

REGIONE PUGLIA
Comune di San Paolo di Civitate
Provincia di Foggia



Ing. Nicola Roselli - Termoli (CB)
 email ing.nicolaroselli@gmail.com



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO NECESSARIO ALLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA E DELLE RELATIVE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE DELLA POTENZA NOMINALE MASSIMA DI 54998 KW E POTENZA IN A.C. DI 50400 KW, SITO NEL COMUNE DI SAN PAOLO DI CIVITATE (FG) CON OPERE DI CONNESSIONE RICADENTI ANCHE NEI COMUNI DI SERRACAPRIOLA (FG) E DI LESINA (FG)

TITOLO TAVOLA

RELAZIONE IDRAULICA

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI
PROGETTISTI Ing. Nicola ROSELLI Ing. Rocco SALOME PROGETTISTI PARTI ELETTRICHE Per.Ind. Alessandro CORTI CONSULENZE E COLLABORAZIONI Arch. Gianluca DI DONATO Dott. Massimo MACCHIAROLA Ing. Elvio MURETTA Archeol. Gerardo FRATIANNI Geol. Vito PLESCIA	LIMES 4 S.R.L SEDE LEGALE, Milano, Cap 20121 via Manzoni n.41 P.IVA 10307450964	

4.2.5	FILE B4XNJR9_4.2.5_RelazioneIdraulica	CODICE PROGETTO B4XNJR9	SCALA
--------------	--	-----------------------------------	-------

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	26/06/2023	EMISSIONE	ROSELLI	LIMES4	LIMES4
B					
C					
D					
E					
F					

Tutti i diritti sono riservati. E' vietata qualsiasi utilizzazione, totale o parziale, senza previa autorizzazione

Sommario

1. SINTESI NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL PAI DELLA ADB REGIONALE PUGLIA E INTERREGIONALE OFANTO.....	3
2. ANALISI IDRAULICA.....	6
3. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA.....	7
4.1 DEFINIZIONE DELL'INPUT PLUVIOMETRICO.....	7
4.2 LE PORTATE DI PIENA NELLE SEZIONI DI INTERESSE A SCALA REGIONALE.....	9
4.3 CURVE DI INVILUPPO.....	9
4.4 CARATTERISTICHE DELLE AREE DRENATE DAL CANALE RICETTORE. ...	12
4.5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	12
4.6 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LE VERIFICHE IDRAULICHE.....	12
4. DESCRIZIONE INTERFERENZE E VERIFICHE IDRAULICHE.....	13
4.1 ADIACENZA CON CANALE TONNINORO: L'AREA DI IMPIANTO È SITA IN SINISTRA IDRAULICA DEL CANALE NATURALE.....	14
4.4 TRATTO DI POSA CAVIDOTTO IN CORRISPONDENZA DELLE AREE TUTELEATE CONNESSE A RETICOLI CARTOGRAFATI SU IGM - SCAVI CON TOC. 21	
5. CONCLUSIONI.....	23

Figura 1: Schema dello ietogramma Chicago.....	7
Figura 2: Curva di inviluppo per $Tr = 20$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.	10
Figura 3: Curva di inviluppo per $Tr = 30$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.	10
Figura 4: Curva di inviluppo per $Tr = 100$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.	10
Figura 5: Curva di inviluppo per $Tr = 200$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.	11
Figura 6: Curva di inviluppo per $Tr = 500$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.	11
Figura 7: Tabella 1 –Tabella per il calcolo della portata di piena.....	11
Figura 8: Tabella 2 –Tabella caratteristiche morfometriche bacini del canale drenante.	12
Figura 9: Tabella 3 –Tabella calcolo portate di progetto.	12
Figura 10: Equazione dell'energia.....	13
Figura 11: N°2 sezioni di controllo per Canale Toninoro.	15
Figura 12: Sezioni di controllo n°1 per Canale Toninoro – risultati delle simulazioni idrauliche con individuazione delle aree di possibile allagamento.	16
Figura 13: Sezioni di controllo n°2 per Canale Toninoro – risultati delle simulazioni idrauliche con individuazione delle aree di possibile allagamento.	16
Figura 21: Attraversamento in sub alveo del canale Pozzillo.	17
Figura 22: Operazioni di scavo direzionali con TOC.....	22

1. SINTESI NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL PAI DELLA ADB REGIONALE PUGLIA E INTERREGIONALE OFANTO.

L'intervento progettato ricade nel comune di San Paolo di Civitate (FG), e l'area è interna all'ambito territoriale del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino Idrografico Ofanto, già bacino interregionale; bacini idrografici della Puglia, già bacini regionali - Unit of Management Regionale Puglia e interregionale Ofanto.

In particolare, le opere di progetto ricadono nel bacino idrografico n°8 "Alto Candelaro".

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino d Bacino Idrografico Ofanto con le relative Norme Tecniche di Attuazione, è stato approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale (CI) n. 39 del 30 novembre 2005.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente nonché ogni altra funzione attribuita dalla legge o dai regolamenti.

Con il DPCM del 4 aprile 2018 (pubblicato su G.U. n. 135 del 13/06/2018), emanato ai sensi dell'art. 63, c. 4 del decreto legislativo n. 152/2006, è stata infine data definitiva operatività al processo di riordino delle funzioni in materia di difesa del suolo e di tutela delle acque avviato con Legge 221/2015 e con D.M. 294/2016.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, in base alle norme vigenti, ha fatto proprie le attività di pianificazione e programmazione a scala di Bacino e di Distretto idrografico relative alla difesa, tutela, uso e gestione sostenibile delle risorse suolo e acqua, alla salvaguardia degli aspetti ambientali svolte dalle ex Autorità di Bacino Nazionali, Regionali, Interregionali in base al disposto della ex legge 183/89.

La delimitazione provvisoria dell'ambito di riferimento è stata ricavata conformemente agli schemi previsionali e programmatici, di cui all'art. 31 della legge 18 maggio 1989, n.183.

In particolare, il Piano Stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (di seguito definito PAI) dall'Autorità di Bacino (AdB) della Puglia (Art. 1 NTA) è stato redatto ai sensi dell'art. 17 comma 6-ter della Legge 18 maggio 1989 n.183, e riguarda il settore funzionale della pericolosità e del rischio idrogeologico, come richiesto dall'art. 1 del Decreto Legge 11 giugno 1998, n. 180, e dall'art. 1 – bis del Decreto Legge 12 ottobre 2000, n. 279.

Il PAI, nell'ambito del settore funzionale di competenza, persegue le finalità dell'art. 3 della L. 183/89, con particolare riferimento ai contenuti del comma 3, lettere b), c), d), f), l), m), dell'art. 17 della medesima legge.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti

L'assetto idrogeologico del bacino idrografico, ed in particolare definisce norme atte a favorire il riequilibrio dell'assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fortore, nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso del territorio, in modo da garantire il corretto sviluppo del territorio dal punto di vista infrastrutturale-urbanistico e indirizzare gli ambiti di gestione e pianificazione del territorio

L'assetto idrogeologico comprende:

- a) su tutto il territorio, comunque classificato in ordine al grado di pericolosità e rischio, è considerato prioritario lo sviluppo di azioni diffuse e di comportamenti atti a prevenire e a non aggravare lo stato di dissesto dei versanti, nonché ad aumentare l'efficienza idrogeologica del suolo e della copertura vegetale;
- b) sono considerate prioritarie le opere specifiche destinate alla rimozione o alla mitigazione del rischio idrogeologico con riferimento alle aree classificate R4 e R3 purché comprese nelle opere e negli interventi contemplati nel PAI o comunque con esso coerenti;
- c) sono ammesse tutte le opere che siano finalizzate al miglioramento dell'assetto idrogeologico attuale, purché coerenti con le indicazioni generali e specifiche del PAI.

Le disposizioni generali del piano di assetto idraulico sono (Art.4 NTA, comma 3°):

Nelle aree a pericolosità idraulica, tutte le nuove attività e i nuovi interventi devono essere tali da:

- a) migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;*
- b) non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;*
- c) non costituire un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- d) non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- e) garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque;*
- f) limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*
- g) rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.*

Gli interventi per la mitigazione della pericolosità idraulica sono (Art.5 NTA):

Nelle aree di cui agli artt. 6, 7, 8, 9 e 10 sono consentiti:

a) gli interventi idraulici e le opere idrauliche per la messa in sicurezza delle aree e per la riduzione o l'eliminazione della pericolosità;

b) gli interventi di sistemazione e miglioramento ambientale, che favoriscano tra l'altro la ricostruzione dei processi e degli equilibri naturali, il riassetto delle cenosi di vegetazione riparia, la ricostituzione della vegetazione spontanea autoctona. Tra tali interventi sono compresi i tagli di piante stabiliti dall'autorità forestale o idraulica competente per territorio per assicurare il regolare deflusso delle acque, tenuto conto di quanto disposto dal decreto del Presidente della Repubblica 14 aprile 1993;

c) gli interventi di somma urgenza per la salvaguardia di persone e beni a fronte di eventi pericolosi o situazioni di rischio eccezionali.

In particolare, gli interventi di cui ai punti a) e b) devono essere inseriti in un piano organico di sistemazione dell'intero corso d'acqua oggetto d'intervento preventivamente approvato dall'Autorità di Bacino e dall'Autorità idraulica competente, ai sensi della Legge 112/1998 e s.m.i.

Gli interventi di cui al punto c) devono essere comunicati all'Autorità di Bacino e potranno essere oggetto di verifica da parte della stessa Autorità.

Il PAI individua l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità (ART.6 NTA) e perimetra a scala di bacino le aree inondabili per eventi con tempo di ritorno assegnato e le classifica in base al livello di pericolosità idraulica (ARTT. 7, 8 e 9).

Le tre classi di aree a diversa pericolosità idraulica definite dal PAI sono:

a) Aree a pericolosità idraulica alta (A.P.): aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;

b) Aree a pericolosità idraulica moderata (M.P.): aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 e minore o uguale a 200 anni;

c) Aree a pericolosità idraulica bassa (B.P.): aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 e minore o uguale a 500 anni.

All'ART. 10, **per tratti fluviali non studiati**, le NTA recitano che:

1. *Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale.*

2. *All'interno delle fasce di pertinenza fluviale 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, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.*

3. *Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, 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.*

Dalla consultazione delle mappe di rischio e pericolosità allegate al PAI si evince che l'area di intervento è interessata da corsi d'acqua, ma non da aree a pericolosità idraulica o da fasce di riassetto fluviale individuate dall'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto (AdB) (cfr. Allegato n°6 – Carta della pericolosità idraulica PAI per il bacino del Idrografico Ofanto).

Ciononostante, si è ritenuto utile redigere il presente studio di compatibilità idraulica, per approfondire le condizioni di sicurezza idraulica dell'area oggetto di intervento.

In particolare sono stati eseguiti gli studi idraulici con tempo di ritorno di 100 e 200 anni in regime di moto permanente che si instaura nel latistante canale denominato "Tonninoro".

I detti studi hanno consentito di caratterizzare le relazioni che si possono stabilire tra le opere in progetto e l'assetto idraulico delle aree, in modo da poter valutare la sussistenza delle condizioni di "sicurezza idraulica" prescritte dalle NTA del PAI dell'AdB.

Nella relazione idrologica sono descritte le varie fasi del lavoro di ricostruzione del quadro conoscitivo, con particolare riferimento all'uso del suolo, alla permeabilità e alla determinazione dei bacini idraulici afferenti le sezioni di chiusura per la valutazione delle relative portate e quindi della verifica degli stessi.

2. ANALISI IDRAULICA.

L'analisi idraulica, necessaria al calcolo della portata di massima piena, in generale può essere condotta secondo vari metodi, tra i quali possono essere considerati:

- ❖ i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- ❖ i metodi semiempirici (utilizzati nel presente studio), che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- ❖ i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi deflussi.

Il metodo da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre, in quanto, se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo il cinematico o razionale; quando la situazione morfologica ed idrografica diventa alquanto complessa può rendersi indispensabile una verifica in moto vario e, di conseguenza, diventa necessario conoscere la forma dell'idrogramma di piena attraverso l'applicazione di metodi analitici.

In generale, nei casi di regolarità dell'asta fluviale e del bacino idrografico di pertinenza, è generalmente impiegato uno studio in moto permanente ricorrendo al metodo razionale per la determinazione della portata di massima piena.

In ogni caso, prima del calcolo della portata di piena, conviene ricavare la pioggia efficace ossia la componente della pioggia che partecipa al deflusso, depurando la pioggia totale da quella persa per infiltrazione, per evaporazione oppure trattenuta dal suolo o dalla vegetazione.

3. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA.

Per la determinazione della massima piena attesa si è fatto riferimento allo studio idraulico condotto a livello regionale nel PAI dell'Autorità di Bacino del fiume Fortore.

Di seguito si portano le metodologie ed i risultati per l'area di interesse del presente studio di compatibilità idraulica.

4.1 DEFINIZIONE DELL'INPUT PLUVIOMETRICO.

L'*input* di precipitazione, in termini di ietogramma, è stato definito sulla base delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) ottenute come descritto nella relazione idrologica.

È stato adottato un particolare ietogramma di intensità variabile, noto in letteratura scientifica come *ietogramma Chicago*.

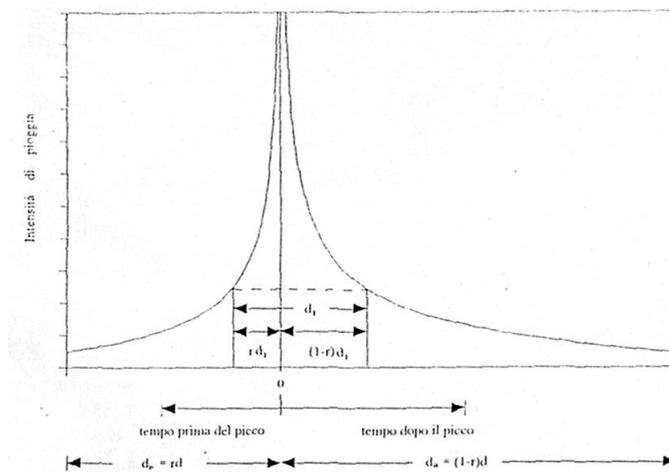


Figura 1: Schema dello ietogramma Chicago

Lo ietogramma Chicago prevede la seguente formulazione per la parte antecedente e successiva al picco di intensità della precipitazione:

$$i(t) = n(aT^m) \left(\frac{t_b}{r} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_p$$

$$i(t) = n(aT^m) \left(\frac{t_a}{(1-r)} \right)^{n-1} \quad \text{per } t > t_p$$

dove:

- ❖ a, n, m parametri della CPP ($h = a * dn * T^m$);
- ❖ T tempo di ritorno (anni) prescelto per l'evento
- ❖ t tempo dall'inizio dell'evento;
- ❖ tp tempo di picco;
- ❖ tb tempo mancante al verificarsi del picco;
- ❖ ta tempo trascorso dal verificarsi del picco;
- ❖ d durata dell'evento;
- ❖ r fattore di fase (determina la posizione temporale del picco)

La particolarità di questo ietogramma (che è anche la sua comodità), è quello di racchiudere al suo interno, per tutte le durate minori di quella complessiva t_b , eventi congruenti con la CPP, e quindi di sollecitare sicuramente in modo critico il bacino di volta in volta considerato.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di ragguaglio areale, K_r , del tipo:

$$K_r = h_A(A, t)/h(t)$$

dove $h_A(A, t)$ è l'altezza di pioggia di durata t ragguagliata all'area A e $h(t)$ l'altezza di pioggia di durata t nel centro di scroscio.

Il valore di K_r dipende da tre fattori:

- ❖ l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- ❖ la durata considerata;
- ❖ l'altezza di pioggia;

Per la quantificazione di K_r si è fatto riferimento alla formula dell'USWB ove alcuni parametri sono modificati per tenere in conto delle caratteristiche del territorio italiano

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove α , β e γ sono i parametri della formula, t [h] la durata della precipitazione e A [kmq] l'area del bacino.

Nel presente caso i parametri della formula adottata sono i seguenti:

- ❖ $\alpha = 0.036 a T^m$, dove a, m sono i parametri della CPP, T il tempo di ritorno;
- ❖ $\beta = 0.25$;
- ❖ $\gamma = 0.01$.

L'applicazione del coefficiente di ragguaglio areale allo ietogramma di tipo Chicago è stata eseguita applicando la formula separatamente a ciascun intervallo di tempo a cavallo del picco di pioggia in

modo da modificare la forma dello ietogramma di progetto in funzione dell'area del bacino a cui questo viene applicato.

Una tale applicazione consente di modificare automaticamente la forma dello ietogramma in considerazione del fatto che le piogge ragguagliate per bacini piccoli mantengono alti valori di intensità che poi diminuiscono all'aumentare della dimensione del bacino fino a divenire assimilabili a precipitazioni di intensità costante per grandi bacini.

La generazione degli idrogrammi di piena è stata condotta utilizzando ietogrammi di durata pari a 24 ore (ossia sicuramente maggiore del tempo di corrivazione dell'intero bacino) e con $r=0.4$.

4.2 LE PORTATE DI PIENA NELLE SEZIONI DI INTERESSE A SCALA REGIONALE.

Il modello è stato applicato a un totale di 53 sezioni di interesse utilizzando eventi sintetici con tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni; le sezioni sono del "*Piano di Bacino del Fiume Ofanto*" e sono state così scelte:

- ❖ sui corsi d'acqua principali in corrispondenza delle principali confluenze;
- ❖ alla foce dei corsi d'acqua minori;
- ❖ in corrispondenza di opere di attraversamento o di regimazione per le quali è stata eseguita una verifica idraulica speditiva.

I valori delle portate al colmo, unitamente ad alcuni dati correlati quali ad esempio l'area del sottobacino e le coordinate riga-colonna (nella mappa raster) della sezione d'interesse a cui è riferito il calcolo sono tabulati negli allegati del PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.

4.3 CURVE DI INVILUPPO.

Le portate di piena valutate nelle sezioni di interesse costituiscono un campione di valori di una grandezza per la quale è evidente l'esistenza di una correlazione positiva con l'area del bacino idrografico sotteso.

Tale osservazione ci permette di poter derivare *curve inviluppo*, ossia semplici relazioni sperimentali tra portata al colmo ed area del bacino che forniscono in via speditiva una stima approssimata per eccesso della portata al colmo per qualunque corso d'acqua a qualunque sezione di chiusura; per l'esattezza, la stima con le curve inviluppo è da intendersi come quella di valore più basso tra tutte quelle per eccesso.

Nelle figure che seguono sono rappresentate le curve inviluppo prima richiamate a confronto con i dati di portata desunti dalla modellazione idrologica.

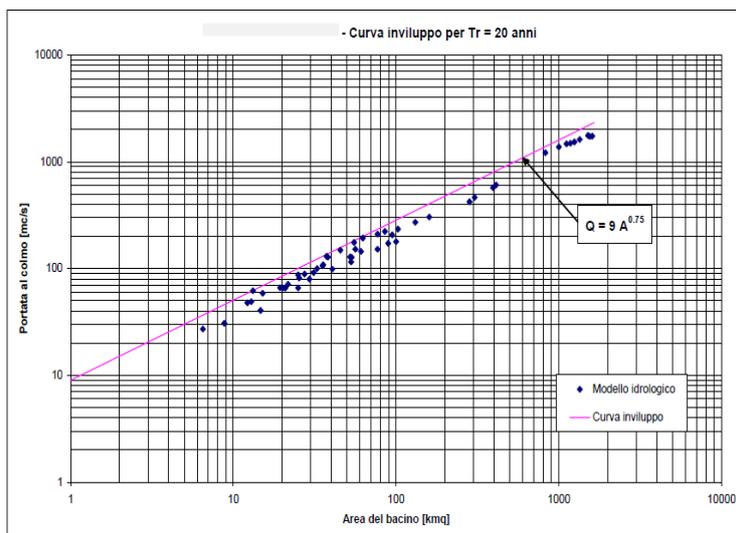


Figura 2: Curva di inviluppo per $Tr = 20$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.

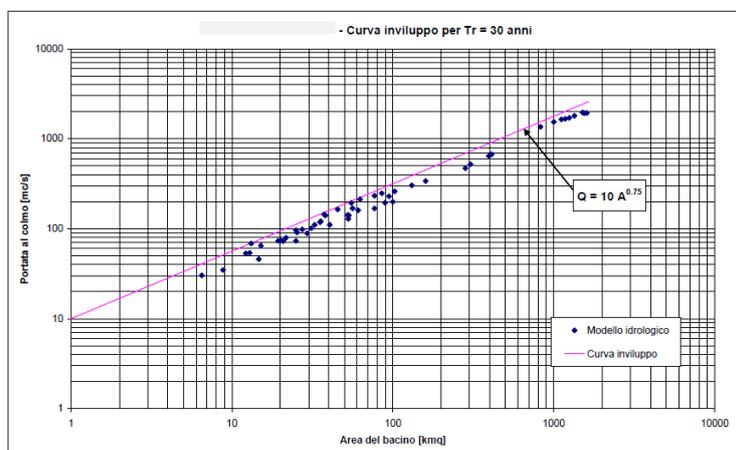


Figura 3: Curva di inviluppo per $Tr = 30$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.

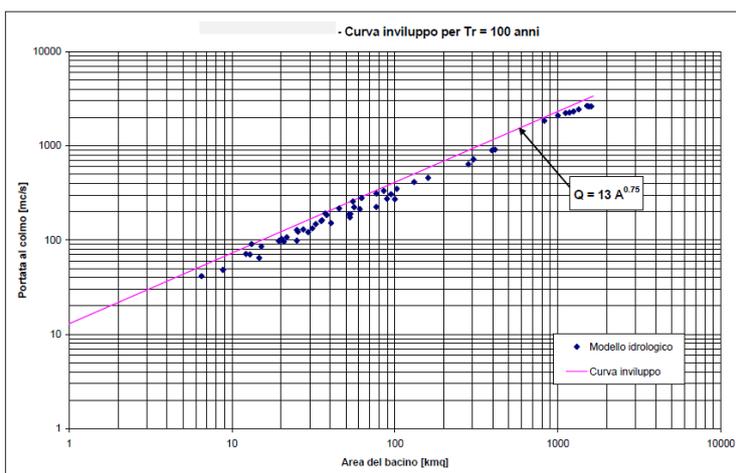


Figura 4: Curva di inviluppo per $Tr = 100$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.

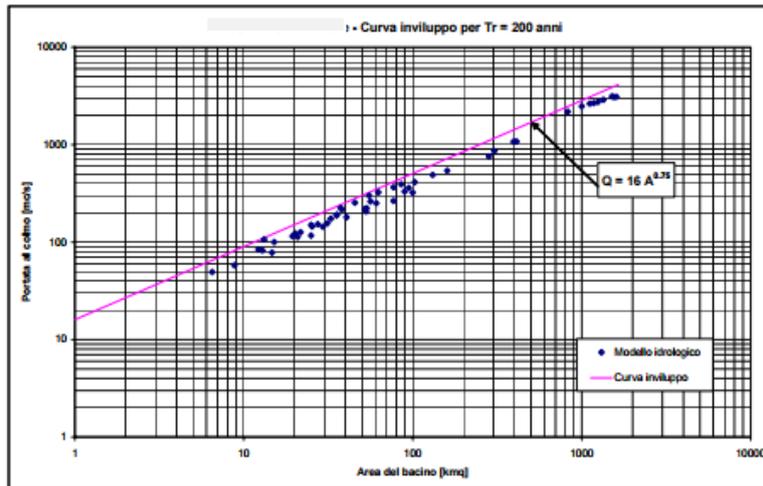


Figura 5: Curva di inviluppo per $Tr = 200$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.

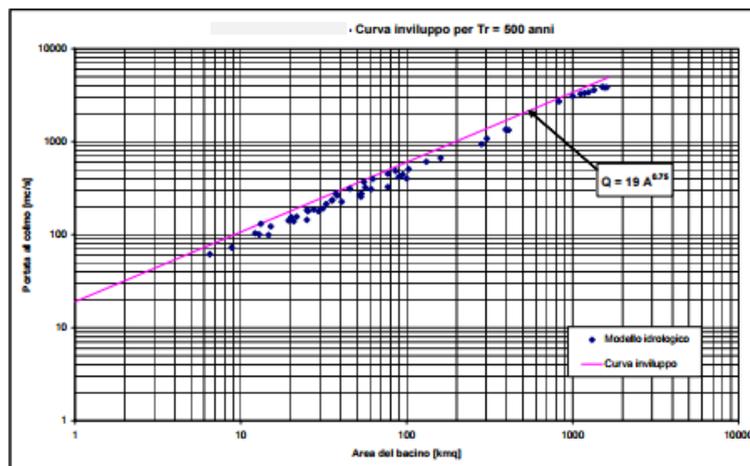


Figura 6: Curva di inviluppo per $Tr = 500$ anni - PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Ofanto.

Nella seguente tabella sono riportate le curve di inviluppo per il calcolo delle portate di piena con tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni:

Tempo di ritorno	Curva di inviluppo
30	$Q=10 \cdot A^{0.75}$
100	$Q=13 \cdot A^{0.75}$
200	$Q=16 \cdot A^{0.75}$
500	$Q=19 \cdot A^{0.75}$

Figura 7: Tabella 1 – Tabella per il calcolo della portata di piena.

Ove

- Q è la portata in m^3/s
- A è l'area del bacino sotteso in km^2 .

Nel caso in esame, le aree di intervento sono interessate da corsi d'acqua, ma non da aree a pericolosità idraulica o da fasce di riassetto fluviale individuate dall'Autorità di Bacino (AdB) del fiume Fortore.

Si precisa che le sezioni di calcolo sono state ricavate dalla cartografia digitale prelevata dal sito della Regione (DTM o modello digitale del Terreno) che meglio fornisce la morfologia del territorio rispetto alla cartografia IGM 25000.

Le sezioni ottenute dal DTM sono state integrate ed associate con rilievi metrici eseguiti in sito necessari per individuare più in particolare l'effettiva entità del reticolo idrografico.

4. 4 CARATTERISTICHE DELLE AREE DRENATE DAL CANALE RICETTORE.

Si precisa che le caratteristiche morfometriche del bacino colante del canale ricettore in esame sono state definite considerando le caratteristiche idrauliche e morfologiche della fitta rete di canali (principali e secondari), che governano le acque di risorgiva e quelle di origine meteorica della Pianura dell'Eremita.

CANALE TONNINORO			
Dimensioni planimetriche			
Area	A	5,244	Km2
Perimetro	P	14,014	Km
Lunghezza asta principale	L	7,000	Km
Macromorfologia planare			
Rapporto di circolarità	$Rc=(4\pi A)/(P^2)$		0,335
Rapporto di uniformità	$Ru=P/(2\sqrt{\pi A})$		3,454
Fattore di forma	$Rf=A/L^2$		0,107
Rapporto di allungamento	$Ra=(2\sqrt{A})/(L\sqrt{\pi})$		0,185
Dimensioni altimetriche			
Quota massima s.l.m.		145,50	m
Quota minima s.l.m.		58,90	m
Dislivello massimo		86,60	m
Quota media del bacino		43,40	m
Pendenza asta principale		1,24%	%

Figura 8: Tabella 2 – Tabella caratteristiche morfometriche bacini del canale drenante.

4. 5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO.

Di seguito vengono riportate le portate determinate per assegnato periodo di ritorno:

Denominazione	Area (Km2)	Q (TR=30 anni) (m3/s)	Q (TR=100 anni) (m3/s)	Q (TR=200 anni) (m3/s)	Q (TR=500 anni) (m3/s)
CANALE TONNINORO	5,24	34,65	45,05	55,45	65,84

Figura 9: Tabella 3 – Tabella calcolo portate di progetto.

4. 6 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LE VERIFICHE IDRAULICHE.

Al precedente paragrafo sono state valutate le portate indice e le portate massime per fissati tempi di ritorno sui sottobacini di interesse adottando il modello razionale.

Per le opere in progetto che interessano aree tutelate come definite dall' art. 10 dlla NTA del PAI, sono state eseguite verifiche idrauliche in regime di moto permanente utilizzando il programma di calcolo HEC-RAS.

Il software HEC-RAS è il frutto di una lunga evoluzione dei codici di calcolo, finalizzati allo studio della propagazione delle piene nei corsi d'acqua del HEC.

Il software HEC-RAS permette di modellare la propagazione di una corrente lungo un corso d'acqua utilizzando uno schema unidimensionale sia in condizioni di moto permanente che in condizioni di moto vario.

Il sistema di calcolo è concepito per applicazioni nella sistemazione dei corsi d'acqua e delle pianure alluvionali e per gli studi finalizzati alla determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazioni dai corsi d'acqua, determinando la variazione del pelo libero per condizioni di moto permanente o gradualmente variato.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale.

Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica.

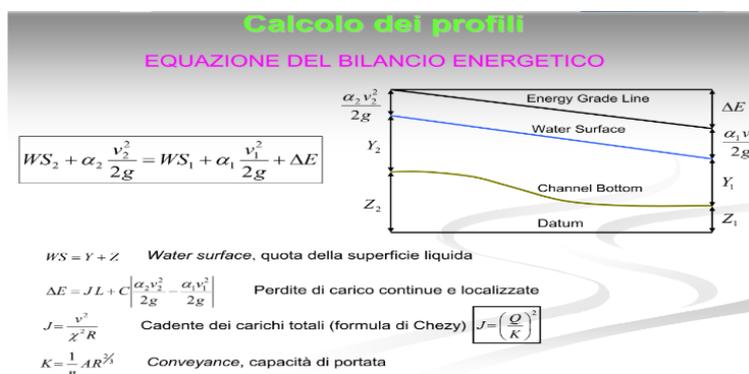


Figura 10: Equazione dell'energia.

4. DESCRIZIONE INTERFERENZE E VERIFICHE IDRAULICHE.

La tabella seguente fornisce uno schema sintetico sulle verifiche idrauliche eseguite nel presente studio:

Tipologia di interferenza	Verifiche condotte	Note
<i>Adiacenza con canale Tonninoro: l'area di impianto è sita in destra</i>	Sono state condotte due verifiche idrauliche in regime di moto permanente	Sono state individuate n°2 sezioni di controllo sul canale Tonninoro estese fino all'area

<p><i>idraulica del canale naturale.</i></p>	<p>utilizzando il programma di calcolo HEC-RAS per portate defluenti con periodo di ritorno 100 anni e 200 anni.</p> <p>(Allegato n°9 e n°10 – Output dei risultati ottenuti con il software Hec-Ras in corrispondenza di ogni sezione di calcolo per il canale Toninoro e per n°2 sezioni di controllo.)</p>	<p>del campo agrofotovoltaico di progetto per verificare che l'area del campo non fosse suscettibile di allagamento per eventi con periodo di ritorno pari a 100 anni e 200 anni. Per le suddette sezioni di controllo è stato sviluppato il profilo altimetrico a partire dal DTM disponibile sul sito della Regione Puglia e su di essi sono stati riportati i tiranti idraulici che si instaurano per le simulazioni idrauliche condotte. Si precisa che le n°2 di sezione di controllo sono state individuate tenendo conto che le fasce di rispetto fluviale come definite dall'art.10 delle NTA del PAI sono larghe 75m poiché trattasi di reticoli minori.</p>
<p><i>Attraversamento del Fiume Fortore.</i></p>	<p>La linea MT dal campo alla sottostazione 150kW attraversa il Fiume Fortore e per tale intersezione è stato condotto lo studio dei fenomeni erosivi al fine di determinare la massima profondità di erosione.</p>	

4.1 ADIACENZA CON CANALE TONNINORO: L'AREA DI IMPIANTO È SITA IN SINISTRA IDRAULICA DEL CANALE NATURALE.

Per tale interferenza si è proceduto ad eseguire uno studio per valutare il regime idraulico attuale determinando l'area allagabile con Tr 100 anni e Tr 200 anni.

I valori di portata, relativi ai vari tempi di ritorno e definiti in funzione della superficie del bacino individuato per la sezione di chiusura, sono stati inseriti nella sezione di monte rispetto a quella di calcolo, aumentando il criterio di sicurezza.

Di seguito sono indicate le condizioni al contorno fissate per la modellazione dell'interferenza:

- condizioni di monte = pendenza dell'alveo in condizioni di moto uniforme pari a 0,0371
- condizioni di valle = pendenza dell'alveo in condizioni di moto uniforme pari a 0,0371.

Alle sezioni trasversali si è assegnato un valore di scabrezza, definito a seguito di sopralluoghi e valutato secondo le tabelle di Manning pari a $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$.

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati delle simulazioni idrauliche condotte per n°2 sezioni di controllo, al fine di verificare i possibili allagamenti dell'area del campo agrofotovoltaico.

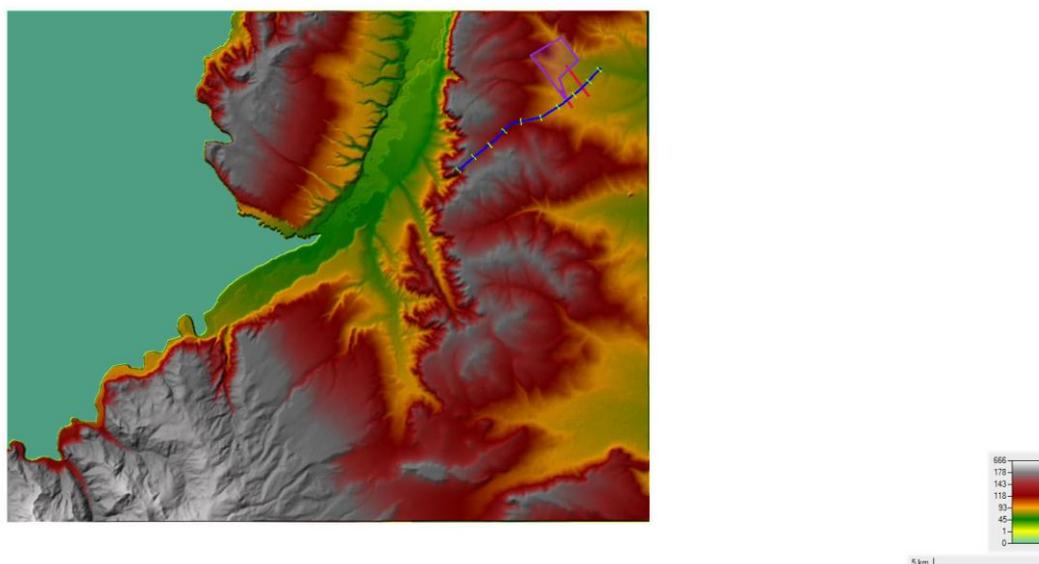


Figura 11: N°2 sezioni di controllo per Canale Tonninoro.

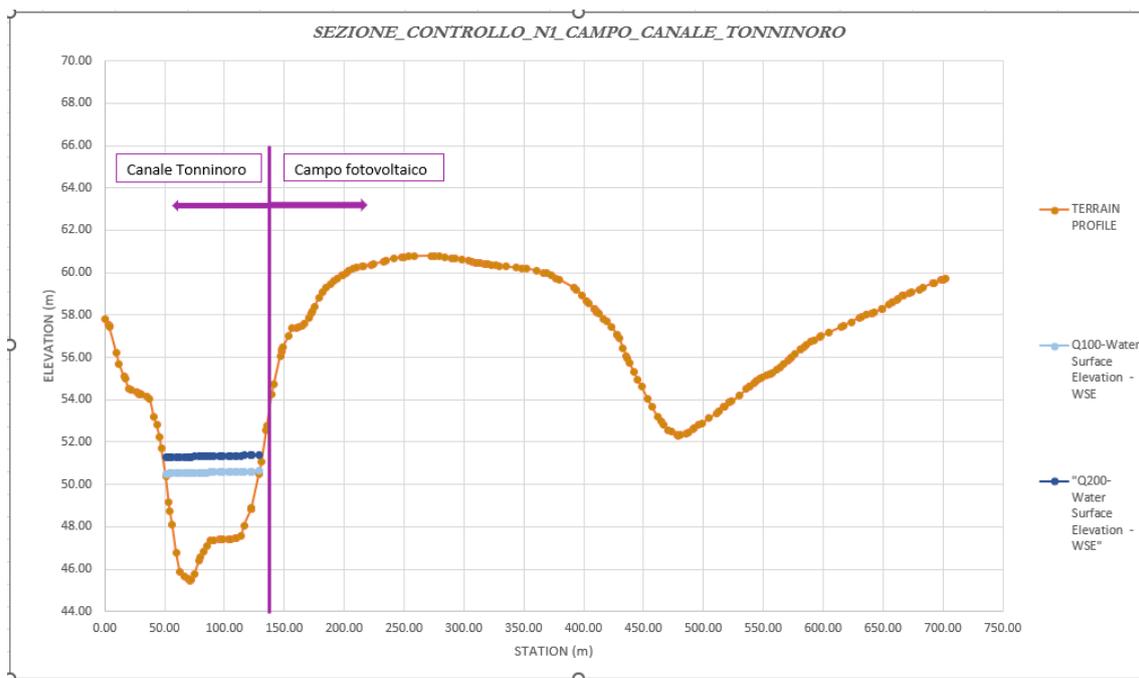


Figura 12: Sezioni di controllo n°1 per Canale Tonninoro – risultati delle simulazioni idrauliche con individuazione delle aree di possibile allagamento.

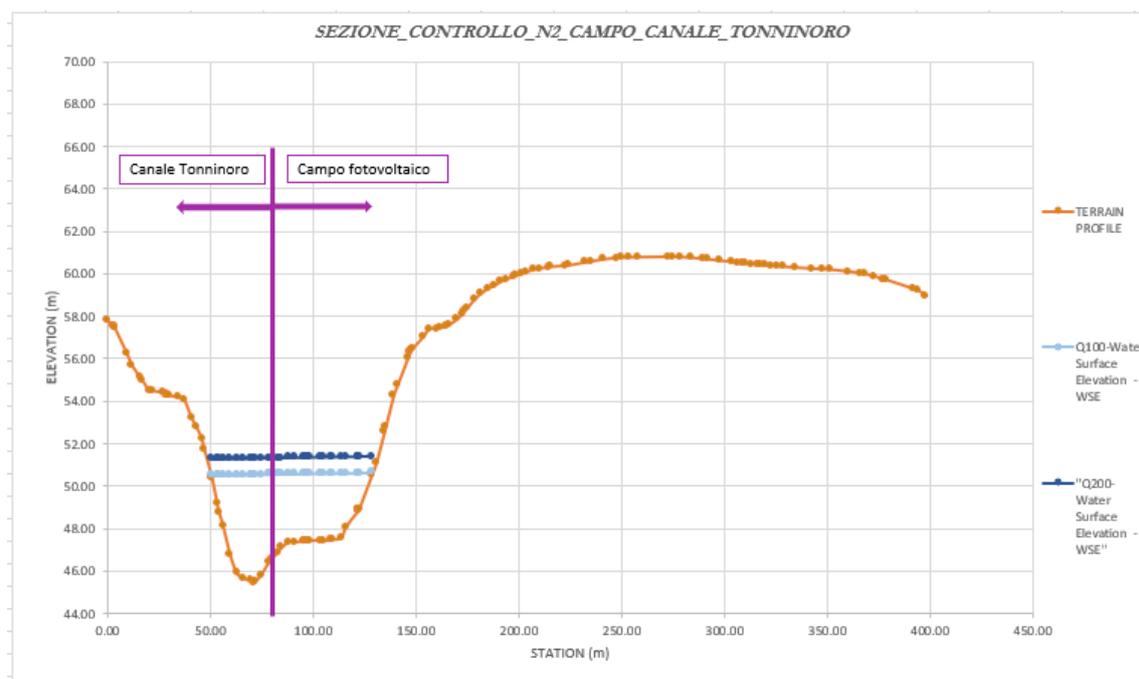


Figura 13: Sezioni di controllo n°2 per Canale Tonninoro – risultati delle simulazioni idrauliche con individuazione delle aree di possibile allagamento.

Dalle simulazioni idrauliche condotte sul canale naturale Tonninoro in condizioni di moto permanente e dall’sovrapposizione dei tiranti idraulici che si instaurano nel canale naturale sulle n°2 sezioni di controllo, si evince che per portate defluenti con periodi di ritorno pari a 100 anni e 200 anni l’area dell’impianto agrofotovoltaico non sarà interessata da allagamenti.

4. 2 ADIACENZA CON IL CANALE CHIAGNAMENNA.

Non è stata condotta alcuna verifica idraulica, ma è stata eseguita una sovrapposizione tra gli shape files della pericolosità idraulica e del rischio idraulico PAI e dello shape file dell'area oggetto di intervento (Allegato n°6 – Carta della pericolosità idraulica PAI per il bacino del Fiume Fortore).

Dalla detta sovrapposizione si evince che l'area dell'impianto agrofotovoltaico è estrema alle aree allagabili del Fiume Fortore, così come individuate nel vigente PAI.

4. 3 ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE POZZILO.

La linea MT dal campo alla sottostazione 150kW attraversa il fiume Fortore come illustrato nella seguente figura:

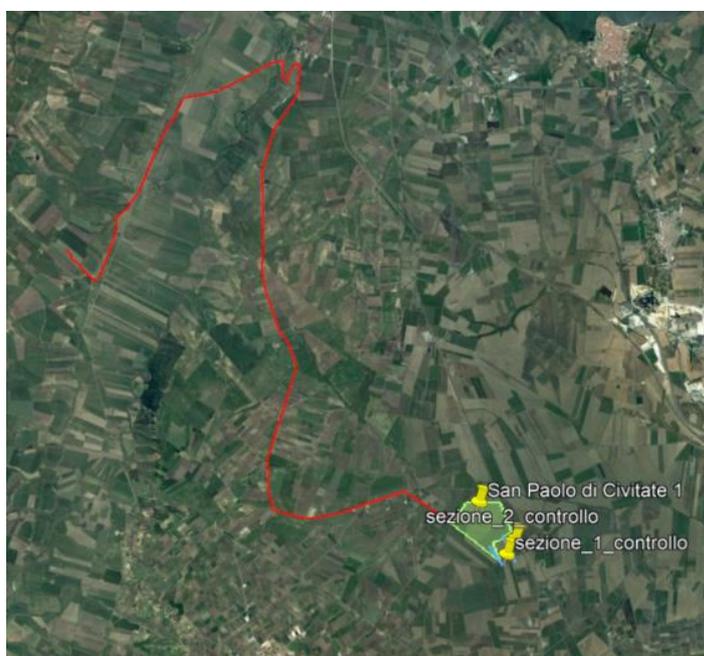


Figura 14: Attraversamento in sub alveo del canale Pozzillo.

Per tale intersezione, si è effettuato uno studio dei fenomeni erosivi al fine di determinare, al verificarsi di un evento di piena bicentenaria, la profondità massima di erosione.

Tale profondità, come richiesto dall'AdB Puglia, dovrà essere incrementata di almeno un metro (franco di sicurezza).

Le verifiche sono state effettuate fissando un diametro caratteristico dei grani (d_{car}) tipico dei limi di pari a 0.05 mm, in quanto ritenuto cautelativo: si ricorda infatti che il diametro che determina il passaggio tra limi e sabbia è di 0.06 mm.

Inoltre, è stato usato un peso specifico del materiale molto basso per sabbie-limose, e pari a $\gamma_s=1500$ kg/m³.

Sulla scorta dello studio idraulico svolto e descritto nei capitoli precedenti sono state individuate le aree allagabili che, sovrapposte alle intersezioni tra cavidotto e reticolo cartografato, hanno consentito non solo di individuare le reali situazioni di rischio, ma anche di definire i dati idraulici utili per lo studio dell'erosione, quali:

- tirante idrico h (m),
- pendenza media dell'asta principale $[i_{med}]$,
- velocità della corrente nel punto di verifica.

$$\tau = \gamma * i_{med} * h = 1000 * 0.014 * 0.7 = 9.8 \text{ Kg/m}^2$$

Equazione 1: - Spinta idrodinamica dell'acqua nelle zone di esondazione.

Per definire l'effettivo grado di erosione cui è soggetto il terreno interessato dall'evento di piena si è utilizzata la teoria di Shields.

Tale teoria si basa sull'ipotesi che la spinta esercitata dalla corrente sulla particella solida è proporzionale alla superficie investita, a sua volta funzione del diametro delle particelle solide e sull'assunzione che la forza resistente dipende 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.

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

Equazione 2: - Calcolo del numero di Reynolds di attrito $[Re^]$.*

Nelle verifiche in oggetto i valori ottenuti si dispongono nella zona intermedia dell'Abaco di Shields dove il legame analitico tra il parametro di Shields $[Y_c]$ ed il numero di Reynolds di attrito $[Re^*]$ è definito attraverso la legge seguente dove $[x = Re^*/11,6]$.

$$Y_c = \frac{0,009148}{r} + 0,05449 * [1 - e^{(-0,5661 * x^{0,8224})}]$$

Equazione 3: - Parametro di Shields $[Y_c]$.

Definito il parametro di Shields 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.

$$\tau_{crit} = Y_c * (\gamma_s - \gamma) * d_{car}$$

Equazione 4: - Tensione tangenziale critica di moto incipiente.

Studio di compatibilità idrologica e idraulica – Relazione idraulica

Confrontando il valore di tensione tangenziale della spinta idrodinamica dell'acqua nelle zone di esondazione (Equazione 4) è evidente che il materiale nelle zone di esondazione è soggetto ad erosione, come riepilogato nella tabella seguente.

h (m)	V_{max} (m/s)	i (m/m)	τ (kg/m²)	Re.	x	τ_{cri} (kg/m²)
0.19	0.51	0.008	1.52	6.10	0.53	0.000888
0.31	0.61	0.004	1.24	5.51	0.48	0.000915
0.24	0.05	0.003	0.72	4.20	0.36	0.001017

Dopo aver dimostrato, al verificarsi di un'onda di piena con tempo di ritorno di 200 anni, che le zone assoggettate ad esondazione sono soggette ad erosione, si quantifica il materiale eroso al fine di determinare la massima profondità a cui tale erosione può arrivare.

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 τ_{cri} .

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 a cui può arrivare l'erosione del terreno, definita come portata solida volumetrica.

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

$$\psi = \frac{1,8143}{\gamma_s * d_{car}^{0.7453}}$$

Equazione 5: - Coefficiente caratteristico del materiale secondo Du Boys

$$q_s = \psi * \tau * (\tau - \tau_{cri})$$

Equazione 6: - Portata volumetrica erosa.

Per passare dalla portata solida volumetrica alla quantità di materiale eroso, facciamo riferimento ad una velocità media del fluido in m/s, desunta dal modello idraulico bidimensionale (involuppo delle velocità); il modello utilizzato da Du Boys considera un volume di osservazione avente lunghezza e larghezza unitaria, quindi l'unica incognita (X) rimane la profondità.

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

Equazione 7: - Volume del materiale solido con il modello di Du Boys.

È necessario sottolineare alcune delle assunzioni del modello, ossia che il materiale solido a contatto con il fluido assume la stessa velocità e 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.

$$v_{M \text{ mat. solido}} = \frac{v_{MAX} + v_{MIN}}{2} = \frac{v_{\text{fluido}} + 0}{2}$$

Equazione 8: - Velocità media del materiale solido trasportato con variazione lineare e valor massimo pari alla velocità del fluido e valor minimo nullo.

Partendo dalla portata solida volumetrica possiamo ricavare la profondità a cui il materiale è soggetto ad erosione.

$$q_s = v_{M \text{ mat. solido}} * l_{\text{arg}} * \text{prof} = 1 * 1 * X = X \text{ m}^3/s$$

Equazione 9: - Portata volumetrica erosa.

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

Equazione 10: - Profondità massima a cui il materiale solido è soggetto ad erosione.

In base al modello di trasporto, sopra citato, la portata volumetrica è stata 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.

Di seguito si riporta la sintesi dei risultati; la "profondità da calcolo" rappresenta la massima erosione dal piano campagna già comprensiva di 1 m di franco, così come richiesto dall'Autorità di Bacino della Puglia.

Possiamo quindi definire il materiale al di sotto di tale profondità stabile e non soggetto ad alcun tipo di erosione.

Si sottolinea che nello studio dei fenomeni erosivi condotto, si è 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.

In considerazione di tale erosione selettiva sarebbe stato possibile introdurre parametri correttivi che in questa analisi sono stati omessi, quindi si ritiene che tale studio sia cautelativo.

In sintesi, anche dove l'erosione è trascurabile si è fissata una distanza tra fondo canale e generatrice superiore del cavo pari ad 1,50 metri, scelta per un'ulteriore sicurezza dal punto di vista geomorfologico.

La tabella seguente riassume i risultati delle verifiche, indicando come "profondità di progetto" la distanza tra fondo canale e generatrice superiore della condotta.

ψ (m ⁶ /kg ² *s)	X (m)	Franco AdB (m)	Profondità da calcolo (m)	Profondità progetto (m)
0.011279	0.10	1.00	1.10	1.50
0.011279	0.06	1.00	1.06	1.50
0.011279	0.23	1.00	1.23	1.50

4.4 TRATTO DI POSA CAVIDOTTO IN CORRISPONDENZA DELLE AREE TUTELE CONNESSE A RETICOLI CARTOGRAFATI SU IGM - SCAVI CON TOC.

Al fine di assicurare che la posa dei cavi interrati non alteri l'attuale equilibrio dei materiali che costituiscono il fondo delle aree interessate dal transito delle piene bicentinarie, lungo i tratti di intersezione gli attraversamenti saranno realizzati con tecnica T.O.C., che si articola secondo tre fasi operative:

- 1) esecuzione del foro pilota: questo sarà di piccolo diametro e verrà realizzato mediante l'utilizzo dell'utensile fondo foro, il cui avanzamento all'interno del terreno è garantito dalla macchina perforatrice che trasmetterà il movimento rotatorio ad una batteria di aste di acciaio alla cui testa è montato l'utensile fresante. La posizione dell'utensile sarà continuamente monitorata attraverso il sistema di localizzazione;
- 2) trivellazione per l'allargamento del foro fino alle dimensioni richieste: una volta completato il foro pilota con l'uscita dal terreno dell'utensile fondo foro (exit point) verrà montato, in testa alla batteria di aste di acciaio, l'utensile per l'allargamento del foro pilota, di diametro superiore al precedente, e il tutto viene tirato verso l'impianto di trivellazione (entry point). Durante il tragitto di rientro del sistema di trivellazione, l'alesatore allargherà il foro pilota;
- 3) tiro della tubazione o del cavo del foro: completata l'ultima fase di alesatura, in corrispondenza dell'exit point verrà montato, in testa alle condotte da posare già giuntate tra loro, l'utensile per la fase di tiro-posa e questo viene collegato con l'alesatore. Tale utensile ha lo scopo di evitare che durante la fase di tiro, il movimento rotatorio applicato al sistema dalla macchina perforatrice non venga trasmesso alle tubazioni. La condotta viene tirata verso l'exit point. Raggiunto il punto di entrata la posa della condotta si può considerare terminata.

In particolare, in corrispondenza delle interferenze del reticolo idrografico prima indicate, l'attraversamento del reticolo idrografico avverrà ad una profondità maggiore di 3,00 m dal punto

depresso del terreno in prossimità del reticolo idrografico, le operazioni di scavo direzionale inizieranno e termineranno esternamente alle fasce di rispetto fluviale e dall'area allagabile determinata in regime di moto permanente con $T_r=200$ anni in maniera tale da lasciarne inalterato il fondo.

A seguire si restituiscono alcuni schemi semplificativi della TOC.

SEZIONE TIPICA CAVIDOTTO CON T.O.C.

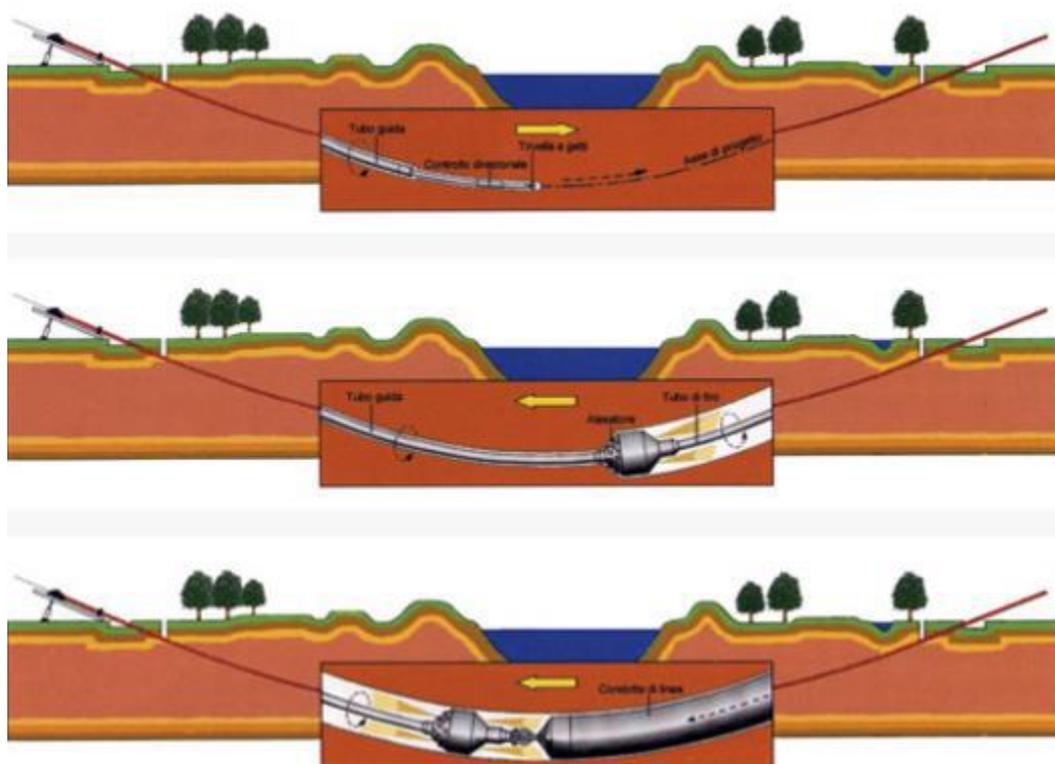
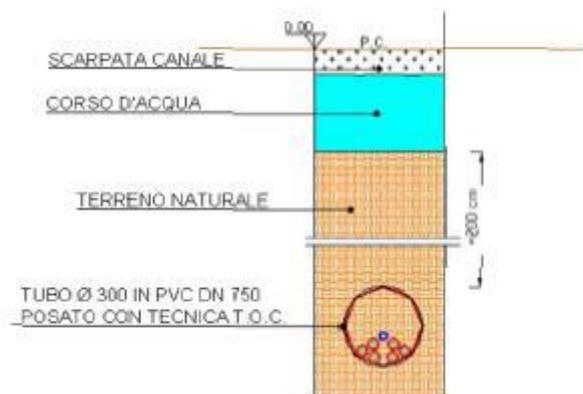


Figura 15: Operazioni di scavo direzionali con TOC.

5. CONCLUSIONI.

Le verifiche idrauliche eseguite in corrispondenza dei punti d'interferenza dei reticoli idrografici hanno permesso di individuare le aree inondabili con tempi di ritorno $Tr=100$ anni e $Tr=200$ anni, così come richiesto dalla NTA del PAI redatto dall'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore.

Gli studi condotti hanno interessato un ampio territorio, delimitando i bacini di studio in maniera tale da ricomprendere tutto il reticolo che potesse avere influenza sull'assetto idraulico delle aree di interesse e sulle opere previste.

Tutte le valutazioni progettuali sono state riferite agli eventi centenari e bicentenari.

I risultati ottenuti, posti alla base della progettazione, assicurano che le opere in progetto, come rappresentato negli elaborati grafici, sono assolutamente congruenti con l'assetto idraulico del territorio e con le relative condizioni di sicurezza.

In sintesi, alla luce delle analisi e delle verifiche effettuate si è pervenuti alle seguenti conclusioni:

- ❖ le opere in progetto sono esterne alle aree a pericolosità idraulica e alle fasce di pertinenza fluviale e sono esterne alle aree allagabili determinate in condizione di moto permanente con $Tr=100$ anni e $Tr=200$ anni con il software HEC-RAS.
- ❖ il cavidotto interrato MT nel suo percorso interseca in un solo punto il reticolo idrografico (fiume Fortore) e la relativa area golenale e fascia di pertinenza fluviale: tutti gli attraversamenti verranno eseguiti con tecnica di scavo T.O.C. e ad una profondità di posa di 3,00 m che supera la profondità di escavazione esplicabile dalla corrente, ovvero è tale per cui il cavidotto non possa essere interessato da fenomeni erosivi.
- ❖ la stazione di trasformazione di utenza e il cavidotto AT in progetto non interessano nessuna area tutelata.

Pertanto, avendo riferito tutte le valutazioni agli eventi centenari e bicentenari, definite le fasce di pertinenza fluviale di ogni reticolo idrografico, le opere dell'impianto risultano essere in condizioni di "sicurezza idraulica".