



Regione
Puglia



Provincia
di Foggia



Comune di
Foggia

Nome Progetto / Project Name

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "Agrosolar 3", della potenza complessiva pari a 28,439 MWp e delle relative opere connesse, nel comune di Foggia (FG).

Sviluppatore / Developer



RENEWABLE CONSULTING S.R.L.

Corso G. Matteotti, 65
71017 - Torremaggiore (FG)
P. IVA 02250560683
info@renewableconsulting.eu
www.renewableconsulting.eu

RENEWABLE
Consulting

Committente

PUGLIA AGROSOLAR 3 S.R.L.

Piazza Walther von Vogelweide, 8
39100 Bolzano
P.IVA 03176980211
REA BZ - 238503

Titolo documento / Document title

Relazione idraulica

Tavola / Pannel

Codice elaborato / Code processed

PA3_REL_IDR_04

N.	DATA REVISIONE	DESCRIZIONE REVISIONE	PREPARED	CHECKED	APPROVED
00	03/2024	PROGETTO PRELIMINARE			

Specialista / Specialist

Dr. geol. Baldassarre Franco LA TESSA

Timbro e firma / Stamp and signature

Progettisti / Planner

RENEWABLE CONSULTING S.R.L.

Nome file	Dimensione cartiglio	Scala
Relazione idraulica	A4	-

INDICE

PREMESSA.....	1
1. STUDIO IDROLOGICO.....	2
1.1 Procedure regionali di valutazione della precipitazione.....	2
1.2 Terzo livello di regionalizzazione.....	5
1.3 Indicazione delle portate idrauliche	7
2. INDICAZIONE DELLE FASCE DI PERICOLOSITA' IDRAULICA.....	9
3. RIFERIMENTI NORMATIVI RELATIVI ALLA PERICOLOSITA' IDRAULICA.....	11
4. ASPETTI INERENTI ALLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	13
5. COMPATIBILITÀ CON IL P.P.T.R.	14
6. ANALISI INTERFERENZE RETE DI CONNESSIONE	16
CONCLUSIONI	28

PREMESSA

La relazione idrologica-idraulica è redatta in conformità ai criteri dettati dall’Autorità di Bacino della Regione Puglia, istituita con L. R. n. 19 del 9 dicembre 2002, la quale ha approvato il Piano di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (PAI), di cui alla Legge 183/89, il 30 novembre 2005.

In essa viene condotto uno studio idrologico-idraulico dell’area di interesse necessario a definire, per l’intervento, le aree caratterizzate da portate meteoriche nelle condizioni di pericolosità idraulica alta, media e bassa, in base all’Aggiornamento Piano di Gestione del rischio di alluvioni II Ciclo (2016/2021) - Piano Adottato (CIP Del n.2 del 20/12/2021).

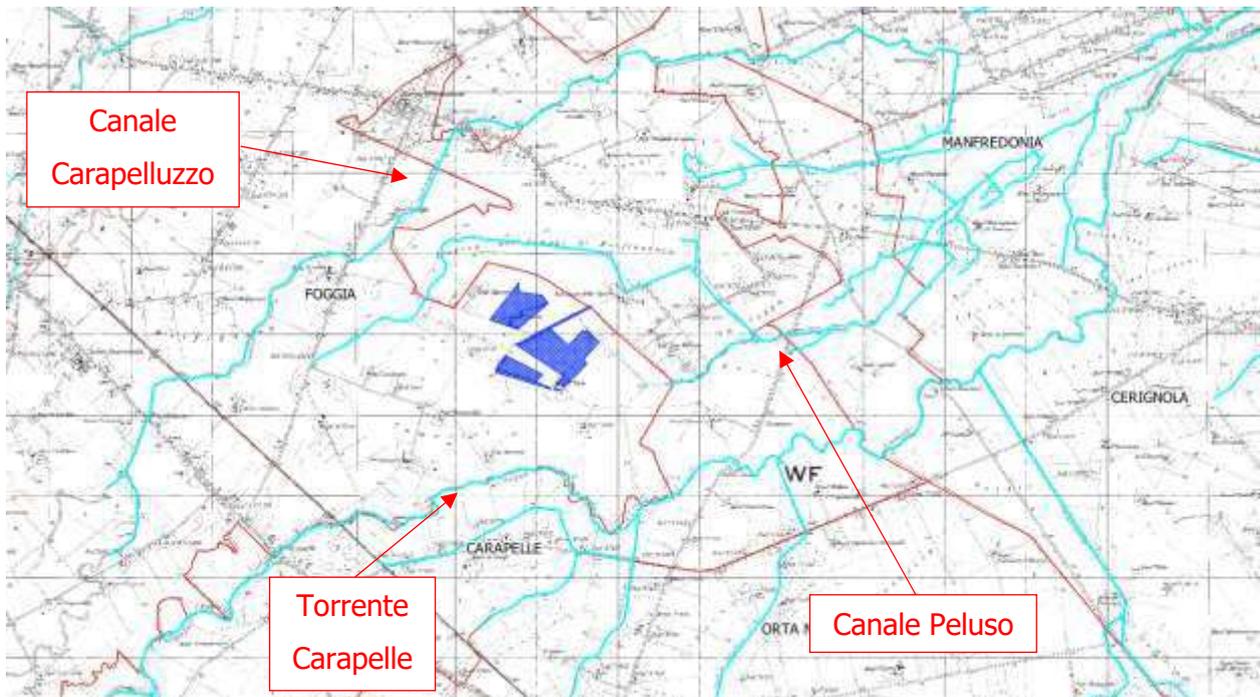
In particolare, l’area di intervento è posta all’interno del Comune di Foggia, in prossimità del confine territoriale con il Comune di Manfredonia (FG).

Come è possibile osservare nell’inquadramento su IGM, sebbene l’area di intervento non sia direttamente interessata da tratto di reticolo idrografico, nelle aree limitrofe sono presenti i canali Carapelluzzo e Peluso oltre al Torrente Carapelle.

Tali tratti di reticolo, interessando un contesto territoriale relativamente pianeggiante e con pendenze modeste, sono spesso interessati da notevoli esondazioni che saranno oggetto di analisi nel presente studio.



Inquadramento su ortofoto con indicazione dell’area di intervento.



Inquadramento interventi su IGM.

1. STUDIO IDROLOGICO

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena che, per prefissati tempi di ritorno, interessano un bacino idrografico e, di conseguenza, le sue infrastrutture, centri abitati, elementi vulnerabili.

In tutta la Puglia le stazioni di misura sono pluviometriche e non idrometriche, pertanto il calcolo della portata di piena deve essere realizzato attraverso un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Ai sensi del DPCM 29 settembre 1998, ai fini della perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, *“ove possibile, è consigliabile che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno... dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDCI-CNR”*. Nel caso dei bacini idrografici utilizzati per lo studio, si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto VAPI (VALutazione PIene), per la determinazione delle altezze critiche di precipitazione e delle curve di possibilità pluviometrica, utilizzate per il calcolo della portata al colmo di piena.

1.1 Procedure regionali di valutazione della precipitazione

Nelle applicazioni idrologiche, come detto, si presenta spesso la necessità di stimare valori di una determinata grandezza, per esempio la precipitazione, in siti privi di stazioni di misura, oppure con dati misurati che si giudicano insufficienti per numero e qualità.

A ciò rispondono le procedure regionali, sia quelle classiche, sia quelle proposte con i più recenti studi inerenti all'elaborazione statistica di dati spaziali.

Questi ultimi tendono a definire modelli matematici finalizzati ad una interpretazione delle modalità con cui variano nello spazio le diverse grandezze idrologiche.

L'analisi regionale degli estremi idrologici massimi, può essere condotta suddividendo l'area di studio in zone geografiche omogenee nei confronti dei parametri statistici che si è deciso di adottare.

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987). In questa distribuzione i parametri fondamentali sono: Θ_1 , Λ_1 , Θ_2 , Λ_2 , che rappresentano il parametro di scala ed il numero medio di osservazioni della variabile casuale Y provenienti dalla componente ordinaria e dalla componente secondaria. Si ottiene:

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1 \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$$

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali si possano considerare costanti i valori dei parametri Θ e Λ^* . Tali parametri devono essere stimati da un elevato numero di dati; questo comporta l'assunzione di una regione omogenea molto ampia. Le sottozone omogenee, caratterizzate oltre che dalla conoscenza di Θ^* e Λ^* anche dalla conoscenza di Λ_1 , sono individuate nel secondo grado di regionalizzazione; anche in questo livello si ipotizza che l'area indagata costituisca una zona omogenea. Si considerano solo le serie più numerose, in quanto la stima dei parametri suddetti è condizionata dalla presenza di dati di pioggia straordinari che hanno probabilità molto bassa di verificarsi in un periodo molto breve.

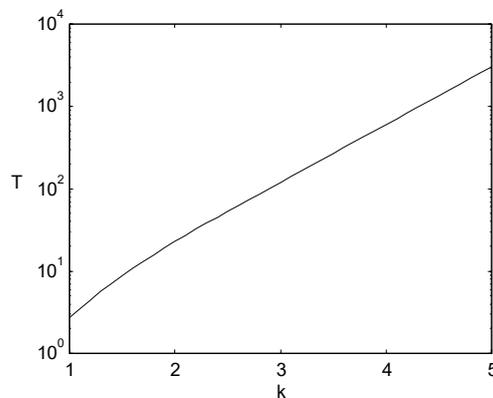
L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di sei zone e delle rispettive curve di possibilità climatica. L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione 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:

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

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto precedente corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i 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, C_a , e dei coefficienti di variazione, C_v , alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria. L'indipendenza dalla durata di $K_{t,T}$ (nel seguito indicato con K_T), autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

In base ai valori regionali dei parametri Θ^* , Λ e Λ_1 , si ottiene la curva di crescita per la zona della riportata nella seguente figura.



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

Il valore di K_T può essere calcolato in funzione di T attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

$$KT = a + b \ln T$$

in cui :

$$a = (\Theta^* \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1) / \eta ; b = \Theta^* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$C = 0.5772$, (costante di Eulero),

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda^i}{i!} \frac{\Gamma(i)}{(\Theta^*)^i}$$

Per semplificare la valutazione del fattore di crescita, nella tabella sono riportati, i valori di K_T relativi ai valori del periodo di ritorno adottati nella determinazione delle aree soggette a rischio di inondazione.

Tabella. Valori di K_T validi per la Regione Puglia.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (piogge)	0.91	1.26	1.53	1.81	1.9	2.1	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

1.2 Terzo livello di regionalizzazione

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito viene generalizzata nella forma:

$$\mu(X_t) = a t^{(Ch+D+\log\alpha-\log a)/\log 24}$$

in cui α è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_1)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea; $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità. Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare.

Nella figura si riporta la suddivisione della regione in aree omogenee.



Zone omogenee, 3° livello

Di seguito si riportano le equazioni che consentono di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare, per ciascuna zona:

Zona 1: $x(t) = 28.66 t^{(0.000503z+0.720)/3.178}$

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

Zona 3: $x(t) = 25.325 t^{(0.0696+0.000531z)/3.178}$

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

Zona 5: $x(t) = 28.2 t^{(0.628+0.0002z)/3.178}$

Zona 6: $x(t) = 33.7 t^{(0.488+0.0022z)/3.178}$

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale in zona 2.

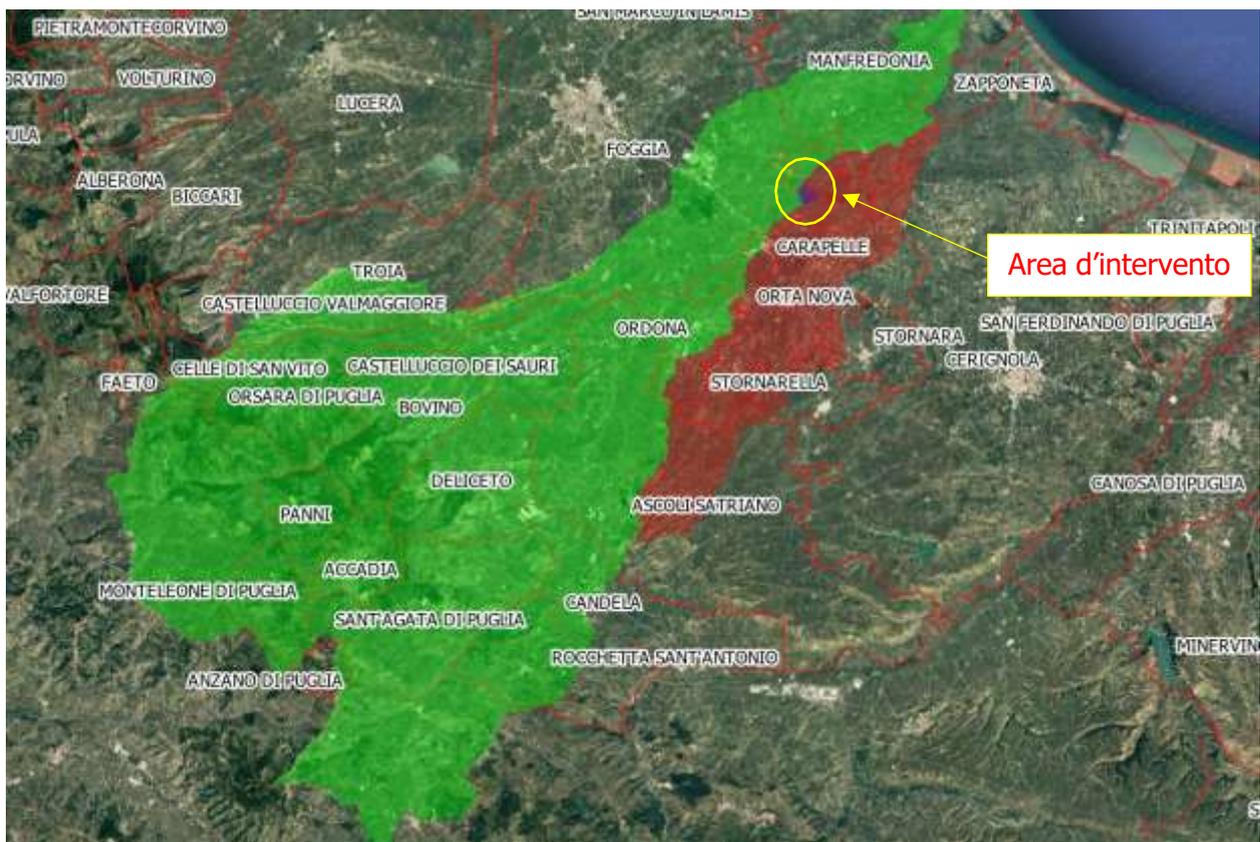
1.3 Indicazione delle portate idrauliche

I bacini idrografici sono stati individuati sul DEM a 10 m messo a disposizione dalla sezione di Pisa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Le portate riportate sono quelle fornite, per diverse sezioni, nelle condizioni di pericolosità idraulica alta, media e bassa, in base all'Aggiornamento Piano di Gestione del rischio di alluvioni II Ciclo (2016/2021) - Piano Adottato (CIP Del n.2 del 20/12/2021), dall'Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale.

Occorre osservare come:

- La risoluzione del DEM a disposizione, a 10 m, assieme all'orografia pianeggiante del territorio, non consentono l'identificazione, con adeguata precisione, dei singoli sottobacini che interessano direttamente l'area in progetto.
- Tuttavia, le sezioni di seguito descritte con le relative portate, sono quelle predisposte dall'Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale, e pertanto soggette ad approfondite caratterizzazioni idrologiche, sia nella definizione dei bacini idrografici che nelle relative portate ai diversi tempi di ritorno.



Bacini idrografici relativi al Torrente Carapelle (in rosso) ed al Canale Cervaro Nuovo (in verde).

Di seguito si riporta una illustrazione delle Sezioni Idrauliche fornite dall'Autorità di Bacino con una indicazione delle portate idrauliche nelle condizioni di alta, media e bassa pericolosità idraulica (A.P. - M.P. - B.P.).



Indicazione delle Sezioni Idrauliche fornite dall'Autorità di Bacino.

Tabella con indicazione delle portate (in m³/s) nelle diverse sezioni idrauliche.

Sezione	A.P.	M.P.	B.P.
FS_188	806.3	1344	1583
FS_189	-	20.63	40
FS_198	20.5	24.1	24.7

2. INDICAZIONE DELLE FASCE DI PERICOLOSITA' IDRAULICA

Di seguito si riportano le fasce di pericolosità idraulica messe a disposizione dall'Autorità di Bacino per l'area di interesse. In particolare, **appare evidente come l'area di intervento non sia interessata dalle fasce ad alta pericolosità idraulica (A.P.), bensì risulta essere interessata sia dalla media (M.P.) che dalla bassa (B.P.) pericolosità idraulica.**



Area di intervento (in rosso) con indicazione delle fasce ad alta pericolosità idraulica.



Area di intervento (in rosso) con indicazione delle fasce a media pericolosità idraulica.



Area di intervento (in rosso) con indicazione delle fasce a bassa pericolosità idraulica.



Area di intervento (in rosso) con indicazione delle tre diverse fasce di pericolosità idraulica.



Dettaglio dell'area di intervento (in rosso) con indicazione delle due diverse fasce di pericolosità idraulica, la media (più scura) e la bassa (più chiara) che intersecano l'area di intervento.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI RELATIVI ALLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Le Norme Tecniche di Attuazione del PAI sanciscono per le aree a media e alta pericolosità idraulica:

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

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

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

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

- c) interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- d) interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione*

degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;

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

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

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

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

i) realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;

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

k) ulteriori tipologie di intervento a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, previo parere favorevole dell'autorità idraulica competente e dell'Autorità di Bacino sulla coerenza degli interventi di messa in sicurezza anche per ciò che concerne le aree adiacenti e comunque secondo quanto previsto agli artt. 5, 24, 25 e 26 in materia di aggiornamento dal PAI. In caso di contestualità, nei provvedimenti autorizzativi ovvero in atti unilaterali d'obbligo, ovvero in appositi accordi laddove le Amministrazioni competenti lo ritengano necessario, dovranno essere indicate le prescrizioni necessarie (procedure di adempimento, tempi, modalità, ecc.) nonché le condizioni che possano pregiudicare l'abitabilità o l'agibilità. Nelle more del completamento delle opere di mitigazione, dovrà essere comunque garantito il non aggravio della pericolosità in altre aree.

2. Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi

5. COMPATIBILITÀ CON IL P.P.T.R.

Il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) è piano paesaggistico ai sensi degli artt.135 e 143 del Codice, con specifiche funzioni di piano territoriale ai sensi dell'art. 1 della L.R. 7 ottobre 2009, n. 20 "Norme per la pianificazione paesaggistica". Esso è stato approvato con deliberazione di giunta regionale n. 176 del 16 febbraio 2015 (pubblicata sul burp n. 40 del 23/03/2015) ed aggiornato secondo il DGR n. 1543 del 02/08/2019. Il PPTR persegue le finalità di tutela e valorizzazione, nonché di recupero e riqualificazione dei paesaggi di Puglia, in coerenza con le attribuzioni di cui all'articolo 117 della Costituzione, e conformemente ai principi di cui all' articolo 9 della Costituzione ed alla Convenzione Europea sul Paesaggio adottata a Firenze il 20 ottobre 2000, ratificata con L. 9 gennaio 2006, n. 14.

In merito al PPTR adottato dalla Regione Puglia l'area in questione ricade nell'Ambito Paesaggistico Tavoliere.

Il suddetto ambito a livello regionale trova rappresentazione cartografica negli elaborati del PPTR, ed oggetto nel Sistema delle Tutele: beni paesaggistici e ulteriori contesti. **Dall'analisi delle tavole del PPTR, risulta che l'area d'intervento non è interessata da alcuna delle componenti citate in Tabella.**

Tabella. Componenti del P.P.T.R.

Struttura	Componenti	Riferimento	Presenza
Idrogeomorfologica	Geomorfologiche	6.1.1	Non presente
	Idrologiche	6.1.2	Non presente
Ecosistemica ed ambientale	Botanico-vegetazionali	6.2.1	Non presente
	Aree protette	6.2.2	Non presente
Antropica e storico-culturale	Culturali insediative	6.3.1	Non presente
	Dei valori percettivi	6.3.2	Non presente

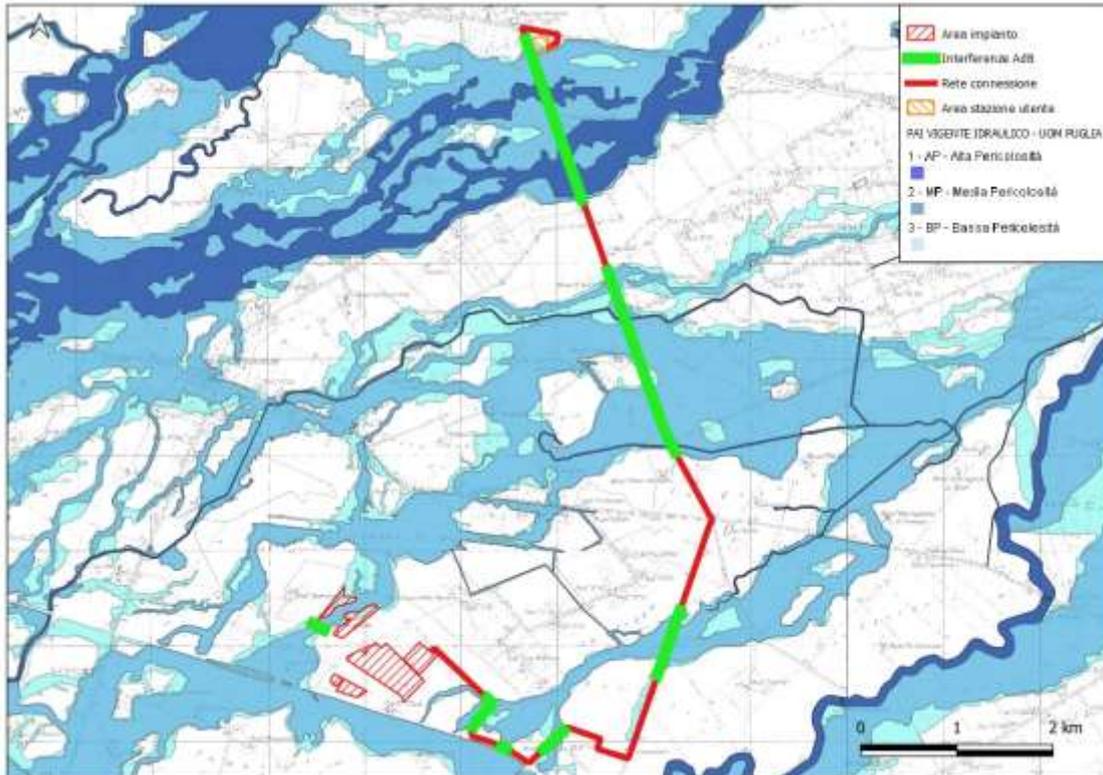
In particolare, si nota la sola vicinanza con un'area classificata come "Bosco" (6.2.1 – Componenti Botanico-vegetazionali) e con "Fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche (150m)" (6.1.2 – Componenti Idrologiche) rappresentati dai già menzionati "Canale Peluso", "Canale Carapelluzzo e Canale Ponte Rotto" e "Torrente Carapelle e Calaggio".



Inquadramento su P.P.T.R.

6. ANALISI INTERFERENZE RETE DI CONNESSIONE

Di seguito sono rappresentati gli stralci planimetrici relativi alle interferenze individuate tra le opere di progetto e le aree a pericolosità idraulica nonché il reticolo idrografico, così come riportato nella Carta AdB Puglia. (Cfr. Fig.1)



(Fig.1 Interferenza stazione utente con aree perimetrare PAI)

Le interferenze delle opere in progetto sono suddivise in:

- interferenze del Cavidotto di collegamento;

Le interferenze del cavidotto di collegamento individuate lungo il tracciato sono invece 8:

- 1) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare, il cavidotto verrà realizzato lungo strada comunale e tratturo. Non ci sono interferenze con il reticolo idrografico, ma con la con la perimetrazione a media e bassa pericolosità idraulica (MP-BP).



(Fig.2 Interferenze nn.1,2 e 3)

2) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente e ponte in cls. In particolare, il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp80 e attraversa un'area a media e bassa pericolosità idraulica, inoltre interseca il reticolo idrografico e precisamente il Canale Peluso. La strada attraversa il Canale Peluso mediante ponte in calcestruzzo. Qualora si dovesse optare per l'attraversamento con la TOC, è necessario eseguire il calcolo di approfondimento della TOC.



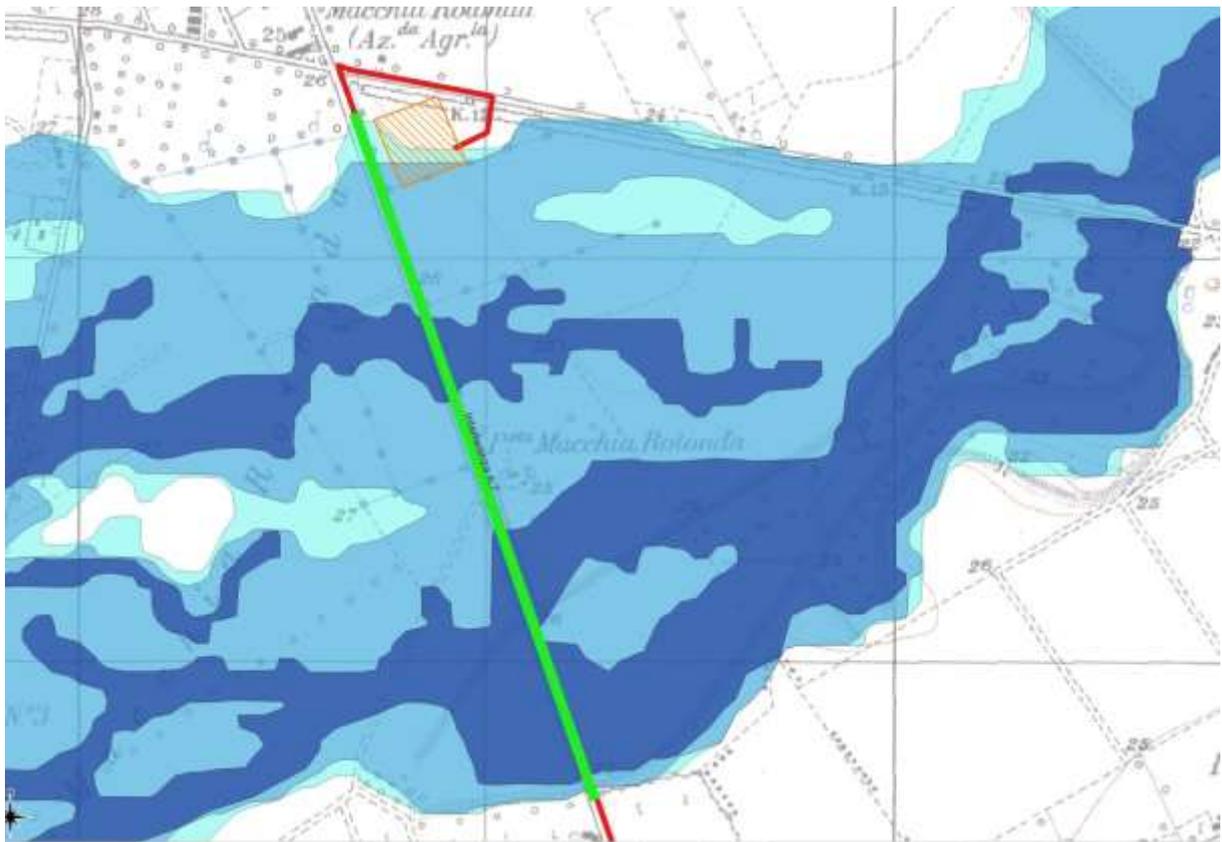
(Fig.3 Interferenza n.4)

3) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente e ponte in cls. In particolare, il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp80 e attraversa un'area a media e bassa pericolosità idraulica, inoltre interseca il reticolo idrografico e precisamente il Canale Pesca (int. n.5) e il Canale Carapelluzzo (int.n.6). La strada attraversa i due canali mediante ponti in calcestruzzo. Qualora si dovesse optare per l'attraversamento con la TOC, è necessario eseguire il calcolo di approfondimento della TOC.



(Fig.4 Interferenze nn.5 e 6)

4) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente e ponte in cls. In particolare, il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp80 e la SP 70 e attraversa un'area a alta, media e bassa pericolosità idraulica, inoltre interseca il reticolo idrografico minore in località Macchia Rotonda. La strada attraversa il reticolo mediante ponti in calcestruzzo. Qualora si dovesse optare per l'attraversamento con la TOC, è necessario eseguire il calcolo di approfondimento della TOC.



(Fig.4 Interferenza n.7)

Analisi Idraulica e Risoluzione delle Interferenze

Per l'individuazione delle modalità di risoluzione delle interferenze non si ritiene di dover effettuare ulteriori analisi e simulazioni idrauliche nelle aree di interesse essendo già state ben definite le aree di allagamento nella perimetrazione dell'Autorità di Bacino della Puglia riportata in precedenza.

Come già specificato l'unico elemento oggetto di progettazione che interferisce dal punto di vista idraulico con le aree perimetrate nonché con il reticolo idrografico è il cavidotto di collegamento.

Pertanto, si procede alla risoluzione delle interferenze riscontrate adottando tecniche costruttive volte a mantenere l'invarianza idraulica dei luoghi, ovvero a realizzare le opere di progetto mediante tecniche, quali per esempio la Trivellazione Orizzontale Controllata (ove necessario), per cercare di mantenere il più possibile inalterato lo stato fisico del territorio di intervento.

Interferenze Cavidotto

Cavidotto di collegamento: la costruzione del cavidotto comporta un impatto minimo per via della scelta del tracciato (in fregio alla viabilità), per il tipo di mezzo impiegato durante i lavori e per la minima quantità di terreno da portare a discarica, potendo essere in gran parte riutilizzato per il rinterro dello scavo a posa dei cavi avvenuta. La posa del cavo sarà effettuata su un letto di sabbia posta sul fondo dello scavo. Il rinterro avverrà mediante l'utilizzo di terreno selezionato e vagliato proveniente dallo scavo stesso previa apposizione di opportuni nastri segnalatori. Durante gli scavi devono essere realizzate opere atte ad impedire l'infiltrazione di acque piovane nelle trincee realizzate. La costruzione del cavidotto, dunque, avverrà senza comportare movimenti di terra che possano alterare in modo sostanziale e/o stabilmente il profilo del terreno, modificando l'aspetto esteriore o lo stato fisico dei luoghi rispetto alla situazione ante operam.

Tuttavia, lo sviluppo del percorso interrato del cavidotto, prevede, tra i vari attraversamenti, anche quelli sub-alveo in corrispondenza dei corsi d'acqua intercettati. Tali attraversamenti saranno realizzati prevalentemente per mezzo della tecnica No-Dig quale Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) (*cf. Fig.5*). Tale tecnica viene utilizzata per la posa in opera di nuove condotte interrate e consente attraversamenti di corsi d'acqua, zone soggette a tutela ambientale, ecc.. senza modificare lo stato dei luoghi poiché in sotterraneo e non avendo dunque ripercussioni dal punto di vista idrogeologico.

Tale tecnica consente di posare, per mezzo della perforazione orizzontale controllata, linee di servizio sotto ostacoli quali strade, fiumi e torrenti, edifici e autostrade, con scarso o nessun impatto sulla superficie.

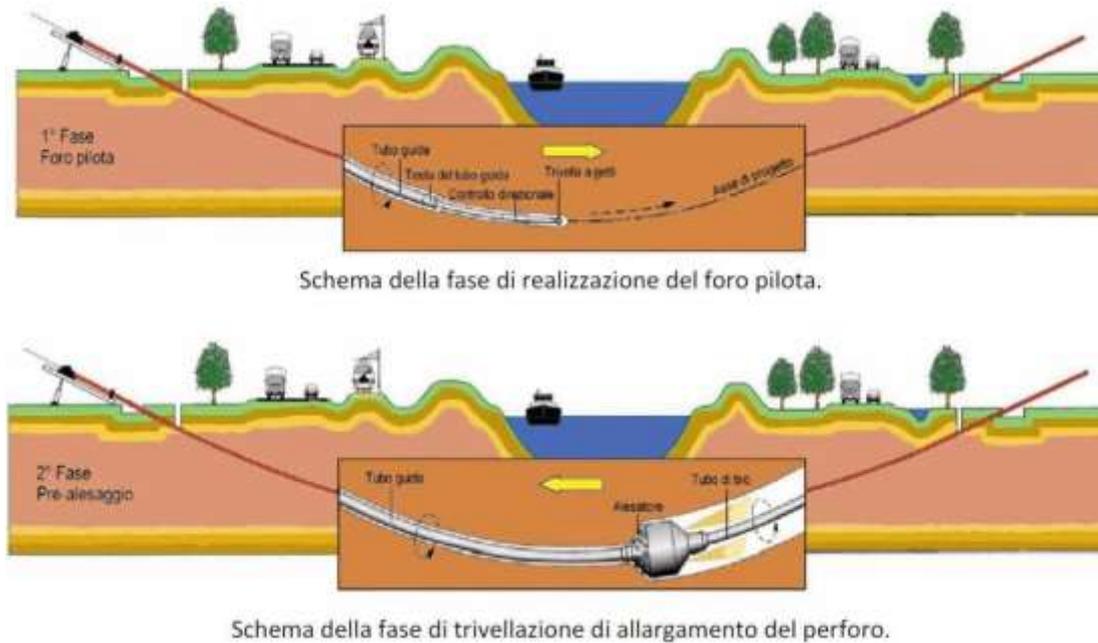
Questo tipo di perforazione consiste essenzialmente nella realizzazione di un cavidotto sotterraneo mediante il radio-controllo del suo andamento plano-altimetrico. Il controllo della perforazione è reso possibile dall'utilizzo di una sonda radio montata in cima alla punta di perforazione, questa sonda dialogando con l'unità operativa esterna permette di controllare il percorso della trivellazione e correggere in tempo reale gli eventuali errori.



(Fig.5 Trivellazione Orizzontale Teleguidata)

L'esecuzione della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) consta essenzialmente di due fasi di lavoro (cfr. Fig.6):

- In una prima fase, dopo aver piazzato la macchina perforatrice, si realizza un foro pilota, infilando nel terreno, mediante spinta e rotazione, una successione di aste guidate opportunamente dalla testa, crea un percorso sotterraneo che va da un pozzetto di partenza a quello di arrivo;
- nella seconda fase si prevede che il recupero delle aste venga sfruttato per portarsi dietro un alesatore che, opportunamente avvitato al posto della testa, ruotando con le aste genera il foro del diametro voluto ($\varphi = 200 \div 500\text{mm}$). Insieme all'alesatore, o successivamente, vengono posati in opera i tubi camicia che ospiteranno il cavidotto. Infine, si effettuerà il riempimento delle tubazioni con bentonite.



(Fig.6 Fasi realizzative T.O.C.)

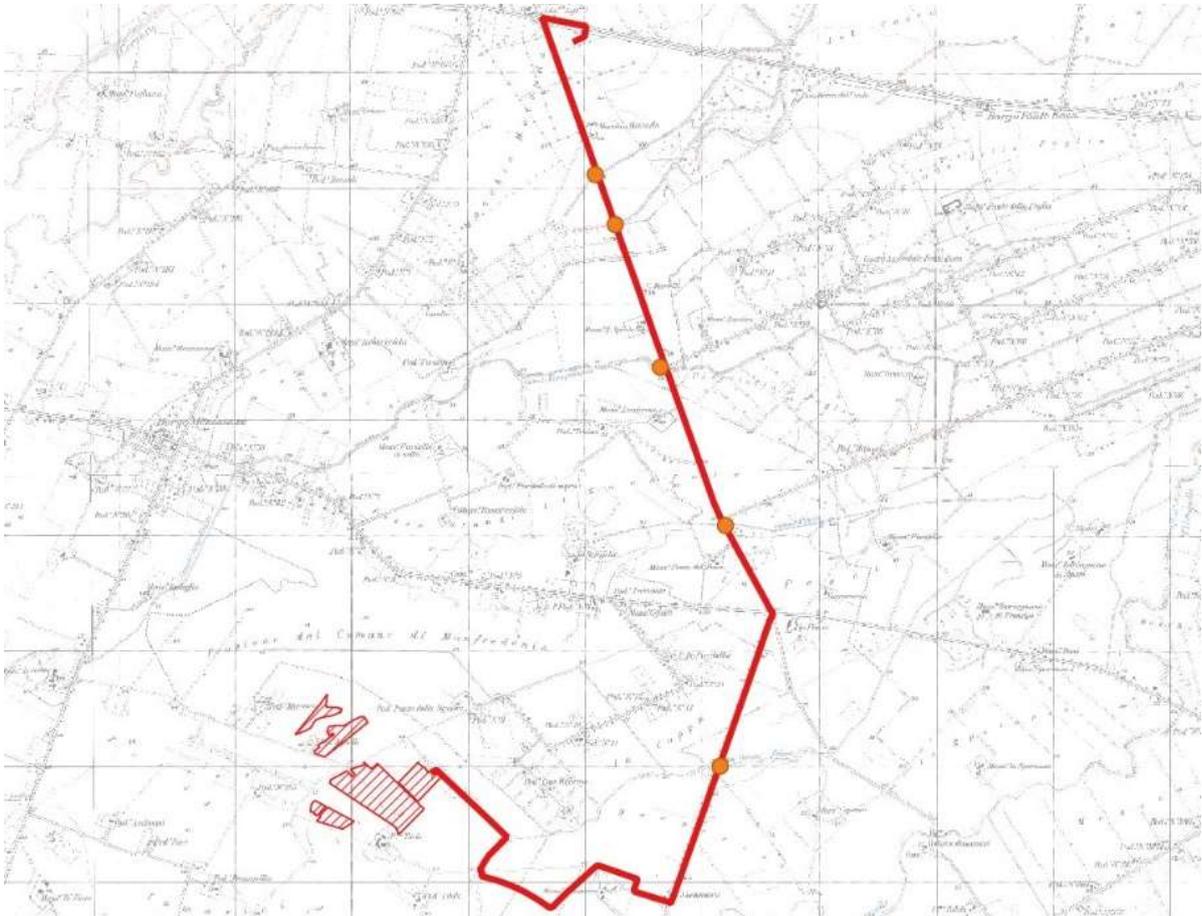
Il tracciato realizzato mediante tale tecnica consente in genere, salvo casi particolari, inclinazioni dell'ordine dei 12÷15 gradi. In genere la trivellazione viene eseguita quasi sempre ad una profondità che parte ad almeno 1,50 m sotto l'alveo dei corsi d'acqua, mentre i pozzetti di ispezione che coincidono con quello di partenza e di arrivo della tubazione di attraversamento vengono realizzati alla quota del terreno ed opportunamente individuati mediante paline segnalatrici. I pozzetti di ingresso e di uscita devono essere posti al di fuori delle aree allagabili.

L'intervento verrà eseguito rigorosamente in sicurezza idraulica al fine di avere il cavo di MT in posizione di tutta sicurezza rispetto alle possibili ondate di piena.

Si raccomanda di effettuare le opportune indagini geologiche e geognostiche al fine di scongiurare la presenza di trovanti ed altri elementi di disturbo che renderebbero difficoltoso l'utilizzo di tale tecnologia. Si raccomanda inoltre il monitoraggio dei tratti caratterizzati da T.O.C. durante la fase di esercizio dell'impianto per valutare possibili fenomeni erosivi della tubazione dovuta per esempio a piene due centennali o alle modifiche del percorso di flusso per cause antropiche.

Per quanto riguarda le caratteristiche del sito in oggetto, i punti terminali di tale tratta presentano spazi sufficienti sia per il posizionamento e l'orientamento della macchina sia per la posa in opera dei tubi camicia.

La scelta della tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) per tutti gli attraversamenti, oltre che per motivi di minore interferenza sul regime idraulico e, in generale, minore impatto ambientale, deriva anche dalla impossibilità tecnica di eseguire sistemi alternativi.



(Fig.7 Interferenze da analizzare)

Per l'analisi si terrà conto della stratigrafia del sottosuolo ed in particolare del fatto che l'erosione interesserebbe prevalentemente lo strato di sabbie argillose con silt e argille giallastre che si trova immediatamente sotto lo strato di terreno vegetale.

Per quanto sopra detto, le verifiche verranno effettuate fissando un diametro caratteristico delle sabbie argillose con silt e argille giallastre (d_{car}) pari a 0.1 mm. usando un peso specifico del materiale pari a 1400kg/m^3 .

Sulla base delle stime dei modelli idraulici determinati verranno considerati i parametri idrodinamici relativi all'area di indagine succitata considerando nello specifico valori di velocità, del tirante idrico e della pendenza in prossimità dei punti di attraversamento, denominata interferenza 4,5,6 e 7. A vantaggio della sicurezza verranno aumentati i valori dei tiranti idrici registrati in prossimità delle interferenze, verrà calcolato il valore della spinta idrodinamica dell'acqua con la formula seguente:

$$\tau = \gamma_{acqua} * i_{med} * h$$

Per definire l'effettivo grado di erosione cui è soggetto il terreno interessato dall'evento di piena si utilizzerà la teoria di Shields. Tale teoria si basa sull'ipotesi che la spinta esercitata dalla corrente sulla particella solida sia proporzionale alla superficie investita,

a sua volta funzione del diametro delle particelle solide, nonché sull'assunzione che la forza resistente dipenda esclusivamente dalla forma del terreno soggetto ad esondazione. A seguito di tale teoria è stato definito l'Abaco di Shields, nel quale è messo in relazione il parametro di Shields $[Y_c]$ con il numero di Reynolds di attrito $[Re^*]$. Tale Abaco assume:

- un andamento lineare decrescente di Y_c per un $[Re^* < 1]$ a flusso laminare;
- un andamento costante per $[Re^* > 400]$ con $[Y_c = 0.056]$ a flusso turbolento;
- un andamento non lineare di Y_c per un $[1 < Re^* < 400]$ zona intermedia.

Il numero di Reynolds di attrito è definito a partire dalla relazione:

$$Re^* = \frac{\sqrt{\tau} * d_{car}}{\nu}$$

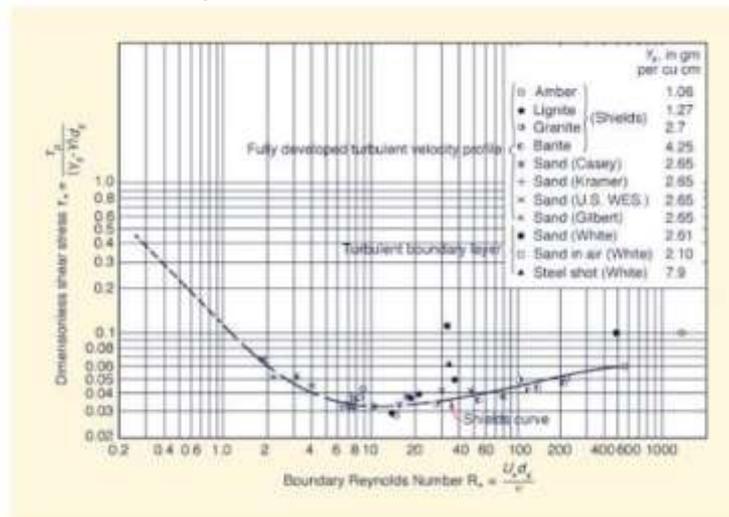
con ν la viscosità cinematica espressa in m^2/s e ρ la densità del fluido in kg/m^3 .

Definito il parametro di Shields in base all'abaco fornito (cfr. Fig. 15) è possibile ricavare la tensione tangenziale di moto incipiente che rappresenta il valore limite delle resistenze del terreno, dopo di cui il materiale subisce erosione:

Si quantifica a questo punto il materiale eroso al fine di determinare la massima

$$\tau_c = Y_c(\gamma - \gamma_{acqua})d_{car}$$

profondità a cui tale erosione può arrivare.



(Fig. 15 Abaco di Shields)

A tal fine si utilizza lo studio di Du Boys, le cui equazioni mettono in conto l'eccesso di tensione tangenziale rispetto al valore critico $[\tau_c]$. Il modello di trasporto proposto da Du Boys considera un volume avente lunghezza, nella direzione del fluido, ed una larghezza d'alveo unitaria. In questo modo è possibile definire la massima profondità raggiunta dall'effetto dell'erosione del terreno, definita come portata solida volumetrica.

Al fine di definire detta portata solida volumetrica è necessario calcolare il parametro definito come coefficiente caratteristico del materiale secondo Du Boys (ψ), dedotto dalle esperienze di Zeller in funzione del diametro caratteristico del materiale e del suo peso per unità di volume.

$$\psi = \frac{1.8143}{\gamma * d_{car}^{0.7453}}$$

La portata solida volumetrica (q_s) è definita dalla formula:

$$q_s = \psi \tau (\tau - \tau_c)$$

Per passare dalla portata solida volumetrica alla quantità di materiale eroso, si fa riferimento ad una velocità media del fluido in m/s, desunta dalle simulazioni effettuate; il modello utilizzato da Du Boys considera un volume di osservazione avente lunghezza e larghezza unitaria; pertanto, l'unica incognita (X) è rappresentata dalla profondità. Di seguito la relazione per la stima del volume del materiale solido con il modello di Du Boys

$$V_{mat.solido} = lung \cdot larg \cdot prof = 1 \cdot 1 \cdot X = X \text{ m}^3$$

È necessario sottolineare alcune delle assunzioni del modello, ossia che:

- il materiale solido a contatto con il fluido ne assume la stessa velocità;
- l'andamento della velocità con la profondità decresce linearmente, fino ad una profondità a cui il materiale solido non è soggetto ad erosione.

Quindi, la velocità del materiale solido eroso varia da quella del fluido al valor nullo.

La relazione per il calcolo della velocità media del materiale solido trasportato con variazione lineare lungo la verticale è la seguente:

Partendo dalla portata solida volumetrica si può ricavare la profondità a cui il

$$v_{media \text{ mat.solido}} = \frac{v_{max} + v_{min}}{2} = \frac{v_{fluido} + 0}{2}$$

materiale è soggetto ad erosione (X):

$$q_s = v_{M \text{ mat.solido}} \cdot larg \cdot prof = v_{M \text{ mat.solido}} \cdot 1 \cdot X = v_{M \text{ mat.solido}} \cdot X \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$X = \frac{q_s}{v_{M \text{ mat.solido}}}$$

In base al modello di trasporto, sopra citato, la portata volumetrica verrà calcolata con una lunghezza e larghezza unitaria tale da rendere incognita solo la profondità del volume trasportato. Quest'ultima, dunque coinciderà con la profondità (in metri) della materia erosa. Pertanto, si può stimare la "profondità suggerita" (X_s), ossia la massima erosione dal piano campagna già comprensiva del franco di sicurezza pari ad 1.00 metro. Quindi è lecito definire il materiale al di sotto di tale profondità stabile e non soggetto ad alcun tipo di erosione.

$$X_s = X + 1.00 \text{ m}$$

(Es. Tab.I Valori consigliati di scavo)

Interferenza	d car(mm)	tirante max(m)	velocità max (m/s)	pendenza media	peso specifico materiale (kg/m ³)	Re*	spinta idrodinamica (T=γih) (kg/m ²)	n. di Shields	Tensione tangenziale di moto incipiente	Du boys	portata solida volumetrica (qs)	v media mat solido	Profondità di erosione (m)	Profondità consigliata di scavo (m)
5	0.1	2.5	2.14	0.015	1400	19.39	37.5	0.038	0.00152	0.007	10.1374	1.07	4.474	5.5

Si sottolinea che negli studi dei fenomeni erosivi, verrà ipotizzato il terreno di tipo monogranulare. La presenza, invece, di materiale più grossolano anche se in quantità minori, tende a fornire un effetto di schermatura sulle particelle fini e di conseguenza, si ritiene che tale studio sia abbastanza cautelativo in termini di sicurezza. Allo scopo di proteggere il cavidotto si consiglia di dotarlo di opportuno contro tubo.

CONCLUSIONI

Sulla base di quanto analizzato nel presente studio idrologico-idraulico, si segnala la sovrapposizione dell'area di intervento con le aree a media e bassa pericolosità idraulica. Pertanto, si prevede di escludere dalle aree destinate alla realizzazione del parco fotovoltaico in progetto quelle ricadenti nelle aree ad alta e media pericolosità idraulica, in accordo con quanto riportato nei riferimenti normativi. Le aree di intervento (sia dell'impianto che della rete di connessione) non comportano alcuna modifica al perimetro delle aree a media e alta probabilità di inondazione, corrispondenti rispettivamente al passaggio di portate di piena aventi tempo di ritorno pari a 200 e 500 anni, e nessuna variazione di sicurezza del livello delle aree adiacenti.

Inoltre, la stessa opera non comporta alcuna modifica della morfologia dei reticoli idrografici e delle caratteristiche naturali esistenti. Sulla base delle valutazioni effettuate nel seguente studio si può concludere che l'intervento di progetto risulta essere compatibile con le finalità e prescrizioni del Piano di Assetto idrogeologico dell'AdB D.A.M. sede della Puglia.

Il tecnico
Dr. geol. Baldassarre Franco LA TESSA