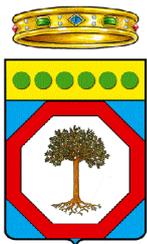


REGIONE  
PUGLIA



COMUNE DI  
FOGGIA



COMUNE DI  
MANFREDONIA



Provincia  
FOGGIA



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO,  
DENOMINATO "CSPV MANFREDONIA" DELLA POTENZA COMPLESSIVA PARI  
A 53,84 MW<sub>p</sub> E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN, DA  
REALIZZARSI NEI COMUNI DI FOGGIA (FG) E MANFREDONIA (FG)**

STUDIO IDRAULICO

Studio di compatibilità idraulica e idrologica

ELABORATO

PR\_07

PROPONENTE:



**BLUE STONE RENEWABLE VI S.R.L.**

Via Vincenzo Bellini, 22  
00198 Roma (RM)  
pec: bluestonerenewable6srl@legalmail.it

Consulenti:



EMILIANO PACITTI  
ORDINE INGEGNERI ROMA - A24350

PROGETTO:



Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari - Tel. 080 3219948 - Fax 080 2020950

**ATECH srl**

Via della Resistenza 48  
70125- Bari (BA)  
pec: atechsrl@legalmail.it

dott. Ing. Alessandro Antezza

Il DIRETTORE TECNICO

dott. Ing. Orazio Tricarico

Studio di Impatto Ambientale, Geologia, Paesaggio:



Via Sergio Amidei, 43 - 00128 Roma - Italy  
tel (+39) 06.50.79.64.16 - fax (+39) 06.94.80.36.43

www.studiodiconsulenza3e.it  
info@studiodiconsulenza3e.it

**Il Responsabile del Gruppo di  
Progettazione Ambientale**

Dott. Geol. Andrea RONDINARA

**Il Geologo**

Dott. Geol. Andrea RONDINARA

Dott. Geol. Davide PISTILLO

**Paesaggio**

Dott. Arch. Vincenzo BONASORTA

**Idraulica**

Dott. Ing. Emiliano PACITTI

EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
0	GIUNGO 2022	E. Pacitti	A. Rondinara	E. Pacitti	Emissione

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2. LE CARATTERISTICHE DEL PROGETTO</b>	<b>5</b>
2.1. Componenti principali dell'impianto	5
2.1.1. Generatore fotovoltaico	5
2.1.2. Strutture di sostegno	7
2.1.3. Inverter	8
2.1.4. Cabine	9
2.1.5. Viabilità interna	10
2.1.6. Recinzione perimetrale e mitigazione visiva	10
2.1.7. Illuminazione generale e illuminazione di sicurezza	11
2.2. La fase di cantiere	12
<b>3. RIFERIMENTI NORMATIVI</b>	<b>13</b>
<b>4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO</b>	<b>14</b>
4.1. Descrizione delle aree in relazione all'idrografia superficiale	14
<b>5. ANALISI PLUVIOMETRICA</b>	<b>17</b>
5.1. Generalità	17
<b>6. PROGETTO VAPI</b>	<b>18</b>
6.1. Modello Probabilistico TCEV	18
6.2. Stima regionale dei parametri con i massimi giornalieri	19
6.3. Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica metodo VAPI	22
<b>7. ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI</b>	<b>23</b>
7.1. Elaborazione statistica	25

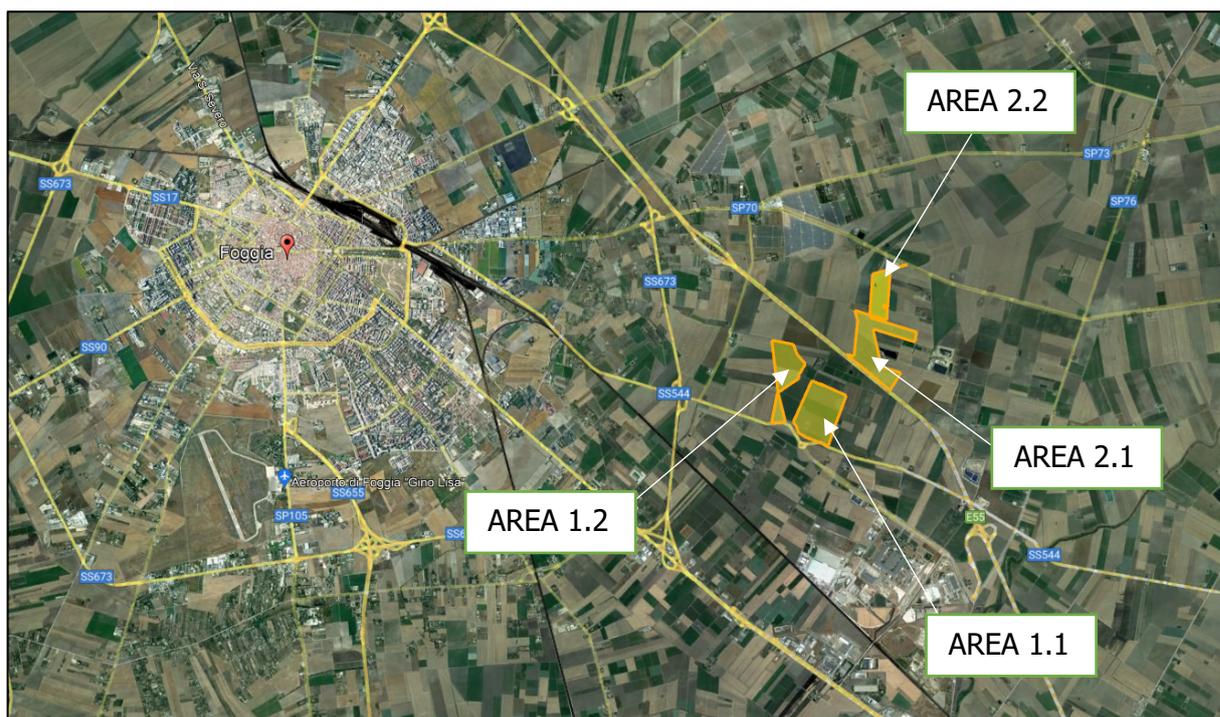
7.2.	Scelta delle curve di possibilità pluviometrica .....	30
7.3.	Definizione delle altezze di pioggia per eventi inferiori all'ora .....	31
<b>8.</b>	<b>STUDIO IDRAULICO .....</b>	<b>33</b>
<b>9.</b>	<b>ASSETTO IDROGEOLOGICO E COMPATIBILITA' IDRAULICA .....</b>	<b>34</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>46</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento ha l'obiettivo di esporre le metodologie applicate ed i risultati dello studio idrologico finalizzati alla caratterizzazione pluviometrica della zona interessata dall'area di progetto con conseguente definizione dei parametri di pioggia che descrivono le curve di possibilità pluviometrica (CPP) e a fornire un'analisi delle interazioni tra l'impianto agri-ovi-fotovoltaico di progetto e l'area in cui si inserisce, valutando l'adeguatezza dell'intervento previsto, in termini di sicurezza idraulica sia per l'infrastruttura stessa che per il territorio interessato nel rispetto delle prescrizioni fornite dagli strumenti normativi vigenti.

Nello specifico si prevedono quattro aree denominate AREA 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2 a circa 5 km a est della città di Foggia.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico della zona in questione.



*Inquadramento dell'area*

## 2. LE CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

### 2.1. Componenti principali dell'impianto

Il generatore fotovoltaico ha potenza nominale ai sensi della norma CEI 0-16 pari a 25.000,00 kW, mentre la potenza dei moduli è pari a 23.351,90 kWp e la potenza del sistema di accumulo sarà pari a 8.250,00kWp.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito dai seguenti componenti principali:

- Generatore fotovoltaico;
- Inverter distribuiti;
- Quadro parallelo Inverter;
- Cabine di trasformazione, cabine di raccolta e cabina di consegna.

#### 2.1.1. Generatore fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da 99.708 per una conseguente potenza di picco pari a 53,84 MWp. I moduli fotovoltaici saranno del tipo monocristallino di potenza massima pari a 540 Wp, e saranno montati su Inseguitori solari monoassiali orizzontali (Tracker) in file parallele orientate nel verso dell'asse Nord-Sud. I Tracker saranno del tipo a 28 moduli in configurazione portrait, quindi con pannello montato in posizione verticale.

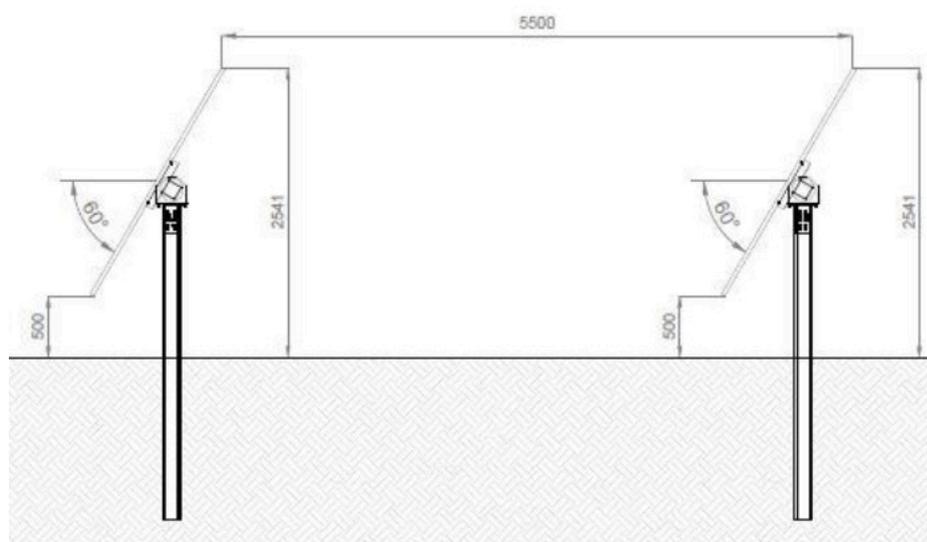
Per la scelta del pannello fotovoltaico, in fase di progettazione, si è fatto riferimento alle migliori caratteristiche in termini di efficienza delle celle fotovoltaiche; sono stati individuati moduli ad alta potenza, dimensioni standard, che uniscono alla caratteristica della migliore tecnologia disponibile, la facilità di reperibilità sul mercato un costo accessibile.

I moduli individuati avranno le seguenti caratteristiche:



### 2.1.2. Strutture di sostegno

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici saranno costituite da inseguitori solari monoassiali "Tracker". I moduli fotovoltaici saranno installati in singola fila in configurazione portrait (verticale) rispetto all'asse di rotazione del tracker.



Dettaglio tracker

Ciascun tracker si muove in maniera indipendente rispetto agli altri poiché ognuno è dotato di un proprio motore. L'asse di rotazione (asse principale del tracker) è in linea generale orientato nella direzione nord-sud, ma nel caso particolare oggetto di questo studio, avrà una inclinazione (azimut) di 0° per tutto l'impianto. Piccole rotazioni sono possibili in relazione alla conformazione del terreno. Il range di rotazione completo del tracker è pari a 120° (-60°/+60°), come indicato in figura. La movimentazione dei tracker nell'impianto fotovoltaico è controllata da un software che include un algoritmo di backtracking per evitare ombre reciproche tra file adiacenti. Quando l'altezza del sole è bassa, i pannelli ruotano dalla loro posizione ideale di inseguimento per evitare l'ombreggiamento reciproco, che ridurrebbe la potenza elettrica delle stringhe.

L'inclinazione non ideale riduce la radiazione solare disponibile ai pannelli fotovoltaici, ma aumenta l'output complessivo dell'impianto, in quanto globalmente le stringhe fotovoltaiche sono esposte in maniera più uniforme all'irraggiamento solare.

Da un punto di vista strutturale il tracker è realizzato in acciaio da costruzione in conformità all'Eurocodici, con maggior parte dei componenti zincati a caldo. Per quanto attiene le fondazioni, i tracker saranno fissati al terreno tramite pali infissi direttamente "battuti" nel terreno. La profondità standard di infissione è di 1,7 m, tuttavia in fase esecutiva in base alle caratteristiche del terreno ed ai calcoli strutturali tale valore potrebbe subire anche modifiche non trascurabili.

La scelta di questo tipo di inseguitore evita l'utilizzo di cemento e minimizza i movimenti terra per la loro installazione.

### 2.1.3. Inverter

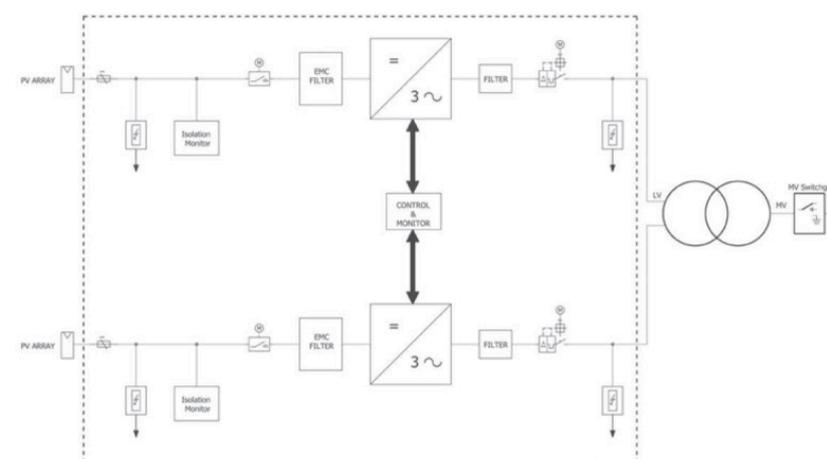
Il gruppo di conversione è composto dal componente principale "inverter" e da un insieme di componenti, quali filtri e dispositivi di sezionamento protezione e controllo, che rendono il sistema idoneo al trasferimento della potenza dal generatore alla rete, in conformità ai requisiti normativi, tecnici e di sicurezza applicabili.

L'impianto utilizza n°18 inverter da 2500kVA dalle seguenti caratteristiche tecniche:

- Marca: GAMESA
- Modello: E-2.5MVA-SB-I
- Tipo fase: Trifase

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
<b>DC INPUT VALUES</b>	
Recommended rated power	2.500-2.700 kWp
Max. DC Current @ 50°C	2.500 A
Direct Current voltage range	935 - 1.500 V
DC MPPT voltage range	935 - 1.250 V
No. of DC ports	Up to 20
Start of production	0.5% Pn approx.
<b>AC OUTPUT VALUES</b>	
N° of phases	3
Nominal AC power (50°C)	2.500 kVA
Maximum AC power (40°C)	2.300 kVA
Maximum AC power (25°C)	2.500 kVA
Nominal AC voltage	660 Vrms
Voltage allowance range	-10% / +10%
Frequency range	47.5 - 53/57.63 Hz
Power factor	Any
THD of AC current	< 3% @ Pn
Nominal AC current per phase	1.970 A
Max. AC current per phase	2.150 A
<b>PERFORMANCE</b>	
Max. performance	98.5%
European performance	98.2%
Stand-by power consumption	< 200 W
<b>OTHER FEATURES</b>	
MPPT	1
LVRT/HVRT	Yes
Permissible ambient temperature	-20°C / +50°C (+60°C) <sup>1)</sup>
Relative humidity	95% (without condensation)
Max. Altitude	2.000 m
Size (width x height x depth)	2.950 x 1.840 x 975
Weight	1.900 kg
Protection degree	IP 20
Cooling	Water & Forced air
<b>Main standards</b>	
IEC 61000-6-2	IEC 61000-6-4
IEC 62109-1	IEC 62109-2
IEC 62716	IEC 61683

### STANDARD CONFIGURATION



Inverter

### PARAMETRI ELETTRICI IN INGRESSO

- VMppt min [V]: 900.00
- VMppt max [V]: 1'300.00
- I<sub>max</sub> [A]: 2 x 1468.00
- V<sub>max</sub> [V]: 1'500.00
- potenza MAX [W] : 2500'000
- Numero MPPT: 1

### PARAMETRI ELETTRICI IN USCITA

- Potenza nominale [W]: 2500'000
- Tensione nominale [V]: 660
- Rendimento max [%]: 99.10
- Distorsione corrente [%]: 3
- Frequenza [Hz]: 50
- Rendimento europeo [%] 98.80

### CARATTERISTICHE MECCANICHE

- Dimensioni LxPxH [mm]: 2800 x 2230 x 975 mm
- Peso [kg]: 2400.00

#### **2.1.4. Cabine**

L'allaccio sarà direttamente in Media Tensione attraverso una cabina di consegna collocata confine dell'impianto, mentre all'interno sarà realizzata una rete di media tensione radiale con n°9 cabine di trasformazione utente.

I criteri progettuali adottati per l'allaccio e nella scelta delle apparecchiature elettriche sono legati norma CEI 0-16.

L'alimentazione dei servizi ausiliari di centrale sarà derivata da trasformatore MT/BT dedicato. Si utilizzeranno gruppi statici di continuità (UPS) con autonomia di almeno due ore della potenza di 1000VA per ogni cabina per i circuiti ausiliari in continuità.

L'arrivo sarà realizzato con cavo come da specifica TERNA con una linea a 36kV.

### **2.1.5. Viabilità interna**

Per muoversi agevolmente all'interno dell'area ai fini delle manutenzioni e per raggiungere le cabine di campo verranno realizzate le strade interne strettamente necessarie a raggiungere in maniera agevole tutti i punti dell'impianto. La viabilità interna verrà realizzata solo con materiali naturali (pietrisco di cava) che consentono l'infiltrazione e il drenaggio delle acque meteoriche nel sottosuolo, pertanto non sarà ridotta la permeabilità del suolo. Per quanto concerne l'andamento plano-altimetrico dei tratti costituenti la viabilità interna, si sottolinea che quest'ultima verrà realizzata seguendo, come criterio progettuale, quello di limitare le movimentazioni di terra nel rispetto dell'ambiente circostante. Questo è possibile realizzarlo in quanto le livellette stradali seguiranno l'andamento naturale del terreno stesso.

### **2.1.6. Recinzione perimetrale e mitigazione visiva**

Le varie aree dell'impianto saranno dotate di recinzione in rete metallica galvanizzata e da un cancello carrabile. La rete metallica come recinzione è stata scelta al fine di ridurre gli impatti; inoltre sarà posta, nelle zone dove l'impianto risulta visibile da infrastrutture e fabbricati, una fascia arborea autoctona di mitigazione. La posa in opera della recinzione a maglia rettangolare sarà a pali infissi direttamente nel terreno in modo da ridurre al minimo l'impatto sull'ambiente circostante ed evitare l'utilizzo di calcestruzzo, tranne nel caso in cui la geologia del terreno non permetta l'infissione dei pali.

I cancelli d'ingresso saranno realizzati in acciaio zincato, sorretto da pilastri in scatolare metallico. Le dimensioni saranno tali da permettere un agevole ingresso dei mezzi pesanti impiegati in fase di realizzazione e manutenzione. In fase esecutiva sarà considerata la possibilità di dotare il cancello di azionamento elettrico.

Al fine di attenuare, se non del tutto eliminare, l'impatto visivo prodotto dall'impianto fotovoltaico sono previsti interventi di mitigazione visiva mediante messa a dimora lungo il perimetro dell'impianto di una schermatura con vegetazione con funzione di mitigazione visiva.

### **2.1.7. Illuminazione generale e illuminazione di sicurezza**

L'impianto di illuminazione perimetrale del campo sarà realizzata da apparecchi di illuminazione distribuiti uniformemente lungo il perimetro seguendo il percorso delle strade perimetrali ed eventualmente la sola recinzione.

Gli impianti di illuminazione dei locali tecnici sono stati progettati secondo quanto indicato dalla norma UNI 12464-1 in relazione ai livelli minimi di illuminamento.

Il livello di illuminamento medio garantito ad un metro dal pavimento è:

- vani accessori, locali tecnici: 100 lux;

La scelta dei corpi illuminanti è legata alla destinazione d'uso degli ambienti e precisamente:

- plafoniere con grado di protezione IP65 per i locali tecnici.

L'impianto di illuminazione di sicurezza è stato studiato in conformità alle norme CEI 64-8 ed al D.M. 1° febbraio 1986, adottando lampade autonome di emergenza.

La tipologia di plafoniere varia a seconda del tipo di ambiente:

- plafoniere da 24W e kit inverter.

Gli apparecchi saranno dotati di fonte Luminosa a LED con emissione pari 5865lm e emissione dell'apparecchio pari a 4460lm. La potenza assorbita dall'apparecchio sarà pari a 46W con potenza massima assorbita dai LED pari a 39W.

Il suo funzionamento sarà esclusivamente legato alla sicurezza dell'impianto, gli apparecchi saranno installati sugli stessi pali montanti le telecamere dell'impianto di videosorveglianza. La direzione di proiezione del raggio luminoso, sarà verso il basso, senza quindi oltrepassare la linea dell'orizzonte o proiettare la luce verso l'altro.

## **2.2. La fase di cantiere**

Considerata la tipologia dell'intervento da realizzare, si può affermare che le lavorazioni in fase di cantiere avverranno senza la produzione di particolari rifiuti da conferire alle pubbliche discariche. Questo è dovuto all'esiguità degli scavi necessari alla realizzazione dei cavidotti interrati ed al fatto che la viabilità interna verrà realizzata seguendo come criterio progettuale quello di limitare il più possibile le movimentazioni di terra nel rispetto dell'ambiente circostante e seguendo il più possibile l'andamento del terreno.

Tali operazioni, riguardando solo la parte più superficiale del terreno vegetale, produrranno come residuo delle lavorazioni solamente lo stesso terreno vegetale che verrà ridistribuito uniformemente all'interno delle aree di pertinenza dell'impianto.

Per quanto riguarda gli imballaggi dei moduli fotovoltaici e dei quadri elettrici questi saranno costituiti da cartone e plastica, materiali che verranno trasferiti ai circuiti classici di riciclo che sono stati analizzati nei paragrafi successivi.

È prevista un'attività di regolarizzazione superficiale del terreno per la realizzazione della viabilità interna. Non vi sono quindi movimenti di terra in quanto trattasi di regolarizzazione superficiale compensativa. È evidente che in caso di situazioni climatiche sfavorevoli (pioggia e vento) le attività non viene svolta.

Inoltre, per l'installazione dei pannelli non è previsto scavo in quanto i pannelli saranno fissati su strutture leggere zincate che saranno semplicemente infisse nel terreno. Saranno realizzate solo semplici basi di appoggio in c.a. delle strutture prefabbricate delle cabine.

I materiali di scavo saranno riutilizzati per i livellamenti.

La durata dei lavori è stimata in 12 mesi.

### 3. RIFERIMENTI NORMATIVI

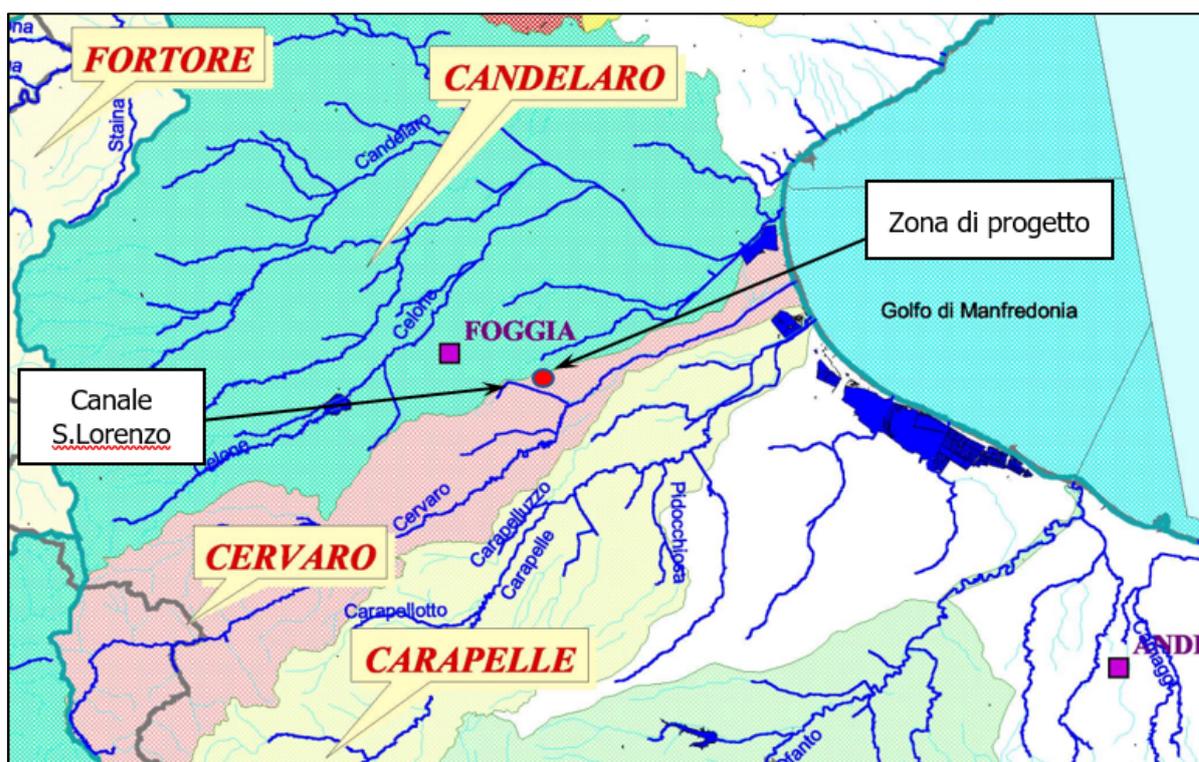
Si elencano di seguito le normative vigenti che sono state prese a riferimento per la definizione degli interventi di carattere idraulico.

- Regio Decreto 25 luglio 1904, n°523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie"
- "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (di seguito P.A.I.), redatto dall'ex Autorità di Bacino Interregionale Puglia, oggi U.o.M. Regionale Puglia e interregionale Ofanto appartenente all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale, approvato con DPCM del 10 novembre 2006 e aggiornato con Decreto Segretariale n. 32/2015 dell'8 giugno 2015
- "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" Regione Puglia, Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Norme di Attuazione – Novembre 2005

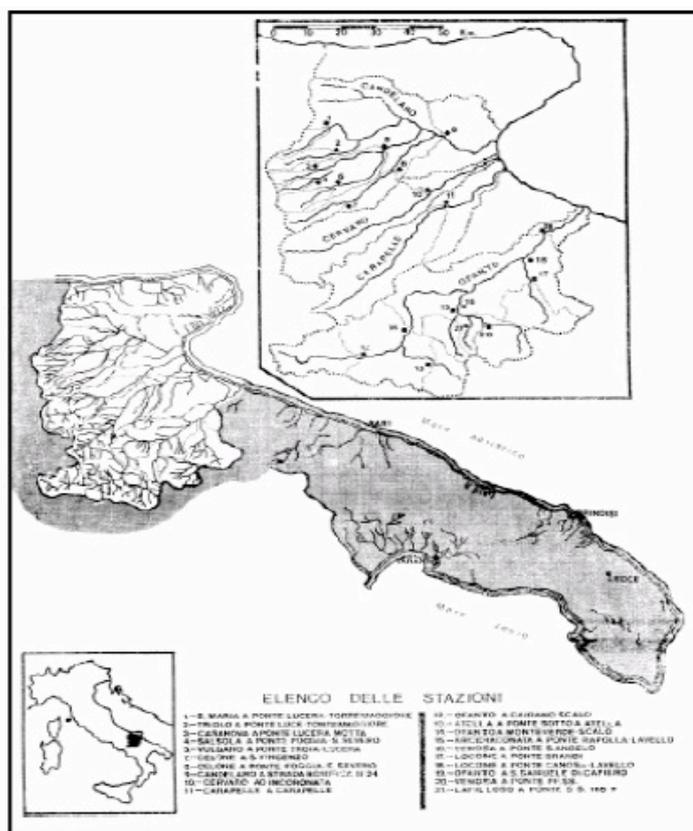
## 4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

### 4.1. Descrizione delle aree in relazione all'idrografia superficiale

Le zone interessate dal progetto si collocano circa 5 km a est della città di Foggia; il principale bacino idrografico adiacente alle aree in studio è quello del Torrente Cervaro di cui il canale San Lorenzo, corpo idrico rilevante più vicino alle opere di progetto, fa parte.



Come detto, il reticolo idrografico superficiale del territorio pugliese è scarsamente sviluppato, a causa della natura fondamentale calcarea dei terreni, tranne che nella zona pedegarganica e del Tavoliere, dove una minore permeabilità consente la formazione di diversi corsi d'acqua. Caratterizzati da regime torrentizio, essi hanno origine nella parte nord-occidentale della regione, ai confini con il Molise, la Campania e la Basilicata, e sviluppano il loro corso prevalentemente nel Tavoliere. I bacini principali della Puglia settentrionale sono quelli dei fiumi Ofanto, Carapelle, Cervaro, Candelaro, nonché i bacini minori del Gargano. I limiti dei bacini suddetti sono rappresentati nella figura successiva, dove è riportata anche l'ubicazione delle stazioni idrometrografiche. Il regime dei deflussi è principalmente condizionato da quello degli afflussi, data la mancanza di forti precipitazioni nevose e di apporti glaciali.



Il torrente Cervaro con un bacino idrografico sotteso di circa 666 km<sup>2</sup>, nasce dal monte Le Felci (853 m di quota) presso Monteleone di Puglia, si immette in provincia di Avellino e rientra in quella di Foggia fra Panni e Montaguto; incanalato nell'ultimo tratto, prende il nome di canale Cervaro Nuovo e sfocia, dopo circa 80 km di percorso, nel golfo di Manfredonia, mentre due rami si immettono nelle vasche di colmata del Cervaro. Costeggiato, da Radogna a Stradola, dalla SS 90, riceve a sinistra il torrente Lavella e il torrente Sannoro, a destra il torrente Bilerà. I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Cervaro: Torrente Sannoro, Torrente Lavella, Torrente Avella, Torrente Iazzano, Torrente Biletra, Fosso Valle dell'Angelo, Fosso Pozzo Vitolo.

Dal punto di vista morfologico l'alto corso d'acqua, che attraversa la zona montuosa del subappennino, si presenta abbastanza inciso, caratterizzato da versanti acclivi e scarpate ben definite. Il basso corso, che scorre nella piana alluvionale, assume invece un andamento meandriforme, mentre il tratto di foce si presenta interamente canalizzato tra argini artificiali.

L'analisi dei dati idrometrografici (rilevabili per il torrente Cervaro alla stazione di Incoronata) evidenzia anche per questo corso d'acqua un regime torrentizio.

L'assetto idraulico del territorio è caratterizzato dalla presenza di una serie di infrastrutture viarie, che intersecano in più punti l'asta principale: nel tratto più a monte, la linea ferroviaria Foggia-Benevento e la S.S.90; nelle aree più a valle la S.S.655, linea ferroviaria Foggia-Bari, e la SS16. Nel caso in studio il corpo idrico più vicino all'infrastruttura in progetto è il Canale San Lorenzo che allo stato attuale interseca la linea ferroviaria Foggia-Bari, e la SS16 per poi proseguire parallelamente alla SS544 e attraversare la A14 prima di confluire nel Torrente Cervaro.

## 5. ANALISI PLUVIOMETRICA

### 5.1. Generalità

Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata  $\tau$ , viene effettuata mediante una curva, detta curva segnalatrice di possibilità pluviometrica o climatica, caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

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

nella quale  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo  $t$ ;  $a$  ed  $n$  sono dei coefficienti determinati statisticamente.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) associate ai diversi tempi di ritorno  $T_r$ , nella presente applicazione vengono analizzati e confrontati i risultati ottenuti dall'applicazione di due distinte metodologie.

1. Progetto VAPI Puglia, con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Puglia [Copertino e Fiorentino, 1994], metodo di riferimento della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia;
2. Analisi statistica dei massimi annui giornalieri della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrati al pluviografo di Foggia Osservatorio.

Le verifiche idrauliche vengono cautelativamente condotte con riferimento ai risultati più cautelativi in esito al confronto tra i due metodi.

## 6. PROGETTO VAPI

Il progetto VAPI è sviluppato a cura del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR (Copertino e Fiorentino 1994), conformemente al DPCM del 29.09.1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005. Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV - Two Components Extreme Value (Rossi et al. 1984). La peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali.

### 6.1. Modello Probabilistico TCEV

La legge di distribuzione probabilistica utilizzata nel PAI per la variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria o suboraria  $t$ , è la Two Component Extreme Value (TCEV), secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (outliers), legati a differenti fenomeni meteorologici.

Tale distribuzione ha la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (log-normale, Gumbel, Fréchet, ecc.) riescono a rendere conto.

La funzione di distribuzione di probabilità della  $h_t$  è funzione di 4 parametri:  $\Lambda_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\theta_2$ , che esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni ( $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$ ) e il loro valore medio ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ) con  $\Lambda_2$ ,  $\theta_2$  relativi ad una componente base contenente i valori medi e bassi e  $\Lambda_1$ ,  $\theta_1$  relativi ad una componente straordinaria contenente i valori più elevati.

Se si pone  $\theta_* = \theta_2 / \theta_1$  e  $\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\theta_*}$  si può considerare la quaterna di parametri  $\Lambda^*$ ,  $\theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\theta_1$ . La funzione di distribuzione di probabilità della variabile casuale  $x = h_t$  (massimo annuale della pioggia di durata  $t$ ) è espressa come segue:

$$F_X(X) = \exp \left( -\Lambda_1 \exp^{-\frac{x}{\theta_1}} - \Lambda_2 \exp^{-\frac{x}{\theta_2}} \right)$$

Si può dimostrare che il coefficiente d'asimmetria  $\xi(h_t)$  dipende soltanto dai parametri  $\Lambda_*$  e  $\theta_*$  il coefficiente di variazione  $\gamma(h_t)$  dipende dai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\theta_*$  e  $\Lambda_1$ .

### **6.2. Stima regionale dei parametri con i massimi giornalieri**

Con regionalizzazione delle altezze di pioggia  $h(t)_k$  nei diversi pluviometri  $k=1,2,\dots,n$  s'intende l'aggregazione di tali variabili in gruppi con caratteristiche stocastiche comuni. Si richiede generalmente che i raggruppamenti abbiano anche riferimenti geografici.

Sono stati utilizzati tre livelli di regionalizzazione:

1. Regioni omogenee rispetto ai parametri  $\Lambda_*$  e  $\theta_*$  da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente d'asimmetria  $\xi(h_t)$
2. Zone omogenee rispetto ai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\theta_*$  e  $\Lambda_1$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione  $\gamma(h_t)$
3. Sottozone omogenee rispetto ai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\theta_1$  dai cui dipende la media  $\mu(t)$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

La dipendenza del fattore di crescita con la durata si può ritenere trascurabile, infatti, calcolando sulle stazioni disponibili le medie pesate dei coefficienti di asimmetria,  $Ca$ , e dei coefficienti di variazione,  $Cv$ , alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria.

L'indipendenza dalla durata di  $K_T$  autorizza ad estendere anche alle piogge orarie i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

Il valore di  $K_T$  può essere calcolato, invece, in funzione del tempo di ritorno  $T$  attraverso un'approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

$$K_T = a + b \cdot \ln(T)$$

dove per:

- la Puglia Centro-Meridionale i valori di  $a$  e  $b$  da adottare sono rispettivamente 0,1599 e 0,5166
- la Puglia Settentrionale 0,5648 e 0,415.

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

$$\mu(h/d) = a \cdot t^n$$

I parametri sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra. Per tener conto della variabilità di  $\mu[h(d)]$  con la quota  $Z$ , è possibile generalizzare la relazione precedente attraverso un'espressione del tipo:

$$\mu[h(d/Z)] = a \cdot t^n$$

Per potere utilizzare le formule che contengono dati relativi alle precipitazioni in termini di altezze o di intensità si è provveduto alla determinazione di tali parametri sulla base dei dati pluviometrici regionali elaborati nel progetto VAPI.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV, è utile rappresentare la legge  $F(X_t)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo

annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_t$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(X_t)$  ed una quantità  $K_{T,t}$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = \frac{X_{t,T}}{\mu(X_t)}$$

$$n(Z) = \frac{C \cdot Z + D + \ln \alpha - \ln Z}{\ln 24}$$

in cui  $\alpha = x_g / x_{24}$  è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misure. Nel caso della regione Puglia per la quale il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89, sono state individuate 6 zone pluviometriche omogenee rappresentate nella figura seguente.



Sottozone pluviometriche omogenee regione Puglia

Per ciascuna delle quali è possibile determinare la curva di possibilità pluviometrica (funzione, nella maggior parte dei casi, del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare) per mezzo della quale viene valutata l'altezza di pioggia critica per i differenti intervalli di precipitazione e per differenti tempi di ritorno, sulla base delle seguenti equazioni:

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

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

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

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

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

$$\text{Zona 6} \rightarrow x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$$

Ai valori così ottenuti vanno applicati i coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita  $K_T$  (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni) e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore).

### 6.3. Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica metodo VAPI

Nel caso specifico di studio l'opera di progetto ricade nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale in zona 2, pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

$$x(t) = 22.23 \cdot t^{0.247}$$

Fissato il valore del tempo di ritorno,  $T_r$ , tramite l'equazione precedente a cui vanno applicati i coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita  $K_T$  (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni) e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore), sono state determinate le altezze di pioggia di diversa durata, variabile da 1 a 24 ore e costruite le rispettive curve di possibilità pluviometrica i cui parametri sono riportati nella tabella seguente:

$T_r$ (anni)	10	20	25	50	100	200	500	
$K_t$ (-)	1.52	1.81	1.90	2.19	2.48	2.76	3.14	n (-)
$a$ (mm/ore <sup>n</sup> )	33.80	40.19	42.25	48.65	55.04	61.43	69.89	0.247

## 7. ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI

Le curve di caso critico, pur fornendo alcune informazioni sul carattere degli eventi pluviometrici, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento registrato con il valore della sua frequenza probabile: cioè non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. L'analisi statistica degli eventi osservati consente invece di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno  $T_r$ , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato.

Al fine di poter sviluppare tale analisi e determinare la pioggia di progetto, necessaria per il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche, sono stati raccolti i dati misurati dalla stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio per gli anni compresi tra il 1934 ed il 2019 per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, forniti dal Centro Funzionale Decentrato (CFD), incardinato nella Sezione Protezione Civile della Regione Puglia, che riprende l'attività precedentemente svolta dell'ex Ufficio Idrografico e Mareografico di Bari così come riportate all'art. 22 del D.P.R. n°85 del 24 gennaio 1991.

Si riportano di seguito, in forma tabellare le caratteristiche della stazione pluviometrica scelta per lo studio ed i dati pluviometrici registrati ed utilizzati nelle elaborazioni statistiche

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)	Latitudine Gauss Boaga	Longitudine Gauss Boaga
<b>FOGGIA OSSERVATORIO</b>	76	1934-2019	82	41°27'36.2" N	15°32'34.27" E

Stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio. Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora					
Anno	1	3	6	12	24
1934	20.6	25.0	38.4	53.4	83.2
1935	35.0	47.6	51.8	55.8	58.8
1936	23.6	27.8	28.2	28.4	32.8
1937	22.0	22.0	22.0	25.8	27.6
1938	15.6	19.2	26.4	30.2	40.8
1939	24.0	28.8	29.4	33.0	35.4
1940	17.2	22.8	22.8	31.2	49.8
1941	21.8	31.4	46.0	59.4	95.6
1942	9.0	12.4	16.2	27.6	45.2
1947	28.4	28.8	28.8	28.8	34.4
1948	35.0	40.2	40.2	40.4	40.4

<b>Stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio. Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora</b>					
<b>Anno</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>
1949	30.0	56.4	63.2	72.2	72.6
1950	21.2	21.8	21.8	30.8	45.0
1951	14.6	17.6	27.0	27.6	38.0
1952	18.2	22.6	36.0	36.8	43.0
1953	14.0	14.4	28.0	33.2	40.4
1954	13.8	27.0	46.8	50.2	55.2
1955	17.6	17.8	24.4	38.6	70.2
1956	19.6	32.2	45.2	53.6	58.6
1961	31.0	42.6	51.8	58.8	66.0
1962	18.2	22.8	31.8	40.2	40.4
1963	31.2	31.2	43.4	50.8	56.8
1964	20.0	21.4	28.8	35.6	39.0
1965	42.4	71.0	71.0	71.0	75.4
1966	19.0	19.0	19.0	24.2	24.6
1967	24.6	35.6	37.2	40.4	55.2
1968	14.4	20.2	31.4	32.4	47.6
1969	34.0	68.0	68.2	74.6	80.6
1970	14.0	30.6	40.0	51.4	53.6
1971	14.0	26.4	36.4	44.2	48.8
1972	21.2	26.8	35.8	41.4	41.4
1974	23.2	24.8	30.2	41.8	49.2
1975	22.2	22.8	24.4	33.8	37.8
1976	20.8	23.4	24.4	36.6	38.4
1977	17.2	17.2	18.6	23.4	28.0
1978	14.2	15.2	24.4	28.6	31.4
1980	22.0	22.0	22.4	28.2	35.0
1981	19.8	23.0	25.2	25.4	27.8
1982	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6
1983	36.2	48.4	48.6	48.6	48.6
1984	33.8	54.6	67.0	70.6	81.6
1985	12.2	25.6	45.2	57.2	66.8
1986	31.2	43.4	48.4	53.2	55.6
1987	10.2	15.2	19.4	31.0	46.0
1988	13.6	19.8	23.2	32.4	36.6
1989	20.0	26.4	37.4	40.4	40.6
1990	50.0	67.0	67.0	69.2	80.0
1991	33.0	46.0	46.0	46.0	46.0
1992	20.0	22.8	23.4	23.4	24.4
1993	16.2	16.2	22.2	22.2	33.0
1994	11.8	17.8	23.0	26.2	27.4
1995	40.0	40.2	40.4	40.4	42.6
1996	44.0	59.6	59.6	61.4	61.4
1997	13.6	18.6	19.2	30.2	46.4
1998	21.2	21.6	23.6	27.4	33.6
1999	25.2	32.2	32.2	32.2	38.4
2000	9.6	16.6	27.0	42.4	42.8
2001	55.4	57.0	57.2	69.2	88.8
2002	37.2	37.2	37.2	37.4	46.4
2003	31.8	35.4	36.2	36.2	49.0

<b>Stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio. Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora</b>					
<b>Anno</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>
2004	27.8	29.6	34.4	42.2	53.2
2005	16.2	17.0	26.6	38.6	55.8
2006	9.0	13.8	15.2	26.8	44.4
2007	22.8	24.0	24.2	39.2	40.0
2008	16.6	27.2	36.2	45.4	52.4
2009	13.4	18.8	24.0	26.2	32.2
2010	16.4	19.8	27.2	37.0	38.4
2011	15.2	17.2	31.6	34.6	43.4
2012	14.2	19.2	26.4	32.2	58.0
2013	22.8	36.4	41.2	57.2	72.0
2014	23.2	23.2	26.6	30.4	33.4
2015	32.4	50.6	56.2	93.8	97.4
2016	15.6	19.0	23.2	27.2	37.8
2017	17.6	24.2	32.2	40.4	44.8
2018	34.8	36.4	36.4	39.6	71.8
2019	43.2	44.8	45.0	45.0	45.0

### 7.1. Elaborazione statistica

Dalle osservazioni delle altezze di pioggia sono state quindi determinate le curve di caso critico cioè le relazioni altezza-durata (o intensità-durata) dei massimi annuali.

Le curve empiriche di caso critico sono state regolarizzate, cioè è stata individuata un'espressione analitica che approssima i dati sperimentali, e consente di valutare l'altezza (o l'intensità) di pioggia per qualsiasi valore della durata e assegnato tempo di ritorno  $T_r$

A tal fine si assegna alla funzione  $h(T_r, \tau)$  la seguente espressione in forma monomia:

$$h(T_r, \tau) = a \cdot (T_r)^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$i(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \cdot \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli

scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di  $h$  soffre maggiori di incertezze rispetto a quella del tempo di pioggia:

$$\log h = \log a + n \cdot \log \tau$$

I parametri  $a$  sono elaborati statisticamente al fine di trovare una funzione di distribuzione di probabilità in grado di associare un parametro  $a(T_r)$  al tempo di ritorno.

Il metodo utilizzato per la regolarizzazione statistica dei dati raccolti può essere riassunto nei seguenti passi:

- a) ordinamento delle altezze di pioggia, corrispondenti a ciascuna durata, in senso decrescente;
- b) regolarizzazione delle curve così ottenute mediante il metodo dei minimi quadrati, assumendo una relazione tra altezza di pioggia  $h$  e durata della precipitazione  $t$  del tipo:

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

In base a tale assunzione, la funzione da minimizzare  $\Psi$  è data da

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\log h_{ij} - \log a_i - n \log t_j)^2 = \min$$

i pedici  $i$  e  $j$  identificano le grandezze relative al singolo caso critico ( $i = 1, \dots, N$ ) ed alla generica durata ( $j = 1, \dots, M$ ). Dalla risoluzione di questo problema di minimo si ottiene l'espressione necessaria alla definizione del parametro  $n$  e dei corrispondenti parametri  $a_i$ .

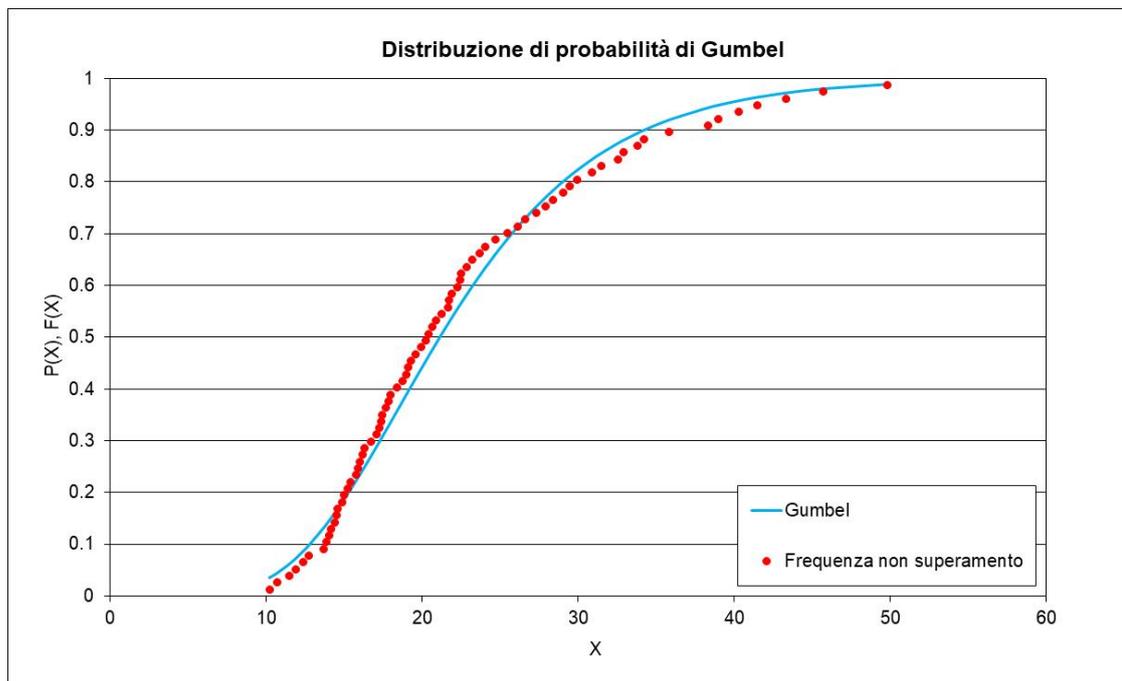
$$n = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\log t_j - \log \tau) \log h_{ij}}{N \sum_{j=1}^M (\log t_j - \log \tau)^2}$$

dove  $\log \tau$  è il valor medio delle grandezze  $\log t_j$

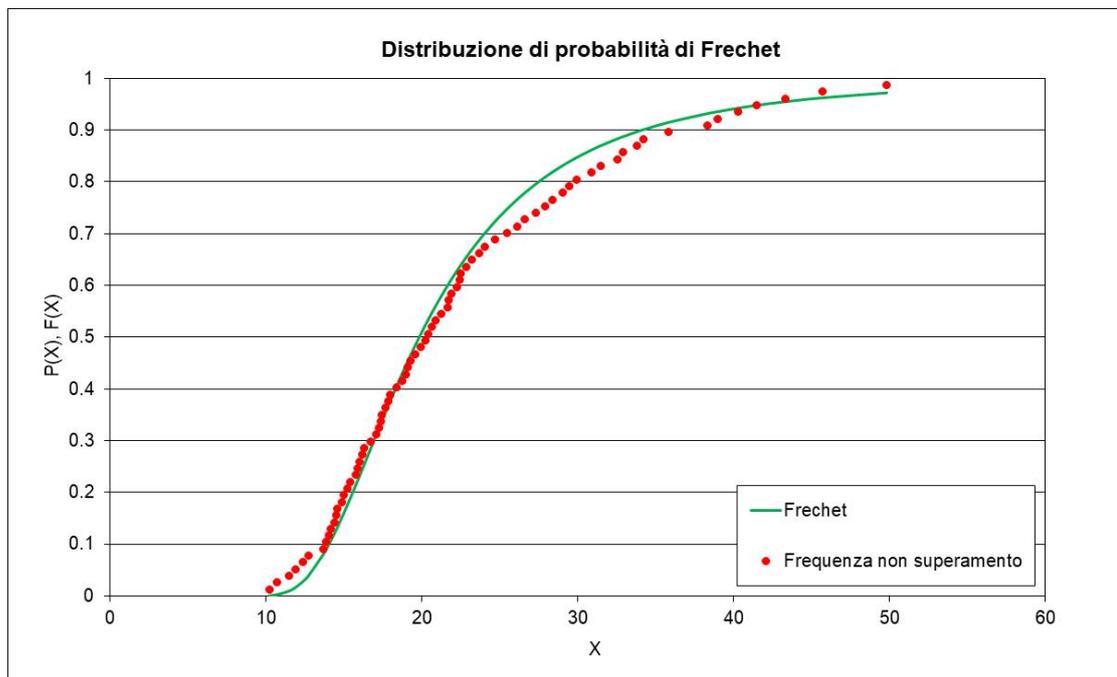
$$\log a_i = \log H_i - n \log \tau$$

dove  $\log H_i$  è il valor medio delle grandezze  $\log h_{ij}$ , relative all'ordine  $i$ . Il parametro "n" risulta, nel caso in studio, pari a  $n=0.248$ .

I parametri  $a_i$  sono elaborati statisticamente al fine di trovare una funzione di distribuzione di probabilità in grado di associare un parametro  $a(T_r)$  al tempo di ritorno. Nella figura seguenti si esegue il confronto fra la funzione empirica di superamento e le funzioni di ripartizione ottenute con le distribuzioni di probabilità di Gumbel e di Frechet della variabile  $a_i$ .



Confronto fra funzioni di ripartizione di Gumbel e Frechet e frequenza empirica di non superamento



Confronto fra funzioni di ripartizione di Gumbel e Frechet e frequenza empirica di non superamento.

Nella tabella seguente è rappresentato il valore  $\Delta_{max}$  rappresentativo dell'adattamento della distribuzione di probabilità teorica alla frequenza empirica di non superamento, per quanto riguarda le distribuzioni Normale, LogNormale, Gumbel e Frechet.

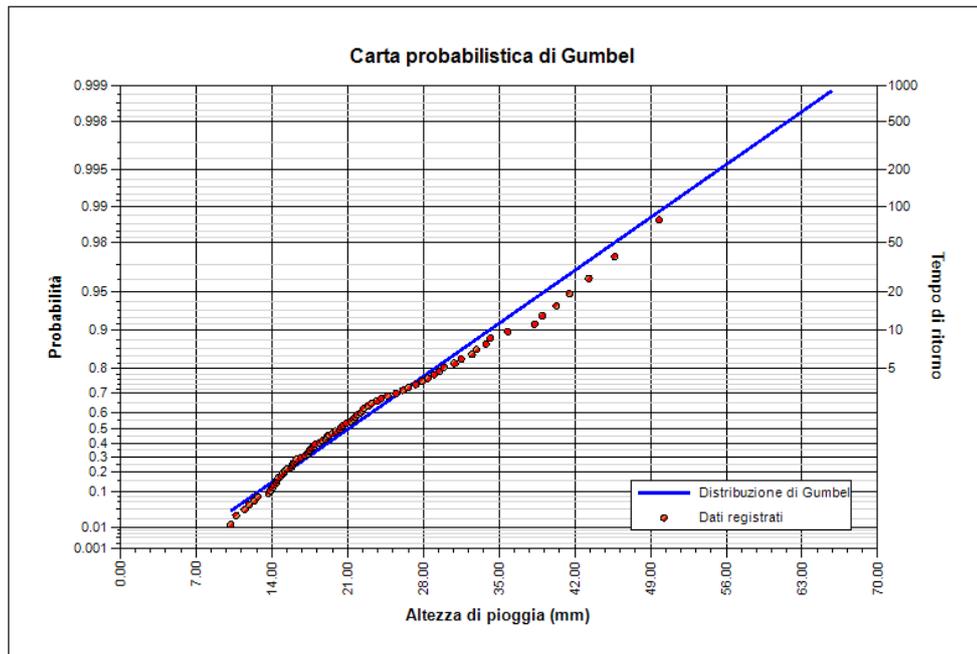
$$\Delta_{max} = \max [ass(P_i(x) \cdot F(a_i))]$$

	Dist. Normale	Dist. LogNormale	Dist. Gumbel	Dist. Frechet
$\Delta_{max}$	0.126	0.057	0.056	0.056

Valori del parametro  $\Delta_{max}$  per le distribuzioni teoriche Normale, Lognormale, Gumbel e Frechet.

Effettuando il test statistico di Kolmogorov-Smirnoff i valori di  $\Delta_{max}$  devono essere inferiori a  $\Delta_{0.99\%} = 1.63/(N)^{0.5} = 0.189$  (per l'intervallo di confidenza del 99%) e a  $\Delta_{0.95\%} = 1.36/(N)^{0.5} = 0.156$  (per l'intervallo di confidenza del 95%). Si può osservare che tutte le distribuzioni di probabilità elencate superano il test statistico, ma la funzione di probabilità teorica che meglio si adattano al campione sono la distribuzione di probabilità di Gumbel e Frechet; si utilizzerà la distribuzione di Gumbel in quanto è quella che solitamente descrive in maniera migliore.

Si riporta la carta probabilistica con la funzione di distribuzione di Gumbel per il campione in esame.



Carta Probabilistica: confronto tra variabile ridotta di Gumbel e variabile campionaria.

- c) definizione del parametro "a" in corrispondenza di diversi tempi di ritorno  $T_r$  adottando una distribuzione di probabilità di Gumbel

$$P(a) = \exp(-\exp(-\alpha(a-\beta)))$$

dove i parametri della distribuzione sono valutati mediante il metodo dei momenti

$$\alpha = 1.2825 / \sigma$$

$$\beta = \mu - 0.45006 \sigma$$

con

- $\sigma$  = scarto quadratico medio dei valori  $a_i$
- $\mu$  = media dei valori  $a_i$

La relazione tra  $a$  ed il tempo di ritorno  $T_r$  è dunque data dalla seguente espressione:

$$a(T_r) = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_r} \right) \right)$$

Nel caso in esame sono stati ottenuti i seguenti risultati:

$\sigma$	$\mu$	$\alpha$	$\beta$
8.90	22.59	0.14	18.58

$Tr$ (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n
$a$ (mm/ore <sup>-n</sup> )	34.20	39.20	40.78	45.66	50.51	55.34	61.71	0.181

### 7.2. Scelta delle curve di possibilità pluviometrica

A conclusione delle analisi precedentemente descritte sono stati messi a confronto i risultati delle elaborazioni delle diverse metodologie di calcolo, quindi sono stati considerati quelli ottenuti dalle seguenti fonti:

1. Metodo VAPI;
2. Applicazione del metodo di Gumbel ai dati ricavati dagli Annali Idrologici forniti dal Centro Funzionale Decentrato (CFD), incardinato nella Sezione Protezione Civile della Regione Puglia.

Il metodo VAPI illustrato in precedenza e utilizzato per il caso in esame, è stato sviluppato dal CNR, basandosi su un campione molto numeroso, quindi molto affidabile da un punto di vista statistico e idoneo per estrapolazioni probabilistiche con elevati tempi di ritorno. Tuttavia il campione di dati sul quale si basa tale metodologia è aggiornato alla fine degli anni '90.

I dati di pioggia registrati alla stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio ricavati dagli annali idrologici risultano invece più aggiornati con registrazioni sino all' anno 2019.

Si confrontano le piogge orarie ricavate dai metodi utilizzati:

Metodo	Tr (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n (-)
VAPI	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	33.8	40.19	42.25	48.65	55.04	61.43	69.89	0.247
Annali		34.2	39.2	40.78	45.66	50.51	55.34	61.71	0.181

Il confronto tra i risultati ottenuti evidenzia come il metodo del VAPI sia più cautelativo per tempi di ritorno superiori ai 20 anni per cui nel progetto in disamina saranno utilizzate le LSSP ottenute con il metodo della regionalizzazione.

### **7.3. Definizione delle altezze di pioggia per eventi inferiori all'ora**

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi; gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in egual modo. E' stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h$ , con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h$  di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno  $T$ , è dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

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

In cui  $t$  è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti,  $s$  è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame.

Nel caso in oggetto, per la Puglia il coefficiente assume il valore di 0.227 (Ferro, Bagarello, *Rainfall depth duration relationship for South Italy*, Journal of Hydrologic Engineering ASCE 1996). L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0.227}$$

Metodo	Tr (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n (-)
VAPI	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	33.8	40.19	42.25	48.65	55.04	61.43	69.89	0.227

## 8. STUDIO IDRAULICO

I campi di produzione di energia fotovoltaica previsti dal progetto nel caso specifico non necessitano di opere idrauliche specifiche.

L'inserimento sul terreno delle file di pannelli fotovoltaici non provocano praticamente modifiche al suolo; la superficie in terra viene temporaneamente lavorata per il posizionamento delle pannellature e successivamente ripristinata.

Non è prevista pavimentazione o rivestimento a terra di nessun tipo in quanto le strutture di sostegno dei pannelli sono completamente interrato a meno del montante su cui poggia la struttura lineare e non hanno necessità di essere posate sul piano campagna preventivamente livellato e rivestito con materiali artificiali e impermeabili.

Le viabilità di accesso previste per i siti indicati saranno realizzate con materiali naturali (pietrisco di cava) che consentono l'infiltrazione e il drenaggio delle acque meteoriche nel sottosuolo, pertanto non sarà ridotta la permeabilità del suolo attraverso manti stradali in bitume e asfalto; inoltre le livellette stradali seguiranno l'andamento naturale del terreno stesso quanto più possibile.

Le opere previste nelle 4 aree individuate per la produzione della energia elettrica dalla luce solare non richiedono dunque alcun elemento idraulico per l'intercettazione, trasporto e consegna a recapito poiché non si opera alcun cambiamento alla natura del suolo mantenendo inalterata la conducibilità idraulica del territorio.

Non si creano condizioni tali da alterare in modo significativo il naturale scorrimento delle acque meteoriche sui terreni interessati.

La regione Puglia non è normata in merito al principio dell'invarianza idraulica ovvero alla capacità delle reti di drenaggio, attuali e future, di laminare i volumi di piena e mitigare la portata di picco per eventi con diversi tempi di ritorno salvaguardando l'efficienza idraulica delle reti idrauliche naturali ed artificiali.

Pur non essendo presenti specifiche norme tecniche al riguardo si sottolinea come l'intervento sia completamente ininfluenza in termini di invarianza idraulica; non si introducono reti di drenaggio che convogliano le acque afferenti alle aree di progetto in unico punto, non si concentrano deflussi con

un aumento della portata di picco in una sezione di chiusura e non si riversano più volumi contemporaneamente in un solo recapito.

## 9. ASSETTO IDROGEOLOGICO E COMPATIBILITA' IDRAULICA

L'assetto idrogeologico dell'area interessata dall'intervento infrastrutturale in studio è regolamentato dal "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (di seguito P.A.I.), redatto dall'ex Autorità di Bacino Interregionale Puglia, oggi U.o.M. Regionale Puglia e interregionale Ofanto appartenente all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale, approvato con DPCM del 10 novembre 2006 e aggiornato con Decreto Segretariale n. 32/2015 dell'8 giugno 2015.

Il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico è redatto ai sensi e per gli effetti della legge n. 183/1989 e del decreto legge n. 180/1998, convertito nella legge n. 267/1998, della legge 365/2000.

Obiettivo del PAI è la ricerca di un assetto che, salvaguardando le attese di sviluppo economico, minimizzi il danno connesso ai rischi idrogeologici e costituisca un quadro di conoscenze e di regole atte a dare sicurezza alle popolazioni, agli insediamenti, alle infrastrutture ed in generale agli investimenti nei territori che insistono sui bacini appartenenti alla U.o.M. di competenza.

In quanto premessa alle scelte di pianificazione in senso lato, il piano stralcio individua i meccanismi di azione, l'intensità e la localizzazione dei processi estremi, la loro interazione con il territorio e quindi in definitiva la caratterizzazione di quest'ultimo in termini di pericolosità e di rischio.

Tutto il portato normativo, a cominciare dalla legge n. 225/1992 (con l'introduzione dei termini di rischio, di area a rischio, di previsione e di prevenzione) fino alla legge n. 365/2000 (con la partecipazione attiva dei Comuni nel processo di continuo aggiornamento della conoscenza del rischio), indica, ribadisce e conferma quale strumento tecnico-amministrativo di base la prioritaria attività di "individuazione e perimetrazione delle aree a rischio" per la corretta localizzazione delle ipotesi di sviluppo, nella convinzione che occorra raggiungere una stabilizzazione a livelli minimi accettabili tra l'uso del territorio e la presenza del rischio idrogeologico.

Obiettivo condiviso del Piano è quello di avviare un processo iterativo tra l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale, e gli enti territoriali competenti che renda possibile un aggiornamento "dinamico" del quadro del rischio in relazione alle future segnalazioni e richieste di

mitigazione del rischio dovute ai continui mutamenti idrogeologici del territorio e/o alle nuove acquisibili conoscenze.

La definizione del rischio fa riferimento alla nota relazione di Varnes:

$$R = P \times V \times B$$

in cui

- R: rischio espresso in termini di danno atteso riferito al costo sociale, di recupero e ristrutturazione dei beni materiali danneggiati dall'agente calamitoso;
- P: pericolosità ovvero probabilità di accadimento dell'evento di una certa intensità;
- V: vulnerabilità, quale percentuale del valore esposto che andrà perduto nel corso dell'evento;
- B: valore esposto, quale identificazione del valore sociale, economico, di persone, beni ed infrastrutture che ricadono nell'area soggetta al fenomeno.

Il concetto di probabilità è definibile come una funzione dal tempo di ritorno  $P=1/ TR$ .

Le simulazioni di propagazione della piena sono state condotte secondo tre diversi probabilità di accadimento a cui corrispondono tre livelli di pericolosità idraulica associata alla frequenza delle alluvioni:

1. Bassa pericolosità idraulica P1: è riferita a quelle porzioni di territorio inondabili comprese tra le piene con TR 200 e TR 500 e le aree marginali per la piena con TR 200.
2. Media pericolosità idraulica P2: è in primo luogo compresa tra il limite delle aree di esondazione diretta ed indiretta delle piene con TR 50 e TR 200 e le aree marginali per la piena con TR 50.
3. Elevata pericolosità idraulica P3: comprende le porzioni di territorio inondabili per le piene con tempo di ritorno compreso tra con TR 20 e TR 50. Si consente la libera divagazione dell'alveo inciso assecondando la naturalità delle dinamiche fluviali ed è definita dal limite delle aree di esondazione diretta della piena di riferimento con TR 50.

I tempi di ritorno e le portate stimate si assumono come valori convenzionali ed oggettivi tramite i quali si simulano gli eventi. I risultati della modellazione idraulica definiscono la pericolosità su un'area indipendentemente dalle sue destinazioni d'uso. Il valore del bene esposto dipende da

numerosi parametri che, considerati nella loro globalità, lo esprimono quantitativamente. La vulnerabilità di un bene dipende dalla sua capacità di resistere all'evento calamitoso in relazione all'intensità di quello specifico evento.

Vengono definite le seguenti classi di rischio:

- R4 rischio molto elevato per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche, si ricade nella fascia di esondazione contraddistinta dalla maggiore pericolosità, con  $20 < TR < 50$ ;
- R3 rischio elevato per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale, fasce di esondazioni comprese tra la TR 50 e TR 200 anni;
- R2 rischio medio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche, fasce di esondazioni comprese tra la TR 200 e TR 500 anni;
- R1 rischio moderato per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.

Le Norme Tecniche di Attuazione del PAI all'art.10 disciplinano gli interventi consentiti all'interno di esse ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica; sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36 ovvero in aree non inondate per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

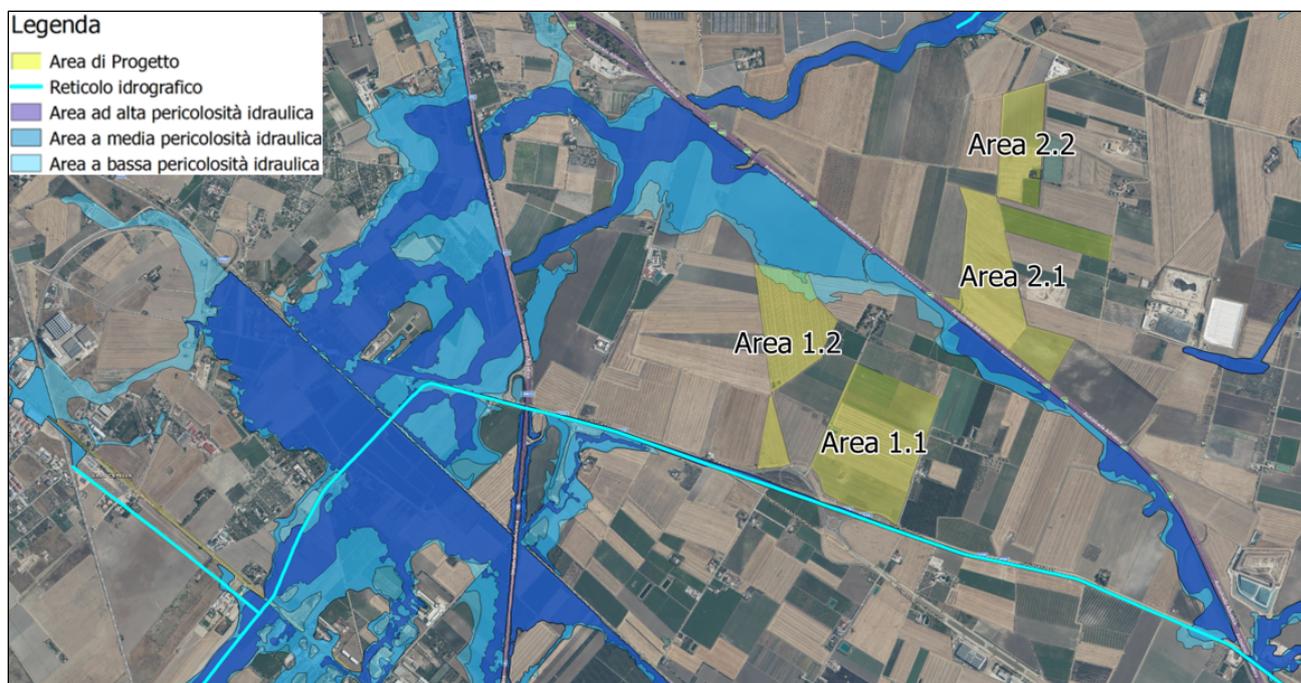
Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, come nel caso in disamina, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Si evidenzia inoltre che l'area 1.1 va in interferenza con la fascia di pertinenza fluviale e poiché non ricade in alcuna zona di pericolosità idraulica fa parte degli interventi consentiti.

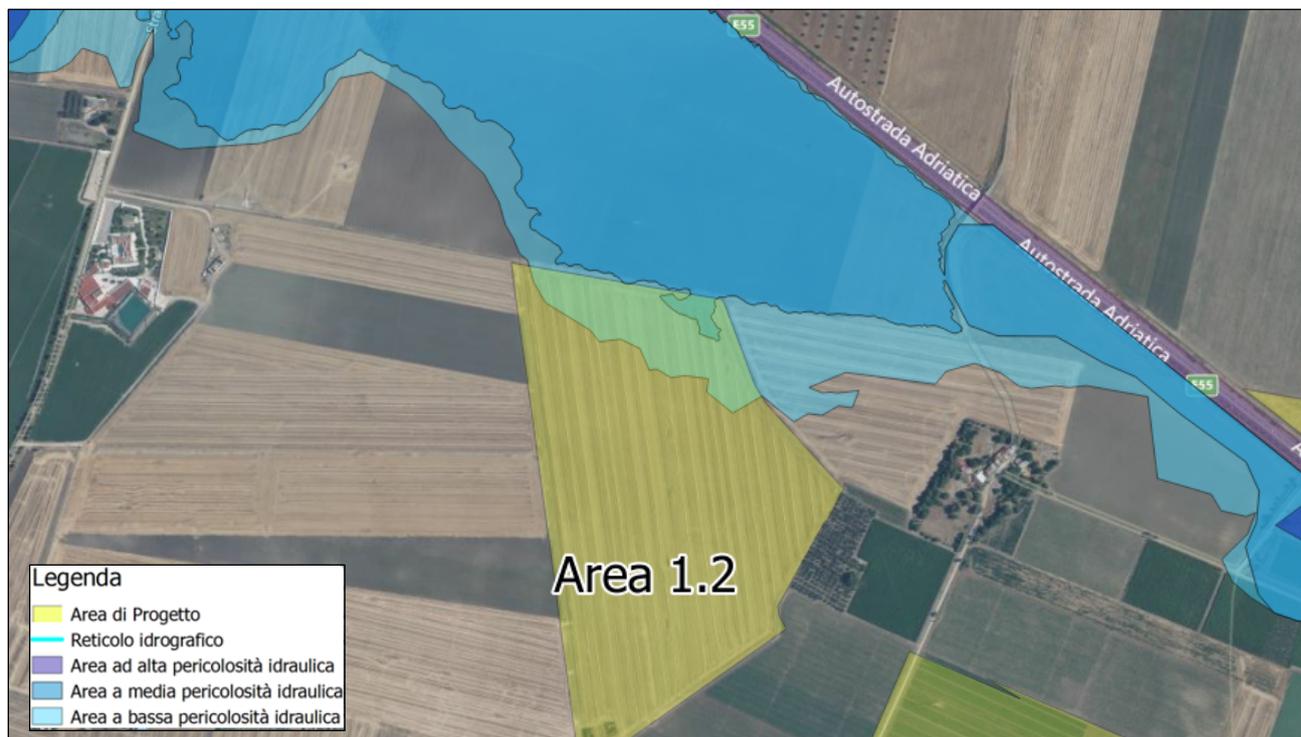
I territori indicati per la realizzazione di campi fotovoltaici, a meno della area 1.2, non vanno in interferenza con le aree di pericolosità idraulica individuate dal "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" Regione Puglia (2005), Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

Nello specifico si intersecano sia la perimetrazione con pericolosità P1, bassa pericolosità idraulica, sia quella con pericolosità P2, media pericolosità idraulica.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dei siti oggetto di studio.



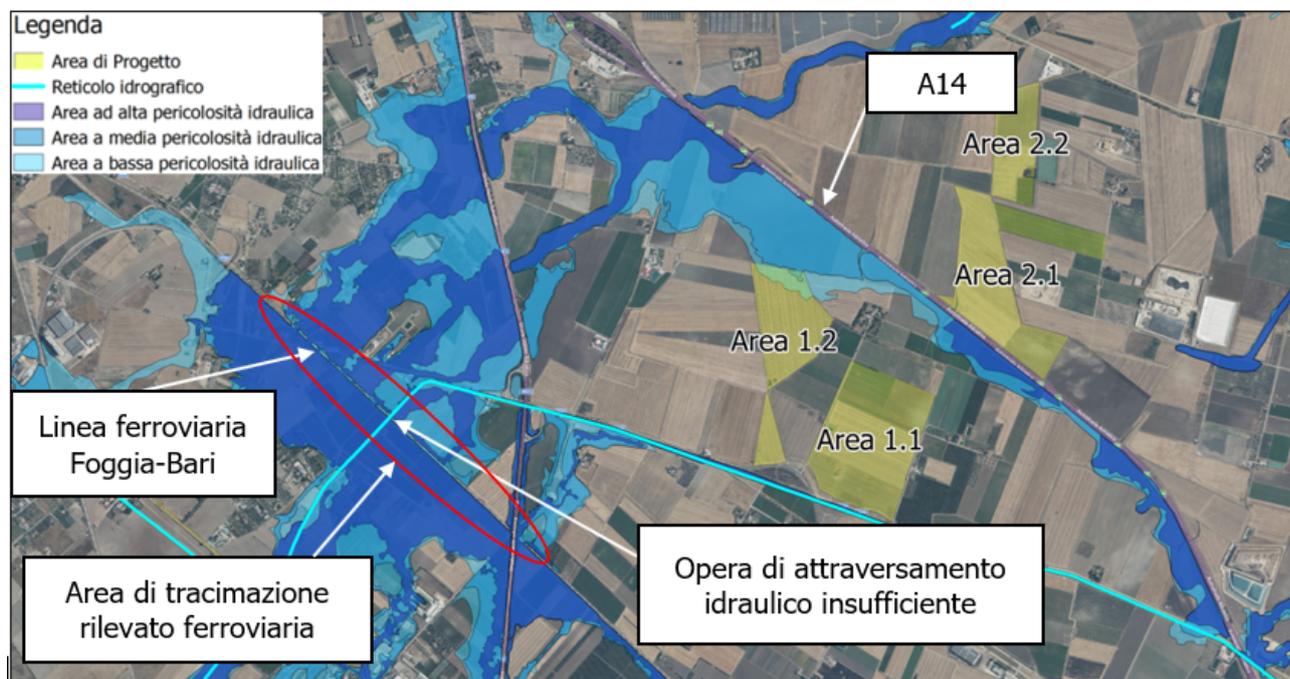
In particolare, l'area 1.2 interferisce per circa 2.53 ettari con la bassa pericolosità e circa 0.25 ettari con l'alta pericolosità idraulica.



Le aree interferite interessano esclusivamente aree agricole alle quali si associa il minimo rischio possibile in quanto non sono presenti edifici e/o infrastrutture con possibile presenza di personale e non si rilevano particolari attività economiche che possano essere danneggiate dall'eventuale allagamento.

Va evidenziato il fatto che non si rilevano corsi d'acqua in adiacenza alle zone di progetto tali da generare straripamenti come quelli riportati; essi sono da imputare all'esondazione del canale San Lorenzo in corrispondenza della ferrovia Foggia-Bari circa 1km a monte dell'area di intervento in disamina.

L'analisi planimetrica delle aree di pericolosità idraulica delle zone in questione mostra come gli allagamenti locali non siano successivi ad un superamento di argini o barriere come rilevati stradali o ferroviari in adiacenza all'intervento; essi sono provocati dall'accumulo dell'acqua esondata a monte in corrispondenza di un attraversamento idraulico insufficiente sulla linea ferroviaria Foggia-Bari che viene trascinata dall'onda di piena che va ad interessare una zona depressa e chiusa tra l'autostrada A14 e il naturale declivio del terreno.



Il fenomeno modellato dalla AdB Puglia evidenzia come l'insufficienza delle opere idrauliche atte a contenere e regimare l'evento di piena duecentennale abbia ripercussione sui territori a valle dell'asta principale che prosegue in direzione differente rispetto a quella dei volumi esondati.

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

Nelle norme tecniche di attuazione, all'art.8 *Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica (M.P.)*, si elencano gli interventi ammessi nelle aree di esondazione diretta ed indiretta delle piene con TR 50 e TR 200 e le aree marginali per la piena con TR 50.

Non sono menzionati specificatamente i campi di pannelli fotovoltaici, tuttavia essi possono essere annoverati tra quanto descritto nel comma 1-i) "realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione

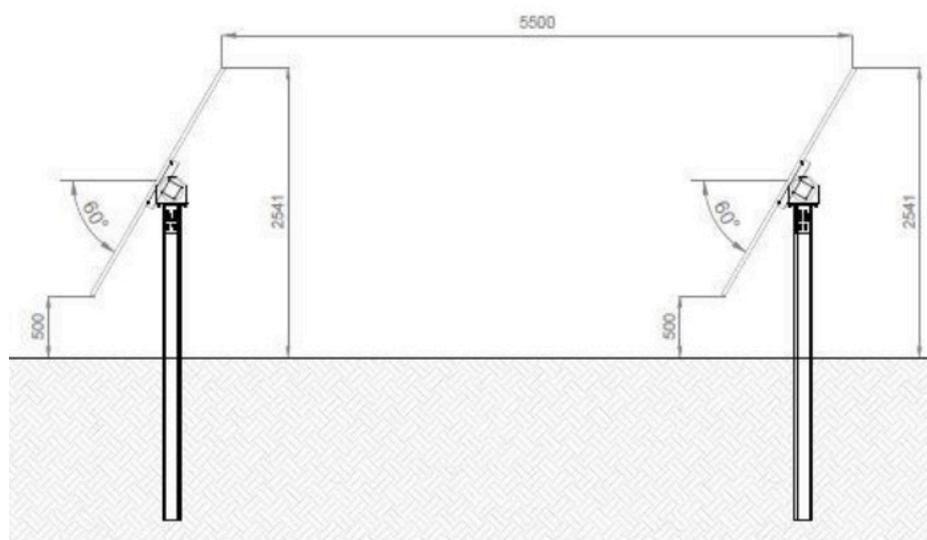
*ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata."*

Non trattandosi di opere d'arte permanenti, i pannelli fotovoltaici possono essere annoverati tra le strutture amovibili che non creano volumetrie e/o superfici impermeabili.

All'articolo 9 *Interventi consentiti nelle aree a bassa pericolosità idraulica (B.P.)* al comma 1 si riporta che "Nelle aree a bassa probabilità di inondazione sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale."

Dall'analisi degli interventi previsti emerge che non si inseriscono fabbricati o si attuano modifiche del territorio sostanziali; l'inserimento di pannelli fotovoltaici in termini idraulici si riduce alla sola presenza dei montanti di sostegno delle file dei moduli di produzione di energia elettrica senza la presenza continua di personale o fabbricati di alcun tipo quali guardiana o similari.

I pannelli solari non costituiscono in alcun modo ostacolo al deflusso delle acque e non sottraggono volume di possibile laminazione in caso di evento di piena essendo essi stessi posizionati a quota superiore al piano campagna con intradosso a circa 0.50 m dal terreno.



Nella peggiore delle ipotesi i montanti sui quali sono installati i pannelli sono assimilabili a piante da fusto e quindi il campo di produzione di energia fotovoltaiche può essere comparati ad una coltura di piante da frutto come ad esempio un vigneto (vedi figure seguenti).

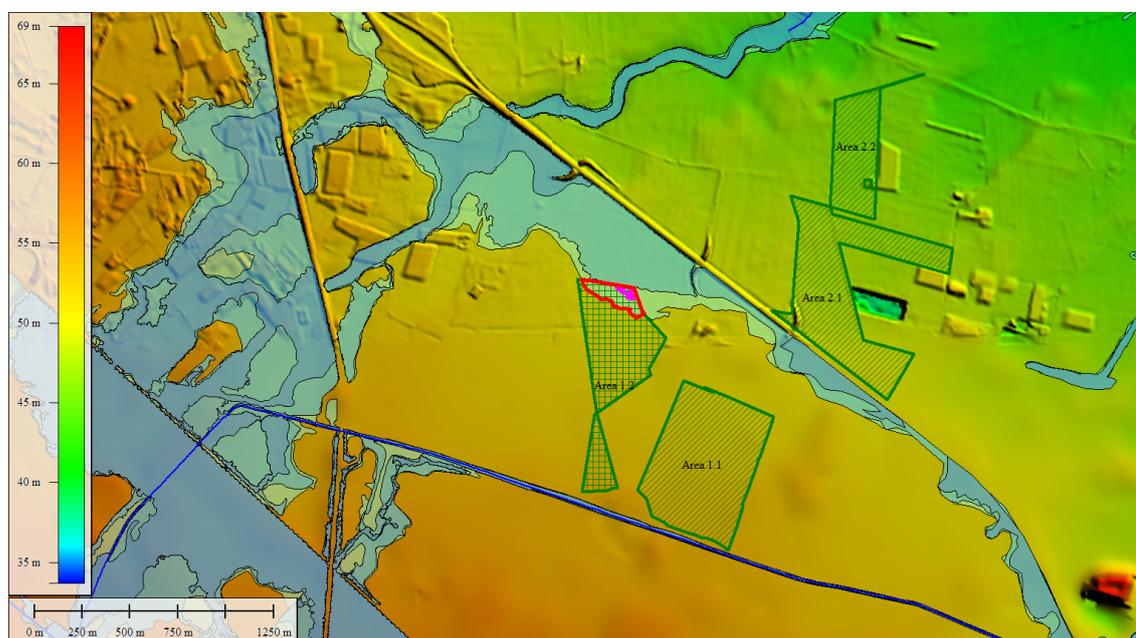
Progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto agrovoltaico denominato "CSPV MANFREDONIA" della potenza complessiva pari a 53,84 MWp e dalle relative opere di connessione alla RTN, da realizzarsi nei Comuni di Foggia (FG) e Manfredonia (FG)



È bene sottolineare che l'interferenza con le aree perimetrare avviene in una zona ben distante dal filone principale del deflusso delle acque; non si è in né alveo attivo né tantomeno in aree golenali.

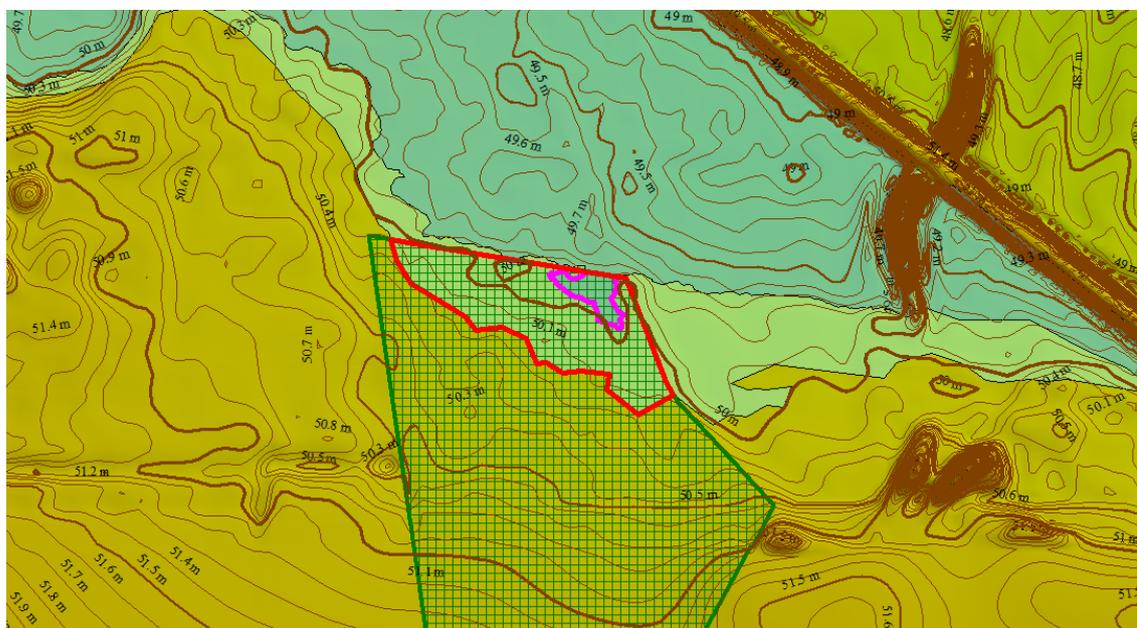
Le zone di progetto scelte sono in una zona marginale dove la presenza d'acqua è dovuta a risalita del pelo libero caratterizzata da bassi tiranti e velocità quasi nulle.

Si riporta uno stralcio planimetrico dell'interferenza rilevata su DTM estratto dai SIT (Servizi di Informazione Territoriale) della regione Puglia.



Dall'analisi del modello digitale del terreno è stato possibile estrarre le curve di livello e stimare i tiranti associati alle zone di pericolosità idraulica interferite.

Nelle immagine successive si mostrano le quote alle quali si attestano i contorni delle aree bagnate delle perimetrazioni indicate dal PAI.



Il confronto delle curve di livello con i contorni delle aree perimetrate di media e bassa pericolosità idraulica permettono di stimare i tiranti massimi associati che sono rispettivamente 10 cm e 25 cm nel punto più depresso ma mediamente si attestano su 5 cm e 10 cm.

Data la natura non invasiva dell'intervento che non altera in nessun modo l'assetto idrogeologico del terreno, non si va ad aumentare il rischio idraulico associato al territorio che non subisce trasformazione sostanziali che possano cambiare la risposta idraulica sia in termini di deflusso che di invaso. Le opere di progetto non impediscono l'eventuale realizzazione di opere atte alla riduzione o eliminazione del rischio idraulico.

A tal proposito è bene menzionare lo studio "Analisi delle Criticità connesse alle interferenze tra la rete infrastrutturale ed il reticolo idrografico pugliese" redatto dalla Autorità di Bacino nell'ambito del POFERS 2007-2013 Asse II – Linea di intervento 2.3 - Azione 2.3.6, con particolare riguardo agli elaborati *Relazione T. Cervaro* e la *Corografia Generale\_ Interventi di mitigazione del rischio idraulico T.Cervaro*. nel quale in riferimento al canale San Lorenzo viene individuata tra le varie criticità proprio l'opera di attraversamento con l'infrastruttura ferroviaria che è causa dell'allagamento interferente con le aree di progetto.

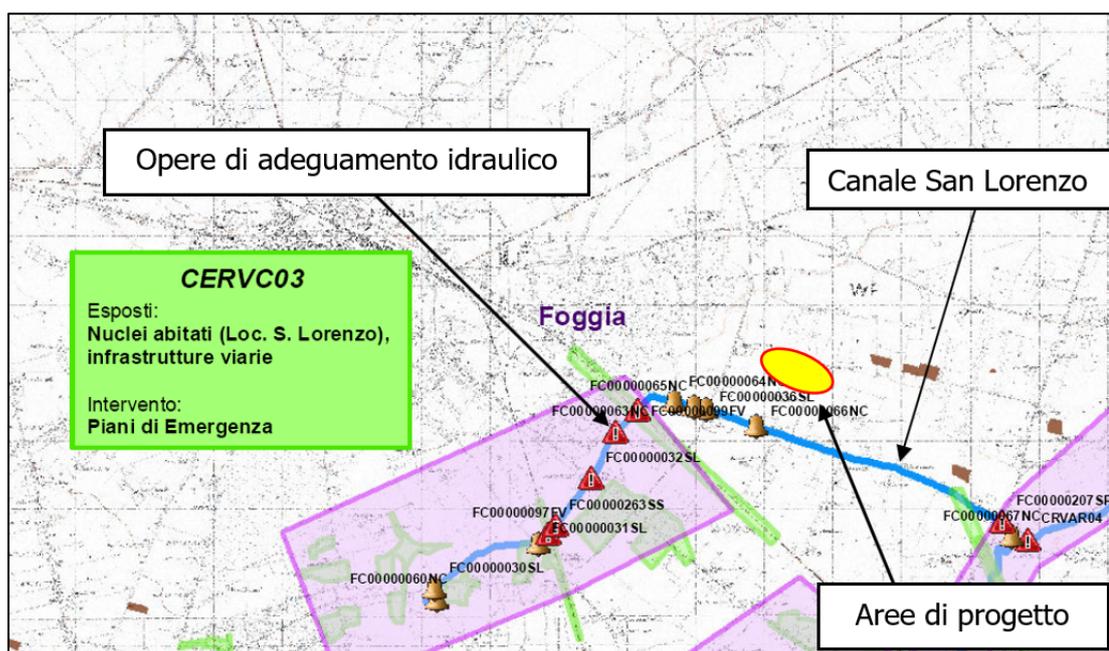
6.7 CANALE SAN LORENZO
Corografia generale: tavola 6.1.0
<b>INTERVENTI NON STRUTTURALI CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA</b>
<b><u>INFRASTRUTTURE PUNTUALI</u></b>
Comune: FOGGIA
○ CERVC03. Infrastrutture viarie (SS16, Linea ferroviaria Foggia - Benevento), edifici rurali ad uso abitativo e produttivo in Loc. S. Lorenzo
<b><u>INTERSEZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE SECONDARIE</u></b>
Comune: FOGGIA
1. FC0000060NC
2. FC0000030SL
3. FC0000031SL
4. FC0000064NC
5. FC0000065NC
6. FC0000036SL
7. FC0000066NC
8. FC0000067NC

"Analisi delle Criticità connesse alle interferenze tra la rete infrastrutturale ed il reticolo idrografico pugliese"

Canale San Lorenzo

Nello studio viene evidenziata la priorità e la conseguente necessità della messa in sicurezza della zona di San Lorenzo nel comune di Foggia, mediante:

- l'adeguamento delle opere di attraversamento idraulico al fine di consentire il passaggio della piena duecentennale nel rispetto di quanto prescritto dalla normativa vigente;
- rimodellazione, adeguamento e riprofilatura delle sezioni del canale sino all'intersezione con la linea ferroviaria al fine di garantirne l'efficienza idraulica per deflusso della Q200.



Stralcio Corografia Generale Interventi di mitigazione del rischio idraulico \_ Canale San Lorenzo

<b>INTERVENTI STRUTTURALI</b>	
<b><u>ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO</u></b>	
1. FC0000097FV	PORTATA di PROGETTO: 65 m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup>
2. FC0000263SS	PORTATA di PROGETTO: 65 m <sup>3</sup> /s
3. FC0000032SL	PORTATA di PROGETTO: 65 m <sup>3</sup> /s
4. FC0000063NC	PORTATA di PROGETTO: 65 m <sup>3</sup> /s
5. FC0000099FV	PORTATA di PROGETTO: 65 m <sup>3</sup> /s
6. FC0000207SP	PORTATA di PROGETTO: 78 m <sup>3</sup> /s <sup>4</sup>
<b><u>2013. INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI FOGGIA (ZONA SAN LORENZO)</u></b>	
Ubicazione dell'opera: Comune di Foggia	
Effetti di mitigazione: Comune di Foggia	
Allegato cartografico: -	
<p>La messa in sicurezza idraulica della zona San Lorenzo nel comune di Foggia è un intervento prioritario per la tutela della vita umana, delle infrastrutture viarie e degli insediamenti industriali e agricoli. Risulta essere quindi necessario l'adeguamento sia delle opere di attraversamento idraulico (FC0000032SL, FC0000063NC, FC0000099FV) che del canale, fino all'intersezione con la linea ferroviaria Foggia - Bari.</p>	
<p>1. Sistemazione idraulica del Torrente San Lorenzo</p> <p>Larghezza = 15 m                      Pendenza = 0.002 m/m                      Altezza = 2.3 m                      Lunghezza = 6500 m                      Q200 = 65 m<sup>3</sup>/s</p>	

"Analisi delle Criticità connesse alle interferenze tra la rete infrastrutturale ed il reticolo idrografico pugliese"  
 Canale San Lorenzo \_ Interventi strutturali

## 10. CONCLUSIONI

L'inserimento delle pannellature non altera quindi la configurazione dei luoghi che mantengono invariata la risposta idrologica e idraulica.

L'analisi svolta, pur con le cautele legate alle affermazioni richiamate, mostra che l'attuale situazione nella configurazione Ante Operam non presenta praticamente differenze con la configurazione Post Operam.

L'intervento di progetto non genera un aggravio di rischio idraulico rispetto a quello esistente e non comporta un impedimento per eventuali future opere finalizzate alla mitigazione dello stesso associato al territorio.

Il progetto in esame è dunque idraulicamente compatibile con la configurazione attuale dei luoghi e rispetta le norme della legislazione vigente in merito alla protezione dai rischi idraulici.