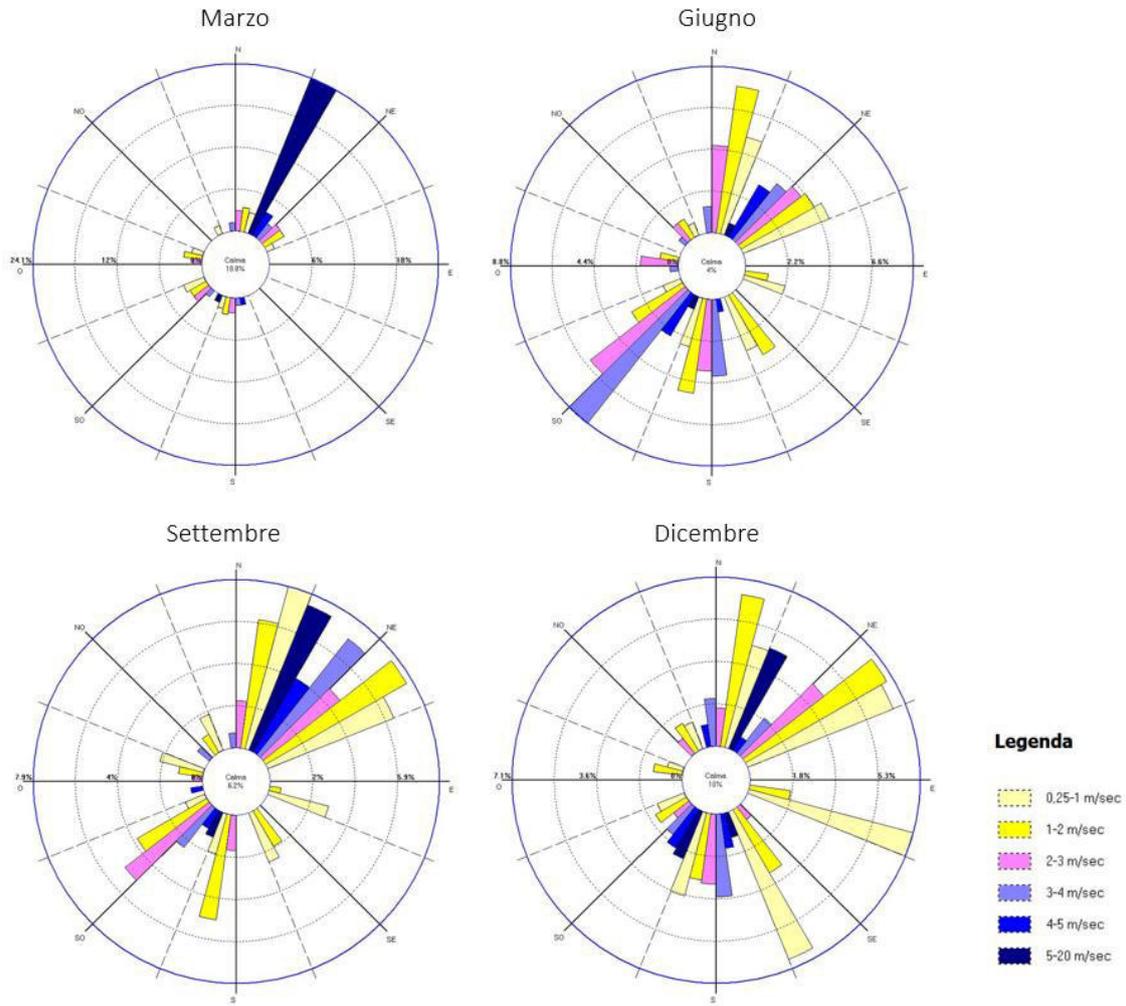
³ Hargreaves GH, Samani ZA, 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Appl Eng Agric 1(2): 96-99.

Figura 6. Andamento della piovosità mensile e relativa richiesta idrica dell'ambiente (Fonte: elaborazione originale su dati SIARL)



In Figura 7 sono rappresentate le rose dei venti estratte dal sito di ARSIAL relative a diversi mesi del 2020. In generale, analizzando anche i diagrammi anemologici degli anni precedenti, la direzione prevalente durante l'anno è quella relativa al settore nord-orientale N e NE (con intensità del vento mediamente più elevata). Per quanto riguarda la velocità, le classi che presentano generalmente la frequenza maggiore sono quelle comprese tra 0.25 e 2 m/s ad eccezione dei mesi tra marzo e maggio in cui prevalgono velocità maggiori comprese tra 5-20 m/s.

Figura 7. Diagrammi anemologici della stazione di Canino- San Valeriano – Anno 2020 (Fonte ARSIAL)



3. IDROLOGIA DELL'AREA

3.1 Bacino idrografico del Fiume Fiora

Dal punto di vista idrografico l'area interessata dal progetto è situata all'interno del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale e, più precisamente, nel Bacino Interregionale del Fiume Fiora (UoM ITI014).

Il Bacino del Fiume Fiora copre una superficie territoriale di 825 km², ricadente in parti pressoché uguali in Toscana (51,2%) e nel Lazio (48,8%). Il Fiume Fiora nasce dal versante meridionale del Monte Amiata, in prossimità dell'abitato di Santa Fiora, e procedendo con un percorso sinuoso di circa 80 km in direzione nord-sud sfocia nel Mar Tirreno poco a monte dell'abitato di Montalto di Castro..

All'interno della sua delimitazione territoriale sono stati individuati quattro bacini idrografici principali:

- Bacino del fiume Fiora, il quale è stato suddiviso a sua volta quattro sottobacini:
 - Il sottobacino sotteso alla confluenza in sinistra idraulica con il fosso Carminata;
 - Il sottobacino che si estende dal confine con il precedente fino al ponte in prossimità di Pitigliano;
 - Il sottobacino sotteso alla confluenza in sinistra idraulica con il fosso Olpetà;
 - Il sottobacino sotteso alla foce;
- Bacino del fiume Lente, che si sviluppa per circa 80 km² e la lunghezza dell'asta principale raggiunge i 30 km;
- Bacino del fiume Olpetà, che presenta una superficie di circa 114 km² e la lunghezza dell'asta principale, che si origina dal lago calderico di Mezzano, si sviluppa per circa 36 km;
- Bacino del fiume Timone, che si sviluppa per 92 km² e la lunghezza dell'asta principale, ad andamento preferenziale ne-so, raggiunge circa 30 km.

In Figura 8 è possibile osservare che l'area di intervento ricade all'interno del sottobacino IV – Fiora alla foce.

Figura 8. Bacino idrografico del Fiume Fiora



3.2 Reticolo idrografico nell'area in esame

L'area in cui è ubicato l'impianto fotovoltaico si trova in una zona pianeggiante in località "Case Riminino", compresa tra il Fiume Fiora ad ovest, distante circa 1,2 km dal perimetro del Settore A, e la Forma della Doganella, distante circa 250 m dal perimetro del Settore C.

In Figura 9 è riportato un estratto del reticolo idrografico del Catasto dell'Agenzia delle Entrate per l'area di interesse, dalla quale si evince che le aree in cui è prevista la realizzazione del parco agrivoltaico non interferiscono con nessun elemento idrografico. Una visione più dettagliata del reticolo è fornita dal PTPR (Figura 10), dal quale risulta la presenza di un ramo affluente della Forma della Doganella non ben identificato lungo il confine sud-est del Settore C dell'impianto, il quale tuttavia non interferisce con l'area in esame.

Per quanto riguarda il cavidotto interrato in MT, nelle Figura 9 e Figura 10 è possibile osservare che il tratto che si sviluppa tra i lotti dell'impianto fotovoltaico in oggetto non interferisce con nessun elemento idrografico, mentre il tratto che si sviluppa tra il Settore A (situato più a nord) e la Stazione Elettrica (SE) della

RTN a 380/132 kV "Maccabove" situata nel Comune di Manciano (GR) presenta diversi punti di interferenza con il reticolo idrografico. Per maggiori dettagli relativi alle interferenze si rimanda al capitolo §5.

Figura 9. Reticolo idrografico in prossimità dell'impianto fotovoltaico su base cartografica dell'Agenzia delle Entrate

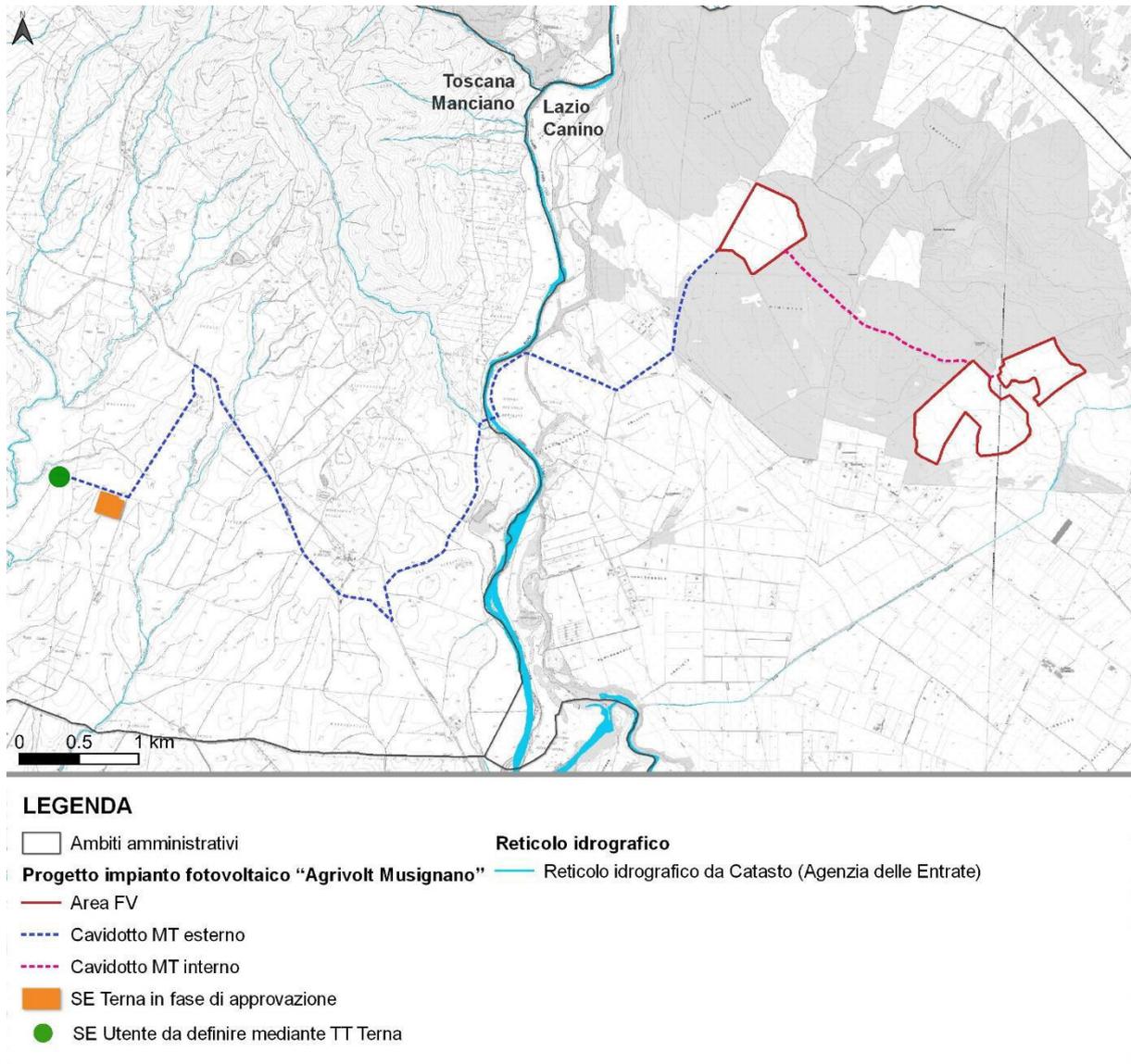
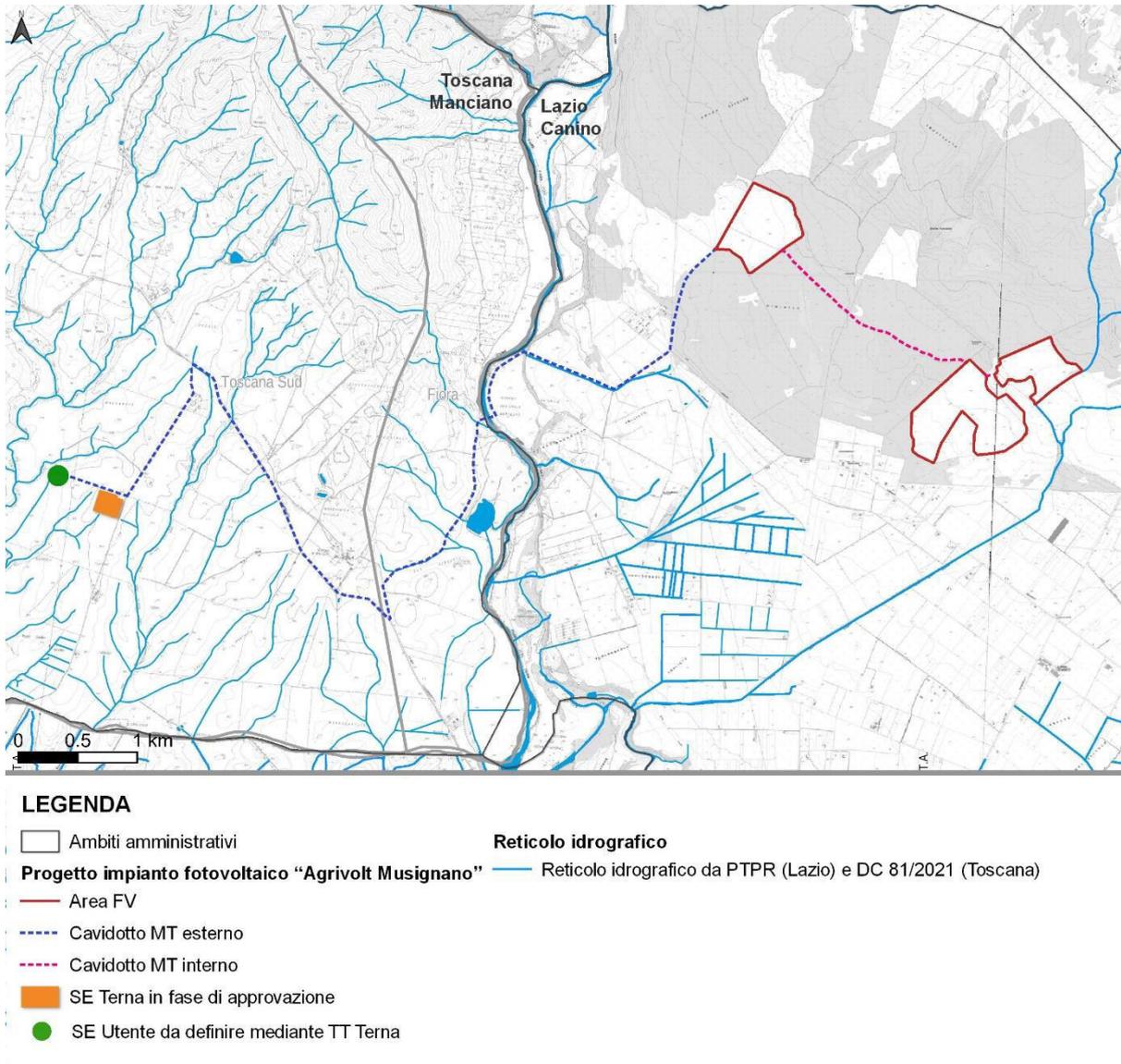


Figura 10. Reticolo idrografico in prossimità dell’impianto fotovoltaico su base PTPR Lazio



3.3 Studio idrologico del bacino della Forma della Doganella

L’analisi idrologica del bacino della Forma della Doganella, volta a stimare la portata di progetto con tempo di ritorno pari a 200, è stata condotta utilizzando con procedure di tipo indiretto basate sull’analisi statistica delle osservazioni pluviometriche e l’impiego di modelli afflussi-deflussi.

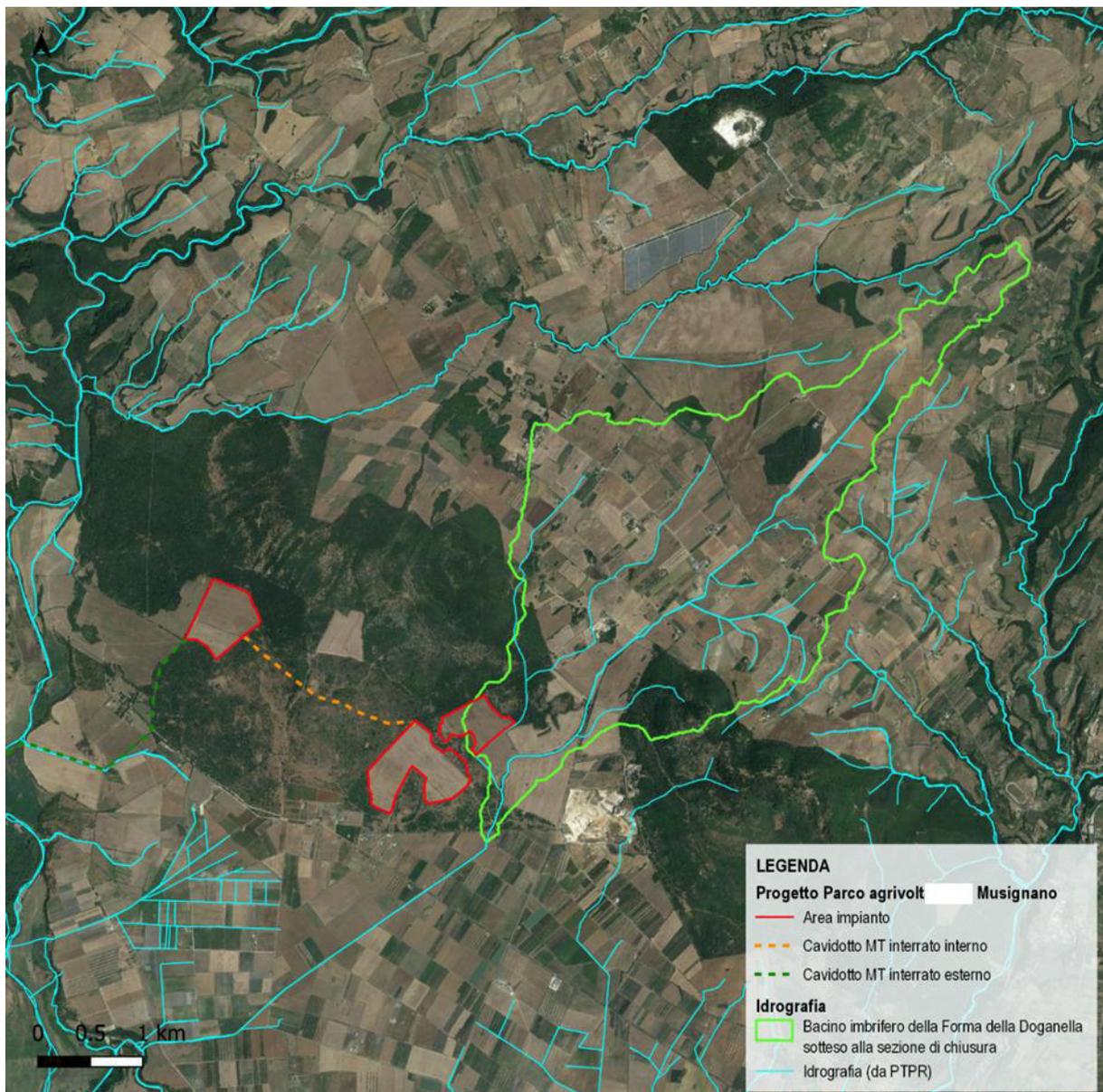
La pioggia critica è stata stimata, note le caratteristiche morfometriche del bacino, con il metodo di regionalizzazione VA.PI., seguendo i criteri proposti nel documento “*Studi per l’aggiornamento del Piano Stralcio per l’Assetto idrogeologico*”, sviluppato nell’ambito della convenzione tra l’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio ed il Dipartimento di Scienze dell’Ingegneria Civile dell’Università di Roma Tre (D.S.I.C)⁴.

⁴ Il documento è stato approvato con delibera del Comitato Istituzionale dell’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio n. 6 del 21/11/2003 “Modello di regionalizzazione delle piogge e delle portate dei corsi d’acqua d’interesse dei Bacini Regionali del Lazio”.

La pioggia netta è stata determinata con il metodo CN del Soil Conservation Service (metodo CN-SCS), mentre la portata al colmo di piena è stata calcolata utilizzando il metodo razionale.

In Figura 11 è rappresentato il bacino imbrifero della Forma della Doganella sotteso alla sezione di chiusura considerata. La delimitazione del bacino è stata ottenuta mediante processamento automatico del DTM con strumenti e metodi di Terrain Analysis in ambiente GIS.

Figura 11. Bacino idrografico della Forma della Doganella sotteso alla sezione di chiusura considerata



3.3.1 Caratteri morfometrici

Le principali caratteristiche morfometriche del bacino sono state ricavate attraverso l'utilizzo della cartografia regionale disponibile. In Figura 12 è riportata la curva ipsografica del bacino sotteso alla sezione di chiusura, mentre in Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti.

Figura 12. Curva ipsografica del bacino della Forma della Doganella sotteso alla sezione di chiusura

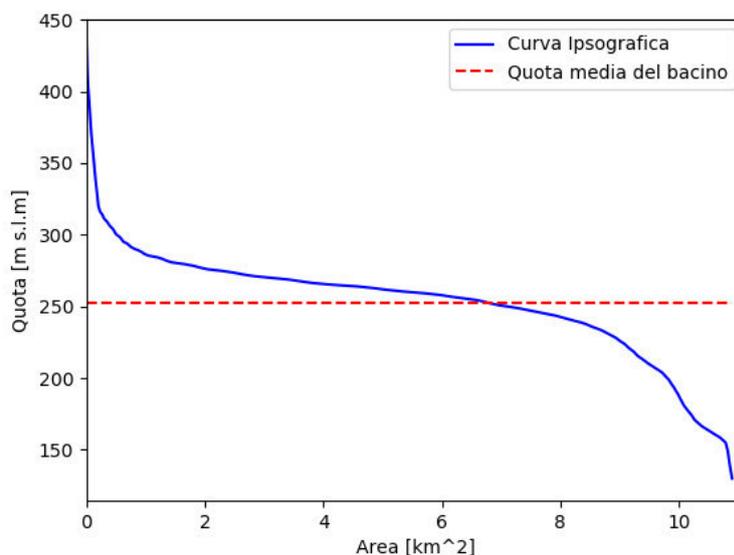


Tabella 1. Parametri morfometrici del bacino della Forma della Doganella

Area bacino (km ²)	A _b	10,91
Lunghezza asta principale (km)	L _b	6,5
Quota massima del bacino (m s.l.m.)	Z _{max}	435,0
Quota minima del bacino (sezione di chiusura) (m s.l.m.)	Z _{min}	130,0
Quota media del bacino (da curva ipsografica) (m s.l.m.)	Z _m	253,0
Quota massima dell'asta principale (m s.l.m.)	Z' _{max}	279,0
Altezza massima del bacino (rispetto alla sezione di chiusura) (m)	y _{max}	305,0
Altezza media del bacino (rispetto alla sezione di chiusura) (m)	y _m	123,0

3.3.2 Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è stato calcolato, a partire dai dati morfometrici del bacino (Tabella 1), utilizzando una formula di interpolazione tra il valore del tempo di corrivazione calcolato con la formula di Giandotti (τ_{CG}), valida per bacini di superficie superiore a 75 km², e quello calcolato con la formula di Kirpich (τ_{CK}), valida per bacini di superficie inferiore a 1 km². Le formule utilizzate sono di seguito riportate:

$$\tau_{CG} = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5 L_b}{0,8\sqrt{y_m}} = 2,58 h \quad \text{per } A_b > 75 \text{ km}^2$$

$$\tau_{cK} = 0,93 \left(\frac{L_b}{\sqrt{y_{max}/L_b}} \right)^{0,77} = 0,89 \text{ h} \quad \text{per } A_b < 1 \text{ km}^2$$

$$\tau_c = \tau_{cG} \frac{(A_b - 1)}{74} + \tau_{cK} \frac{(75 - A_b)}{74} = 1,12 \text{ h} \quad \text{per } 1 \text{ km}^2 < A_b < 75 \text{ km}^2$$

con:

A_b Area del bacino (km^2);

L_b Lunghezza dell'asta principale del bacino (km);

y_m altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m);

y_{max} altitudine del punto più elevato del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m).

Sulla base dei parametri morfometrici ricavati il tempo di corrivazione del bacino riferito alla sezione di chiusura (assunto pari alla durata critica della pioggia) risulta pari a $\tau_c=1,12$ ore.

3.3.3 Analisi delle precipitazioni

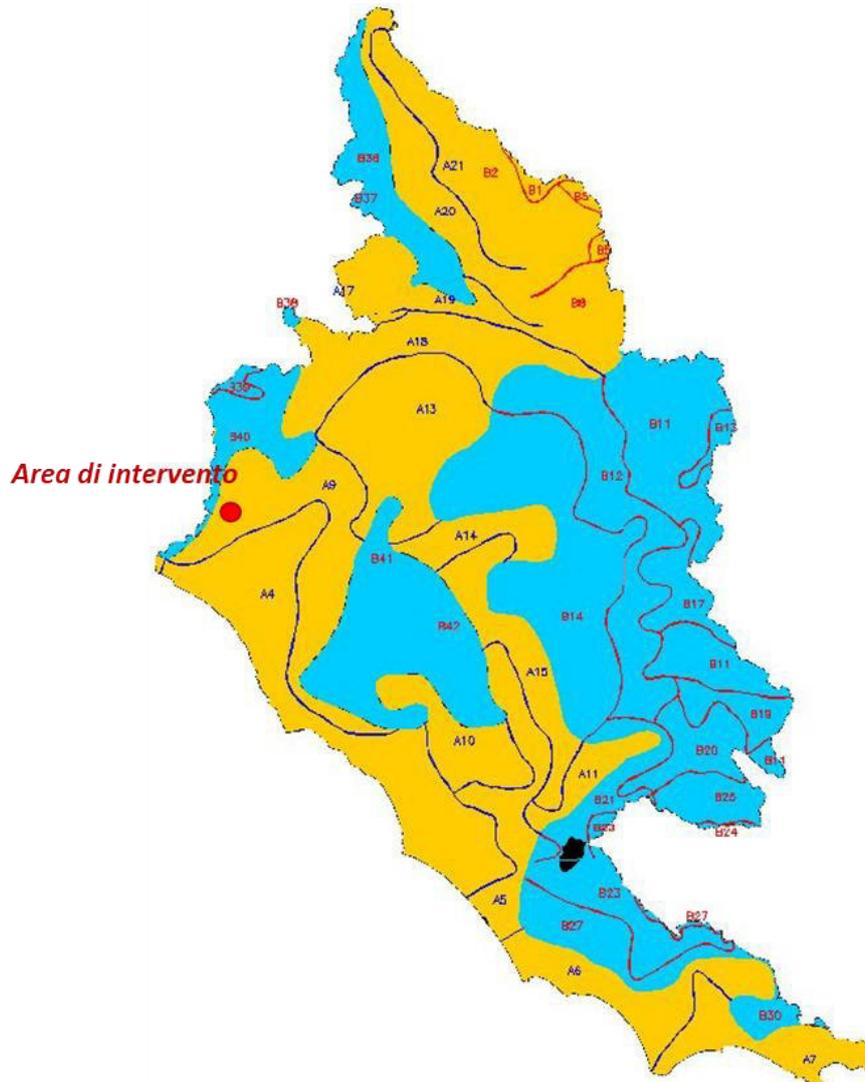
Per la definizione della pioggia critica con tempo di ritorno pari a 200 anni si è fatto riferimento alla regionalizzazione delle piogge intense svolta nell'ambito del progetto VA.PI (Valutazione Piene) del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR, la quale utilizza la distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) per descrivere la probabilità di accadimento di eventi pluviometrici "straordinari", ovvero eventi le cui intensità sono di gran lunga superiori a quelle di eventi di pari durata.

La procedura proposta ha suddiviso il territorio oggetto di studio in tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al primo livello *regioni omogenee* rispetto ai parametri della legge TCEV Λ_* e θ_* , cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria;
- al secondo livello *zone omogenee* rispetto al parametro Λ_1 da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al coefficiente di variazione;
- al terzo livello *sottozone omogenee* rispetto alla dipendenza del parametro θ_1 (e quindi della media) da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, etc).

In Figura 13 sono riportate le curve delimitanti le sottozone omogenee individuate dalla regionalizzazione delle piogge nell'area laziale.

Figura 13. Sottozone omogenee definite nell'ambito del progetto VA.PI nell'area laziale



Adottando la formula TCEV, la distribuzione di probabilità dell'intensità i_t relativa alla durata t e tempo di ritorno T è espressa secondo la seguente relazione:

$$i_t(T) = i_0(T) \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

Dove:

- $i_0(T)$ è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T ;
- b è un parametro di deformazione della scala temporale
- m è un parametro adimensionale, compreso tra 0 e 1;
- t è la durata della pioggia critica.

La media di $i_t(T)$ risulta pari a:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

dove μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea.

Per la determinazione dei parametri b e m , sono state fatte le seguenti ipotesi:

- A) l'intensità di pioggia media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera μ_{id} , e il coefficiente di proporzionalità δ è stato assunto costante su tutto il territorio e pari a 1,15;
- B) il rapporto r tra l'intensità media della pioggia di 5 minuti e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata è pari a 3,36;
- C) l'esponente m e il parametro di trasformazione temporale b sono stati assunti indipendenti dal tempo di ritorno t e pari rispettivamente a:

$$b = \frac{1 - 0.0833 \cdot r^{1/m}}{r^{1/m} - 1}$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\mu_{i0}}{\mu_{i24}}\right)}{\ln\left(\frac{b + 24}{b}\right)}$$

- D) nelle zone omogenee identificate per i valori massimi giornalieri dell'anno, l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota altimetrica della stazione pluviometrica.

Il bacino della Forma della Doganella, oggetto del presente studio, ricade nella regione A e, nello specifico, nella **sottozona omogenea A9**. I parametri della TCEV per la sottozona sopra richiamata risultano i seguenti:

Tabella 2. Parametri della TCEV per la sottozona A9

Parametri del primo livello di regionalizzazione	
Λ_*	0,174
θ_*	3,490
Parametri del secondo livello di regionalizzazione	
Λ_1	29,314
β	4,480
Parametri del terzo livello di regionalizzazione	
c (mm/m)	0,02671
d (mm)	61,61
Parametri regionali delle relazioni IDF	
b (h)	0,1502
m	0,7555
μ_{i0}/μ_{i24}	46,45

Sulla base dei dati sopra riportati, è stato possibile determinare, per alcuni tempi di ritorno significativi, l'intensità di pioggia mediante la seguente espressione:

$$i_t(T_r, t) = K_T(T_r) \cdot \mu_{it} = K_T(T_r) \cdot \mu_{i0}(t) \cdot \left(\frac{b}{b+t}\right)^m$$

Dove:

$K_T(T_r)$ è il fattore di crescita, variabile in funzione del tempo di ritorno Tr ;

μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea;

b e m sono i parametri ottenuti dal terzo livello di regionalizzazione (Tabella 2).

I risultati ottenuti sono rappresentati in Figura 14 e Figura 15. In particolare, per il tempo di ritorno duecentennale e durata critica pari al tempo di corrivazione (1,12 h), l'intensità di pioggia è risultata pari a 101,55 mm/h.

Figura 14. Curve dell'intensità di pioggia $i(Tr,t)$

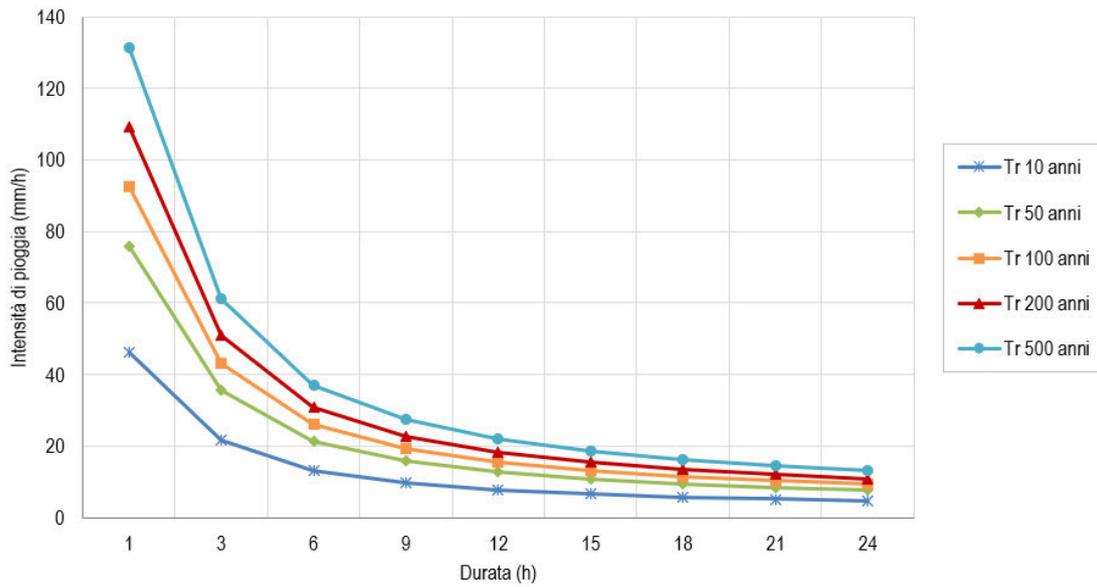
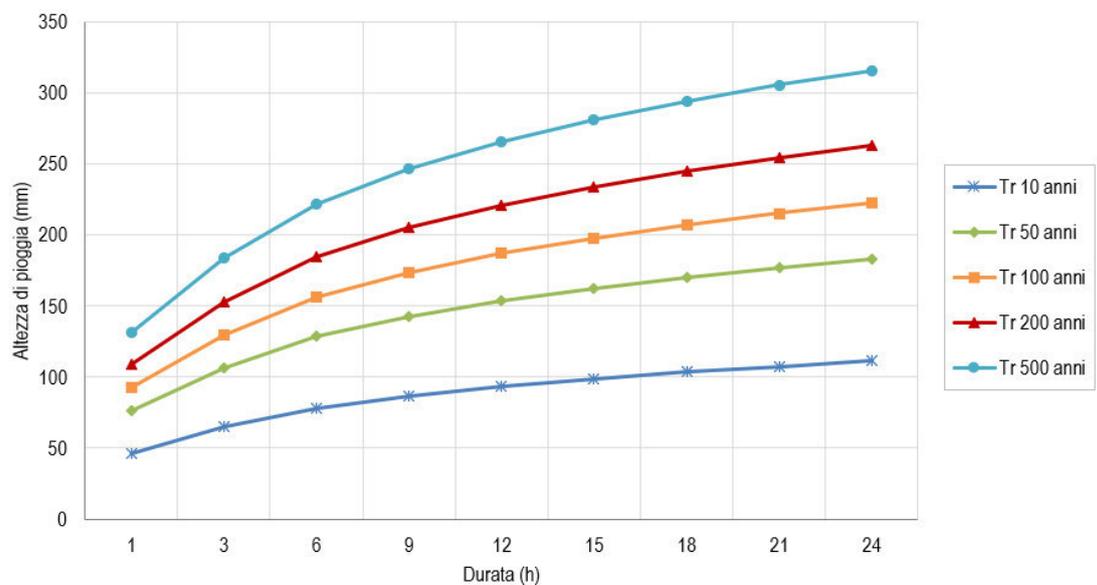


Figura 15. Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica $h(Tr,t)$



3.3.4 Coefficiente deflusso

Il coefficiente di deflusso Φ , definito come il rapporto tra lo spessore della pioggia netta (P_{netta}) in occasione di un evento pluviometrico e lo spessore della pioggia lorda ($P=h_{Tr}$), è stato stimato utilizzando il metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (metodo CN-SCS), il quale consente di stimare l'altezza di pioggia efficace (P_{netta}), ovvero la pioggia che effettivamente contribuisce alla formazione del deflusso superficiale e confluisce nel reticolo idrografico, attraverso la seguente relazione:

$$P_{netta} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

In cui:

- P_{netta} altezza di pioggia efficace (mm);
- P precipitazione lorda (mm);
- I_a perdite iniziali (mm);
- S volume specifico di saturazione al suolo (mm)

Le perdite iniziali I_a e il volume specifico di saturazione al suolo S sono a loro volta definiti attraverso le seguenti relazioni:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il parametro fondamentale per la determinazione del coefficiente di deflusso, quindi, è costituito dal Curve Number (CN), il quale dipende dalle caratteristiche geologiche e di uso del suolo del bacino e dalle condizioni di umidità del suolo. Questo indice è compreso tra 1, infiltrazione massima, e 100, deflusso massimo.

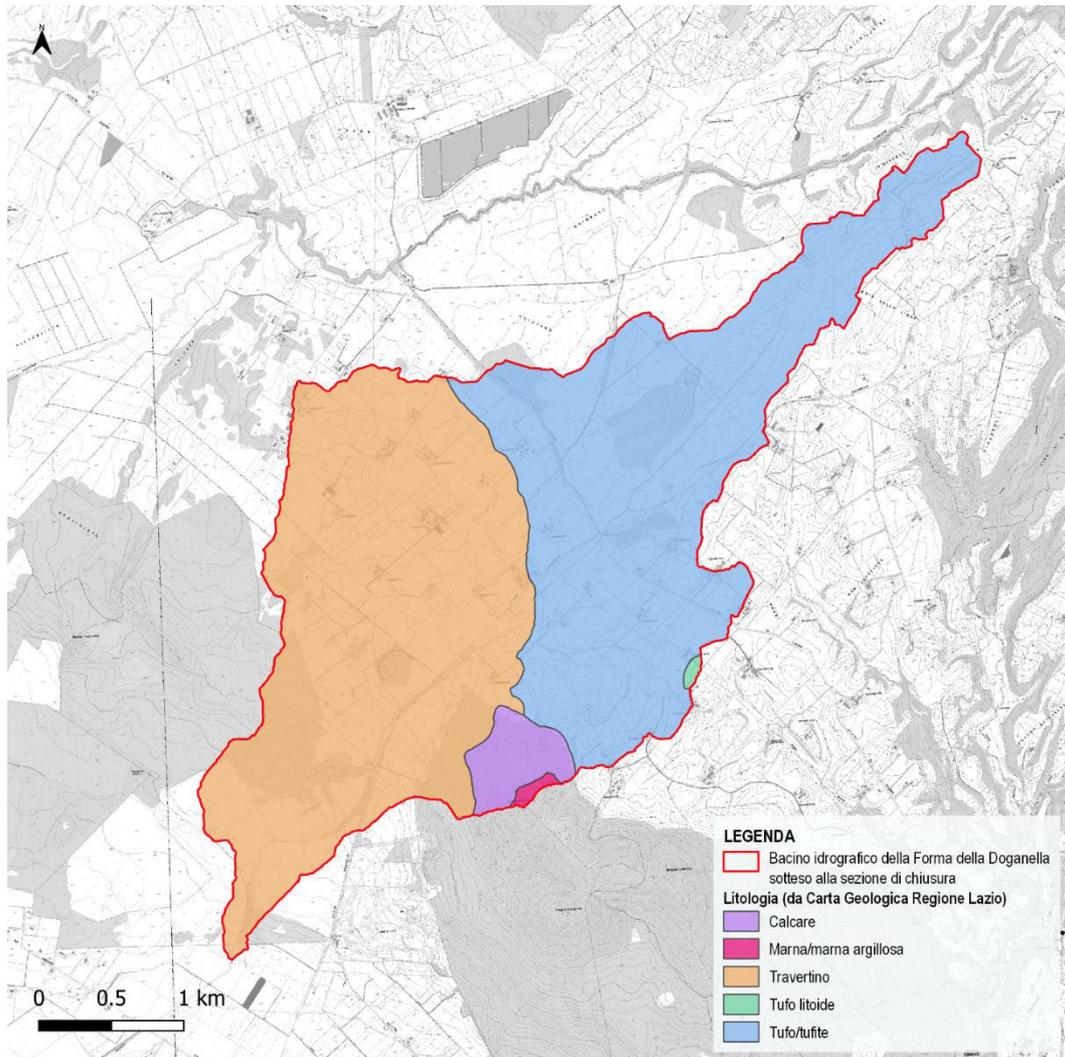
Per valutare il CN è stato inizialmente stabilito il tipo idrologico di suolo presente nel bacino della Forma della Doganella a partire dalle informazioni contenute nella Carta Geologica della Regione Lazio⁵ in scala 1:25.000. In Tabella 3 è riportata una descrizione dei quattro gruppi idrologici definiti dal metodo SCS, i quali sono caratterizzati da infiltrabilità decrescente. Dall'analisi delle caratteristiche geo-litologiche (Figura 16) si evince che il bacino oggetto di studio è caratterizzato da suoli riconducibili al *tipo idrologico B*.

Tabella 3. Tipi idrologici di suolo secondo il metodo SCS

Tipo idrologico 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, ma 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 vicinanza delle superfici.

⁵ https://geoportale.regione.lazio.it/layers/geonode:carta_geologica_wgs84

Figura 16. Estratto della carta geologica della Regione Lazio



Il valore del CN in condizioni di umidità iniziale standard (CNII,medio) è stato calcolato come media pesata dei singoli dei singoli valori assegnati alle varie aree a seconda destinazione d'uso riportata nella Carta d'Uso del Suolo della Regione Lazio (Figura 17).

Figura 17. Estratto carta dell'uso e copertura del suolo del bacino in esame (Fonte: CLC, 2010).

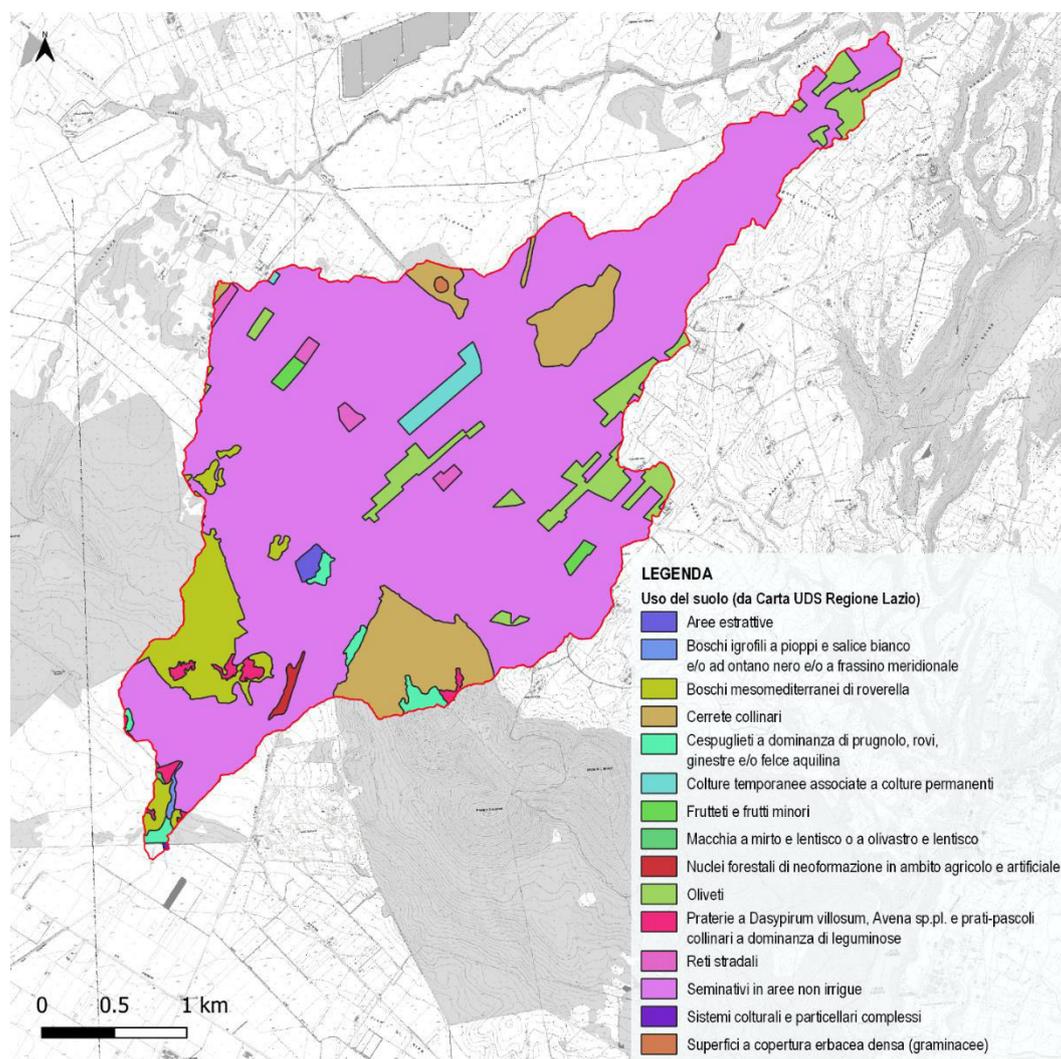


Tabella 4. Uso del suolo del bacino oggetto di studio

Destinazione d'uso del suolo	Superficie	Percentuale (%)	CN _{II}
Aree estrattive	3.0	0.3	85
Frutteti e frutti minori	4.6	0.4	71
Oliveti	51.5	4.7	71
Superfici a copertura erbacea densa (graminacee)	0.8	0.1	73
Colture temporanee associate a colture permanenti	10.1	0.9	73
Sistemi colturali e particellari complessi	0.2	0.0	73
Reti stradali	7.2	0.7	98
Seminativi in aree non irrigue	858.5	78.7	73
Cespuglieti a dominanza di prugnolo, rovi, ginestre e/o felce aquilina	10.2	0.9	56
Nuclei forestali di neoformazione in ambito agricolo e artificiale	2.6	0.2	65

Boschi igrofilo a pioppi e salice bianco e/o ad ontano nero e/o a frassino meridionale	1.2	0.1	60
Praterie a <i>Dasyrium villosum</i> . Avena sp.pl. e prati-pascoli collinari a dominanza di leguminose	7.2	0.7	50
Macchia a mirto e lentisco o a olivastro e lentisco	0.3	0.0	55
Cerrete collinari	79.3	7.3	60
Boschi mesomediterranei di roverella	54.3	5.0	60
Totale	1091.0	100.0	-

CN_{II, medio}	71,1
-------------------------------	-------------

Dall'analisi di quanto riportato in Tabella 4 è emerso che oltre due terzi del suolo (78,7%) è destinato a seminativo (non irriguo), mentre nella restante parte prevalgono cerrete collinari (7,3%), boschi (5,0%) e oliveti (4,7%). Il valore di CN in condizioni di umidità iniziale standard del bacino è risultato pari a 71,1.

Applicando le equazioni del metodo CN-SCS sopra riportate per la stima della precipitazione netta (P_{netta}) per un tempo di ritorno pari a 200 anni sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Tabella 5. Coefficiente di deflusso del bacino oggetto di studio con tempo di ritorno duecentennale

Tempo di ritorno T_R (anni)	200
Precipitazione lorda P (stimata con metodo VAPI) (mm)	113,4
Volume specifico di salvezza al suolo S (mm)	103,0
Perdite iniziali I_a (mm)	20,6
Precipitazione netta P_{netta} (metodo CN-SCS) (mm)	43,9
Coefficiente di deflusso $\Phi(T_R)$	0,40

3.3.5 Coefficiente di ragguglio all'area

Il coefficiente di ragguglio all'area r è stato ricavato attraverso la seguente formula dell'U.S. Waether Bureau:

$$r = 1 - e^{-1,1 \cdot \tau_c^{0,25}} + e^{-1,1 \cdot \tau_c^{0,25} - 0,00386 \cdot A_b} = 0,987$$

3.3.6 Stima della portata al colmo di piena

La massima portata al colmo Q_{max} è stata determinata utilizzando il metodo Razionale basato sulla seguente formula:

$$Q_{max}(T_R) = 278 \cdot \Phi \cdot A_b \cdot i(\tau_c, T_R) \cdot r(A_b, \tau_c)$$

In cui:

T_R Tempo di ritorno (anni);

$Q(T_R)$ massima portata al colmo relativa al tempo di ritorno T_R (m^3/s);

A_b area del bacino (km^2);

τ_c tempo di corrivazione (h) (§par. 3.3.2);

$i(\tau_c, T_R)$ intensità di pioggia di durata τ_c con tempo di ritorno T_R (m/h);

$\Phi(T_R)$ coefficiente di deflusso relativo al tempo di ritorno T_R (che rappresenta le perdite idrologiche) (§par. 3.3.4);

$r(A_b, \tau_c)$ coefficiente di ragguaglio all'area delle piogge (par. §3.3.5).

Assumendo che la precipitazione critica sia quella con durata pari al tempo di corrivazione la portata al colmo di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni è stata stimata pari a 118 m³/s.

4. STUDIO IDRAULICO

4.1 Pericolosità idraulica

Il piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del Bacino Interregionale del Fiume Fiora è stato approvato con DCR della Toscana n.67 del 05 luglio 2006 (B.U.R.T. n.32 del 09 agosto 2006) e con DCR del Lazio n.20 del 20 giugno 2012 (B.U.R.L. n.39 del 21 agosto 2012). L'ultimo aggiornamento del PAI del bacino interregionale del fiume Fiora è stato deliberato con il decreto 94/2020 mediante il recepimento delle mappe di pericolosità e rischio del II ciclo di pianificazione secondo la FD 2007/60/CE in adempimento dell'art. 2 della deliberazione n. 16 ed art. I, comma 2 della deliberazione n. 20, assunte dalla Conferenza Istituzionale Permanente in data 20 dicembre 2019. Le mappe di pericolosità idrogeologica attualmente disponibili sono state rielaborate ai sensi della Determina Dirigenziale ADS n. 31 del 29 novembre 2021.

In Figura 18 è riportato uno stralcio della mappa di pericolosità idraulica nell'area di intervento, dal quale si evince che le aree interessate dall'impianto fotovoltaico non sono interessate da pericolosità idraulica e rientrano nel "dominio geomorfologico idraulico-forestale". L'articolo 15 delle Norme del PAI definisce tale dominio come segue:

"Aree di particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici (dette anche "ambito collinare e montano" o "dominio geomorfologico idraulico-forestale"): corrispondono alle aree collinari e alto collinari nelle quali è necessaria una azione di presidio territoriale tesa a prevenire il manifestarsi di dissesti locali e a non indurre squilibri per le aree di valle. Queste aree presentano le seguenti caratterizzazioni: assetti agricoli storici, terrazzati, parzialmente terrazzati, i quali si vanno sempre più riconvertendo in impianti moderni a colture specializzate; diffusione di edilizia ed impianti storici e di qualità; aree marginali incolte o abbandonate in espansione a cui bisogna attribuire assetti futuri; ampie aree boscate intervallate da pascoli, arbusteti e cespuglieti. Di tali caratterizzazioni si ricorda il ruolo di caposaldo, in funzione della regimazione idrogeologica dei versanti, del paesaggio agrario storico e della copertura boschiva."

Per quanto riguarda il cavidotto interrato in MT in Figura 18 si evince che il tratto di cavidotto che si sviluppa tra i Settori dell'impianto fotovoltaico non attraversa aree pericolose dal punto di vista idraulico, mentre il tratto che si sviluppa a partire dal Settore A (più a nord) attraversa zone caratterizzate da pericolosità idraulica 3 e 4. Nello specifico, l'area a pericolosità più elevata è situata in corrispondenza del Fiume Fiora e il cavidotto la percorre per una lunghezza di circa 2 km. Consultando la carta di pericolosità idraulica del P.S. del Comune di Manciano (Figura 19) si evince che lungo la S.P. 67 Campignola, prima del cambio di direzione verso NE-SO, è presente una zona a pericolosità idraulica 3 in corrispondenza del Fosso dei Lavinacci e del Botro dell'Acqua Bianca. Il progetto prevede che le interferenze con il fiume Fiora e gli altri corsi d'acqua minori vengano superati mediante Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.). Per maggiori dettagli sulle interferenze del cavidotto con il reticolo idrografico si rimanda al capitolo §5.

Figura 18. Pericolosità idraulica nell'area dell'impianto fotovoltaico (Fonte: PAI Bacino del Fiora)

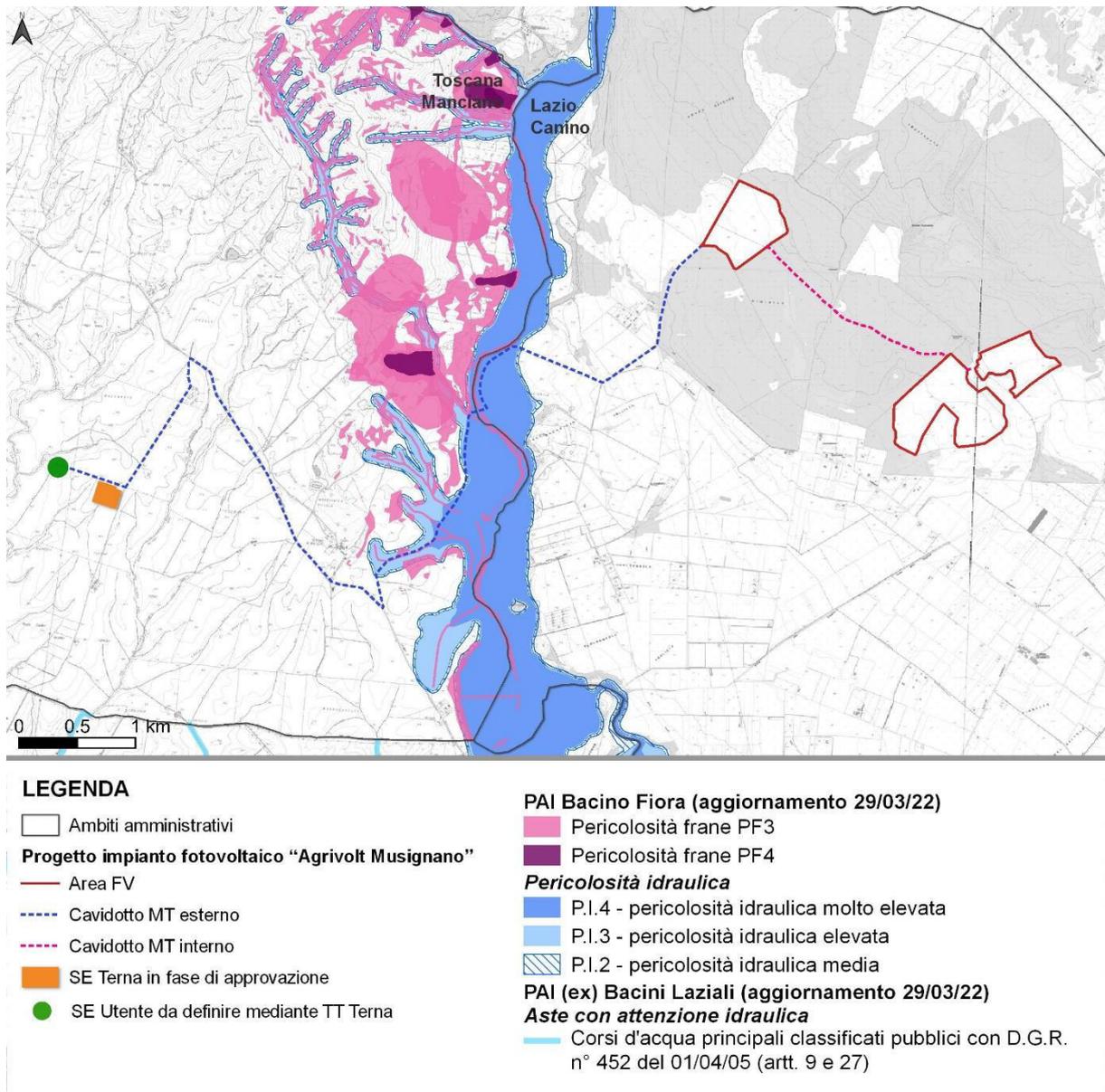
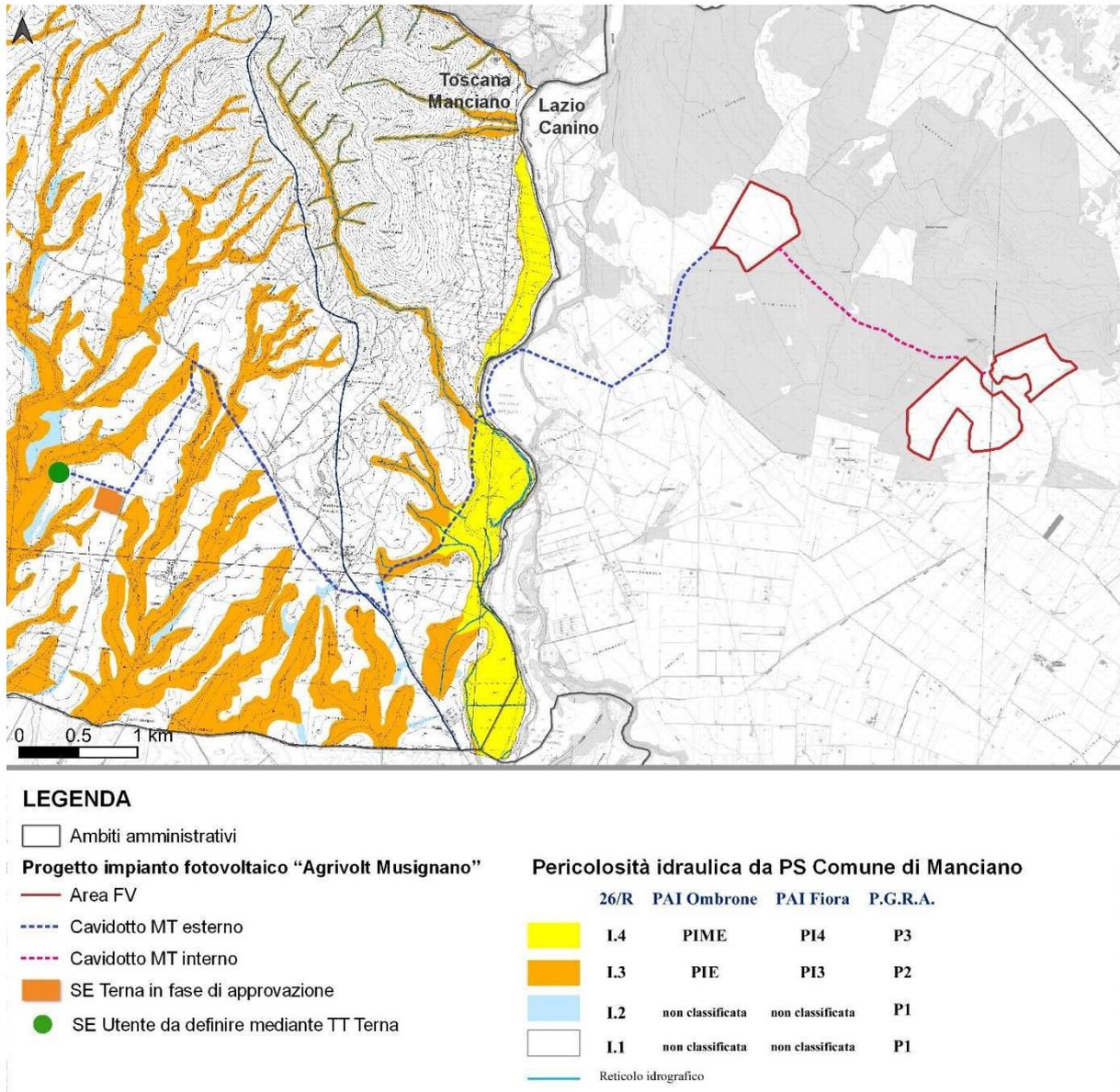


Figura 19. Estratto della carta di pericolosità idraulica del PS del Comune di Manciano.



4.2 Descrizione del modello idraulico

La verifica idraulica è stata svolta utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS (versione 6.1) del U.S. Army Corps of Engineers, il quale consente determinare il profilo idraulico, lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale, in condizioni di moto stazionario e gradualmente variato.

Le ipotesi di calcolo adottate per la determinazione del profilo idraulico sono le seguenti:

- moto della corrente monodimensionale (le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate);
- moto della corrente permanente gradualmente variato (portata costante e alveo con sezione variabile);
- pendenza del fondo dell'alveo limitata (inferiore a 1:10);

La procedura di calcolo si basa sulla risoluzione, con un metodo alle differenze finite (*Standard Step Method*), dell'equazione di moto permanente gradualmente variato, ricavata dal bilancio dell'energia secondo lo schema monodimensionale. L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente, viene risolta nella seguente forma:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

Dove:

Z_1, Z_2 sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento orizzontale;

Y_1, Y_2 sono i tiranti idrici;

v_1, v_2 sono le velocità medie;

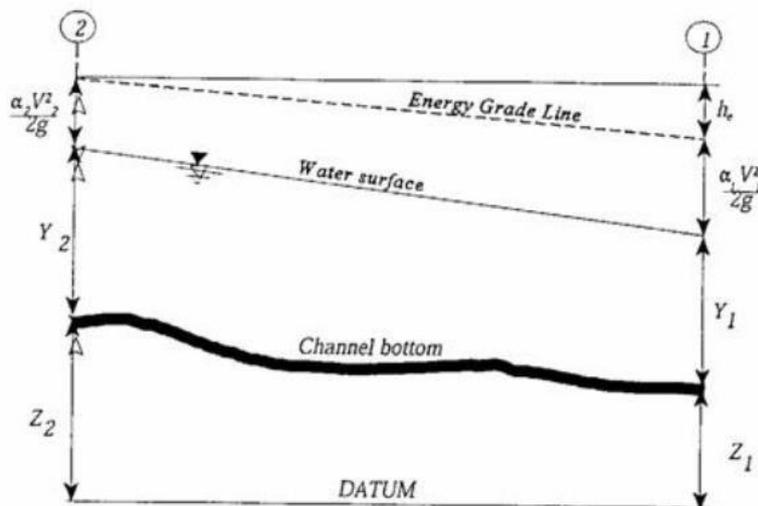
α_1, α_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;

g è l'accelerazione di gravità;

h_e è la perdita di carico totale nel tratto considerato.

I termini del bilancio energetico fra due sezioni trasversali del corso d'acqua sono schematicamente rappresentati nella seguente Figura 20.

Figura 20. Grandezze presenti nell'equazione dell'energia



La perdita di carico totale tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo l'alveo e le perdite di carico dovute alla contrazione o all'espansione della corrente ed è espressa attraverso la seguente formula:

$$h_e = L \cdot J + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right|$$

Dove:

L è la lunghezza del tratto di alveo in esame [m];

J è la cadente piezometrica nel tratto di lunghezza L ;

C è un coefficiente che tiene conto della contrazione e dell'espansione della corrente;

α_1, α_2 sono dei coefficienti correttivi dell'energia cinetica (coefficienti di Coriolis);

v_1, v_2 sono le velocità medie della corrente [m/s];

g è l'accelerazione di gravità [m/s²];

La cadente piezometrica J può essere calcolata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

Dove:

Q è la portata che attraversa la sezione [m³/s];

K è un parametro di conducibilità che può essere ricavato dalla seguente relazione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

In cui:

n è un parametro rappresentativo della scabrezza (coefficiente di Manning) [m^{-1/3}/s];

A è l'area bagnata [m²];

R è il raggio idraulico [m].

I valori del coefficiente di Manning variano a seconda della tipologia di alveo e golena. In tabella sono riportati dei valori di riferimento presenti in letteratura.

Tabella 6. Valori tipici del coefficiente di Manning in funzione della tipologia di alveo e golena

Descrizione del corso d'acqua: alveo e area golenale	n Manning (m ^{-1/3} ×s)	k _s Strickler (m ^{1/3} ×s ⁻¹)	m Kutter (m ^{1/2})	γ Bazin (m ^{1/2})
<i>Tratti montani dei corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione arbustiva-arborea in alveo</i>	0.040÷0.033	25÷30	3.50÷3.00	3.00÷2.30
<i>Corsi d'acqua regolari con vegetazione e movimento di materiale sul fondo</i>	0.033÷0.028	30÷35	3.00÷2.00	2.30÷1.75
<i>Corsi d'acqua di pianura, con andamento regolare e scarsa presenza di vegetazione</i>	0.028÷0.025	35÷40	2.00÷1.50	1.75÷1.30
<i>Tratti urbanizzati dei corsi d'acqua, con fondo naturale e pareti in massi regolari cementati</i>	0.028÷0.025	35÷40	2.00÷1.50	1.75÷1.30
<i>Corsi d'acqua con fondo e pareti totalmente cementati, in buono stato e privi di manufatti in alveo</i>	0.025÷0.022	40÷45	1.50÷1.35	1.30÷1.00
<i>Tratti tombinati perfettamente liscati e dotati di dispositivi di trattenuta di materiale flottante o di trasporto</i>	0.020÷0.018	50÷55	1.00÷0.75	0.85÷0.60
<i>Aree golenali verdi, caratterizzate da vegetazione regolare e alberi di medie dimensioni</i>	0.050÷0.040	20÷25	≥3.50	≥3.00
<i>Aree golenali a prato, con erba tagliata e assenza di alberi</i>	0.033÷0.025	30÷40	3.00÷1.50	2.30÷1.30
<i>Aree urbane adibite a parcheggio o con strade abbastanza ampie</i>	0.020÷0.018	50÷55	1.00÷0.75	0.85÷0.60

Il coefficiente C, che tiene conto delle perdite energetiche concentrate dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente, viene definito dall'utente sezione per sezione in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di questo coefficiente sono riportati in Tabella 7.

Tabella 7. Valori tipici del coefficiente C

Descrizione	Coefficiente contrazione	di	Coefficiente espansione	di
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0.0		0.0	
Transizione graduale	0.1		0.3	
Ponti	0.3		0.5	
Transizioni molto brusche	0.6		0.8	

La determinazione del profilo liquido di moto permanente richiede l'inserimento delle seguenti informazioni:

1. *dati geometrici* relativi alle sezioni trasversali ed alle eventuali strutture presenti (ponti, traverse, sfioratori);
2. *coefficiente di scabrezza di manning n* e *coefficiente di contrazione/espansione c*, per il calcolo delle perdite energetiche distribuite e concentrate in corrispondenza di ogni sezione fluviale.
3. *portata liquida* in ingresso alla sezione di monte ed eventuali contributi dovuti a immissioni laterali sulla base dei risultati della modellistica idrologica.
4. *condizioni al contorno* per le sezioni estreme del tronco in esame, secondo lo schema di calcolo adottato. HEC-RAS dispone di quattro differenti opzioni per la definizione delle condizioni al contorno:
 - *known water surface elevations*: la condizione al contorno corrisponde ad un valore noto d'altezza d'acqua inserito per ciascuno dei profili da calcolare;
 - *critical depth*: la condizione al contorno viene posta uguale alla profondità critica che il programma calcola per ciascuno dei profili;
 - *normal depth*: la condizione al contorno è uguale alla profondità di moto uniforme che il programma calcola per ciascuno dei profili. in questo caso bisogna fornire la pendenza della linea dei carichi totali, che può essere approssimata mediante la pendenza del tratto nel canale a monte;
 - *rating curve*: in questo caso occorre inserire la scala di deflusso relativa alla sezione considerata (curva altezza-portata), attraverso la quale il programma procede mediante interpolazione è in grado di determinare l'altezza d'acqua correlata.

4.3 Analisi Forma della Doganella

La verifica idraulica è stata svolta simulando il moto permanente gradualmente variato (portata costante e alveo variabile) in alveo schematizzato come monodimensionale per un tratto di circa 1 km, considerando un tempo di ritorno pari a 200 anni.

4.3.1 Dati input

Caratterizzazione geometrica

Per la caratterizzazione geometrica dell'alveo è stato fatto riferimento al DTM ottenuto con strumenti e metodi di Terrain Analysis in ambiente GIS a partire dalle curve di livello della CTRN 2014 della Regione Lazio (Figura 21). In Figura 22 è riportato il modello HEC-RAS della Forma della Doganella nel tratto studiato.

Figura 21. DTM ottenuto con metodi di Terrain Analysis in ambiente GIS (a sinistra) e caricato nel software HEC-RAS (a destra)

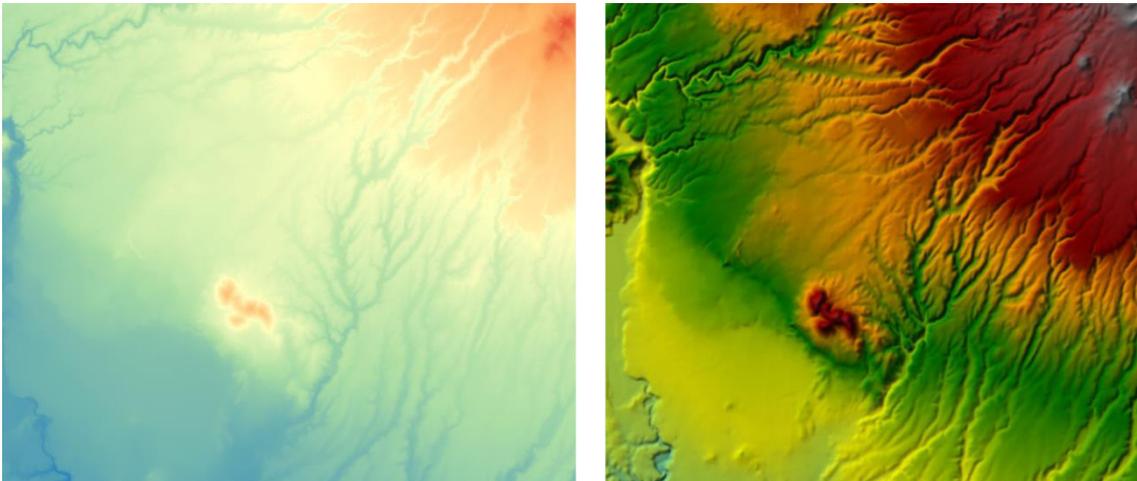
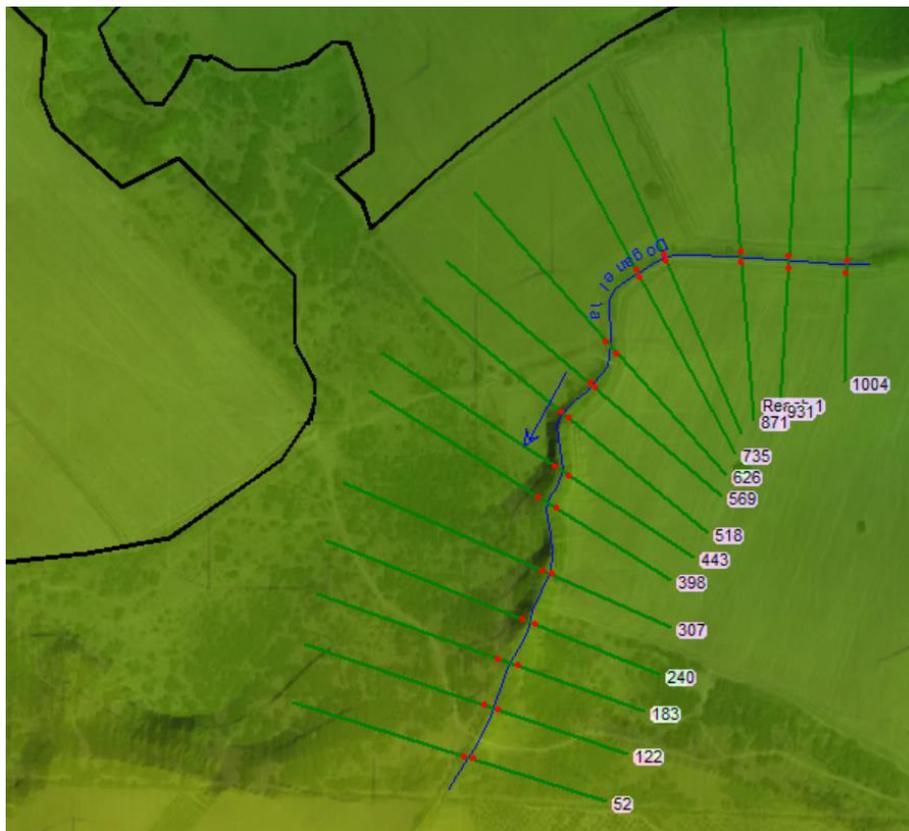


Figura 22. Modello HEC-RAS della Forma della Doganella



Parametri idraulici

I parametri idraulici richiesti in ingresso dal software HEC-RAS sono la portata e i valori di scabrezza. Come valore di portata con tempo di ritorno duecentennale in ingresso a monte del tratto in esame è stato utilizzato

quello ricavato nella precedente analisi idrologica (§3.3.6), pari a $118 \text{ m}^3/\text{s}$. Per quanto riguarda la scabrezza è stato utilizzato un coefficiente di Manning pari a $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ per l'alveo (valore tipico per alvei di pianura, con corrente regolare e scarsa presenza di vegetazione), mentre per le aree golenali è stato assunto il valore di $0.030 \text{ s/m}^{1/3}$ (tipico di aree golenali a prato).

Condizioni al contorno

Come condizione al contorno sia a monte che a valle è stata definita una "normal depth", ovvero una pendenza della linea dei carichi totali. La pendenza di tale linea è stata approssimativamente assunta pari alla pendenza del fondo dell'alveo nelle sezioni di monte e di valle del tratto studiato. Come pendenza media nella sezione di monte è stato utilizzato un valore pari a 0,03 mentre nella sezione di valle è stato utilizzato il valore di 0,02.

Per quanto riguarda il coefficiente C, considerando transizione graduali della corrente, è stato utilizzato il valore di 0,1 per i fenomeni di contrazione e 0,3 per quelli di espansione.

Non conoscendo a priori la natura della corrente si è deciso di impostare la simulazione idraulica in condizioni di regime misto.

4.3.2 Verifica idraulica

In Figura 23 sono rappresentate le aree inondate risultanti dalla simulazione idraulica con tempo di ritorno di 200 anni, dalla quale si evince che l'onda di piena non ha nessun tipo di impatto sulle aree interessate dal progetto. In Figura 24 e Tabella 8 sono riportati i risultati della simulazione idraulica effettuata.

Figura 23. Aree inondate con tempo di ritorno pari a 200 anni

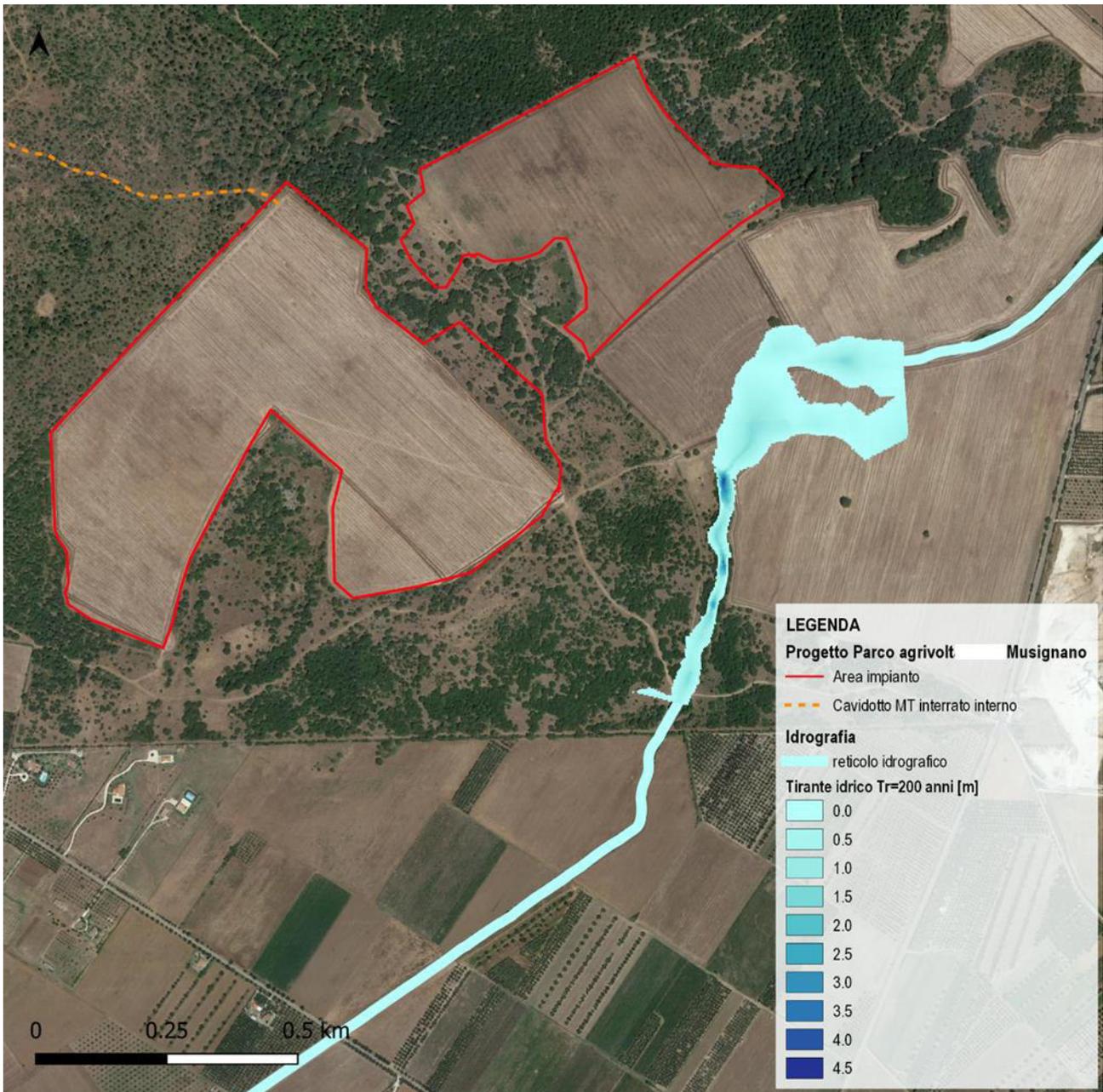


Figura 24. Profilo idraulico con Tr=200 anni

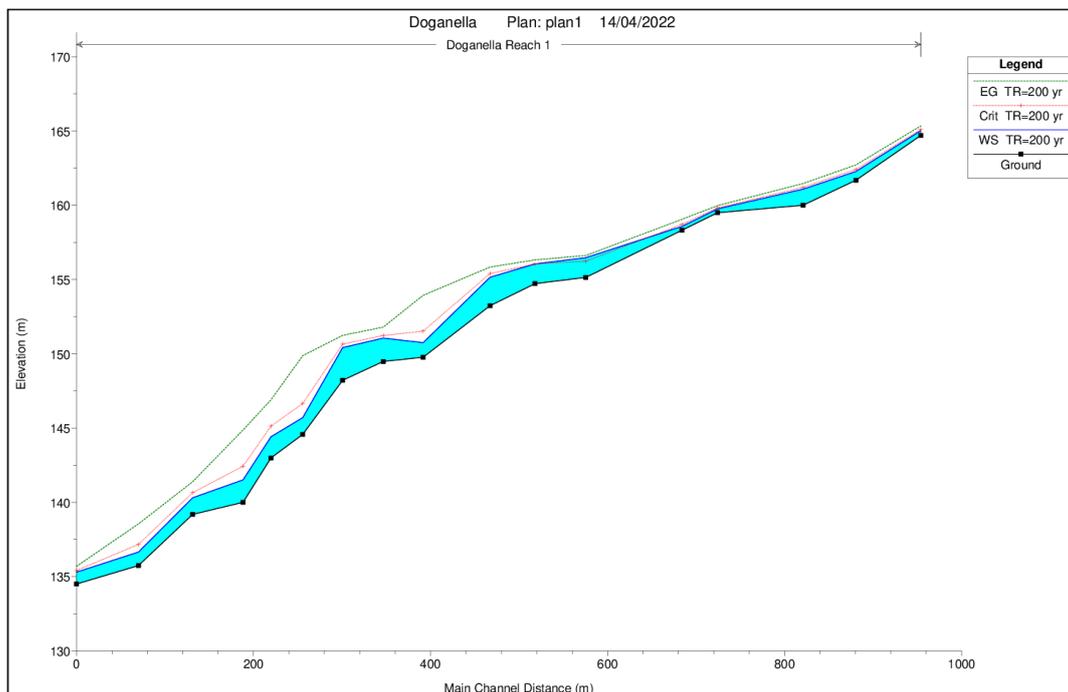


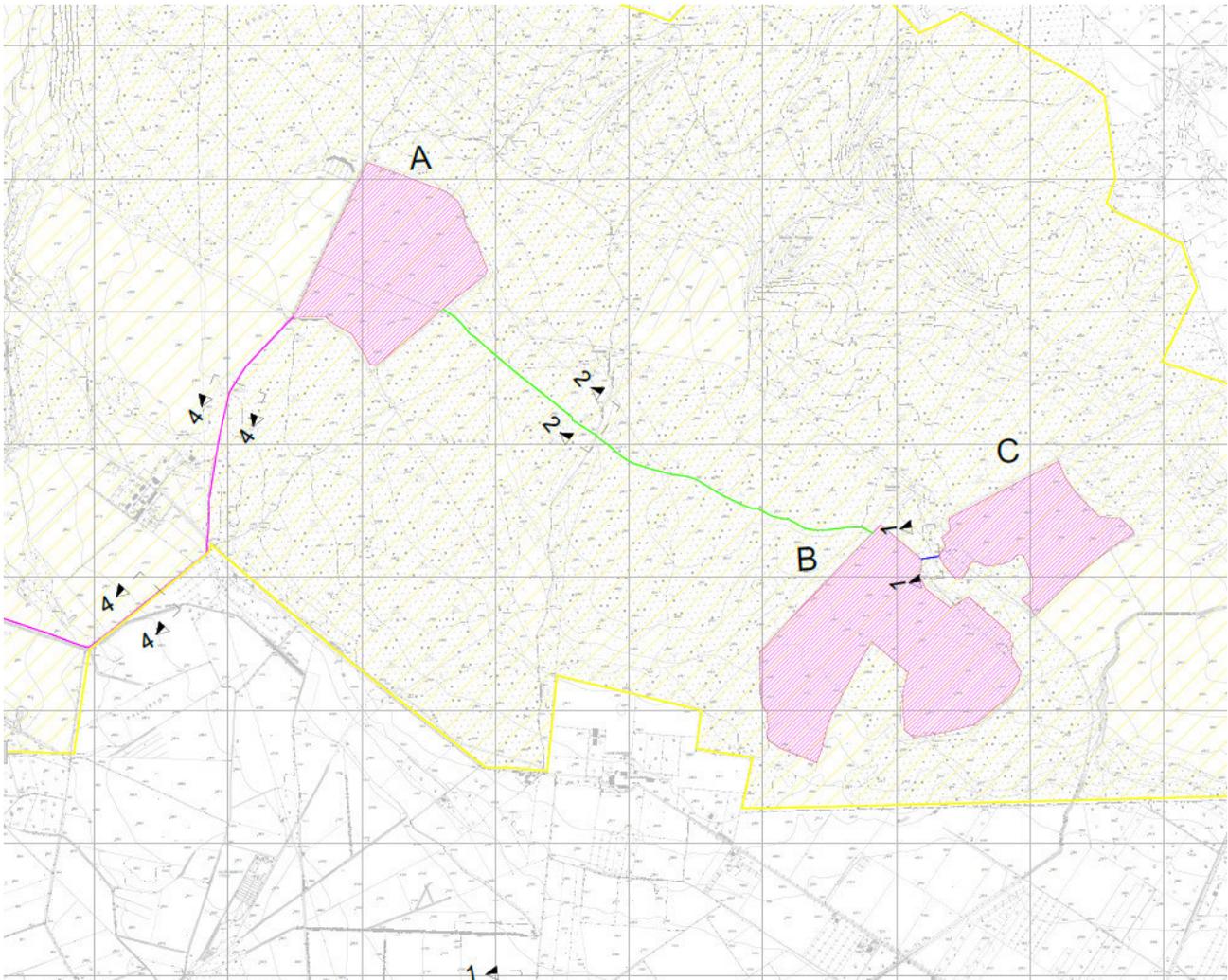
Tabella 8. Risultati ottenuti dalla simulazione effettuata con Tr=200 anni

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	1004	TR=200 yr	118.00	164.70	165.02	165.11	165.34	0.030036	2.11	48.45	185.92	1.33
Reach 1	931	TR=200 yr	118.00	161.69	162.28	162.41	162.72	0.034419	3.89	43.67	172.76	1.64
Reach 1	871	TR=200 yr	118.00	160.00	161.09	161.21	161.46	0.013248	3.52	50.73	147.39	1.12
Reach 1	775	TR=200 yr	118.00	159.49	159.76	159.83	159.98	0.014318	1.45	58.44	204.56	0.99
Reach 1	735	TR=200 yr	118.00	158.31	158.57	158.71	159.05	0.052689	2.52	39.92	176.26	1.72
Reach 1	626	TR=200 yr	118.00	155.14	156.48	156.24	156.62	0.003223	2.02	76.04	108.61	0.57
Reach 1	569	TR=200 yr	118.00	154.72	156.05	156.05	156.33	0.008300	3.17	55.17	99.65	0.91
Reach 1	518	TR=200 yr	118.00	153.24	155.16	155.40	155.84	0.009291	4.06	38.66	57.62	1.01
Reach 1	443	TR=200 yr	118.00	149.77	150.75	151.53	153.93	0.105482	7.91	14.96	21.43	2.96
Reach 1	398	TR=200 yr	118.00	149.48	151.05	151.23	151.79	0.014652	3.84	31.92	36.66	1.18
Reach 1	352	TR=200 yr	118.00	148.22	150.42	150.65	151.24	0.009683	4.18	32.28	34.80	1.03
Reach 1	307	TR=200 yr	118.00	144.58	145.71	146.66	149.88	0.103589	9.26	13.45	17.52	3.06
Reach 1	271	TR=200 yr	118.00	142.99	144.41	145.12	146.89	0.049363	7.17	17.66	20.94	2.18
Reach 1	240	TR=200 yr	118.00	140.00	141.52	142.43	144.87	0.078363	8.11	14.59	15.87	2.65
Reach 1	183	TR=200 yr	118.00	139.19	140.30	140.65	141.39	0.033377	4.81	26.72	43.63	1.71
Reach 1	122	TR=200 yr	118.00	135.74	136.66	137.17	138.54	0.063332	6.58	20.65	38.40	2.35
Reach 1	52	TR=200 yr	118.00	134.50	135.30	135.41	135.69	0.020834	3.42	43.66	111.58	1.31

5. INTERFERENZE DELLE OPERE IN PROGETTO CON IL RETICOLO IDROGRAFICO

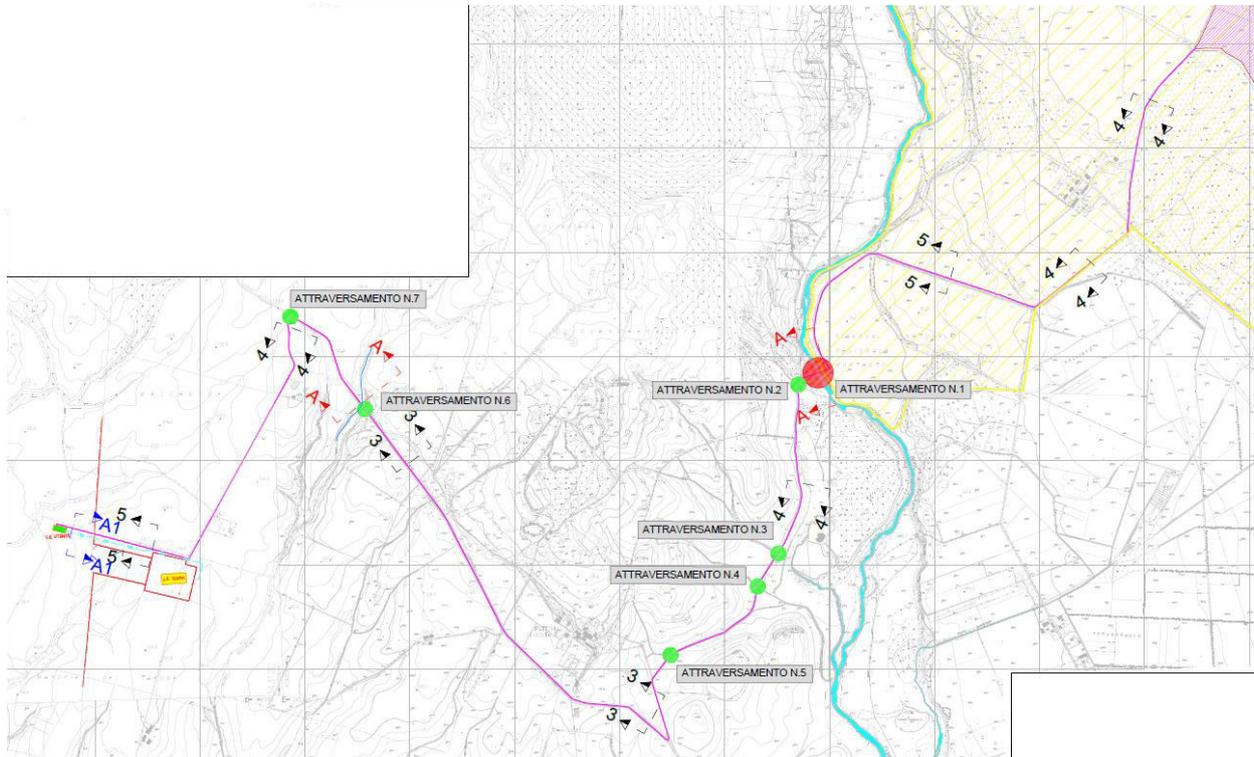
In Figura 25 è possibile osservare che le aree interessate dall'impianto agrivoltaico e il tratto di cavidotto interrato in MT che si sviluppa tra i Settori non interferiscono con nessun elemento del reticolo idrografico.

Figura 25: Interferenze presenti nell'area dell'impianto fotovoltaico e di parte del cavidotto interrato in MT



Lungo il percorso del cavidotto interrato in MT che si sviluppa per circa 10 km tra il Settore A e la Sottostazione Elettrica di trasformazione Utente (SEU) sono invece state identificate 7 interferenze con il reticolo idrografico (Figura 26): una con il Fiume Fiora, in corrispondenza del confine tra Lazio e Toscana, due lungo la SP 67 Campigliola (Fosso dei Lavinacci e Botro dell'Acqua Bianca) e altre quattro con elementi idrografici minori presenti tra il fiume Fiora e la SP 67.

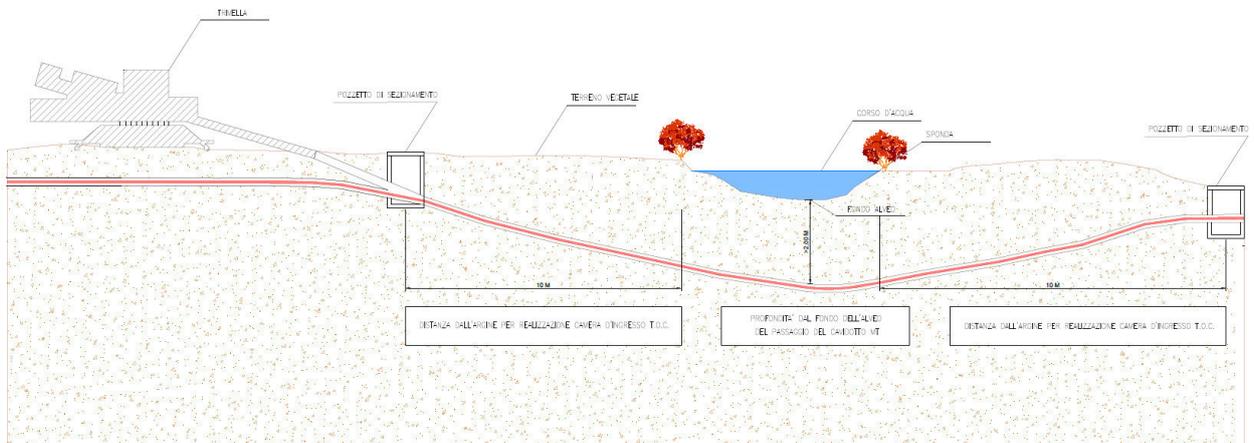
Figura 26. Interferenze del cavidotto interrato in MT



Le interferenze del cavidotto interrato in MT con il reticolo idrografico verranno superate mediante trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.), al fine di non alterare la sezione di deflusso e perturbare il regime idraulico del corso d'acqua attraversato (Figura 27). La trivellazione verrà realizzata ad una distanza di almeno 10 m dalle sponde del corso d'acqua.

Il cavidotto verrà posizionato ad almeno 2,0 metri di profondità dal fondo del Fiume Fiora, considerato corso d'acqua di sezione significativa, e ad almeno 1,0 metri di profondità dagli altri corsi d'acqua, caratterizzati da sezioni d'alveo di dimensioni ridotte.

Figura 27. Attraversamenti del reticolo idrografico mediante Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).



In generale, i cavidotti saranno posati in conformità alla norma CEI 11-17 posando più linee nella stessa trincea, assicurando la facilità di posa dei cavi e contemporaneamente riducendo al minimo il numero di scavi necessario. Il materiale di risulta dagli scavi sarà utilizzato per il rinterro.

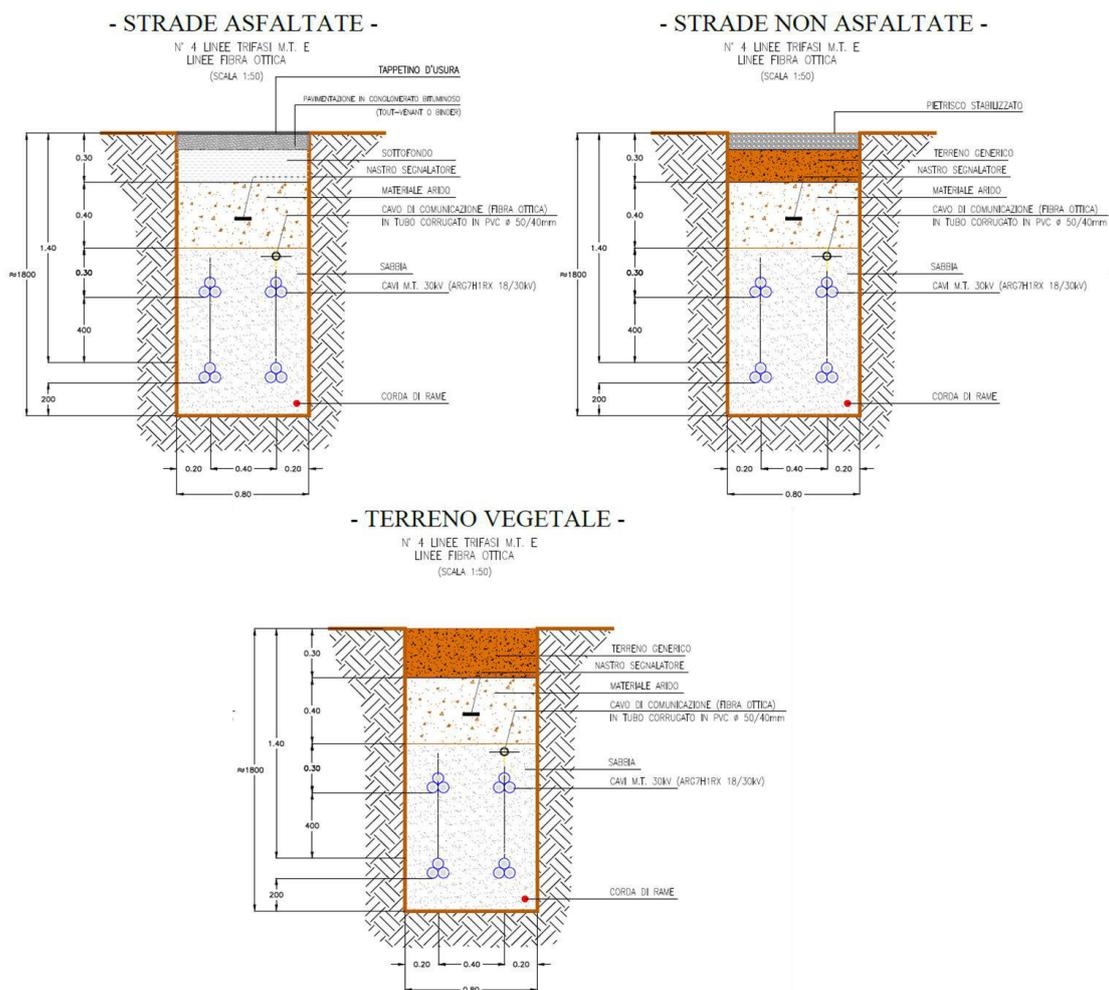
Saranno eseguiti scavi a sezione ridotta e obbligatoria di profondità variabile da 80 a 180 cm in funzione del numero di conduttori da porre in opera.

In particolare, lo scavo del cavidotto MT tra la cabina di parallelo del Settore C e quella del Settore B, previsto in doppia trincea, avrà una profondità di 0,80 m mentre quello che si sviluppa tra la cabina di parallelo del Settore B e quella del Settore A, previsto in cinque trincee di cavi, avrà una profondità di 1,20 m.

Lo scavo previsto per il cavidotto esterno in MT, che si sviluppa tra la cabina di parallelo generale ubicata nel Settore A dell'impianto e la Stazione Elettrica di trasformazione Utente (SEU), avrà una profondità di 1,80 m (Figura 28). Tale cavidotto verrà realizzato tramite una quadrupla trincea di cavi AI del tipo ARG7H1R di sezione pari a 500 mm².

Per assicurare una maggiore protezione meccanica i cavi saranno posati in con tubazioni in PVC. In caso di particolari attraversamenti o di risoluzione puntuale di interferenze, le modalità di posa saranno modificate in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-17 e dagli eventuali regolamenti vigenti relativi alle opere interferite, mantenendo comunque un grado di protezione delle linee non inferiore a quanto garantito dalle normali condizioni di posa.

Figura 28. Schemi di posa del cavidotto esterno in MT su strada asfaltata, strada sterrata e terreno agricolo.



6. CONCLUSIONI

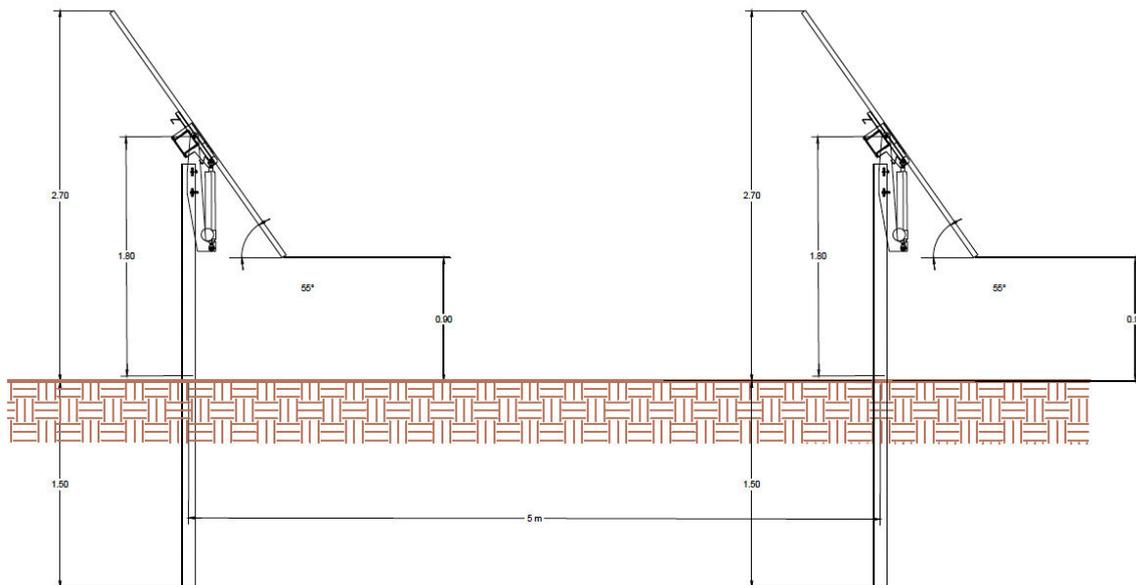
Il presente studio idrologico-idraulico è stato svolto a supporto del progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Agrivolt Musignano” per la produzione di energia da fonte rinnovabile, e delle relative opere di connessione alla RTN, situato nella porzione nord-ovest del Comune di Canino (VT), in località “Case Riminino”.

Nella relazione sono state illustrate, previo inquadramento dell’area oggetto di intervento, l’analisi idrologica e la verifica idraulica della Forma della Doganella effettuata con un modello monodimensionale in regime di moto permanente al fine di individuare le aree inondabili con tempo di ritorno pari a 200 anni ed eventuali interferenze dei livelli di piena con le opere in progetto.

I risultati della verifica idraulica effettuata con il software HEC-RAS 6.1, dimostrano che le aree di intervento sono completamente esterne alle aree inondabili oltre ad essere poste a quote maggiori rispetto al corso d’acqua. Il parco agrivoltaico risulta quindi compatibile con i livelli di piena attesi e, inoltre, non aumenta il rischio idraulico delle aree adiacenti in quanto presenta caratteristiche costruttive tali da non comportare impermeabilizzazione del suolo, che viene lasciato allo stato di naturale vegetazione.

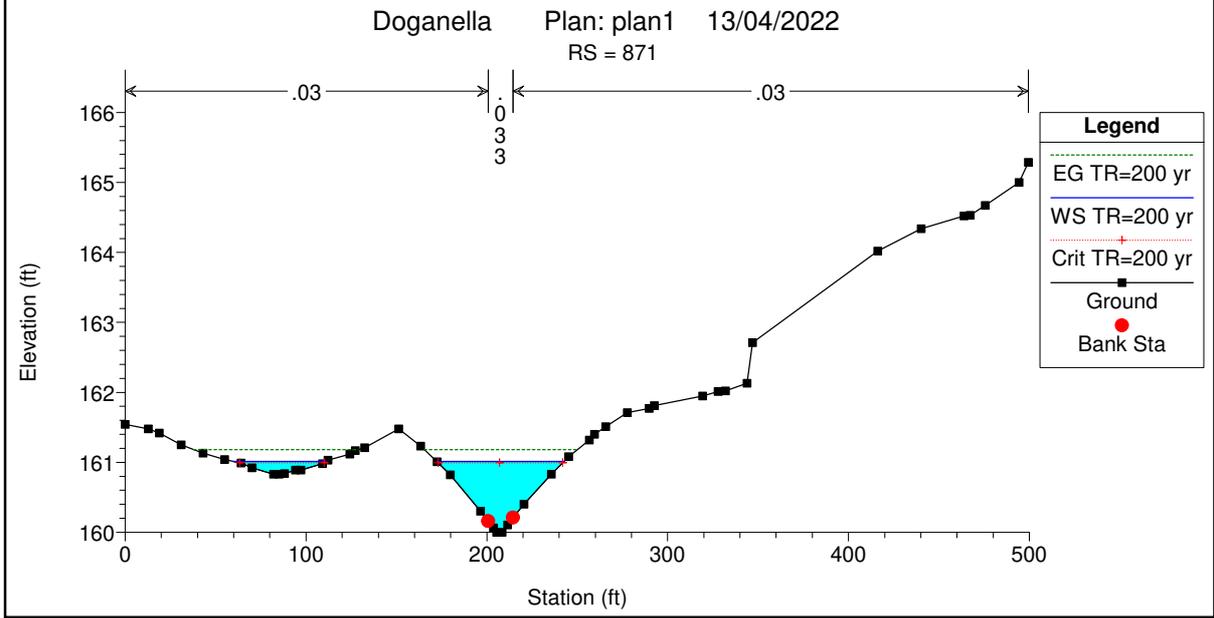
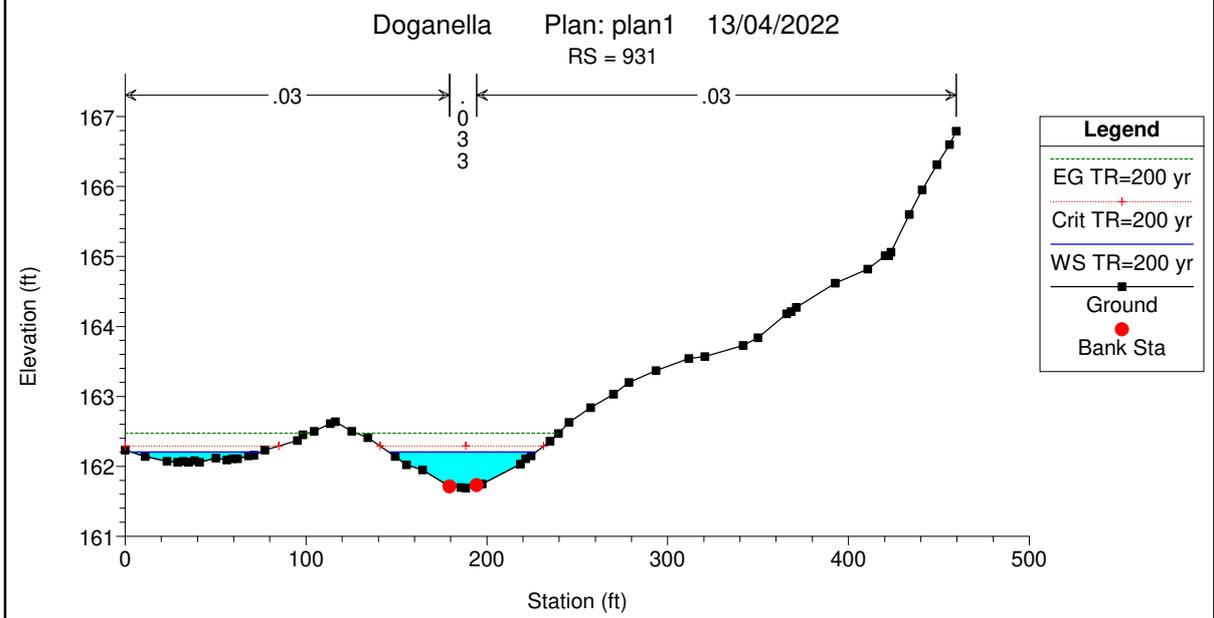
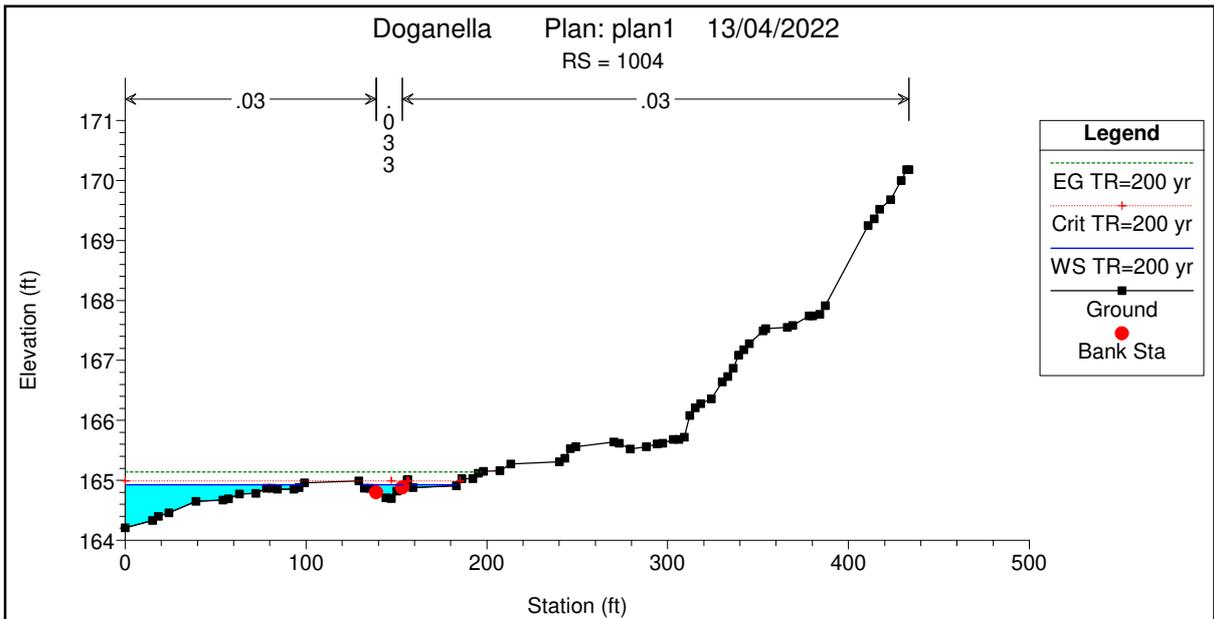
Il progetto prevede di installare i moduli fotovoltaici ad almeno 0,9 m da terra su strutture ad inseguimento monoassiale in configurazione “singolo portrait” ancorate al terreno con tecnologia a battipalo per circa 1,5 m e caratterizzate da un asse di rotazione disposto in direzione N-S, con angolo di tilt pari a 0° (Figura 29). Questa configurazione consente di non modificare l’attuale deflusso delle acque superficiali e, pertanto, si ritiene che non sia necessario approntare specifiche misure progettuali per la laminazione delle acque di prima pioggia.

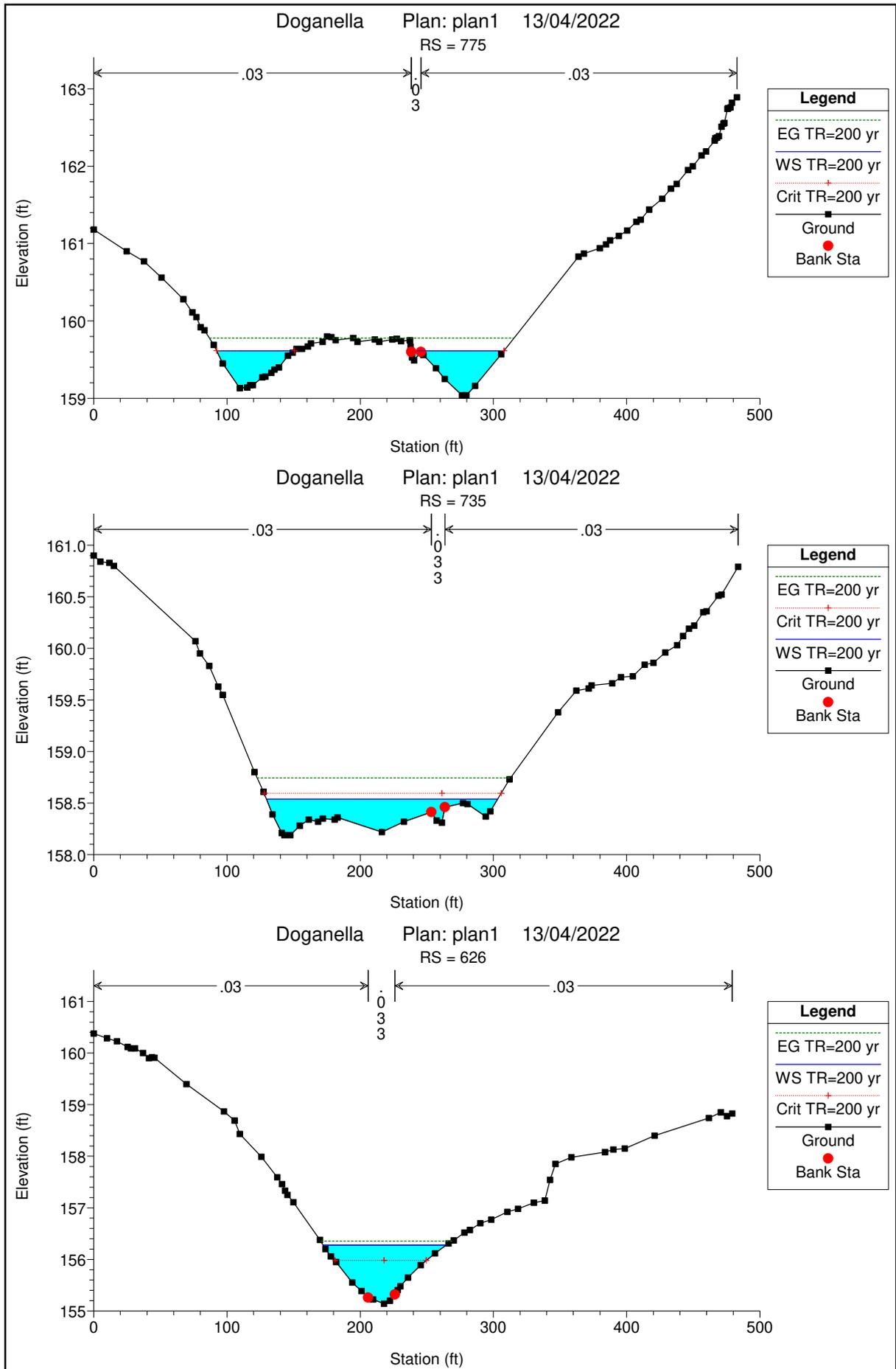
Figura 29. Sezione delle strutture di supporto.

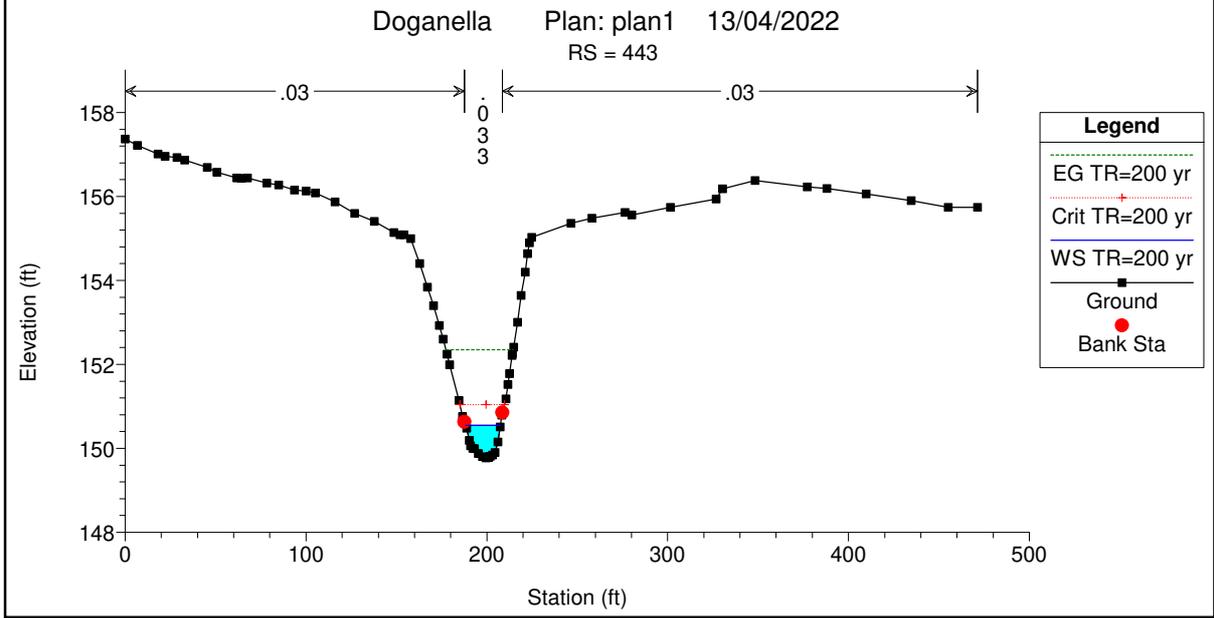
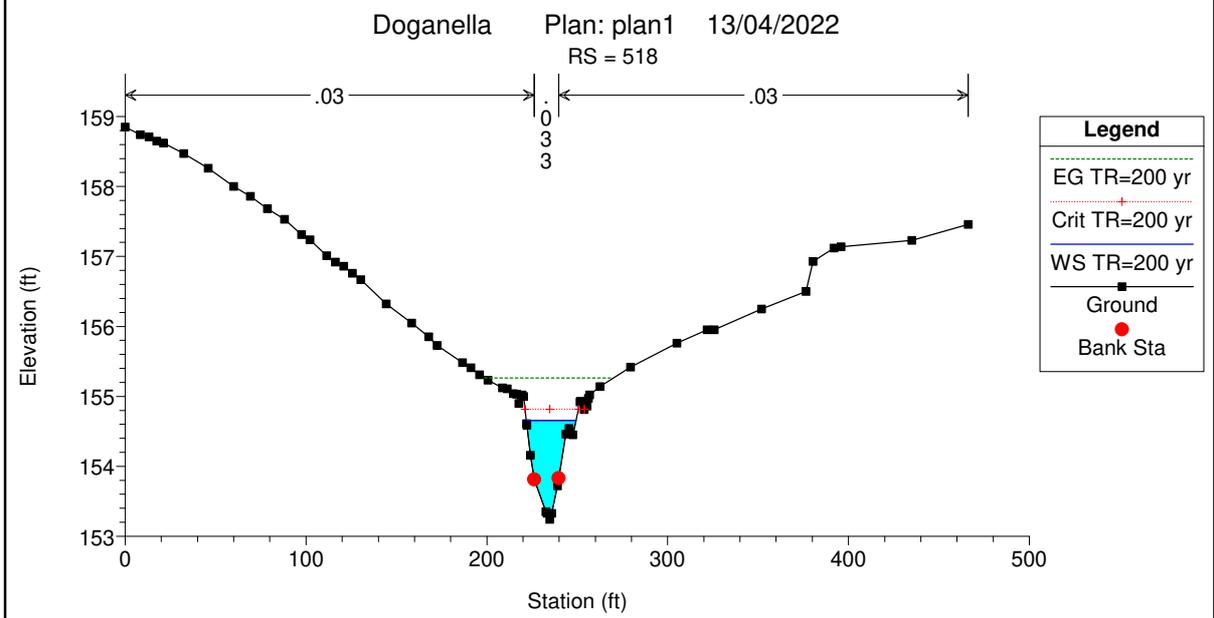
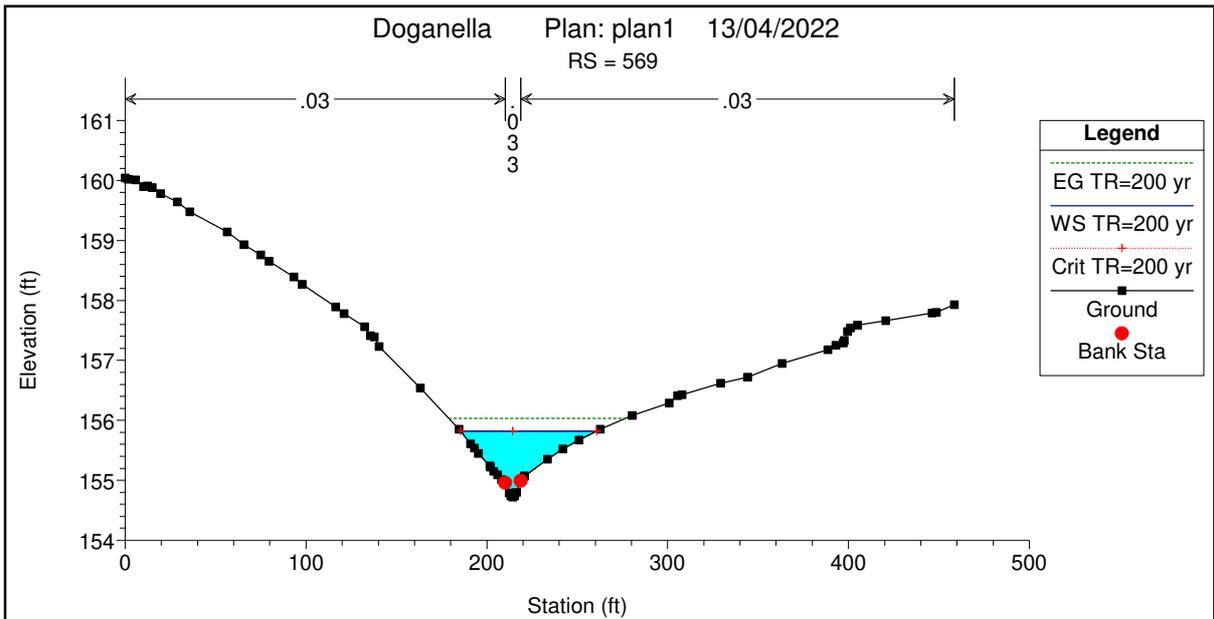


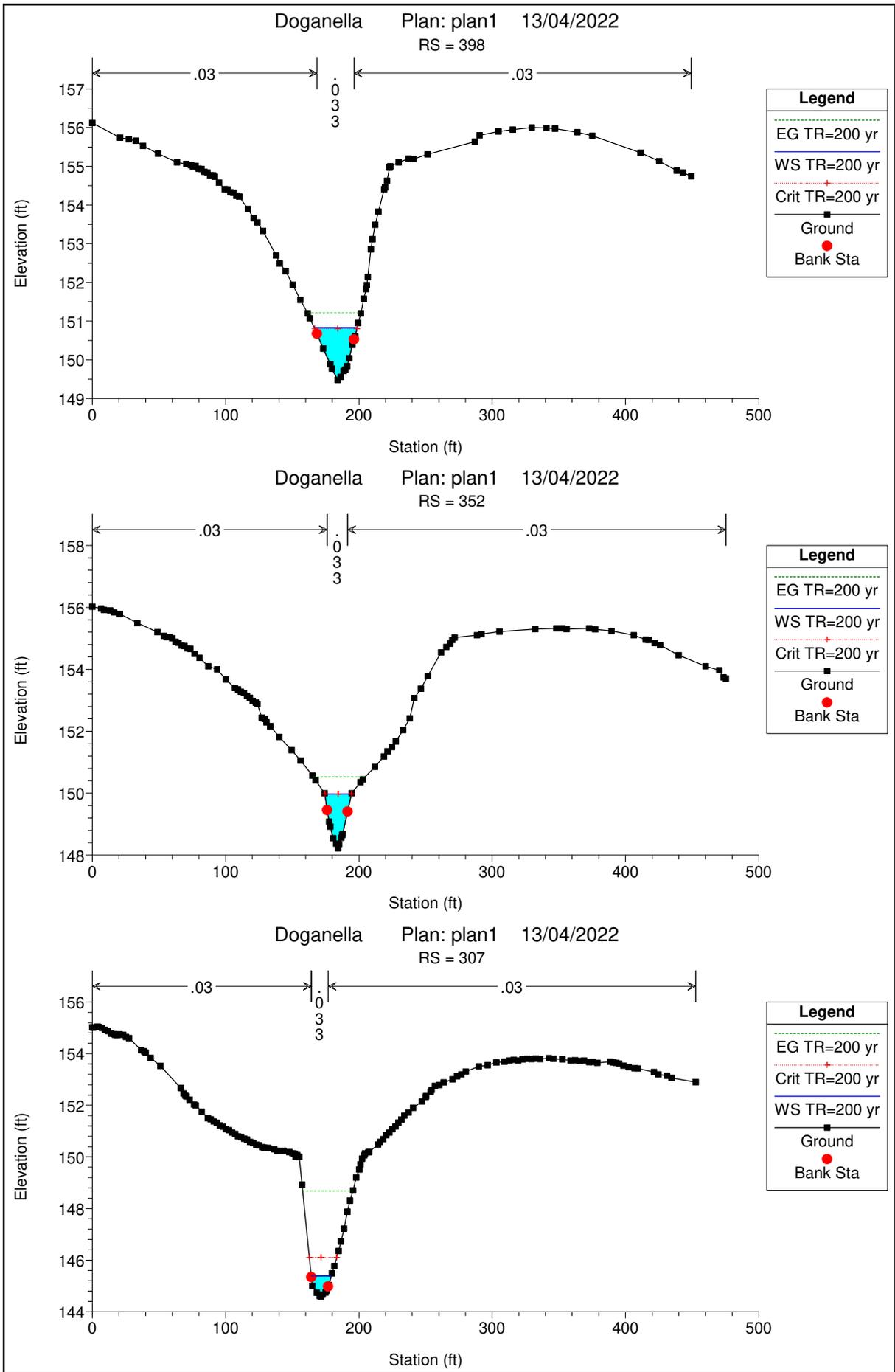
Relativamente all’intersezione del cavidotto interrato in MT con il Fiume Fiora e con gli altri corsi d’acqua minori, il progetto prevede che essa vengano superate utilizzando la tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.), al fine di non alterare la sezione di deflusso e perturbare il regime idraulico del corso d’acqua attraversato (Figura 27). La trivellazione verrà realizzata ad una distanza di almeno 10 m dalle sponde del corso d’acqua. Il cavidotto verrà posizionato ad almeno 2,0 metri di profondità dal fondo del Fiume Fiora, considerato corso d’acqua di sezione significativa, e ad almeno 1,0 metri di profondità dal fondo degli altri corsi d’acqua, caratterizzati da sezioni d’alveo di dimensioni ridotte.

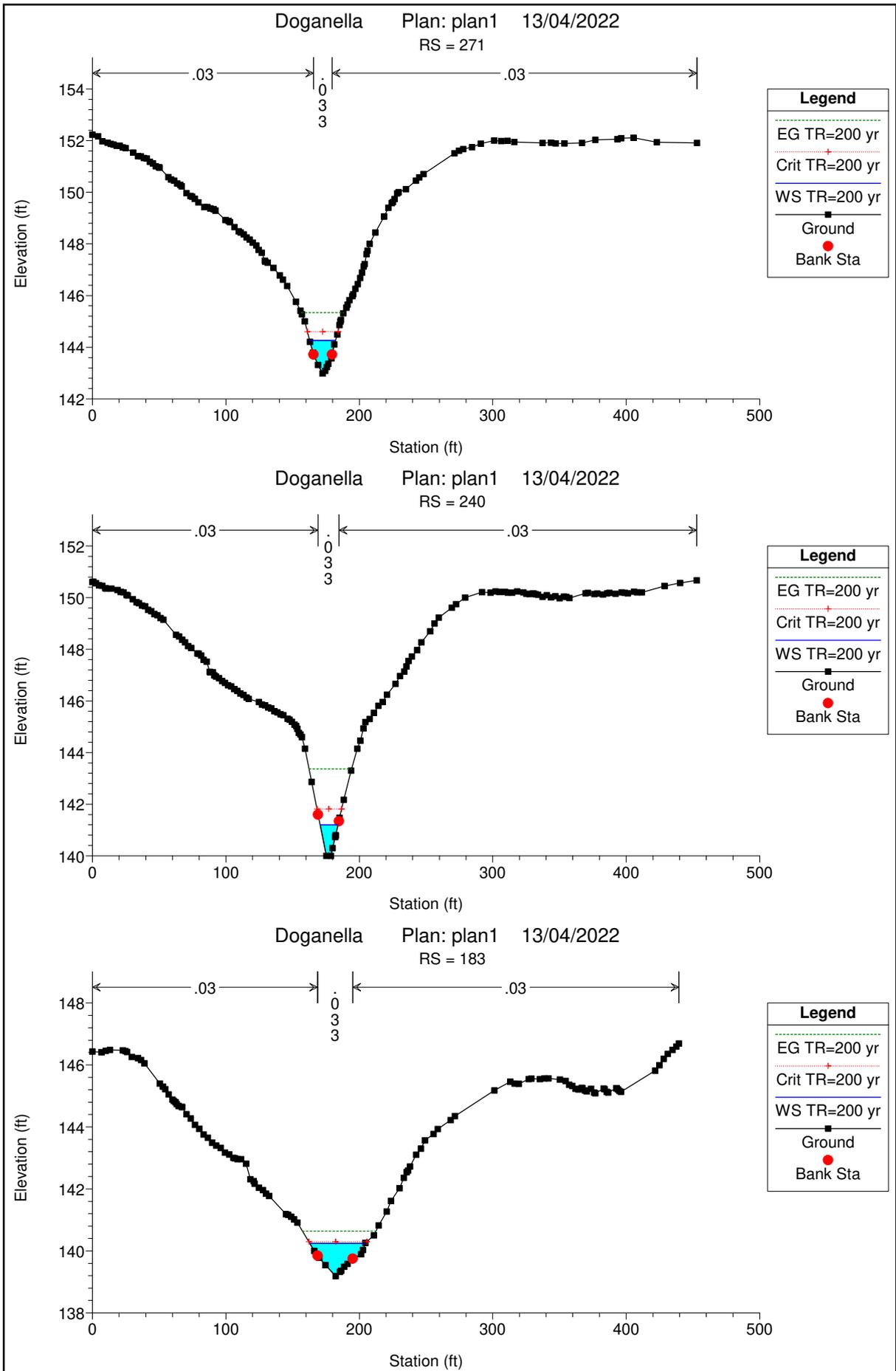
Allegato: Verifica in moto permanente monodimensionale della Forma della Doganella



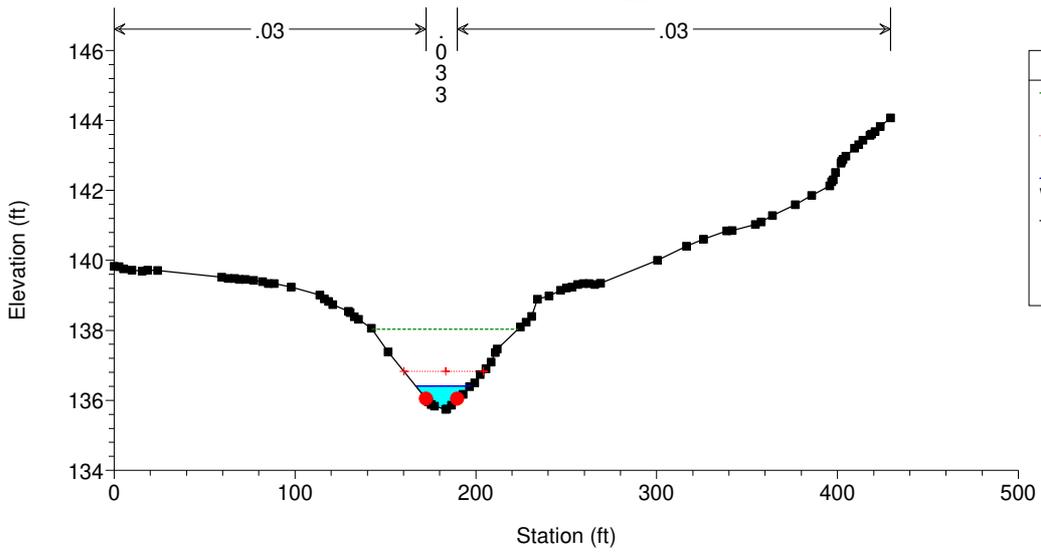








Doganella Plan: plan1 13/04/2022
RS = 122



Doganella Plan: plan1 13/04/2022
RS = 52

