

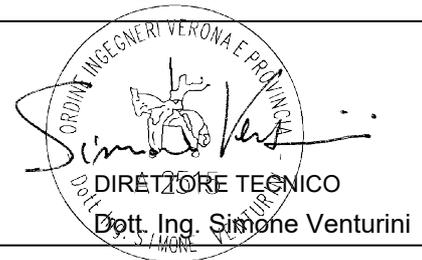


**PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 104,4 MWp, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE, DOTATO DI SISTEMA DI ACCUMULO CON POTENZA DI 17,6 MW DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI TORREMAGGIORE (FG)**

## PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE: EPSILON SOLAR s.r.l.

PROGETTISTA:



TITOLO ELABORATO:

**RELAZIONE IDRAULICA ED IDROLOGICA**

ELABORATO n° :

BI035F-D-TM00-IDL-RT-01-00

NOME FILE :

BI035F-D-TM00-IDL-RT-01-00.docx

SCALA :

-

DATA :

Marzo 2024

	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
REVISIONE	00	Marzo 2024	Emissione	A.Cacciatori	M.Palvarini	S. Venturini
	01					
	02					
	03					
	04					

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL PROGETTO: IMPIANTO AGRIVOLTAICO</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO</b>	<b>6</b>
	4.1 Descrizione del bacino idrografico	9
<b>5</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO</b>	<b>11</b>
	5.1 Adozione della metodologia VAPI per la Puglia	11
	5.1.1 Pluviometria	12
	5.1.2 Stima del valor medio	13
	5.2 Curve di possibilità pluviometriche	15
<b>6</b>	<b>STUDIO IDRAULICO</b>	<b>17</b>
	6.1 Invarianza idraulica	17
	6.2 Attraversamenti in progetto	17
	6.3 Determinazione della portata di progetto	20
	6.3.1 Calcolo del tempo di corrivazione	21
	6.3.2 Calcolo delle Portate di progetto	23
	6.4 Verifica idraulica degli attraversamenti	24
	6.4.1 Tombino circolare Ø1500	25
	6.4.2 Tombino circolare Ø1000	27
	6.5 Attraversamenti di progetto	28
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>30</b>

## 1 PREMESSA

Su incarico di Epsilon Solar S.r.l, la società Technital S.p.A. ha redatto il progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato Impianto Agrivoltaico “Torremaggiore”, da realizzarsi nei territori del comune di Torremaggiore (FG) – Regione Puglia.

Il progetto riguarda un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare che prevede di installare 146.956 moduli fotovoltaici bifacciali suddivisi su tre lotti, in silicio monocristallino da 710 Wp ciascuno, su strutture ad inseguimento monoassiale in acciaio zincato a caldo. L'impianto avrà una potenza complessiva di 104.338,76 kWp DC ed output nominale di 98.560,00 kW AC. L'impianto sarà poi corredato da un sistema di accumulo elettrochimico da 40 MWh. Tutta l'energia elettrica prodotta, al netto dei consumi dei servizi ausiliari, verrà ceduta alla rete. Le attività di progettazione definitiva sono state sviluppate dalla società di ingegneria Technital S.p.A.

Technital S.p.A. è una società che fornisce servizi globali di progettazione, consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali, gestionali e legali.

Sia TECHNITAL che EPSILON SOLAR pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e ISO 18001 nelle loro ultime edizioni. Difatti, le Aziende citate, in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

L'oggetto della presente relazione sono le verifiche idrauliche per il dimensionamento dei manufatti per la gestione delle acque meteoriche e la definizione delle dimensioni degli attraversamenti idraulici.

## 2 SCOPO DEL PROGETTO: IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Il presente progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico, ossia un sistema innovativo in cui si **implementano la produzione di energia mediante fonti rinnovabili (solare) e la produzione agricola.**

I sistemi agrivoltaici sono sistemi integrati (fotovoltaico + agricoltura) in cui vi sia un doppio uso del suolo e che presentino delle interazioni e delle sinergie tra la resa agricola e quella energetica, ossia che possono includere strategie e miglioramenti della qualità ecosistemica dei siti.

L'obiettivo del progetto è quello di creare un sistema in cui l'attività agricola non solo si integra nel sistema di produzione di energia elettrica, ma che l'impianto nel suo insieme si integri perfettamente con l'ambiente dal punto di vista paesaggistico. Il fine è pertanto quello di creare un contesto armonioso ed in simbiosi con la natura e l'ambiente ospitante.

Il progetto è stato realizzato in ottemperanza alle recenti linee guida emanate dal MITE in Giugno 2022, in cui come definito dal decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 1991 (di seguito anche decreto legislativo n. 199/2021) di recepimento della direttiva RED II, l'Italia si pone come obiettivo quello di accelerare il percorso di crescita sostenibile del Paese, al fine di raggiungere gli obiettivi europei al 2030 e al 2050.

Il suddetto obiettivo è conforme alle indicazioni del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima e tiene conto del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Risulta quindi di particolare importanza individuare percorsi sostenibili per la realizzazione delle infrastrutture energetiche necessarie, che consentano di coniugare l'esigenza di rispetto dell'ambiente e del territorio con quella di raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. L'integrazione degli impianti a fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaici, realizzati su suolo agricolo fa parte di questo percorso di integrazione.

Ciò consente di preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, garantendo, al contempo, una buona produzione energetica da fonti rinnovabili. Anche il piano culturale è stato appositamente studiato considerando non solo la situazione preesistente e le annesse culture, ma anche integrando soluzioni agricole e di allevamento ad hoc che si inseriscono perfettamente nel contesto rurale, apportando valore aggiunto e migliore destinazione di uso delle aree. In questo contesto lo studio degli spazi di manovra per le macchine agricole è stato realizzato considerando le esigenze tipiche del mondo agricolo e nel rispetto della morfologia del territorio, oltre che alle esigenze legate alle manutenzioni e gestioni dell'impianto fotovoltaico.

### 3 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

Di seguito sono riportati i principali riferimenti normativi applicati nella progettazione dell'impianto o comunque di supporto:

- Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79/99: "Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 281 del 19 dicembre 2005: "Condizioni per l'erogazione del servizio di connessione alle reti elettriche con tensione nominale superiore ad 1 kV i cui gestori hanno obbligo di connessione di terzi";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 168 del 30 dicembre 2003: "Condizioni per l'erogazione del pubblico servizio di dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale e per l'approvvigionamento delle relative risorse su base di merito economico, ai sensi degli articoli 3 e 5 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79" e relativo Allegato A modificato con ultima deliberazione n.20/06;
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 39 del 28 febbraio 2001: "Approvazione delle regole tecniche adottate dal Gestore della rete di trasmissione nazionale ai sensi dell'articolo 3, comma 6, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 333 del 21 dicembre 2007: "Testo integrato della regolazione della qualità dei servizi di distribuzione, misura e vendita dell'energia elettrica" – TIQE;
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 348 del 29 dicembre 2007: "Testo integrato delle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas per l'erogazione dei servizi di trasmissione, distribuzione e misura dell'energia elettrica per il periodo di regolazione 2008-2011 e disposizioni in materia di condizioni economiche per l'erogazione del servizio di connessione" e relativi allegati: Allegato A, di seguito TIT, Allegato B, di seguito TIC;
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 99/08 del 23 luglio 2008: "Testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive – TICA)";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 179/08 del 11 dicembre 2008: "Modifiche e integrazioni alle deliberazioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 e n. 281/05 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica";

- Norma CEI 0-16 “Regole Tecniche di Connessione (RTC) per Utenti attivi ed Utenti passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica”;
- DLgs n. 81 del 09/04/2008 TESTO UNICO SULLA SICUREZZA per la Prevenzione degli Infortuni sul Lavoro;
- DM n. 37 del 22/01/2008 Norme per la sicurezza degli impianti;
- Dlg 791/77 “Attuazione della direttiva 73/23/CEE riguardanti le garanzie di sicurezza del materiale elettrico”;
- Legge n° 186 del 01/03/68;
- DPR 462/01;
- Direttiva CEE 93/68 “Direttiva Bassa Tensione”;
- Direttiva 2004/108/CE, CEI EN 50293 “Compatibilità Elettromagnetica”;
- Norma CEI 64-8:2021-08 - “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata a 1500 V in corrente continua;
- CEI EN IEC 60947-1:2021-10 – “Apparecchiature a bassa tensione - Parte 1: Regole generali”
- CEI 70-1 Ed. 2a 1997 (CEI EN 60529) CEI 70-1;V1 2000 (CEI EN 60529/A1) “Grado di protezione degli involucri (Codice IP)”;
- CEI EN 60439-1 “Normativa dei quadri per bassa tensione”;
- CEI 20-22 II, 20-35, 20-37 I, 23-48, 23-49, 23-16, 23-5;
- CEI 23-51 “Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare”;
- CENELEC EUROPEAN “Norme del Comitato Elettrotecnico Europeo”;
- CEI – UNEL 35011 “Sistema di codifica dei cavi”;
- CEI 214-9 “Requisiti di progettazione, installazione e manutenzione”;
- Norma CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo”;
- UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati Climatici;
- UNI 8477/1 Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia Valutazione dell’energia raggiante ricevuta;
- Per le strutture di sostegno: DM MLP 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni”.

## 4 DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO

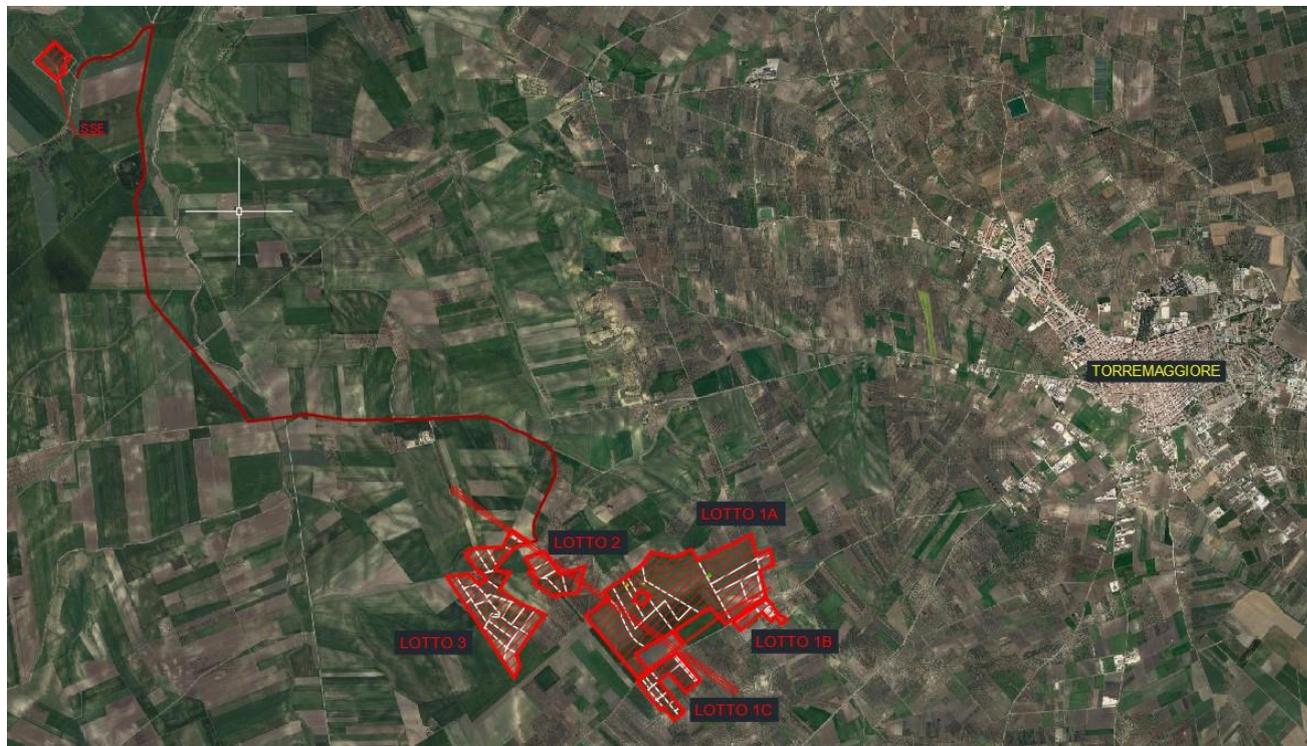


Fig. 4.1 – inquadramento impianto fotovoltaico “Epsilon Solar”

Il progetto di realizzazione dell’impianto fotovoltaico per la produzione di energia da fonte rinnovabile in oggetto ricade interamente nel comune di Torremaggiore (FG) comune al confine amministrativo con la Regione Molise. Il territorio individuato per il progetto in esame comprende tre lotti situati circa 2 km ad ovest del paese di Torremaggiore. La Sottostazione Elettrica Utente (SSEU) sarà realizzata in prossimità della nuova Sottostazione Elettrica Terna che verrà realizzata a circa 10 km a nord-ovest di Torremaggiore.

Tutti i lotti sono raggiungibili mediante strade di provinciali dal centro di Torremaggiore e successivamente mediante strade di campagna.

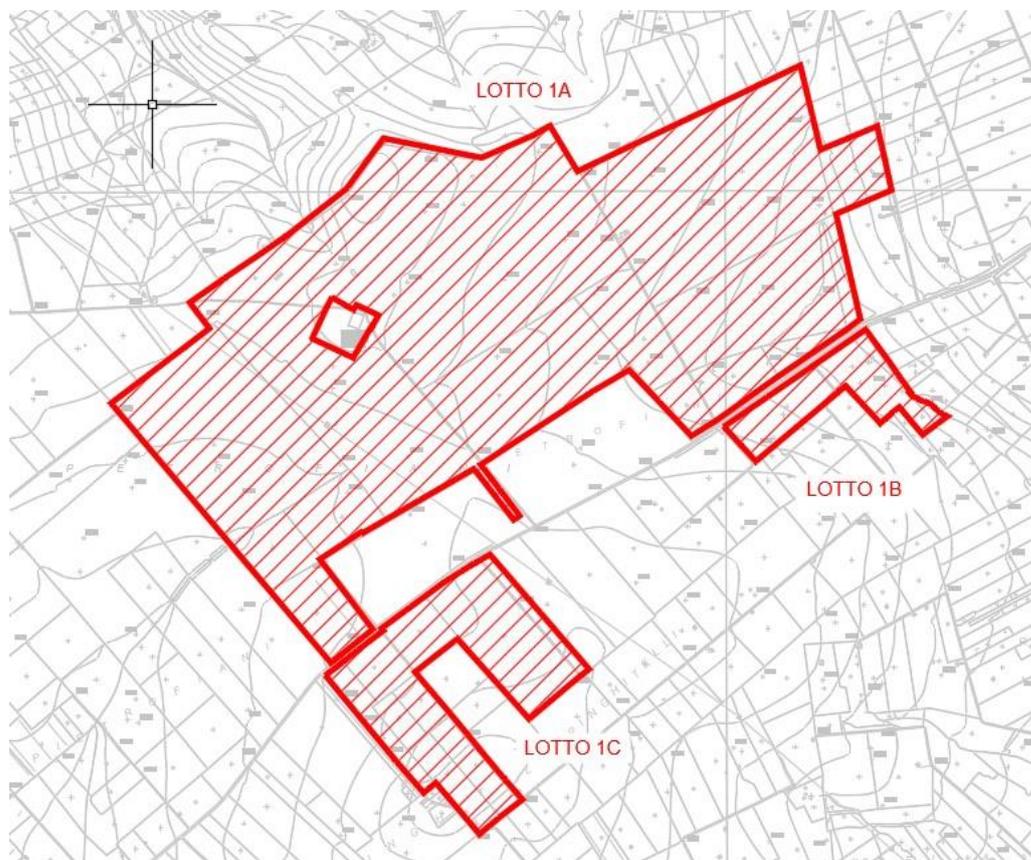


Fig. 4.2 - Lotto 1

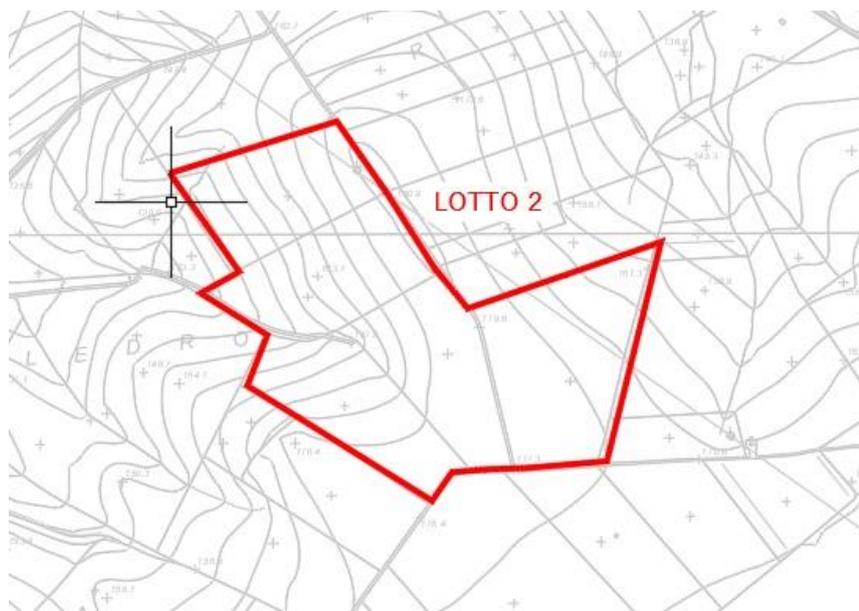


Fig. 4.3 - Lotto 2



Fig. 4.4 - Lotto 3

L'area d'intervento, che misura ca. 163,35 ha in totale è così suddivisa:

<i>Lotto</i>	<i>Superficie (ha)</i>
1	112,57
2	10,98
3	39,80

Le aree sono costituite da terreni agricoli, prato-pascolo e/o uliveto, in un contesto agricolo è a prevalenza di seminativi e uliveti e le aree sono talvolta segnate dal reticolo idrografico.

Dal punto di vista insediativo l'ambito è caratterizzato dalla presenza di edifici rurali sparsi e da piccoli nuclei abitativi e produttivi, che contraddistinguono il territorio. Il centro urbano più vicino è il paese di Torremaggiore.

La cabina di consegna (SSEU Epsilon Solar) è prevista 10km ca. a nord-ovest da Torremaggiore (9 km a nord-ovest dei lotti) e si appoggerà ad un apposito stallo comune predisposto in prossimità della nuova SSE Terna prevista nel comune di Torremaggiore (FG) in prossimità del confine con la regione Molise. Il

collegamento alla RTN avviene principalmente tramite cavidotto interrato e per una piccola parte, interna alla SSEU, tramite elettrodotto aereo ad alta tensione.

L'ipotesi di connessione proposta prevede l'inserimento dell'impianto alla RTN mediante collegamento diretto in AT a 150 kV presso Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/150 kV.

La SSEU Epsilon solar verrà costruita a fianco di altre SSEU di altri produttori, le quali si innesteranno, mediante stallo comune, nella sezione 150kV della SSE Terna di Torremaggiore.

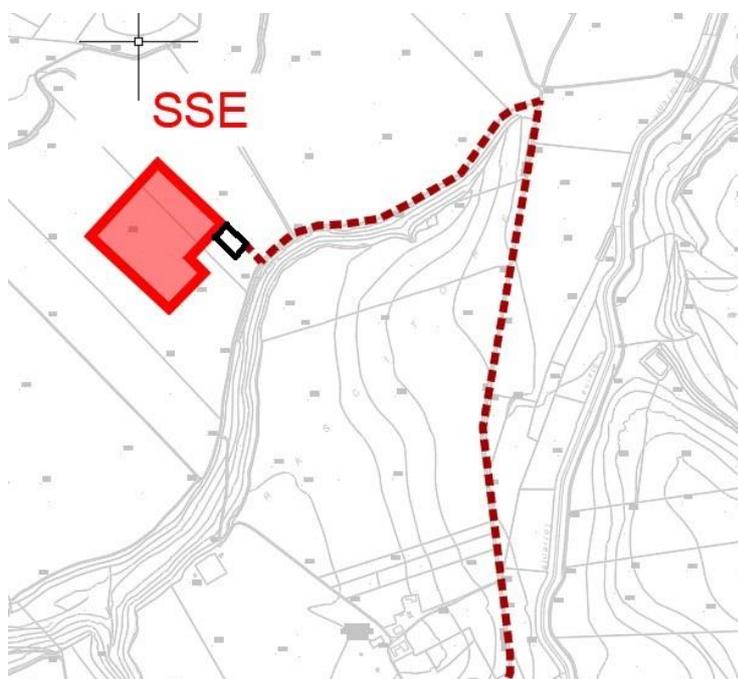


Fig. 4.5 - Area designata per la SSEU Epsilon Solar

#### 4.1 Descrizione del bacino idrografico

Il sito di progetto si trova nei pressi dell'abitato di Torremaggiore, a circa 3 km dallo stesso abitato.

Dal punto di vista orografico si colloca tra i rilievi Petrofiani, nei pressi dell'omonima masseria, e Pinghitelli. Il lotto 1 in particolare si colloca sulla sommità dei Petrofiani, mentre il lotto due si sviluppa verso nord, sul versante occidentale, lungo la valle Palledro.

Dal punto di vista orografico, il sito si estende da una quota di circa 100 m s.l.m., fino ad una quota di 183 m s.l.m. circa.

Le superfici al momento sono utilizzate a scopi agricoli.

Non sono presenti corsi d'acqua di rilievo, ma solo incisioni e scoli artificiali per il drenaggio delle aree coltivate.

## 5 STUDIO IDROLOGICO

Lo studio idrologico è propedeutico alla progettazione delle opere per la gestione delle acque meteoriche e di attraversamento idraulico di alcune incisioni intercettate dalle piste di servizio realizzate all'interno dei campi fotovoltaici.

Lo studio idrologico è articolato in:

- analisi delle piogge intense secondo il metodo VAPI (TCEV);
- trasformazione afflussi-deflussi secondo il metodo razionale, metodologia prevista da Ven Te Chow in "Applied Hydrology".

### 5.1 Adozione della metodologia VAPI per la Puglia

La zona interessata dell'intervento ricade in nella regione Puglia. Pertanto verranno applicati i risultati del Progetto VAPI per la stima delle portate e piogge si assegnato tempo di ritorno per la Puglia.

L'adozione della legge TCEV è stata introdotta da Versace, Rossi et alii a seguito della constatazione del fatto che in numerosi pluviometri si sono registrati alcuni eventi assolutamente straordinari, indicati nella letteratura anglosassone come *outliers*. La probabilità di questi eventi è sottostimata da una legge di Gumbel o da una legge log-normale, applicata a tutti i valori registrati. Secondo l'approccio TCEV appunto i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali (componente bassa) ed un'altra dagli eventi eccezionali (*outliers*) legati a differenti fenomeni meteorologici.

Nel caso delle piogge intense il numero degli eventi straordinari registrati da un singolo pluviometro è molto basso, e ciò rende impossibile una stima efficace dei parametri della componente alta facendo riferimento alle singole serie di osservazioni. È necessario quindi far ricorso a metodi regionali, in modo da utilizzare per la stima dei parametri tutte le osservazioni di una regione pluviometricamente omogenea. La regionalizzazione viene eseguita sulle massime altezze giornaliere  $h_d$ , in modo da utilizzare anche i dati dei pluviometri ordinari, di cui si ha un ampio numero di registrazioni.

La distribuzione TCEV si esprime con al seguente formulazione:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\theta_1}}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\theta_2}}$$

dove  $X$  è la variabile,  $x$  è un generico valore di  $X$  e i parametri indicano:

- $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$ : il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni;
- $\Theta_1$  e  $\Theta_2$ : il valore medio dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente
- bassa e alla componente alta. Ponendo  $\Theta^* = \Theta_1 / \Theta_2$  e  $\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1$
- $1 / \Theta^*$  si possono considerare per le
- successive elaborazioni i 4 parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

Secondo la procedura proposta da Versace vengono considerati tre livelli di regionalizzazione,

individuando:

- al primo livello, regioni omogenee rispetto ai parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria;
- al secondo livello, zone omogenee anche rispetto al parametro  $\Lambda_b$ ; da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione;
- al terzo livello, sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro  $\Theta_{b,d}$  e quindi della media  $m[h(d)]$ , da alcune grandezze geografiche locali.

### 5.1.1 Pluviometria

Per la determinazione dell'intensità di pioggia per differenti tempi di ritorno, è utilizzata la procedura proposta da Copertino e Fiorentino (1994) relativa all'analisi regionale delle piogge brevi della Puglia.

Le curve di crescita necessarie per correlare il periodo di ritorno  $T$  con il coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  sono definite dalla seguente relazione:

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K_T)} = \frac{1}{1 - \exp\left(-\Lambda_1 \cdot e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \cdot \Lambda_1^{1/\vartheta_*} \cdot e^{-\eta K_T / \vartheta_*}\right)}$$

Al primo livello di regionalizzazione, Fiorentino et al. [1987] hanno mostrato che l'Italia Appenninica, inclusa la Sicilia ed esclusa parte della Liguria, può essere considerata una zona omogenea.

**I parametri della regionalizzazione applicabili quindi al territorio del comune di Torremaggiore sono i seguenti:**

Tabella 5-1 – Parametri di regionalizzazione di primo e secondo livello

Zona	1^ livello di Regionalizzazione		2^ livello di Regionalizzazione	
	$\Lambda^*$	$\theta^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.772	2.352	45	5.662

Nella tabella sono riportati, i valori del fattore di crescita  $K_T$  per i periodi di ritorno più comunemente adottati nella pratica progettuale.

Tabella 5-2 – Calcolo del parametro  $K_T$ 

Tempo di ritorno $T_r$	5	10	20	50	100	200	500
Coefficiente di crescita $K_T$	1.26	1.53	1.81	2.19	2.48	2.77	3.15

### 5.1.2 Stima del valor medio

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 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 per tener conto della variabilità di  $m[h(d)]$  con la quota  $Z$ , attraverso un'espressione del tipo:

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

Con

$$n(Z) = \frac{CZ + D + \text{Ln}(\alpha) - \text{Ln}(a)}{\text{Ln}(24)}$$

in cui  $\alpha$  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  $\alpha$  è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89.

Per identificare in quale area omogenea rientra il bacino in studio, si può fare riferimento alla corografia nella seguente figura. I parametri della precedente equazione sono forniti in Tabella.

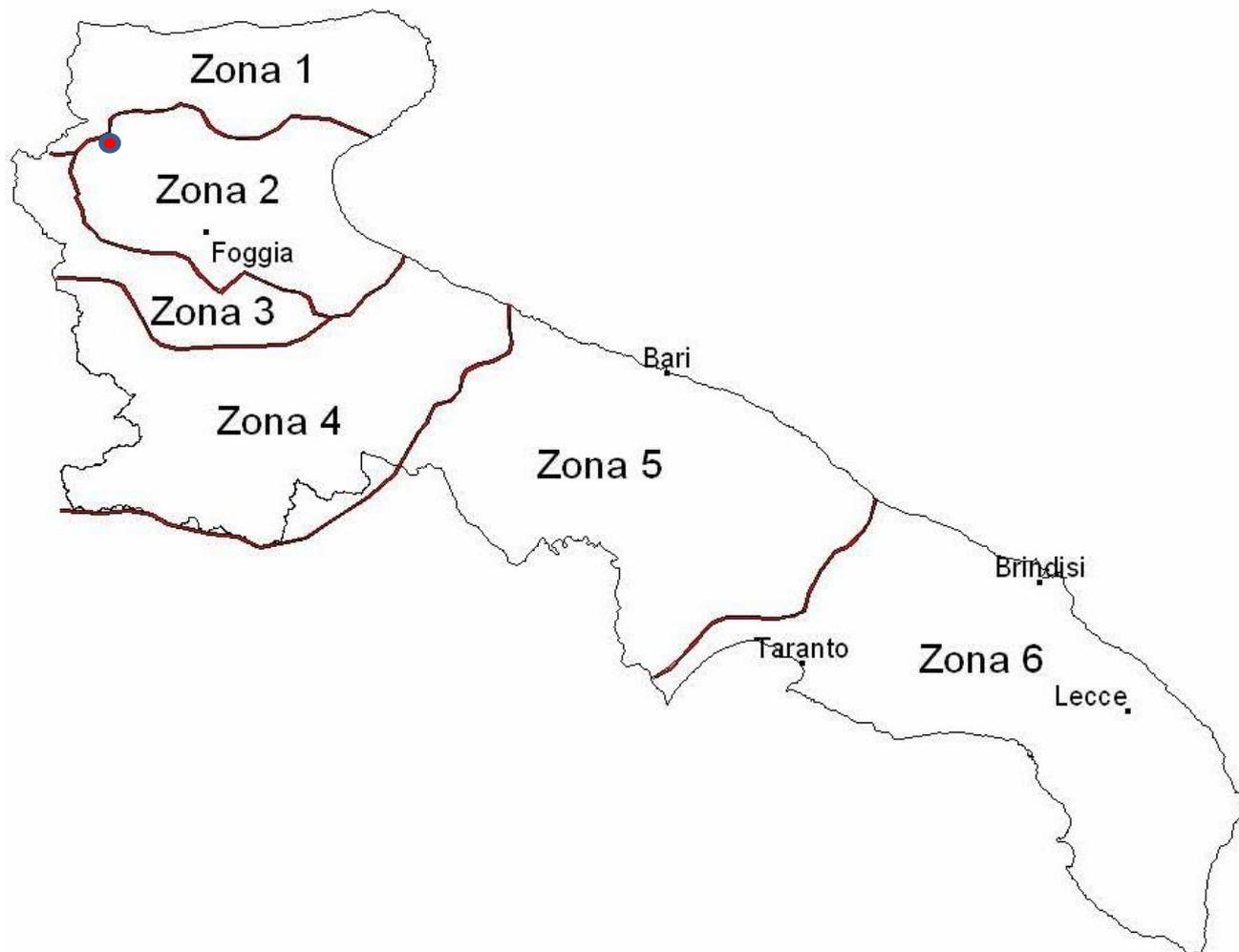


Figura 5-1 – Sottozone Omogenee della Puglia, in rosso l'area di intervento

Si noti come, nel caso delle aree omogenee 2 e 4, non essendo stata rinvenuta una significativa variabilità di  $m[h(d)]$  con la quota, è stato fornito il valor medio regionale del coefficiente di potenza  $n$ .

Tabella 5-3 – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea

<b>Zona</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>a (mm/ora)</b>	<b><math>C * 10^4</math></b>	<b>D</b>	<b>n</b>
1	0.89	28.7	50.3	3.959	-
2	0.89	22.2	-	-	0.247
3	0.89	25.3	5.31	3.811	-
4	0.89	24.7		-	0.256

## 5.2 Curve di possibilità pluviometriche

Nel paragrafo precedente è stato introdotto il calcolo del valor medio del massimo annuale  $m$ , come funzione di durata dell'evento e quota  $Z$  della sezione su cui calcolare il valore.

Le zone di realizzazione del fotovoltaico si trovano ad una quota altimetrica tra i 180 ed i 160 m s.l.m.. Per il calcolo del valor medio di riferimento si è considerato un valore medio per l'area di intervento pari a

**Z= 170 m s.l.m.**

L'area interessata dall'intervento ricade in **Zona 2** per cui il valore di  $n$ , univocamente determinato a prescindere dalla quota, risulta essere pari a:

$$n = 0.247$$

Con l'applicazione del fattore probabilistico di crescita  $K_t$ , calcolato per la zona in oggetto e variabile per diversi tempi di ritorno, è possibile ottenere le curve di possibilità pluviometrica della zona di intervento per i diversi periodi di accadimento (Tabella 5-2).

L'equazione di possibilità pluviometrica è così riportata:

$$h = a * K_T^n$$

Per i diversi tempi di ritorno le equazioni di possibilità pluviometrica sono le seguenti:

$$\text{Tr 10 anni} \quad h_{10} = 33.966 * t^{0.25}$$

$$\text{Tr 20 anni} \quad h_{20} = 40.182 * t^{0.25}$$

$$\text{Tr 50 anni} \quad h_{50} = 48.618 * t^{0.25}$$

$$\text{Tr 100 anni} \quad h_{100} = 55.056 * t^{0.25}$$

$$\text{Tr 200 anni} \quad h_{200} = 61.494 * t^{0.25}$$

Per la scelta del tempo di ritorno per la verifica degli attraversamenti in progetto, si sono considerate le indicazioni riportate della Circolare esplicativa delle NTC 2018, capitolo 5 - Ponti, C.5.1.2.3, per cui viene richiesta l'adozione di un **Tr di 200 anni**.

## 6 STUDIO IDRAULICO

Oggetto di questo capitolo è la descrizione ed il calcolo di dimensionamento degli attraversamenti sulle incisioni presenti nelle aree di progetto, intercettate dalle piste di servizio da realizzare all'interno dei campi fotovoltaici.

L'intervento si suddivide in 3 lotti, per ciascuno dei quali sono state individuate le interferenze con le principali incisioni e individuati gli attraversamenti necessari per assicurare il deflusso delle portate di progetto.

### 6.1 Invarianza idraulica

Il presente progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico, ossia un sistema in cui si implementano la produzione di energia mediante fonti rinnovabili (solare) e la produzione agricola.

Al fine di mantenere la vocazione agricola delle aree in oggetto, i pannelli fotovoltaici sono installati su dei pali che mantengono il pannello staccato dal terreno, a quote superiori al metro, per permettere la coltivazione e la piantumazione del terreno sottostante. L'intervento pertanto **non prevede l'impermeabilizzazione** delle aree attualmente coltivate, che verranno mantenute come tali anche dopo la realizzazione dell'intervento.

I coefficienti di deflusso allo stato attuale del terreno non vengono alterati. Non è pertanto richiesta una valutazione dell'invarianza idraulica per l'area di intervento.

### 6.2 Attraversamenti in progetto

Il progetto dei campi fotovoltaici prevede la realizzazione di strade perimetrali che permettono a mezzi di muoversi all'intero dell'area per le attività agricole, di gestione e manutenzione degli impianti.

Lungo le strade in oggetto sono attraversate diverse incisioni, in prossimità delle quali si prevede di inserire un manufatto per dare continuità idraulica al reticolo idrografico.

Le incisioni intercettate hanno sezioni di dimensioni ridotte, e sottendono bacini di modesta estensione. In tutti i lotti in progetto sono stati inseriti dei tombini circolari di attraversamento, da realizzarsi con a posa sotto strada di un tubo Ø1000, nei punti di compluvio, o in zone depresse, dove si prevede la concentrazione e l'accumulo delle acque di precipitazione. In alcuni lotti, inoltre, sono state individuate delle intersezioni delle strade con incisioni più significative, per cui è stata condotta un'analisi idrologica con calcolo della portata.

Nelle figure seguenti sono riportati questi ultimi attraversamenti individuati e le rappresentazioni dei bacini idrografici sottesi. Con i pallini rossi sono indicati gli attraversamenti sulle incisioni intercettate dalle strade perimetrali, mentre in verde sono riportati i bacini idrografici interferiti alla sezione di chiusura.

I lotti che intercettano incisioni sono il lotto 1 e lotto 3.

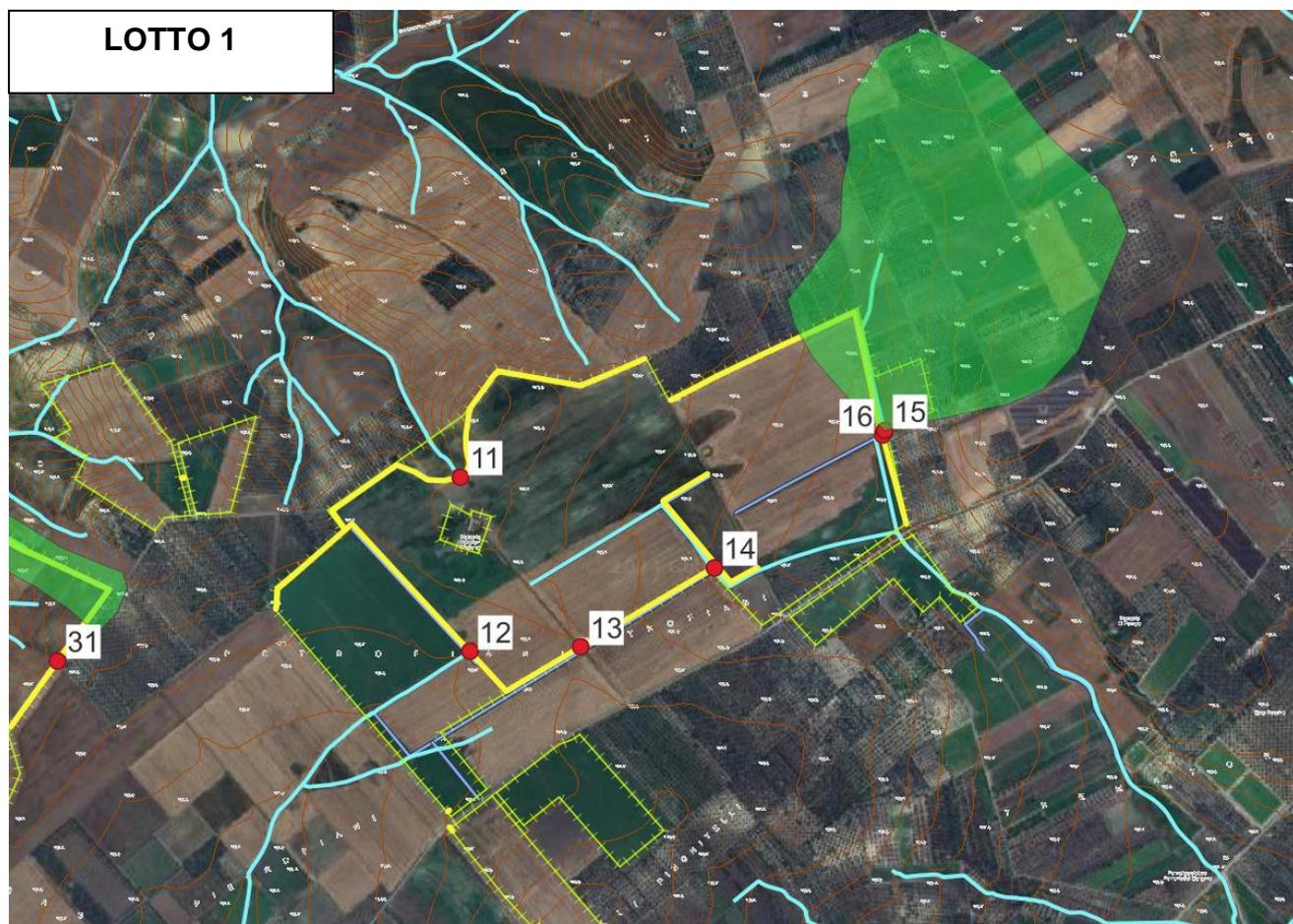


Figura 6-1 – Lotto 1 - Attraversamenti

RELAZIONE IDROLOGICA  
IDRAULICA

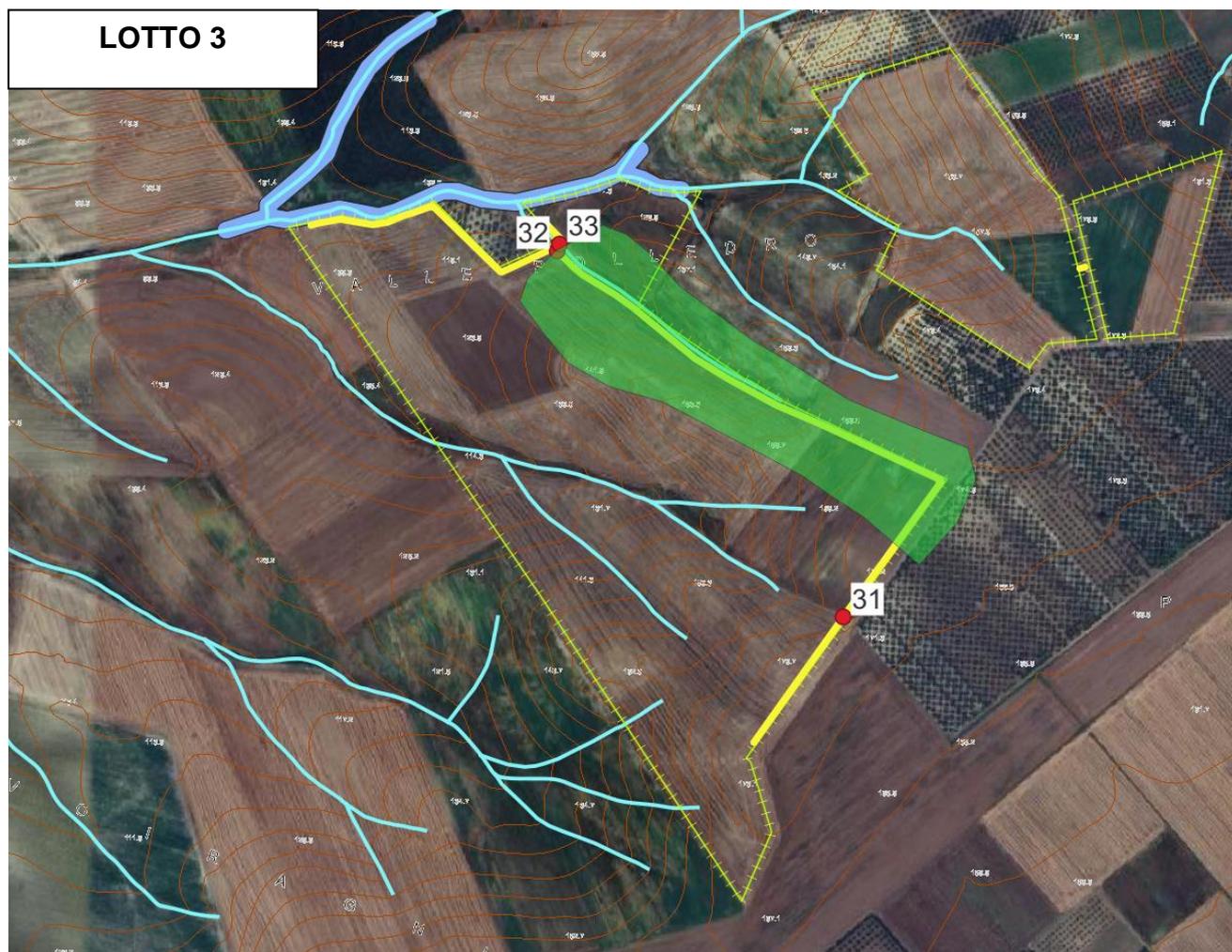


Figura 6-2 – Lotto 3 - Attraversamenti

Si riportano nella tabella seguente le caratteristiche geometriche dei sottobacini intercettati dalle strade in progetto.

Tabella 6-1 – Caratteristiche geometriche degli attraversamenti

Caratteristiche dei sottobacini del corso d'acqua							
Sottobacino	Area	Lunghezza asta	Quota massima	Quota minima	Quota media	Pendenza media	Pendenza media versante
	[km <sup>2</sup> ]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/m]
1.1	0.03	160	173.4	119	146.2	0.91	0.1
1.2	0.03	280	174	151	162.5	0.58	0.1
1.3	0.02	190	176	174	175	0.92	0.1
1.4	0.05	350	176	166	171	0.49	0.1
1.5	0.53	1030	173.4	119	146.2	0.14	0.1

Caratteristiche dei sottobacini del corso d'acqua							
Sottobacino	Area	Lunghezza asta	Quota massima	Quota minima	Quota media	Pendenza media	Pendenza media versante
1.6	0.53	1030	173.4	119	146.2	0.14	0.1
0	0.00						0.1
3.1	0.01	50	172	170	171	3.42	0.1
3.2	0.09	590	174	119	146.5	0.25	0.1
3.3	0.09	590	174	119	146.5	0.25	0.1

### 6.3 Determinazione della portata di progetto

La portata di progetto per la verifica delle opere di attraversamento è stata calcolata con l'applicazione del metodo razionale, secondo il quale la portata determinata da una pioggia di intensità:

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

con t tempo di pioggia e h l'altezza di precipitazione corrispondente con un prefissato tempo di ritorno, è data da:

$$Q = \frac{CiA}{3,6} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

con:

C = coefficiente di deflusso

A = superficie del bacino contribuente (km<sup>2</sup>).

Il metodo razionale è una formula che, sotto alcune ipotesi, permette la stima della portata al colmo di piena che un evento di pioggia di determinato tempo di ritorno può produrre in una data sezione di chiusura di un bacino idrografico; viene utilizzata nella progettazione dei collettori fognari e dei canali artificiali, oltre che nella verifica della capacità idraulica degli alvei fluviali.

La formula dà risultati verosimili nel caso di tratti fluviali per i quali possa ritenersi trascurabile l'effetto di laminazione delle portate di piena.

Per massimizzare il valore della portata viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata di pioggia t sia pari al tempo di corrivazione, cioè il tempo in cui tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura.

Il valore del tempo t nella formula razionale sarà pertanto il tempo di corrivazione calcolato per il sottobacino interessato.

Il coefficiente di deflusso è stato considerato cautelativamente pari a 0,5 in funzione delle caratteristiche plano-altimetriche e soprattutto morfologiche delle aree interferite.

### 6.3.1 Calcolo del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è il tempo impiegato da una goccia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezioni di chiusura, dove si deve determinare la portata di progetto. L'adozione del tempo di corrivazione come durata dell'evento permette di ottenere il valore massimo di portata da utilizzare per il dimensionamento dell'attraversamento.

Per la determinazione del tempo di corrivazione si sono utilizzate le seguenti formule empiriche riportate in letteratura, ed i valori ottenuti sono stati confrontati come di seguito descritto.

Formula di Giandotti, utilizzata per bacini con superficie superiore a 170 km<sup>2</sup>.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.5\sqrt{h_{media} - h_{min}}}$$

Formula di Kirpich:

$$t_c = 0.000325 L^{0.77} i_v^{-0.385}$$

Formula di Pezzoli:

$$t_c = \frac{0.055L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

Formula di Puglisi:

$$t_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$$

Formula di Tournon:

$$t_c = \frac{0.396L}{\sqrt{i}} \left( \frac{S}{L^2} \frac{\sqrt{i}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0.72}$$

Formula di Pasini:

$$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{SL}}{\sqrt{i}}$$

dove:

- $t_c$  = Tempo di corrivazione (ore)
- A = area di bacino (km<sup>2</sup>)
- L = lunghezza dell'asta principale (km)
- $h_{max}$  = quota massima del bacino (m s.l.m.)
- $h_{media}$  = quota media del bacino (m s.l.m.)
- $h_{min}$  = quota alla sezione di chiusura (m s.l.m.)
- $i_v$  = pendenza media del versante
- $i$  = pendenza media del bacino (-)

Le caratteristiche delle incisioni intercettate e le caratteristiche geometriche dei bacini sottesi sono riportate nella precedente Tabella 6-1.

Il tempo di corrivazione adottato per il calcolo delle portate di progetto deriva dalla media dei tempi ottenuti con l'applicazione delle formule empiriche elencate.

Dal momento che i bacini intercettati sono di modeste dimensioni, non è stata applicata la formula di Giandotti, studiata e applicabile a bacini di dimensioni maggiori di 170 km<sup>2</sup>.

Si riportano di seguito i valori dei tempi individuati ed il tempo medio adottato.

Tabella 6-2 – Tempi di corrivazione

Sottobacino	Kirpich	Pezzoli	Ventura	Puglisi	Tournon	Viparelli	Pasini	Media totale
	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
1.1	0.02	0.01	0.02	0.47	0.16	5.48	0.02	0.88270
1.2	0.0	0.02	0.0268	0.90	0.12	10.89	0.0274	1.71706
1.3	0.02	0.01	0.02	1.57	0.13	8.33	0.02	1.44311
1.4	0.0	0.03	0.0407	1.38	0.18	6.99	0.0401	1.24419
1.5	0.14	0.15	0.25	1.62	0.75	1.94	0.23	0.72495
1.6	0.14	0.15	0.25	1.62	0.75	1.94	0.23	0.72495
3.1	0.00	0.00	0.01	0.65	0.08	7.53	0.00	1.18142
3.2	0.1	0.07	0.0749	1.11	0.24	6.85	0.0803	1.21277
3.3	0.08	0.07	0.07	1.11	0.24	6.85	0.08	1.21277

### 6.3.2 Calcolo delle Portate di progetto

Ai fini di calcolo della portata d'acqua che defluisce nelle incisioni interessate, sono state considerate le elaborazioni riportate nello studio idrologico, con riferimento ai valori di intensità di pioggia definiti dal metodo di regionalizzazione VAPI.

Come riportato nello studio, l'altezza di pioggia relativa alla sezione di chiusura è determinato dalla seguente formula:

$$h_t(T) = K_T * h_0 t^n = K_T * 79.50 * (t)^{0.56}$$

Dove:

- $K_T$  è il coefficiente di crescita variabile in funzione del Tempo di ritorno adottato
- $t$  è la durata dell'evento critico, pari al tempo di corrivazione.

Per la scelta del tempo di ritorno si sono considerate le indicazioni riportate nella Circolare esplicativa delle NTC 2018, capitolo 5 - Ponti, C.5.1.2.3, per cui viene richiesta l'adozione di un **Tr di 200 anni**.

L'intensità di pioggia è stata applicata alla formula del metodo razionale, ottenendo le portate di progetto di seguito riportate.

Tabella 6-3 – Portate di progetto

Sottobacino	tc	A	i	∅	Q
	[ore]	[km <sup>2</sup> ]	[mm/h]		[m <sup>3</sup> /s]
1.1	<b>0.88270</b>	<b>0.02918</b>	<b>67.53</b>	<b>0.5</b>	<b>0.27</b>
1.2	<b>1.71706</b>	<b>0.02572</b>	<b>41.00</b>	<b>0.5</b>	<b>0.15</b>
1.3	<b>1.44311</b>	<b>0.02280</b>	<b>46.70</b>	<b>0.5</b>	<b>0.15</b>
1.4	<b>1.24419</b>	<b>0.05004</b>	<b>52.20</b>	<b>0.5</b>	<b>0.36</b>
1.5	<b>0.72495</b>	<b>0.53145</b>	<b>78.27</b>	<b>0.5</b>	<b>5.78</b>
1.6	<b>0.72495</b>	<b>0.53145</b>	<b>78.27</b>	<b>0.5</b>	<b>5.78</b>
3.1	<b>1.18142</b>	<b>0.00664</b>	<b>54.27</b>	<b>0.5</b>	<b>0.05</b>
3.2	<b>1.21277</b>	<b>0.08619</b>	<b>53.21</b>	<b>0.5</b>	<b>0.64</b>
3.3	<b>0.07398</b>	<b>0.08619</b>	<b>433.49</b>	<b>0.5</b>	<b>5.19</b>

## 6.4 Verifica idraulica degli attraversamenti

Le portate di progetto calcolate sono comprese tra 0.1 e 5,47 m<sup>3</sup>/s.

Il dimensionamento dei manufatti adottati è stato condotto con la formula di Glauker-Strickler, considerando l'instaurarsi del moto uniforme all'interno del manufatto.

Si è assunto di utilizzare tombini delle medesime dimensioni per uniformare la realizzazione ed i tipologici costruttivi; pertanto, la verifica è stata condotta sulla portata di progetto maggiore.

Di seguito si riportano le verifiche a moto uniforme degli attraversamenti in progetto.

La formula del moto uniforme di Gauckler-Strickler, che fornisce il valore della portata in m<sup>3</sup>/s ha la seguente espressione:

$$Q = AK_s R_H^{2/3} i^{1/2}$$

Dove:

- A è l'area espressa in m<sup>2</sup>
- R<sub>H</sub> il perimetro bagnato espresso in m
- i la pendenza longitudinale
- K<sub>S</sub> il coefficiente di scabrezza espresso in m<sup>1/3</sup> /s-1.

Per uniformità di realizzazione si sono verificati 2 tipologici di attraversamento e adottati nei diversi attraversamenti.

- Attraversamento con tombino circolare Ø1500, per attraversamenti maggiori;
- Attraversamento con tombino circolare Ø1000, per attraversamenti minori.

Per quanto riguarda il franco di sicurezza, si fa riferimento alle NTC 2018, capitolo 5 - Ponti, C.5.1.2.3, che per i tombini con funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0.50 m.

### 6.4.1 Tombino circolare Ø1500

Caratteristiche geometriche:

Pendenza  $i = 1\%$ ,

Coefficiente di Gauckler-Strickler  $KS = 75 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ .

Diametro = 1500 mm

Portata di verifica = 5,78 m<sup>3</sup>/s

Con l'applicazione della formula otteniamo:

Tabella 6-4 – Verifica tombino circolare Ø1500

portata	Q (m <sup>3</sup> /s)	5.780
coefficiente di resistenza di Strickler	$Ks \text{ (m}^{1/3}\text{s}^{-1}\text{)}$	75
raggio	R (m)	0.75
pendenza	i	1.00%
tirante	y (m)	1.051
grado di riempimento	y/D	70.09%
area bagnata	A (m <sup>2</sup> )	1.32
contorno bagnato	C (m)	2.98
raggio idraulico	Rh (m)	0.44
larghezza specchio liquido	L (m)	1.37
velocità	v (m/s)	4.37
numero di Froude	Fr	1.42
tensione tangenziale sul fondo	$\tau_0$ (Pa)	43.61
energia specifica	H (m)	2.02
tirante critico	$y_c$	1.95
spinta idraulica	S (N/m)	39088

Nella figura che segue si riporta il grafico dello scatolare con il tirante interno calcolato.

Canale circolare  
Scala di deflusso in moto uniforme  
Indicazione della **portata** e del **tirante** di calcolo

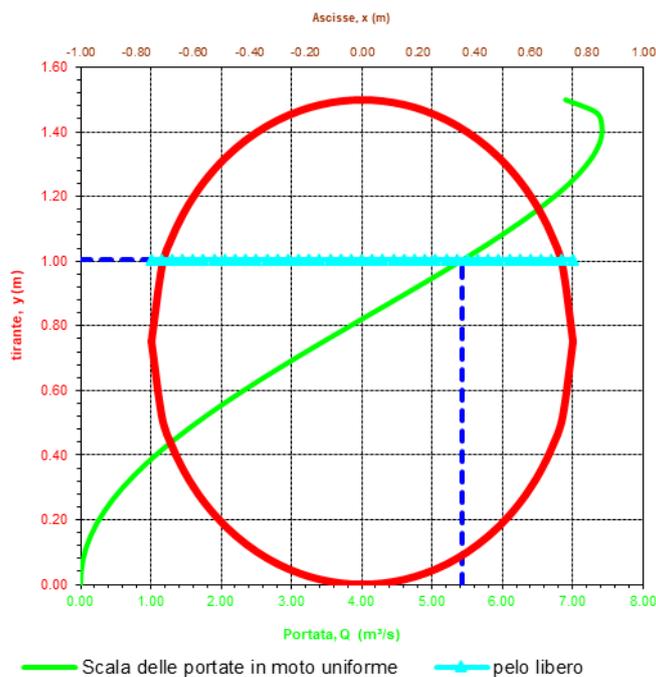


Figura 6-3 – Verifica tombino circolare Ø1500

Il franco di sicurezza sulla piena di progetto è pari a 0.50 m.

### 6.4.2 Tombino circolare Ø1000

Caratteristiche geometriche:

Pendenza  $i = 1\%$ ,

Coefficiente di Gauckler-Strickler  $K_S = 75 \text{ m}^{1/3} / \text{s}^{-1}$ .

Diametro = 1000 mm

Portata di verifica = 0,50 m<sup>3</sup>/s

Con l'applicazione della formula otteniamo:

Tabella 6-5 – Verifica tombino circolare Ø1000

portata	Q (m <sup>3</sup> /s)	0.500
coefficiente di resistenza di Strickler	$K_s \text{ (m}^{1/3}\text{s}^{-1}\text{)}$	75
raggio	R (m)	0.5
pendenza	i	1.00%
tirante	y (m)	0.314
grado di riempimento	y/D	31.42%
area bagnata	A (m <sup>2</sup> )	0.21
contorno bagnato	C (m)	1.19
raggio idraulico	Rh (m)	0.18
larghezza specchio liquido	L (m)	0.93
velocità	v (m/s)	2.37
numero di Froude	Fr	1.58
tensione tangenziale sul fondo	$\tau_0$ (Pa)	17.42
energia specifica	H (m)	0.60
tirante critico	$y_c$	0.57
spinta idraulica	S (N/m)	2851

Nella figura che segue si riporta il grafico dello scatolare con il tirante interno calcolato.

Canale circolare  
 Scala di deflusso in moto uniforme  
 Indicazione della **portata** e del **tirante** di calcolo

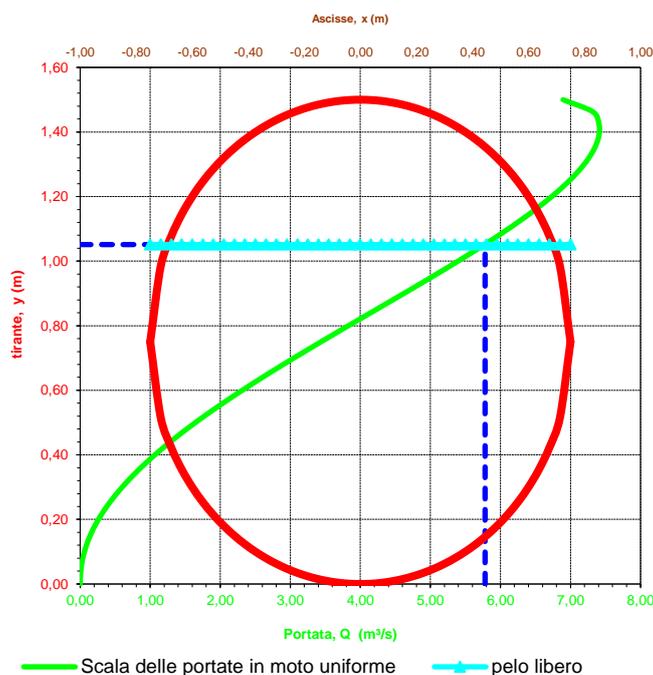


Figura 6-4 – Verifica tombino circolare Ø1000

Il franco di sicurezza sulla piena di progetto è pari a 0.70 m.

Il tombino Ø1000 è stato adottato per gli attraversamenti minori, quando i valori di portata risultano inferiori a 0.5 m<sup>3</sup>/s.

## 6.5 Attraversamenti di progetto

Il progetto in oggetto prevede per ciascun lotto in cui sono inseriti i pannelli fotovoltaici, delle strade perimetrali di accesso e circolazione interna. Queste strade intercettano sia avvallamenti o piccole depressioni del terreno, che incisioni più significative. Al fine di assicurare la continuità idraulica del reticolo idrografico superficiale e per non creare zone di ristagno, sono stati previsti dei tombini circolari di attraversamento idraulico.

Tali tombini si differenziano in due tipologie:

- attraversamenti minori, da collocare in punti depressi ed avvallamenti, da realizzare con tombini circolari Ø1000

- attraversamenti di incisioni, da collocare in prossimità delle intersezioni con incisioni più significative, a realizzare con tombini circolari Ø1500.

Gli attraversamenti minori sono stati ubicati in prossimità degli avvallamenti dedotti dall'analisi del DTM del terreno, mentre per gli altri sono stati individuati anche dall'analisi di ortofoto e cartografia regionale.

Tabella 6-6 – Attraversamenti in progetto

<b>Sottobacino</b>	<b>tc</b>	<b>A</b>	<b>Q</b>	<b>Attraversamento di progetto</b>
	<b>[ore]</b>	<b>[km<sup>2</sup>]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>[mm]</b>
1.1	<b>0.88270</b>	<b>0.02918</b>	<b>0.27</b>	<b>1000</b>
1.2	<b>1.71706</b>	<b>0.02572</b>	<b>0.15</b>	<b>1000</b>
1.3	<b>1.44311</b>	<b>0.02280</b>	<b>0.15</b>	<b>1000</b>
1.4	<b>1.24419</b>	<b>0.05004</b>	<b>0.36</b>	<b>1000</b>
1.5	<b>0.72495</b>	<b>0.53145</b>	<b>5.78</b>	<b>1500</b>
1.6	<b>0.72495</b>	<b>0.53145</b>	<b>5.78</b>	<b>1500</b>
3.1	<b>1.18142</b>	<b>0.00664</b>	<b>0.05</b>	<b>1000</b>
3.2	<b>1.21277</b>	<b>0.08619</b>	<b>0.64</b>	<b>1500</b>
3.3	<b>0.07398</b>	<b>0.08619</b>	<b>5.19</b>	<b>1500</b>

Le opere adottate assicurano la continuità idraulica del reticolo idrografico intercettato. I franchi di sicurezza rispondono alle indicazioni delle NTC 2018 in termini di attraversamenti con tombini.

Le verifiche sono state condotte con eventi con tempo di ritorno di 200 anni.

## 7 CONCLUSIONI

La presente relazione riporta le verifiche degli attraversamenti idraulici inseriti nel progetto per assicurare la continuità del reticolo idraulico superficiale. Oltre ad attraversamenti principali, in prossimità delle interferenze con incisioni significativi, sono stati previsti dei tombini di attraversamento minori per evitare zone di ristagno e permettere il regolare deflusso delle acque di precipitazione.

Per quanto riguarda l'invarianza idraulica, si fa presente che l'intervento non altera le caratteristiche di deflusso del terreno allo stato attuale, dal momento che l'installazione dei pannelli avviene su pali per premettere la coltivazione dei terreni, come nello stato attuale. L'intervento è pertanto invariante dal punto di vista idraulico.