

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1- RADDOPPIO RIPALTA – LESINA

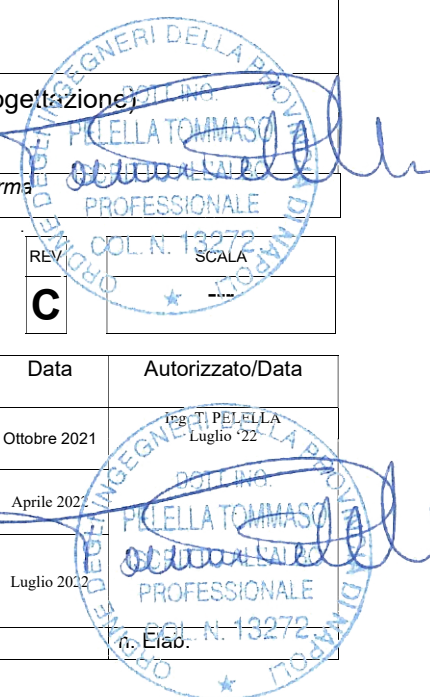
ID - IDRAULICA  
Relazione Idrologica

L'Appaltatore	COMPAT S.c.a.r.l. Il Direttore Tecnico firma (Ing. Gianguido Babini)	I progettisti (il Direttore della progettazione)	firma
data		data	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I 0 7	0 1	E	Z Z	R I	I D 0 0 0 1	0 0 1	C	

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	PRIMA EMISSIONE	M. Iacucci	Ottobre 2021	O. Caruso	Ottobre 2021	V. Secreti	Ottobre 2021	
B	REVISIONE RDV	M. Iacucci	Aprile 2022	O. Caruso	Aprile 2022	V. Secreti	Aprile 2022	
C	REVISIONE RDV	M. Iacucci	Luglio 2022	O. Caruso	Luglio 2022	V. Secreti	Luglio 2022	

File: 0217\_LI0701EZZRIID0001001A.DOCX



## INDICE

### 1 PREMESSA

#### 4

1.1	ELENCO ELABORATI ANNESSI .....	5
-----	--------------------------------	---

### 2 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

#### 6

2.1	SCELTA DEI TEMPI DI RITORNO .....	6
2.2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....	6
2.3	MORFOLOGIA E IDROGRAFIA.....	9
2.4	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	11

### 3 IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE

#### 12

3.1	MAPWINDOW E L'APPLICATIVO TAUDEM.....	13
3.2	INDIVIDUAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA E DEI BACINI CORSI D'ACQUA MINORI.....	16

### 4 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

#### 18

4.1	MODELLO PROBABILISTICO PER L'ANALISI DELLE PIOGGE DI GUMBEL .....	18
4.2	DEFINIZIONE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER EVENTI CON DURATA ORARIA .....	20
4.3	DEFINIZIONE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER EVENTI CON DURATA INFERIORE ALL'ORA .....	21

### 5 STIMA DELLE PORTATE PER CORSI D'ACQUA MINORI

#### 23

5.1	IL METODO CINEMATICO O RAZIONALE .....	23
5.2	DEFINIZIONE DELLE PORTATE PER I CORSI D'ACQUA MINORI.....	26

### 6 ASPETTI IDROLOGICI DEL FIUME FORTORE

#### 29

6.1	CENNI SUL BACINO IDROGRAFICO .....	29
6.1	CALCOLO DELLE ONDE DI PIENA DEL BACINO DEL FIUME FORTORE .....	30
6.2	CALCOLO DELLE ONDE DI PIENA ALL'USCITA DELL'INVASO DI OCCHITO.....	38
6.3	ONDE DI PIENA DEL BACINO A VALLE DELLA DIGA E ONDE RISULTANTI ALLA SEZIONE DEL PONTE FERROVIARIO.....	51

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento geografico linea ferroviaria .....</i>	7
<i>Figura 2 - Inquadramento geografico linea ferroviaria su ortofoto .....</i>	8
<i>Figura 3 - Inquadramento geografico linea ferroviaria su ortofoto .....</i>	9
<i>Figura 4 – Stralcio carte di pericolosità idraulica.....</i>	12
<i>Figura 5 – DTM dell’area afferente alla linea ferroviaria in progetto. ....</i>	13
<i>Figura 6 – Ricostruzione dell’idrografia della zona di studio, con la suddivisione dei bacini. ....</i>	17
<i>Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione. ....</i>	24
<i>Figura 8 – Bacino del Fiume Fortore, chiuso al ponte ferroviario. ....</i>	30
<i>Figura 9- Inquadramento dei bacini minori nel bacino del fiume Fortore e stazioni pluviometriche elaborate.....</i>	36
<i>Figura 10- Onde di piena del bacino a monte della diga di Occhito .....</i>	37
<i>Figura 11- Onde di piena del bacino a valle della diga di Occhito .....</i>	37
<i>Figura 12 – Scarichi di superficie della diga di Occhito. ....</i>	41
<i>Figura 13- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 30.....</i>	42
<i>Figura 14- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 100.....</i>	42
<i>Figura 15- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 200.....</i>	43
<i>Figura 16- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 300.....</i>	43
<i>Figura 17- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 500.....</i>	44
<i>Figura 18- Piano di laminazione statico, massime portate e massimi livelli - TR 30.....</i>	45
<i>Figura 19- Piano di laminazione statico, massime portate e massimi livelli - TR 100.....</i>	46
<i>Figura 20- Piano di laminazione statico, massime portate e massimi livelli - TR 200.....</i>	46
<i>Figura 21- Piano di laminazione statico, massime portate e massimi livelli - TR 300.....</i>	47
<i>Figura 22- Piano di laminazione statico, massime portate e massimi livelli - TR 500.....</i>	47
<i>Figura 23- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR30 anni. ....</i>	48
<i>Figura 24- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR100 anni. ....</i>	49
<i>Figura 25- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR200 anni. ....</i>	49
<i>Figura 26- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR300 anni. ....</i>	50
<i>Figura 27- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR500 anni. ....</i>	50
<i>Figura 28- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 30 anni.....</i>	51
<i>Figura 29- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 100 anni.....</i>	52
<i>Figura 30- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 200 anni.....</i>	52
<i>Figura 31- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 300 anni.....</i>	53
<i>Figura 32- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 500 anni.....</i>	53

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Elenco elaborati annessi. ....</i>	5
<i>Tabella 2 – Tempi di ritorno.....</i>	6
<i>Tabella 3 – Elenco delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua minori.....</i>	17
<i>Tabella 4 – Caratteristiche dei bacini dei corsi d'acqua minori. ....</i>	18
<i>Tabella 5 – Stazione di Lesina: risultati dell'analisi delle precipitazioni con il metodo di Gumbel. .....</i>	21
<i>Tabella 6 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.....</i>	26
<i>Tabella 7 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione. ....</i>	26
<i>Tabella 8 – Metodo GUMBEL: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio. ....</i>	27
<i>Tabella 9 – Portate ricavate con il metodo razionale applicando la curva di possibilità pluviometrica del metodo GUMBEL. ....</i>	28
<i>Tabella 10 - Capacità di ritenuta (SC) per ciascuna classe geo-litologica.....</i>	32
<i>Tabella 11 - Capacità di ritenuta aggiuntiva SCu per ciascuna classe di uso del suolo.....</i>	32
<i>Tabella 12 - Velocità di infiltrazione a saturazione (Ks) per ciascuna classe geo-litologica.....</i>	33
<i>Tabella 13 - Moltiplicatore Ksu della velocità di infiltrazione per ciascuna classe di uso del suolo .....</i>	33
<i>Tabella 14 – Parametri del modello idrologico.....</i>	34
<i>Tabella 15 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.....</i>	35
<i>Tabella 16 – Principali caratteristiche dello sbarramento.....</i>	39
<i>Tabella 17 – Principali caratteristiche degli organi di scarico.....</i>	39
<i>Tabella 18 – Confronto tra i valori massimi delle portate.....</i>	54

## 1 PREMESSA

Il presente documento è parte della progettazione esecutiva dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Termoli - Lesina, nella tratta che si sviluppa tra Ripalta e Lesina. Lo sviluppo complessivo della linea ferroviaria interessata dal presente studio è di circa 6.80 km compresa tra la progressiva km 0+000 e la km 6+845 .

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento minori e la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale e ferroviaria. Inoltre viene trattata la determinazione delle portate del Fiume Fortore considerando anche diverse modalità di gestione dell'invaso artificiale di Occhito.

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei, nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;
- Perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- Redazione delle corografie dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del nuovo tracciato ferroviario;
- Valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- Calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante Curva probabilistica di Gumbel;
- Valutazione delle portate liquide dei bacini idrografici nella sezione di chiusura, mediante applicazione del metodo razionale;
- Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale e ferroviaria;
- Analisi degli studi idrologici relativi al Fiume Fortore per la determinazione delle portate necessarie allo studio idraulico del corso d'acqua mediante modello bidimensionale.

## 1.1 ELENCO ELABORATI ANNESSI

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idrologica	-	LI0701EZZRIID0001001B
Corografia dei bacini	varie	LI0701EZZCZID0001001B
Carta tematica pericolosità idraulica	1:10'000	LI0701EZZN4ID0002001B
Relazione idraulica e di compatibilità idraulica – Fiume Fortore. Risultati del modello bidimensionale	-	LI0701EZZRIID0002001B
Relazione idraulica drenaggio di piattaforma ferroviaria e stradali	-	LI0701EZZRIID0002002B
Relazione idraulica corsi d'acqua minori: Pontonicchio, Capoposta e sistemazione idraulica fosso Paradiso	-	LI0701EZZRIID0002003B

*Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.*

## 2 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

### 2.1 Scelta dei tempi di ritorno

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione ferroviaria e dalle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2008), assieme alle indicazioni delle Norme di Attuazione del Piano di Bacino del Fiume Fortore. La tabella seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere:

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e relativa circolare applicativa	NA del PAI Fortore
<b>Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Piattaforma ferroviaria TR 100 anni</i></li> <li>• <i>Deviazioni stradali Tr=25 anni</i></li> </ul>	-	-
<b>Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>linea ferroviaria Tr=300 anni per S &gt; 10 km<sup>2</sup></i></li> <li>• <i>linea ferroviaria Tr=200 anni per S &lt; 10 km<sup>2</sup></i></li> <li>• <i>deviazioni stradali Tr=200 anni</i></li> </ul>	<i>Tr = 200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>

Tabella 2 – Tempi di ritorno.

L'analisi idraulica bidimensionale del Fiume Fortore è stata effettuata per differenti tempi di ritorno. Come richiesto della NTA del PAI Fortore e del regolamento Italferr, saranno analizzate le piene a cui corrispondono i tempi di ritorno 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

### 2.2 Inquadramento generale dell'area

La lunghezza complessiva del lotto 1 Ripalta-Lesina della tratta ferroviaria Termoli-Lesina in progetto, è di 6844 metri circa (tra le progressive 0+000 e 6+844), interamente sviluppato in superficie (evidenziato in rosso in Figura 1).

L'intervento progettuale proposto ricade all'interno del bacino del Fiume Fortore, il quale viene attraversato dalla linea ferroviaria in prossimità della foce. Le principali infrastrutture di trasporto sono l'autostrada A14 e la Strada Statale Adriatica (SS 16) i cui tracciati risultano essere in sostanziale affiancamento all'intera tratta ferroviaria.

I territori comunali interessati dal tracciato sono quelli di Serracapriola e Lesina.

In Figura 1 e Figura 2 è rappresentato l'inquadramento geografico della linea ferroviaria di progetto evidenziata in colore rosso, mentre in verde è rappresentata quella esistente. Nelle medesime figure sono riportati i tracciati dell'autostrada A14 evidenziata in colore arancione e della Statale Adriatica in giallo.

Il Fiume Fortore rappresenta il principale corso d'acqua intercettato dal tracciato ferroviario in progetto alla progressiva 1+900 circa. Lungo il tratto oggetto di studio, la linea interseca alcuni corsi d'acqua minori, come il Fosso Olivella 2 (alla progressiva 0+250), il Fosso Paradiso (alla progressiva 3+475), il Canale Capoposta (alla progressiva 5+743) e il Fosso Pontonicchio (alla progressiva 6+712), indicati in Figura 3.

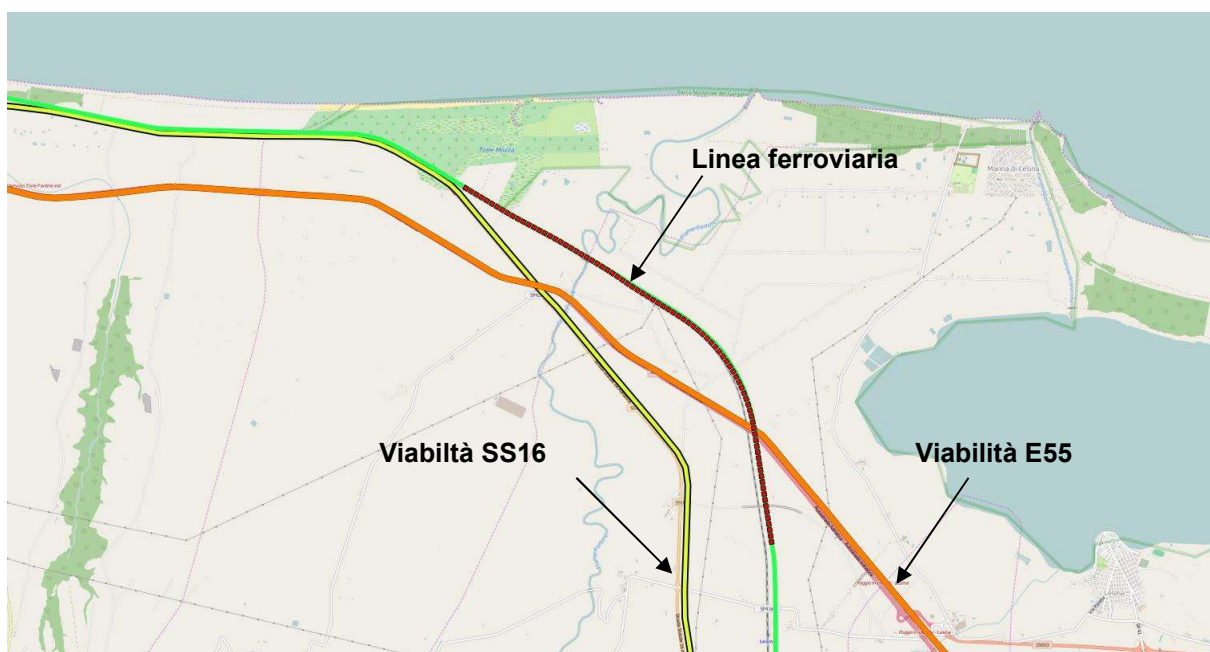


Figura 1 - Inquadramento geografico linea ferroviaria



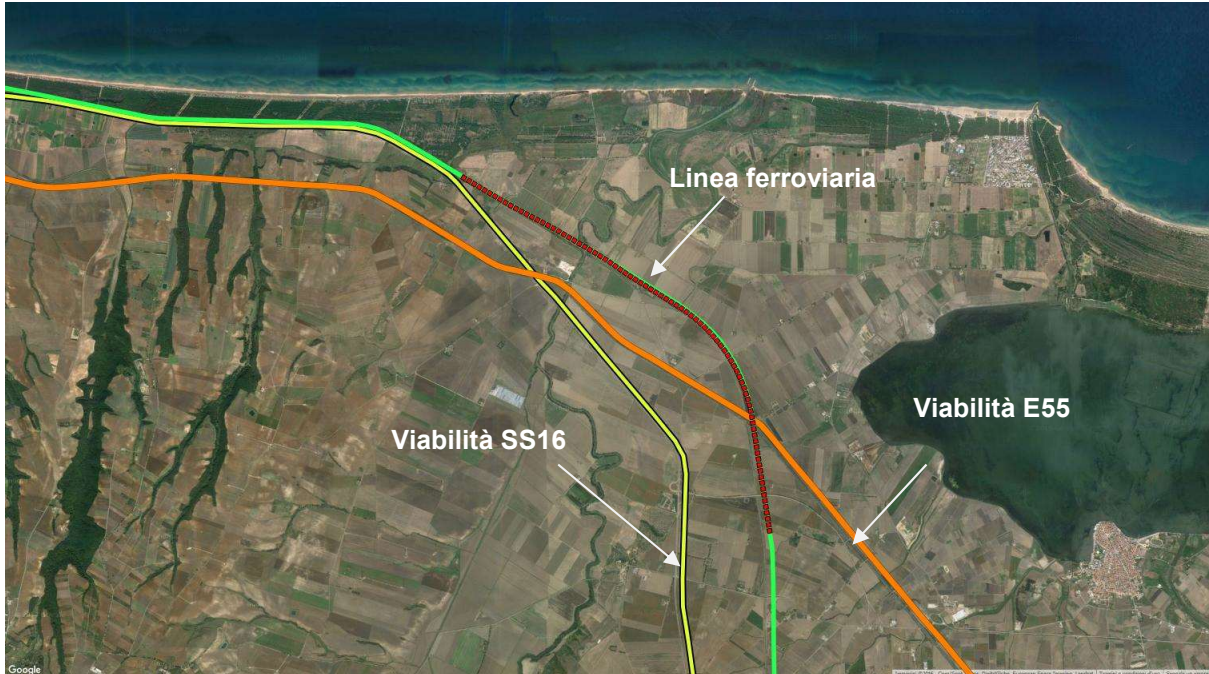


Figura 2 - Inquadramento geografico linea ferroviaria su ortofoto

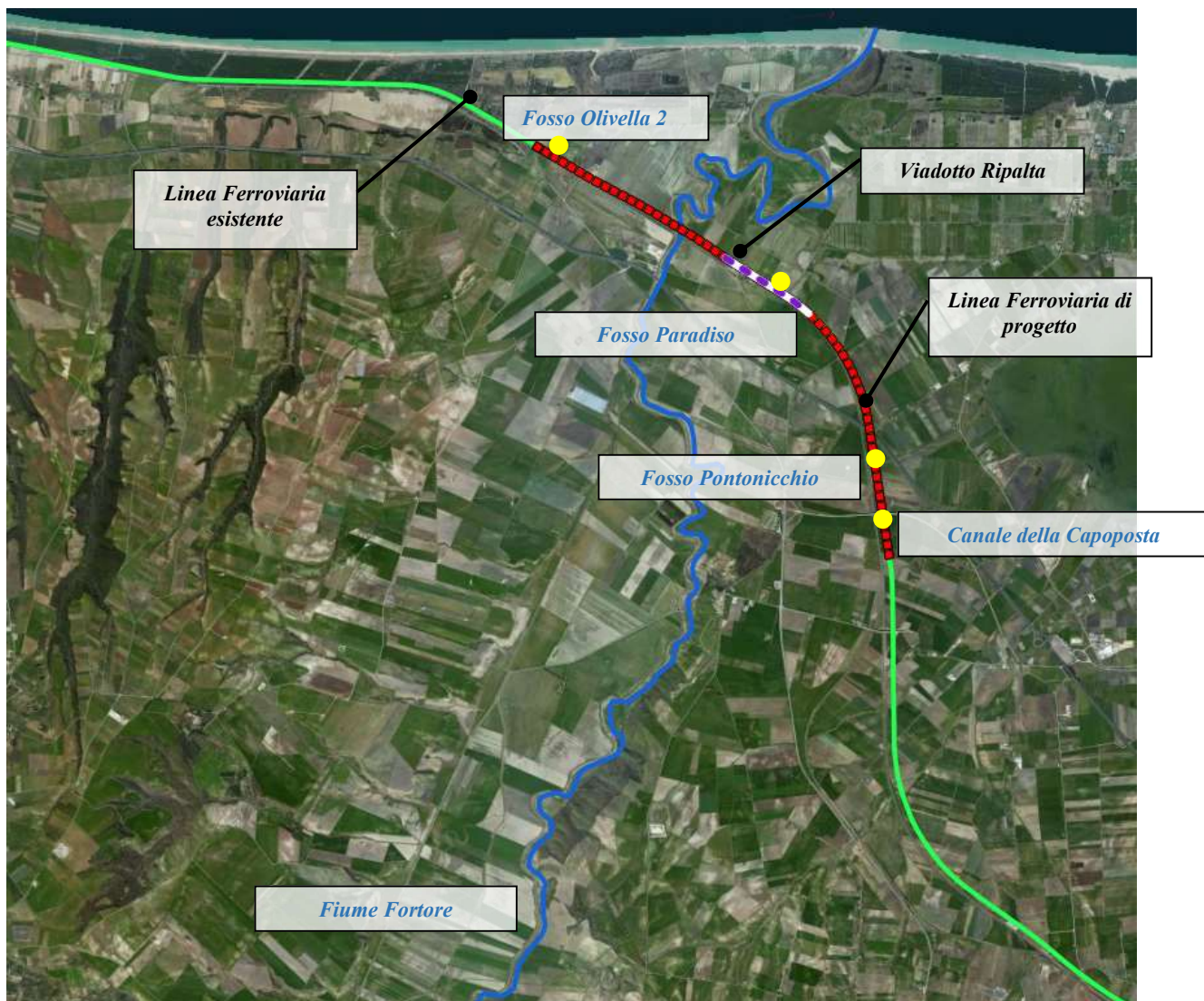


Figura 3 - Inquadramento geografico linea ferroviaria su ortofoto

### 2.3 Morfologia e idrografia

Il Fiume Fortore è lungo 110 km circa, ed è uno dei maggiori fiumi dell'Italia meridionale, attraversando ben tre regioni, Campania, Molise e Puglia. Nasce dal Monte Altieri (888 m s.m.) in località Grotta in Valfortore (840 m s.m.) presso Montefalcone di Valfortore (BN). Sfocia nel Mare Adriatico presso il lago di Lesina (FG) ovvero in località Ripalta a 55 km da Foggia. L'intero Bacino idrografico bagna tre Province: Campobasso, Benevento e Foggia. La parte alta del bacino, comprensiva di tutto il sottobacino idrografico del torrente Tappino, è l'area che dalla sorgente del Fortore, compreso tutte le aste impluviali che vi affluiscono, giunge sino alla diga in terra battuta del Lago di

Occhito, nei pressi di Celenza (FG) e di Macchia Val Fortore (CB). In questa porzione di bacino idrografico, si registrano quote massime prossime ai mille metri. In questa porzione di territorio il Bacino del Fiume Fortore investe le tre Regioni e le tre Province, vale a dire la Campania, il Molise e la Puglia e le Province di Campobasso, Benevento e Foggia. La Parte media o mediana del bacino idrografico del Fiume Fortore corrisponde all'area che dalla diga del Lago di Occhito giunge sino all'allineamento tra i paesi di Rotello(CB), località Piana del Ponterotto sul Fiume Fortore, Casalnuovo Monterotaro (FG), Casalvecchio di Puglia (FG), Castelnuovo della Daunia (FG). Questo settore ricade solamente nelle Regioni Puglia e Molise e nelle Province di Foggia e Campobasso. La Parte bassa del bacino idrografico del Fiume Fortore corrisponde alla porzione di bacino in cui si ha il massimo sviluppo della sua piana alluvionale; va dal limite inferiore della parte mediana del bacino sino alla sua foce (mare Adriatico), nel Comune di Lesina (FG). L'ultimo settore di Bacino idrografico, bagna solamente la Regione Puglia e la Provincia di Foggia.

Per quanto concerne la conformazione geomorfologica esso si presenta dapprima come un torrente a forti pendenze, ma di scarsa portata, accresciuto lievemente dal tributo del torrente Catola. Dopo la confluenza col Tappino, il corso si rallenta, la valle, scavata per la maggior parte nelle formazioni argillo-scistose del terziario, molto facilmente erodibili, si fa sempre più larga; ma il fiume, che divaga con numerosi meandri, dividendosi in fili sottili, non occupa, in tempi normali, che una minima parte del fondo, e nei mesi estivi, quando l'acqua è adoperata per irrigazione, è spesso asciutto in prossimità della foce. La foce stessa ha più volte variato la sua posizione. Sembra che un tempo almeno un ramo si gettasse nella laguna di Lesina, ma la bocca principale era presso la Punta delle Pietre Nere, dove il fiume andava a finire dopo aver corso per alcuni chilometri quasi parallelo al mare. Ora anche questo ramo (Fiume Morto) è interrato, e la foce presentemente attiva (Bocca Nuova) si trova molto più a ovest. Il corso del Fortore, misurato sull'asse della valle, è lungo 106 km, la superficie del bacino è di 1612 kmq. Nell'inverno il Fortore è soggetto a piene improvvise e irruenti, anche se in parte mitigate dalla presenza della diga di Occhito.

Dal punto di vista orografico la linea ferroviaria di progetto impegna settori di territorio di pianura posti a quote comprese tra il livello del mare e circa 25 m s.l.m. Morfologicamente, l'area si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o

sub-pianeggianti appartenenti alla fascia costiera adriatica ed alla piana alluvionale del F. Fortore.

#### 2.4 Inquadramento normativo

L'analisi condotta nel presente studio ha considerato gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. In particolare, all'interno degli strumenti legislativi di recente emanazione, è stato consultato il Progetto di Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del bacino interregionale del Fiume Fortore (adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale il 29/09/2006).

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

A livello normativo gli studi effettuati hanno tenuto conto anche del "Progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni" redatto per conto del distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale di recente emanazione (Aprile 2021 – Il ciclo). Tale ente raggruppa: Autorità di Bacino Nazionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, Regione Abruzzo, Regione Basilicata, Regione Calabria, Regione Campania, Regione Lazio, Regione Molise, Regione Puglia. Tra i vari elaborati allegati al piano, sono pubblicate le mappe di pericolosità idraulica (PI). Per il Fiume Fortore, gli aggiornamenti effettuati in fase di redazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni non hanno portato a modifiche delle mappe di pericolosità idraulica omogenea rispetto a quanto rappresentato nelle tavole del Piano di Bacino.

Dagli elaborati grafici annessi relativi alle carte di pericolosità idraulica si evince come l'infrastruttura ferroviaria di progetto sia in gran parte interna alla perimetrazione del Piano di Bacino e attraversi aree classificate come ad alta pericolosità idraulica PI3 (evidenziate nella figura seguente in color salmone).

Le Norme Tecniche di Attuazione dei Progetti di Piano Stralcio dell'assetto idrogeologico del Bacino interregionale del Fiume Fortore classificano le aree di pericolosità nel seguente modo:

- Aree a pericolosità idraulica alta (PI3): aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;

- b) Aree a pericolosità idraulica moderata (PI2): aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 e minore o uguale a 200 anni;
- c) Aree a pericolosità idraulica bassa (PI1): aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 e minore o uguale a 500 anni.

Solo il tratto terminale, in destra Fortore, rientra in aree esterne a quelle delimitate dall’Autorità di Bacino.

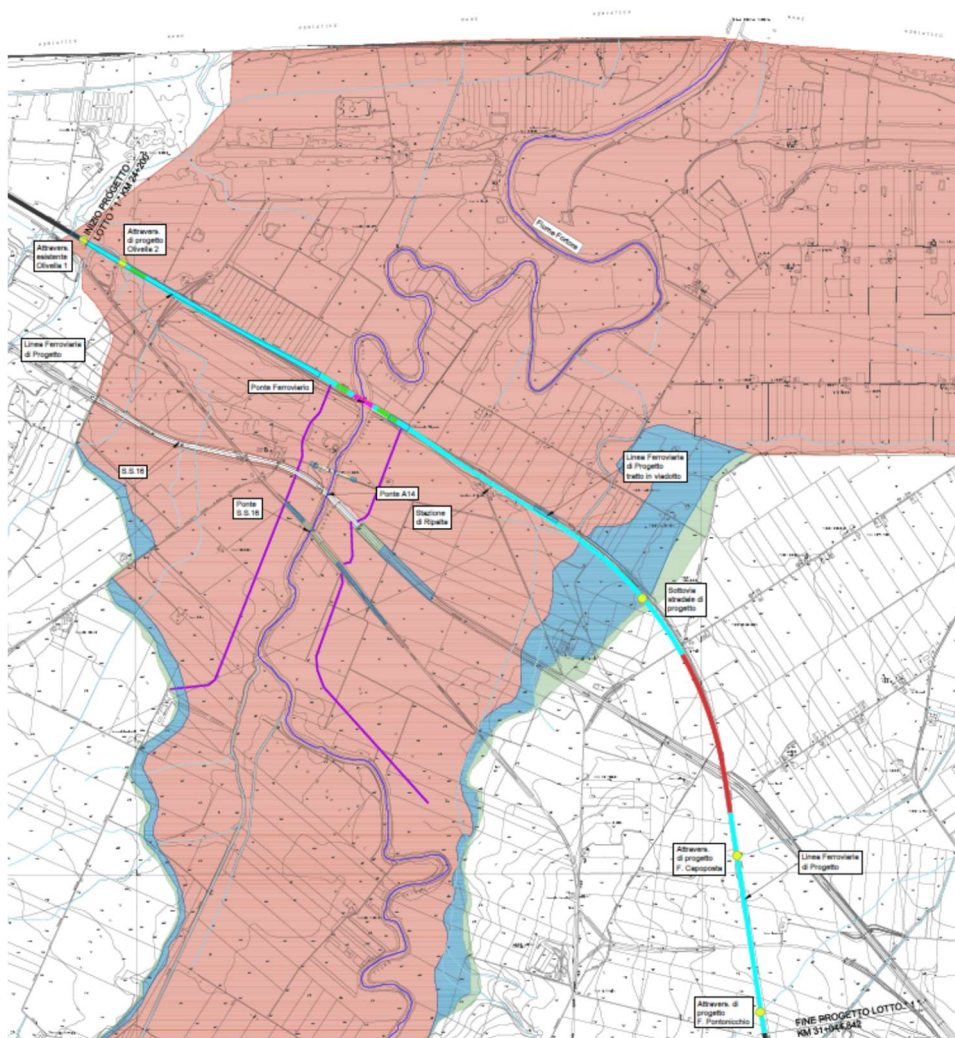


Figura 4 – Stralcio carte di pericolosità idraulica.

### 3 IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi, al fine di ricostruire la complessa rete idrografica minore dell’area e la suddivisione del bacino per ciascun

corso d'acqua attivo o effimero presente nella porzione di terreno studiata, è stato utilizzato un DTM (Digital Terrain Model) che è il risultato dell'unione del rilievo LIDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente, la cui risoluzione è dell'ordine del metro, con il rilievo LIDAR messo a disposizione della regione Puglia effettuato con risoluzione di circa otto metri a completamento delle porzioni di territorio non coperte dal rilievo commissionato dal Ministero (Figura 5).

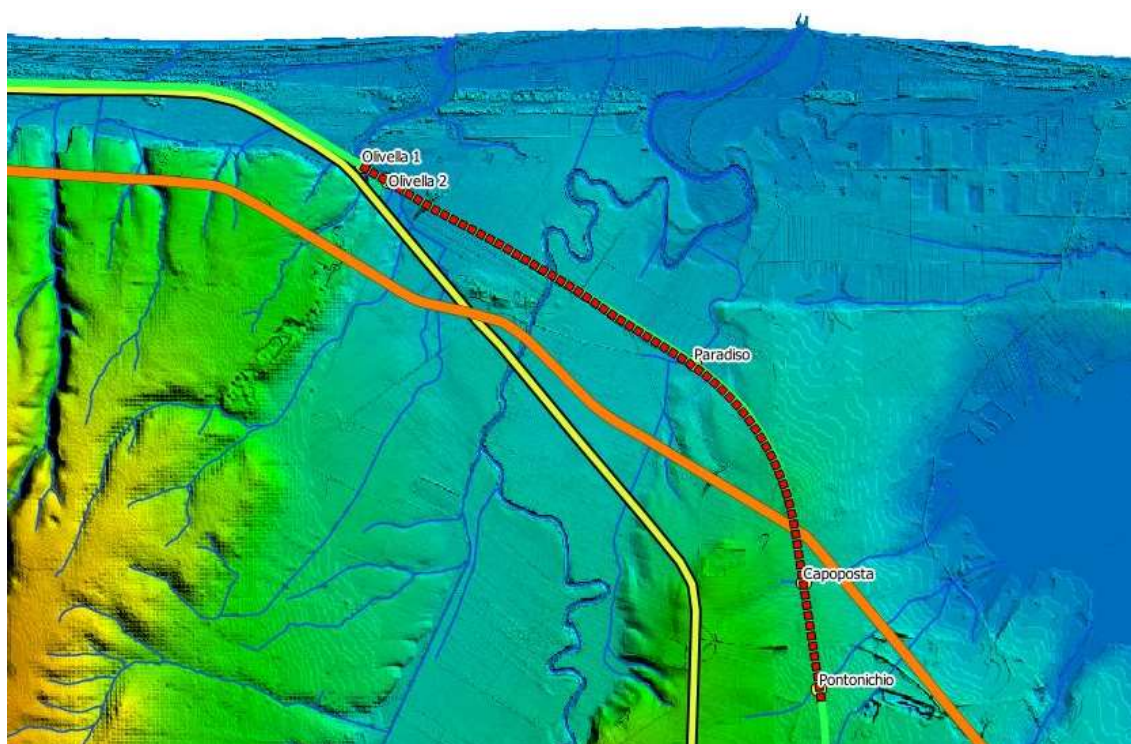


Figura 5 – DTM dell'area afferente alla linea ferroviaria in progetto.

### 3.1 Mapwindow e l'applicativo taudem

Per identificare la rete idrografica dell'area di studio, è stato utilizzato il programma MapWindow, software sviluppato dall'Idaho State University e dalla Utah State University, integrato con il plug-in TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). Questo applicativo consente il riconoscimento della rete idrografica sfruttando semplicemente il DTM dell'area di interesse, che deve essere fornito come griglia di quadrati di dimensioni identiche (pixel) ad ognuno dei quali va associata la quota geodetica media della porzione di territorio sottesa dal quadrato stesso.

La procedura prevista è la seguente:

Estrazione della rete: suddivisione del bacino idrografico in un numero

ragionevole di sottobacini e individuare i pixel “canalizzati”, pixel che, nella semplificazione idrologica del territorio, dovrebbero corrispondere ai canali della rete idrografica. La configurazione della rete estratta dipende dal criterio di estrazione adottato e dai valori assunti dai parametri.

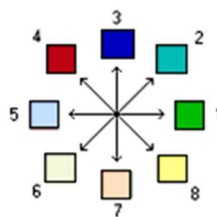
Fill Pits (Riempimento dei buchi): I pits (buchi) nei modelli digitali del terreno sono delle aree caratterizzate da una quota sensibilmente più bassa di tutto il terreno che li circonda. Sono dovuti generalmente a imperfezioni nel rilievo e possono interferire con la corretta simulazione dei fenomeni idrologici che interessano il bacino. Questa funzione identifica i pits nel DEM ed aumenta la loro quota fino al livello del punto più basso con cui confinano.

Calcolo delle direzioni di drenaggio: il calcolo delle direzioni di drenaggio viene eseguito con il metodo dello *steepest descent* per ogni singolo pixel, con due diverse procedure.

Un primo approccio, detto a 8 direzioni di drenaggio, ipotizza che l’acqua caduta su un certo pixel drena tutta in uno solo dei pixel adiacenti, cioè in quello caratterizzato dal massimo dislivello (verso il basso).

Numerati i pixel adiacenti, la direzione di drenaggio viene identificata con il numero del pixel adiacente che massimizza il rapporto:

$$\begin{cases} \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{z_0 - z_i}{\Delta x} & i \text{ dispari} \\ \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{z_0 - z_i}{\sqrt{2} \cdot \Delta x} & i \text{ pari} \end{cases}$$



Un secondo approccio, detto a infinite direzioni di drenaggio, identifica la direzione di drenaggio con l’angolo antiorario in radianti a partire dalla direzione Est. L’angolo è determinato come direzione di massima pendenza (verso il basso) sugli otto lati dei triangoli formati dai centri delle celle di una matrice 3 x 3 centrata sul pixel di interesse. In figura, inoltre, è riportato il modo con cui si distribuisce il flusso tra i due pixel interessati dal vettore di massima pendenza: questo si divide in due parti proporzionali all’angolo direzionale del flusso.

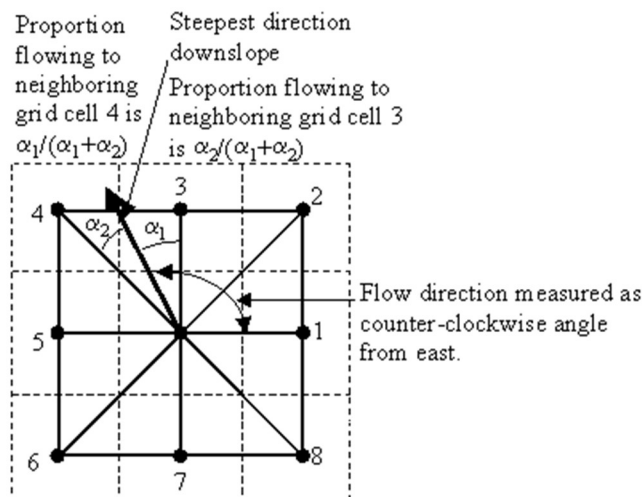
Calcolo delle aree cumulate di drenaggio: in base al metodo utilizzato per l’individuazione delle direzioni di drenaggio, si vanno a calcolare le aree cumulate di

drenaggio.

Per l'approccio a 8 direzioni di drenaggio, l'area cumulata di drenaggio è espressa in termini di numero di pixel: questa è assunta pari al contributo del pixel di interesse (1 unità) più il contributo dei pixel a monte che drenano su esso.

Per l'approccio a infinite direzioni di drenaggio, la procedura rimane sostanzialmente la stessa: questa volta però non si tiene conto di tutta l'area dei pixel a monte che drenano su quello di interesse, ma solo della frazione stabilita dalle relazioni

di proporzionalità del flusso precedentemente viste.



Calcolo dell'ordine di Strahler della rete e lunghezza dei percorsi del flusso: la matrice ottenuta dall'applicazione del criterio delle 8 direzioni di drenaggio definisce una rete idraulica. Questa funzione ordina tale rete secondo la convenzione di Strahler. Ai pixel sorgente (ai quali non giunge nessun drenaggio da altri pixel) si assegna ordine 1. Quando due o più percorsi di ordine differente si congiungono, l'ordine del pixel a valle è il massimo dei pixel precedenti. Quando invece si congiungono due percorsi con lo stesso ordine, l'ordine del pixel a valle va incrementato di 1.

Selezione della sezione di chiusura (outlet): la scelta della sezione di chiusura si effettua mediante la selezione di un pixel, che si ritiene appartenere alla rete dei canali, prossimo alla posizione dell'outlet desiderato.

Estrazione della rete a monte della sezione di chiusura: scelta la sezione di chiusura, l'operazione più importante è l'estrazione della rete: stabilire cioè se un certo pixel sia canalizzato oppure no. Ai pixel canale sarà assegnato l'indice 1, ai pixel non considerati canali l'indice 0. Condizione necessaria ma non sufficiente affinché un pixel sia canalizzato è che sia concavo o, in altri termini, la sua curvatura topografica sia positiva.

$$\nabla^2 z = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$$

Per effettuare questa analisi, sono a disposizione tre metodi.



Il più semplice si ottiene fissando una soglia sull'area cumulata di drenaggio. La taratura consisterà nella scelta del parametro di confronto per l'area cumulata. I pixel canale devono dunque soddisfare i seguenti requisiti:

$$\begin{cases} \nabla^2 z > 0 \\ A_{c,i} > \bar{A} \end{cases}$$

Particolarmente indicato per i bacini di montagna, è il criterio che fissa una soglia sul prodotto area cumulata-pendenza. Tale prodotto, infatti, è proporzionale all'attrito di fondo  $\tau_0$ . Le condizioni che devono soddisfare i pixel per essere ritenuti canalizzati sono:

$$\begin{cases} \nabla^2 z > 0 \\ \sqrt{A_{c,i}} \cdot S_i \geq \bar{A} \end{cases}$$

Più articolato è il criterio che fissa una soglia sull'area cumulata delle celle concave drenate. Come primo passo il programma compie un'operazione di smoothing (smorza le asperità), in base a diversi pesi assegnati al centro, ai lati e alle diagonali. Contrassegnate tutte le celle della mappa, in un'unica analisi esamina ogni quadrante di 4 celle e rimuove il contrassegno dalla cella più alta. Le celle che rimangono contrassegnate si ritengono concave: visivamente assomigliano ad una rete di canali, nonostante qualche volta non sia garantita la connessione o necessitino assottigliamenti. Il completamento delle connessioni e gli assottigliamenti sono portati a termine calcolando l'area afferente ad una determinata cella, enumerando in questo conteggio solo le celle concave drenate. La soglia da imporre nella taratura, per ottenere la rete di canali, è appunto sul numero di queste celle concave (upwards curved) drenate.

$$\begin{cases} \nabla^2 z > 0 \\ A_i^{UC} \geq \bar{A} \end{cases}$$

### 3.2 Individuazione della rete idrografica e dei bacini corsi d'acqua minori.

La linea ferroviaria in progetto interseca i tratti terminali di una serie di corsi d'acqua minori, ossia con bacino sotteso inferiore ai 10 km<sup>2</sup>.

Mediante l'applicativo precedentemente descritto è stata identificata tale rete idrografica e sono stati perimetrati i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea

ferroviaria di progetto.

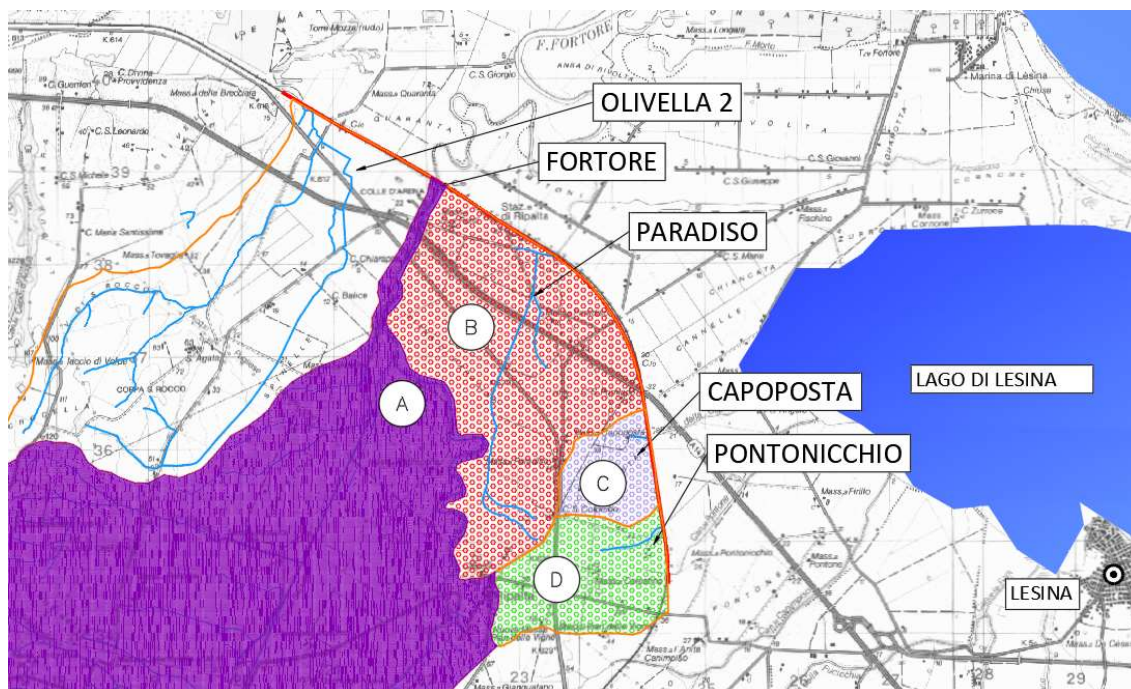
Questi sono stati individuati nel dettaglio mediante un sopralluogo condotto lungo tutta la tratta ferroviaria oggetto di studio.

Nella Tabella 3 sono elencate le opere di attraversamento minori individuate.

Bacino	Progressiva	Denominazione	Manufatto di progetto
B	3+475	Fosso Paradiso	Viadotto
C	5+743	Canale Capotosta	Scatolare
D	5+992	Fosso Pontonicchio	Scatolare

*Tabella 3 – Elenco delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua minori*

L'analisi idrologica e le verifiche idrauliche relative all'attraversamento del corso d'acqua Olivella 2 sono riportate negli elaborati LI0701EZZRIID0001002C e LI0701EZZRIID0002004C. La rete ed i bacini idrografici, la cui ubicazione planimetrica è rappresentata in Figura 6 sono riportati nelle corografie allegate al progetto (elaborati LI0701EZZC2ID0001001A).



*Figura 6 – Ricostruzione dell'idrografia della zona di studio, con la suddivisione dei bacini.*

Le caratteristiche dei bacini idrografici quali l'estensione, la lunghezza dell'asta principale, la quota massima del bacino e la quota in corrispondenza della sezione di

chiusura sono invece riassunte nelle seguenti tabelle:

Bacino	Corso d'acqua	Progressiva	Manufatto di progetto	Lunghezza asta [km]	Superficie bacino [km <sup>2</sup> ]	H <sub>max</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]
B	Fosso Paradiso	3+475	Viadotto	3.8	6.16	65	5
C	Canale Capotosta	5+743	Scatolare	0.9	0.97	48	19
D	Fosso Pontonicchio	5+992	Scatolare	1.2	2.05	65	25

Tabella 4 – Caratteristiche dei bacini dei corsi d'acqua minori.

## 4 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

### 4.1 Modello probabilistico per l'analisi delle piogge di Gumbel

Il metodo di Gumbel, prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta  $y$ :

$$y = \alpha(x-u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri  $\alpha$  e  $u$  sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le  $N$  altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad  $N$ . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di plotting position di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha  $N+1$  in luogo di  $N$  per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1 valore che rappresenta l'evento impossibile da superare.

Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si fonda sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[ -\ln \left( \frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta  $y$  dipende solamente da  $h$  con la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri  $\alpha$  e  $u$  si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, mediante le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Un metodo alternativo consiste nel determinare i parametri  $\alpha$  e  $u$  sfruttando il metodo di Weibull, ossia mediante le espressioni:

$$\alpha = \frac{S_y}{S_h} \quad u = m_h - \frac{m_y}{\alpha}$$

Dove  $S$  è la deviazione standard ed  $m$  la media.

Introducendo ora il concetto di tempo di ritorno,  $T_r$ , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T_r(h) = \frac{1}{1 - F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left( \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

Grazie al metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione  $h(T_r, \tau)$  che fornisce il valore di  $h$  in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione  $h(T_r, \tau)$  la seguente forma:

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

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

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

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

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 di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

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

#### 4.2 Definizione curve di possibilità pluviometrica per eventi con durata oraria

Per il calcolo delle portate di ogni bacino idrografico individuato nell'analisi idrografica effettuata precedentemente, sono state prese preliminarmente in considerazione le stazioni di misura più vicine alla zona di studio.

Tra le stazioni poste nelle vicinanze dei bacini analizzati, la stazione di Lesina è quella che presenta la maggior numerosità di valori. Allo stesso tempo le statistiche di tale stazione appaiono essere quelle più gravose in termini di piovosità.

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono stati messi a disposizione dal Servizio di Protezione Civile della Regione Puglia. I dati di interesse sono i valori

storici del massimo annuo giornaliero della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Ai fini dell'analisi delle precipitazioni sono stati utilizzati i dati raccolti presso la stazione pluviometrica di Lesina nel periodo 1938 – 1996 (fonte: Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore) per un totale di 51 anni di osservazioni.

Di seguito si riporta la tabella dei risultati dell'analisi statistica eseguita con il metodo di Gumbel per la stazione di Lesina. La tabella contengono le altezze di precipitazione relative alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, per i tempi di ritorno di 5, 25, 50, 100, 200, e 300 anni ed i corrispondenti parametri delle curve di possibilità pluviometrica  $a$  ed  $n$ .

Durata	STAZIONE PLUVIOMETRICA LESINA					
	Altezza di precipitazione $h(T_r)$ [mm]					
	5	25	50	100	200	300
1	35.99	53.59	60.89	68.12	75.33	79.55
3	50.23	76.21	86.97	97.65	108.30	114.51
6	58.59	85.63	96.83	107.94	119.02	125.49
12	66.81	93.80	104.98	116.07	127.13	133.59
24	75.69	104.35	116.21	127.99	139.72	146.58
<b>n</b>	<b>0.23</b>	<b>0.203</b>	<b>0.196</b>	<b>0.19</b>	<b>0.186</b>	<b>0.183</b>
<b>a</b>	<b>37.45</b>	<b>56.97</b>	<b>65.07</b>	<b>73.121</b>	<b>81.14</b>	<b>85.83</b>

Tabella 5 – Stazione di Lesina: risultati dell'analisi delle precipitazioni con il metodo di Gumbel.

### 4.3 Definizione curve di possibilità pluviometrica per eventi con durata inferiore 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:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t) \quad (1)$$

avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale della (1) può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left( \frac{t}{60} \right)^s \quad (2)$$

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 (Ferreri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227} \quad (3)$$

Fissati i tempi di ritorno  $T$  pari a 25 e 100 anni, previsti dal manuale Italferr per il dimensionamento delle opere di drenaggio stradale e ferroviario, il parametro  $a$  delle rispettive curve di possibilità pluviometrica è stato desunto dalla Tabella 5. Pertanto le curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora, per i due tempi di ritorno considerati, relative alla stazione pluviometrica di Lesina assumono la forma:

$$h_{t,25} = a_{25} \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227} = 53.9 \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227}$$

$$h_{t,100} = a_{100} \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227} = 69.0 \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227}$$

E' stata inoltre calcolata la curva di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora con tempo di ritorno pari a 200 anni, che assume la forma:

$$h_{t,200} = a_{200} \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227} = 76.5 \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.227}$$

Oltre a tali curve di possibilità pluviometrica è stata calcolata anche quella corrispondente ad un evento con tempo di ritorno pari a 5 anni:

$$h_{t,5} = a_5 \cdot \left(\frac{t}{60}\right)^{0.227} = 35.7 \cdot \left(\frac{t}{60}\right)^{0.227}$$

Tale curva è stata determinata al fine di dimensionare l'impianto di trattamento delle acque di prima pioggia della viabilità in progetto.

## 5 STIMA DELLE PORTATE PER CORSI D'ACQUA MINORI

### 5.1 Il metodo cinematico o razionale

Il metodo cinematico viene utilizzato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di limitata estensione. In questo studio, il metodo è stato utilizzato per la determinazione della massima piena corrispondente ad un fissato periodo di ritorno ( $T_r$ ).

La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui:  $Q$  = portata di piena [ $m^3/sec$ ];  
 $\varphi$  = coefficiente di deflusso;  
 $h$  = pioggia netta [ $m$ ];  
 $S$  = area del bacino [ $km^2$ ];  
 $t_c$  = tempo di corrivazione [ore].

Il valore di  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione  $t_c$ : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo  $t_c$  solo una parte del bacino  $S$  contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella Figura 7 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).



Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

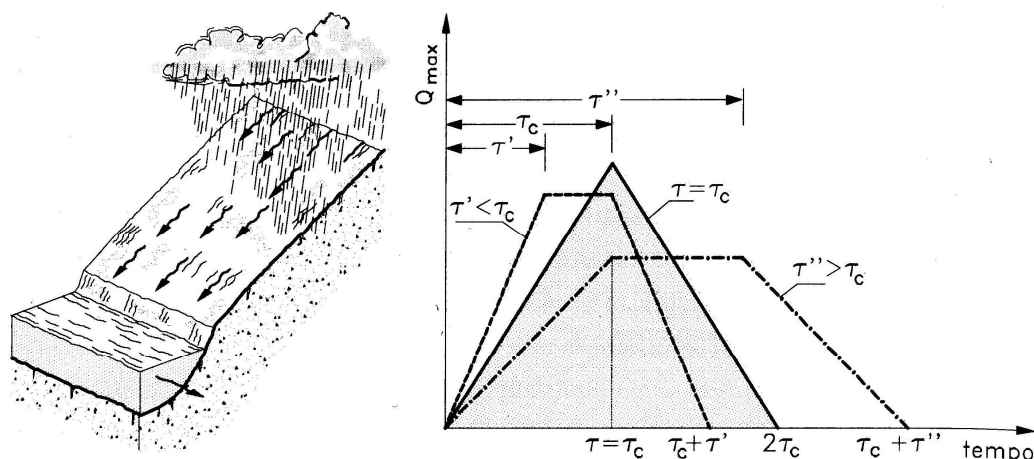


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino:

$$\tau_c = \frac{(4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L)}{0.8 \cdot \sqrt{(H_m - H_0)}}$$

con

$A$  = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km<sup>2</sup>];

$L$  = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km];

$H_m$  = quota media del bacino [m smm];

$H_o$  = quota della sezione di chiusura [m smm].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei medesimi.

Un'altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Ventura** (1905). La relazione ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove  $i_m$  è la pendenza media della rete di drenaggio ed  $A$  la superficie del bacino .

Un'ulteriore formulazione già ampiamente sperimentata in casi analoghi è quella di **Pasini** che ha la seguente forma:

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

All'interno del presente studio è stata utilizzata anche la formula di **Pezzoli**, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km<sup>2</sup>

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

E' stata presa in considerazione anche la formula di **Kerby**, utilizzata frequentemente per il calcolo del tempo di corrivazione in bacini di estensione limitata. La formula di Kerby è stata sviluppata da risultati ottenuti da bacini con canalizzazioni inferiori ai 1200 ft (365 m). La relazione di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, ha la forma:

$$\tau_c = \left(0.342 \cdot N \cdot L \cdot i_m^{-0.5}\right)^{0.467}$$

Con  $N$  = parametro legato al tipo di superficie (Tabella 6). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.4, valore di riferimento per le aree adibite al pascolo o prato e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

Description	N
Pavement	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops or moderately rough bare surfaces	0.20
Pasture, average grass	0.40
Deciduous forest	0.60
Dense grass, coniferous forest, or deciduous forest with deep litter	0.80

Tabella 6 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.

Infine una equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Kirpich**. Questa è stata ricavata da dati rilevati in sette bacini agricoli del Tennessee (USA). Questi bacini avevano tutti una canalizzazione ben definita e pendenza tra 0.03 e 0.1 m/m (dal 3 al 10%) e aree da 0.04 a 0.5 km<sup>2</sup>. E' utilizzata ampiamente per bacini urbani, sia per il deflusso delle aree scolanti che per il deflusso nei canali, oltre che per bacini rurali fino a 0.8 km<sup>2</sup>. La formula di Kirpich ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,0662 \cdot k \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,77}$$

Dove :

L = estensione del percorso più lungo che deve compiere la singola particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura [km];

$i_m$  = è la pendenza media del bacino

k= coefficiente di aggiustamento legato alla tipologia di terreno.

Ground Cover	Kirpich Adjustment Factor, k (Chow et al., 1988; Chin, 2000)
General overland flow and natural grass channels	2
Overland flow on bare soil or roadside ditches	1
Overland flow on concrete or asphalt surfaces	0.4

Tabella 7 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.

Nella presente analisi è stato applicato un coefficiente k pari a 2.

## 5.2 Definizione delle portate per i corsi d'acqua minori

Il primo passo per l'individuazione delle portate per ogni bacino dei corsi d'acqua minori (Capoposta, Pontonicchio e fosso Paradiso) consiste nella determinazione del tempo di corrivazione con le formule descritte nel paragrafo 5.1. I dati necessari per il calcolo dei tempi, ossia superficie, lunghezza dell'asta, altitudine massima, altitudine alla sezione di

chiusura e pendenza media sono stati determinati grazie alla ricostruzione del DTM e all'analisi riportata nel capitolo 4.1. Le diverse formule presentano dei campi di applicazione differenti a seconda dell'estensione del bacino in esame. Nella presente analisi, essendo i bacini di estensione inferiore a  $10 \text{ km}^2$ , il tempo di corrivazione è stato calcolato come media dei risultati ottenuti dall'equazione di Pasini, Pezzoli, Ventura, Kerby e Kirpich.

Per la determinazione della portata liquida con il metodo cinematico è stato imposto un coefficiente di deflusso pari a 0.5.

La valutazione delle portate è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni, congruamente a quanto previsto dal manuale Italferr per le opere di attraversamento che sottendono bacini con estensione minore ai  $10 \text{ km}^2$ . I risultati ottenuti dalla curva di possibilità pluviometrica ottenuta con il metodo di GUMBEL sono riportati nelle tabelle seguenti.

Corso d'acqua	Progressiva	Manufatto di progetto	$t_{C_{medio}}$ [ore]	Altezza di pioggia metodo GUMBEL			
				h 30 [mm]	h 100 [mm]	h 200 [mm]	h 500 [mm]
Fosso Paradiso	3+475	Viadotto	2.06	66.0	83.9	92.8	104.5
Canale Capotosta	5+743	Scatolare	0.54	50.3	65.0	72.4	82.1
Fosso Pontonicchio	5+992	Scatolare	0.73	53.4	68.9	76.5	86.7

Tabella 8 – Metodo GUMBEL: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio.

Bacino	Corso d'acqua	Progressiva	Manufatto di progetto	$t_{C_{medio}}$ [ore]	Portate metodo GUMBEL			
					Q 30 [m <sup>3</sup> /s]	Q 100 [m <sup>3</sup> /s]	Q 200 [m <sup>3</sup> /s]	Q 500 [m <sup>3</sup> /s]
B	Fosso Paradiso	3+475	Viadotto	2.06	28.3	34.84	38.55	43.39
C	Canale Capotosta	5+743	Scatolare	0.54	13	16.23	18.05	20.48

D	Fosso Pontonicchio	5+992	Scatolare	0.73	21.6	26.86	29.85	33.81
---	-----------------------	-------	-----------	------	------	-------	-------	-------

*Tabella 9 – Portate ricavate con il metodo razionale applicando la curva di possibilità pluviometrica del metodo GUMBEL.*

E' da precisare che per i corsi d'acqua Capotosta e Pontonicchio, essendo il tempo di corrivazione inferiore all'ora è stata utilizzata la curva di possibilità pluviometrica degli scrosci.

## 6 ASPETTI IDROLOGICI DEL FIUME FORTORE

### 6.1 Cenni sul bacino idrografico

In Figura 8 è riportato il bacino del Fiume Fortore delimitato a valle dalla linea ferroviaria di progetto. La diga di Occhito, come già precisato, suddivide idrologicamente il bacino in due parti, una parte a monte dello sbarramento, e una parte a valle. L'onda di piena generata può essere schematizzata come somma idrologica di due contributi, il primo dovuto al bacino a monte della diga che è strettamente legato alla porta uscente dagli organi di scarico della stessa e dalla loro regolazione; il secondo dovuto alla sola risposta idrologica del bacino compreso tra lo sbarramento e la linea ferroviaria.

La portata in uscita dalla diga di Occhito dipende dalla portata idrologica in ingresso al bacino artificiale e dalle modalità di gestione degli organi di regolazione e scarico, che a loro volta rientrano nei piani di laminazione dell'invaso.

Nel seguito verrà analizzata la risposta idrologica dell'intero bacino del Fortore, distinguendo il contributo dovuto dal bacino a monte della diga e il contributo del bacino a valle della medesima. Nello sviluppare tale analisi, sono stati presi in considerazione gli studi esistenti contenuti all'interno del "Progetto di piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino interregionale del Fiume Fortore", assieme a quanto riportato nel "Piano di Laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul Fiume Fortore".

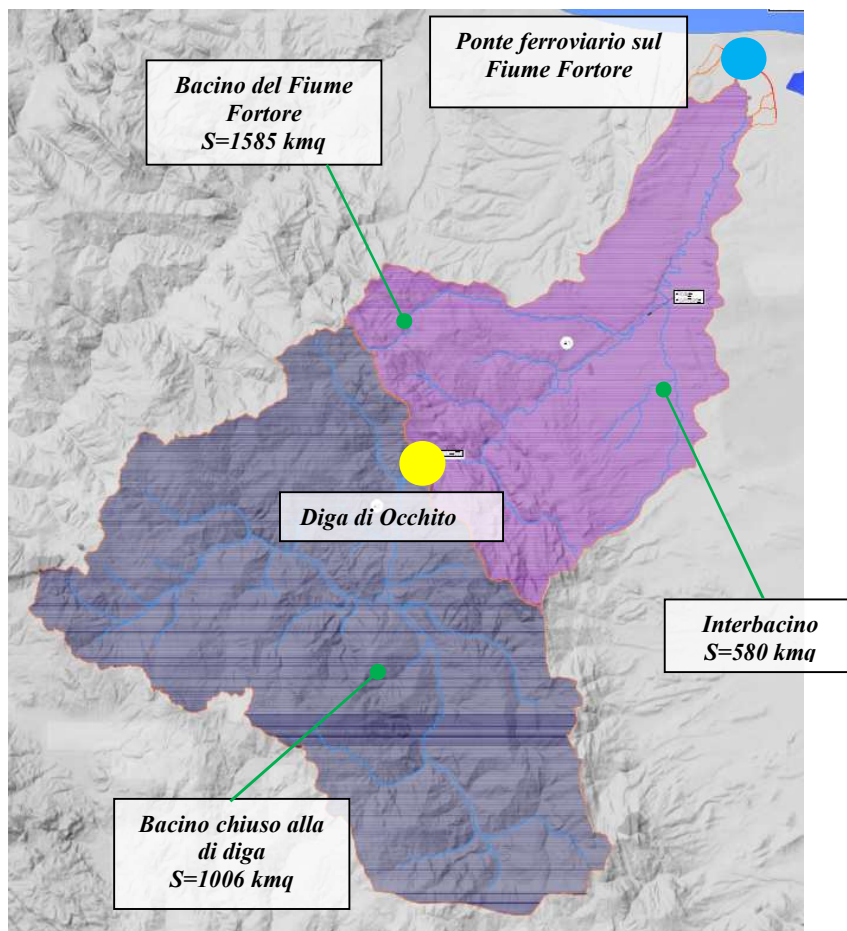


Figura 8 – Bacino del Fiume Fortore, chiuso al ponte ferroviario.

### 6.1 Calcolo delle onde di piena del bacino del Fiume Fortore

In fase di progetto preliminare sono state sviluppati approfonditi studi al fine di valutare le portate idrologiche generate dal bacino a monte della diga di Occhito e dal bacino a valle della diga (interbacino) attraverso una modellazione a parametri distribuiti che viene di seguito descritta.

I dati di base che descrivono il territorio analizzato sono i seguenti:

- modello digitale del terreno (DTM), al fine del calcolo della mappa dei puntatori;
- mappa digitale dell'uso del suolo ricavata dal Progetto CORINE Land Cover;
- mappa digitale delle formazioni geo-litologiche del SINA.

Dal modello digitale del terreno si ricava la mappa dei puntatori idrologici che descrive i versanti e il reticolo e la mappa dei tempi di ritardo, dalla mappa geolitologica e di uso

del suolo si ricavano le mappe di ritenuta (SC) e di infiltrazione a saturazione (Ks). La propagazione della piena nel bacino è simulata con un modello che prevede una componente cinematica e una componente di invaso. Entrambe le componenti sono caratterizzate da un proprio tempo di ritardo.

Il tempo di ritardo complessivo, dato dalla somma di quello cinematico e di quello di invaso, è stimato integrando i tempi di trasferimento calcolati in funzione di una velocità locale con cui si propaga l'onda di piena. La velocità locale è data dalla seguente espressione Il legame funzionale è quindi del tipo:

$$v = MT A^{0.3}$$

dove

v è la velocità di trasferimento in m/s, A è l'area del bacino a monte espresso in km<sup>2</sup> mentre MT è un parametro di scala stimato in fase di taratura del modello (vedi oltre).

La capacità di ritenuta del suolo (indicata con SC, Storage Capacity), ossia il volume di potenziale accumulo idrico viene inizialmente stimata in funzione delle caratteristiche geo-litologiche. La Tabella 10 permette l'associazione ad ogni classe geo-litologica del valore medio (SC media) e della sua deviazione standard (SC std dev).

Alla capacità di ritenuta propria del suolo SC, ricavata in base della precedente tabella, viene aggiunta un'ulteriore quota di potenziale accumulo SCu riconducibile al fattore uso del suolo. Tale contributo rispecchia prevalentemente la capacità di intercettazione propria della vegetazione. In Tabella 11, per ogni classe, si riporta un valore medio e la sua deviazione standard.

Anche per quanto riguarda la velocità di infiltrazione a saturazione (indicata con Ks), ossia la velocità con cui l'acqua accumulata nel suolo penetra negli strati profondi del sottosuolo, essa viene inizialmente stimata dalle caratteristiche geolologiche. Nella Tabella 12 si mette in relazione tali caratteristiche con i valori medi e la deviazione standard del suddetto fattore.

La velocità di infiltrazione a saturazione così calcolata è stata corretta per tener conto della presenza/assenza di copertura vegetale ovvero di aree impermeabilizzate moltiplicandola per un fattore variabile Ksu dipendente dall'uso del suolo come riportato nella Tabella 13.



Classe	Descrizione della geolitologia	SC media [mm]	SC std.dev. [mm]
1	Accumuli detritici, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali (Olocene)	0.01	0.01
2	Alluvioni terrazzate (Olocene)	100	100
3	Accumuli detritici, depositi alluvionali, fluviolacustri e fluvioglaciali (Pleistocene)	100	100
4	Sabbie e conglomerati (Pleistocene)	80	80
5	Argille [es. argille di Bradano, argille subappennine] (Pleistocene)	60	60
6	Depositi prevalentemente lacustri e fluviolacustri [Villafranchiano Auct. p.p.] (Pleistocene-Pliocene)	80	80
7	Argille (Pleistocene-Pliocene)	60	60
8	Sabbie e conglomerati [es.sabbie gialle] (Pliocene)	80	80
9	Argille e marne, a luoghi con olistromi [es. argille azzurre, argille subappennine] (Pliocene)	60	60
10	Arenarie (anche torbiditiche) ed argille, a luoghi con evaporiti [es.formazione del Toma] (Miocene Superiore)	60	60
11	Formazione gessoso-solfifera (Miocene Superiore)	0.01	0.01
12	Calcari organogeni e biodetritici e calcareniti di facies neritica e di piattaforma (Miocene medio-inferiore)	250	250
13	Arenacee e marnose arenacee e [es.arenarie di Caiazzo] (Miocene medio-inferiore)	60	60
14	Calcareao-marnose [es. formazione della Daunia] (Miocene medio-inferiore)	200	200
15	Marne e marne calcaree con apporti detritici, di facies di scarpata (Paleocene)	100	100
16	Argillose ed argilloso-calcareae [es.argille varicolori] (Paleocene)	100	100
17	Calcari e calcari marnosi. talora con selce, con apporti detritici di facies di scarpata (Paleocene-Cretacico sup.)	40	40
18	Calcari organici e biodetritici, talvolta dolomitici, di facies di piattaforma carbonatica (Cretacico Superiore)	500	500
19	Calcari e calcari biodetritici di facies neritica e di piattaforma (Cretacico Superiore)	500	500
20	Calcari e calcari biodetritici di facies di piattaforma carbonatica (Cretacico-Giurassico Superiore)	500	500
21	Calcari e subordinatamente dolomie cristalline di facies di piattaforma carbonatica (Giurassico)	160	160
22	Laghi e Ghiacciai	0.01	0.01

*Tabella 10 - Capacità di ritenuta (SC) per ciascuna classe geo-litologica*

Classe	Descrizione dell'uso del suolo	SC <sub>u</sub> media [mm]	SC <sub>u</sub> std.dev [mm]
1	Tessuto urbano continuo	0.01	0.01
3	Aree industriali o commerciali	0.01	0.01
3	Aree estrattive	0.01	0.01
4	Seminativi in arre irrigue	5	5
5	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali	8	8
76	Boschi di latifoglie	5	5
7	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	7	7
9	Aree con vegetazione rada	5	5
8	Bacini di acqua	0.01	0.01

*Tabella 11 - Capacità di ritenuta aggiuntiva SC<sub>u</sub> per ciascuna classe di uso del suolo*

Classe	Descrizione della geolitologia	Ks media [mm/h]	Ks std.dev. [mm/h]
1	Accumuli detritici, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali (Olocene)	0.35	0.35
2	Alluvioni terrazzate (Olocene)	0.05	0.05
3	Accumuli detritici, depositi alluvionali, fluviolacustri e fluvioglaciali (Pleistocene)	0.15	0.15
4	Sabbie e conglomerati (Pleistocene)	0.3	0.3
5	Argille [es. argille di Bradano, argille subappennine] (Pleistocene)	0.5	0.5
6	Depositi prevalentemente lacustri e fluviolacustri [Villafranchiano Auct. p.p.] (Pleistocene-Pliocene)	0.1	0.1
7	Argille (Pleistocene-Pliocene)	0.45	0.45
8	Sabbie e conglomerati [es.sabbie gialle] (Pliocene)	0.3	0.3
9	Argille e marne, a luoghi con olistromi [es. argille azzurre, argille subappennine] (Pliocene)	0.1	0.1
10	Arenarie (anche torbiditiche) ed argille, a luoghi con evaporiti [es.formazione del Toma] (Miocene Superiore)	0.3	0.3
11	Formazione gessoso-solfifera (Miocene Superiore)	0.05	0.05
12	Calcari organogeni e biodetritici e calcareniti di facies neritica e di piattaforma (Miocene medio-inferiore)	0.6	0.6
13	Arenacee e marnose arenacee e [es.arenarie di Caiazzo] (Miocene medio-inferiore)	0.3	0.3
14	Calcareao-marnose [es. formazione della Daunia] (Miocene medio-inferiore)	0.55	0.55
15	Marne e marne calcaree con apporti detritici, di facies di scarpata (Paleocene)	0.3	0.3
16	Argillose ed argilloso-calcaree [es.argille varicolori] (Paleocene)	0.12	0.12
17	Calcari e calcari marnosi. talora con selce, con apporti detritici di facies di scarpata (Paleocene-Cretacico sup.)	0.6	0.6
18	Calcari organici e biodetritici, talvolta dolomitici, di facies di piattaforma carbonatica (Cretacico Superiore)	7.5	7.5
19	Calcari e calcari biodetritici di facies neritica e di piattaforma (Cretacico Superiore)	7.5	7.5
20	Calcari e calcari biodetritici di facies di piattaforma carbonatica (Cretacico-Giurassico Superiore)	7.5	7.5
21	Calcari e subordinatamente dolomie cristalline di facies di piattaforma carbonatica (Giurassico)	5.5	5.5
22	Laghi e Ghiacciai	0.01	0.01

*Tabella 12 - Velocità di infiltrazione a saturazione (Ks) per ciascuna classe geo-litologica*

Classe	Descrizione dell'uso del suolo	Ksu media [-]	Ksu std.dev [-]
1	Tessuto urbano continuo	0.3	0.15
3	Aree industriali o commerciali	0.2	0.1
3	Aree estrattive	1	0.5
4	Seminativi in arre irrigue	1.3	0.65
5	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali	1.2	0.6
76	Boschi di latifoglie	1.2	0.6
7	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1	0.5
9	Aree con vegetazione rada	1	0.5
8	Bacini di acqua	0.01	0.005

*Tabella 13 - Moltiplicatore Ksu della velocità di infiltrazione per ciascuna classe di uso del suolo*

Il modello calcola la pioggia netta decurtando lo ietogramma di un perdita iniziale e di una infiltrazione a saturazione. La perdita iniziale è funzione della ritenuta e del grado di

saturazione iniziale. Viene inoltre applicato un coefficiente di ragguaglio areale funzione dell'area del bacino e della durata dell'evento di pioggia. Il modello necessita pertanto della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

$\alpha_0$  frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]

RI coefficiente moltiplicativo della mappa della capacità di ritenuta del suolo [/]

IN coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]

IP coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]

MT coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]

CI coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]

I parametri del modello idrologico utilizzati sono riportati nella

Alpha0 – Saturazione iniziale	0.80
IN - Infiltrazione	0.01
RI - Ritenuta	2.00
IP – Ipodermico	0.00
CI - Rapporto cinematico/invaso	0.45
MT - Velocità di trasferimento	0.28

*Tabella 14 – Parametri del modello idrologico*

Il calcolo delle portate è stato condotto utilizzando un ietogramma del tipo Chicago e applicando alle altezze di pioggia un fattore di ragguaglio areale ( $K_r$ ). 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  $r=0.4$ .

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  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  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:

-  $\alpha = 0.036 a$ , dove  $a$ ,  $m$  sono i parametri della CPP,  $T$  il tempo di ritorno;

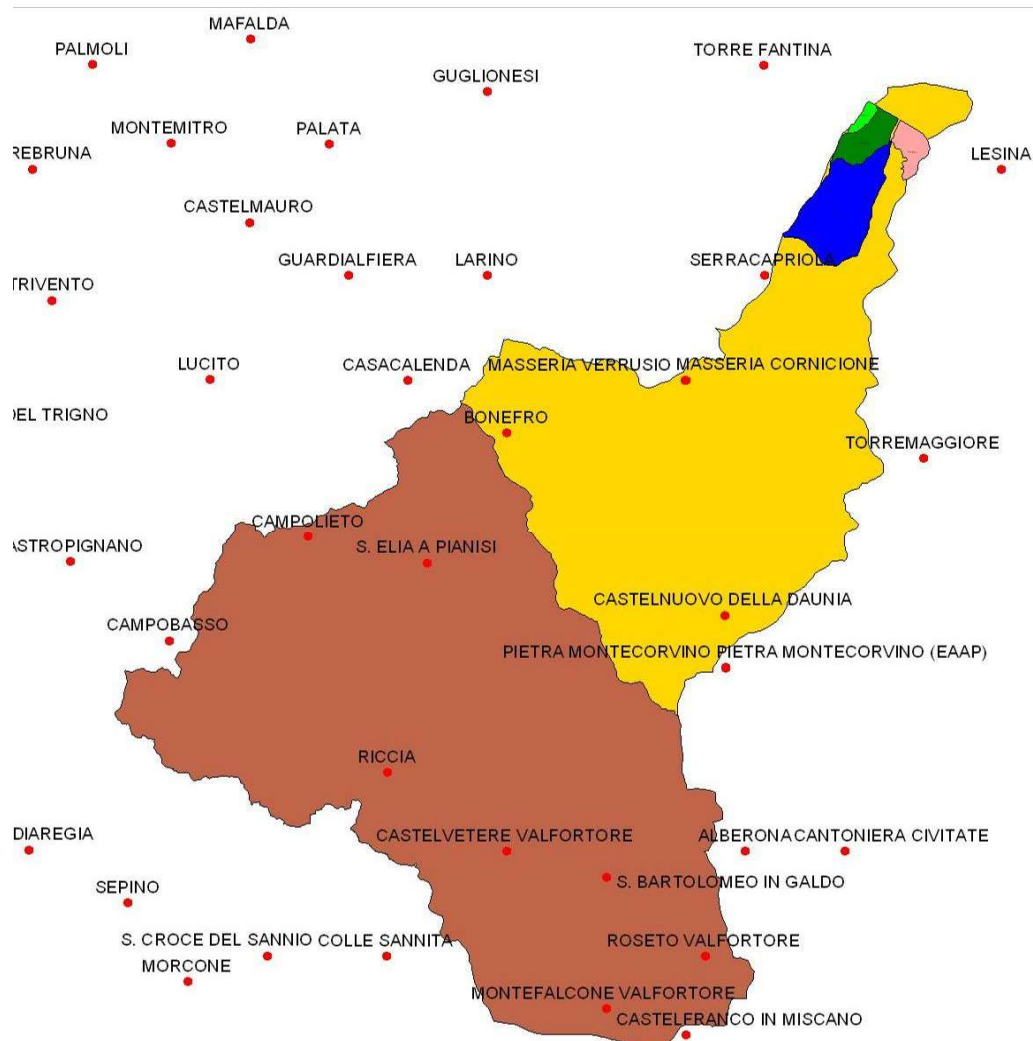
-  $\beta = 0.25$ ;

-  $\gamma = 0.01$ .

Nello ietogramma tipo Chicago sono stati introdotti i parametri delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) della Tabella 15.

CODICE	NOME STAZI	UTM E	UTM N	CPP A	CPP N	CPP M
3573	CAMPOBASSO	471080.47	4601976.03	23.43	0.26	0.21
3574	CASTROPIGNANO	464160.98	4607558.55	17.78	0.29	0.21
3576	LUCITO	473926.70	4620469.58	17.27	0.34	0.21
3580	GUARDIALFIERA	483644.69	4627842.56	18.23	0.35	0.21
3581	LARINO	493335.67	4627826.85	21.25	0.37	0.21
3583	CASACALENDA	487785.28	4620432.40	22.10	0.36	0.21
3586	SERRACAPRIOLA	512717.61	4627834.89	21.02	0.34	0.21
3587	TORRE FANTINA	512691.38	4642638.79	21.17	0.26	0.21
3588	MONTEFALCONE VALFORTORE	501653.60	4576012.96	18.80	0.34	0.21
3589	ROSETO VALFORTORE	508621.29	4579718.47	22.31	0.35	0.21
3590	S. BARTOLOMEO IN GALDO	501651.57	4585264.60	16.09	0.37	0.21
3591	CASTELVETERE VALFORTORE	494689.78	4587116.76	20.05	0.31	0.21
3594	CAMPOLIETO	480826.27	4609345.06	17.97	0.37	0.21
3595	RICCIA	486346.63	4592678.85	19.86	0.35	0.21
3598	S. ELIA A PIANISI	489151.47	4607477.18	22.30	0.27	0.21
3601	BONEFRO	494711.80	4616722.99	18.18	0.41	0.21
3603	CASTELNUOVO DELLA DAUNIA	509981.95	4603774.93	19.58	0.34	0.21
3604	CANTONIERA CIVITATE	518358.00	4587138.00	21.01	0.26	0.21
3605	S.NICOLA	542962.00	4663114.00	17.68	0.24	0.21
3745	CASTELFRANCO IN MISCANO	507233.00	4574166.00	17.83	0.36	0.21
3760	S. CROCE DEL SANNIO	477959.88	4579747.11	22.39	0.30	0.21
3763	COLLE SANNITA	486322.09	4579726.44	17.59	0.31	0.21
3922	LESINA	529300.00	4635285.00	22.98	0.29	0.21
3930	TORREMAGGIORE	523836.00	4614909.00	20.24	0.28	0.21
3933	PIETRA MONTECORVINO	509987.00	4600074.00	24.04	0.31	0.21
3934	ALBERONA	511397.00	4587124.00	23.23	0.30	0.21
3933B	PIETRA MONTECORVINO (EAAP)	510012.00	4600099.00	20.99	0.26	0.21

*Tabella 15 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica forniti dai dati di pioggia delle singole stazioni – PAI Fortore*



*Figura 9- Inquadramento dei bacini minori nel bacino del fiume Fortore e stazioni pluviometriche elaborate*

A parità di evento pluviometrico, sono state calcolate separatamente le onde di piena generate dal sottobacino del Fortore a monte della diga di Occhito e dall'interbacino a valle della diga. I calcoli sono stati effettuati per differenti tempi di ritorno, 30, 100, 200, 300 e 500 anni, i risultati sono riportati nei due grafici a seguire (Figura 10 e Figura 11).

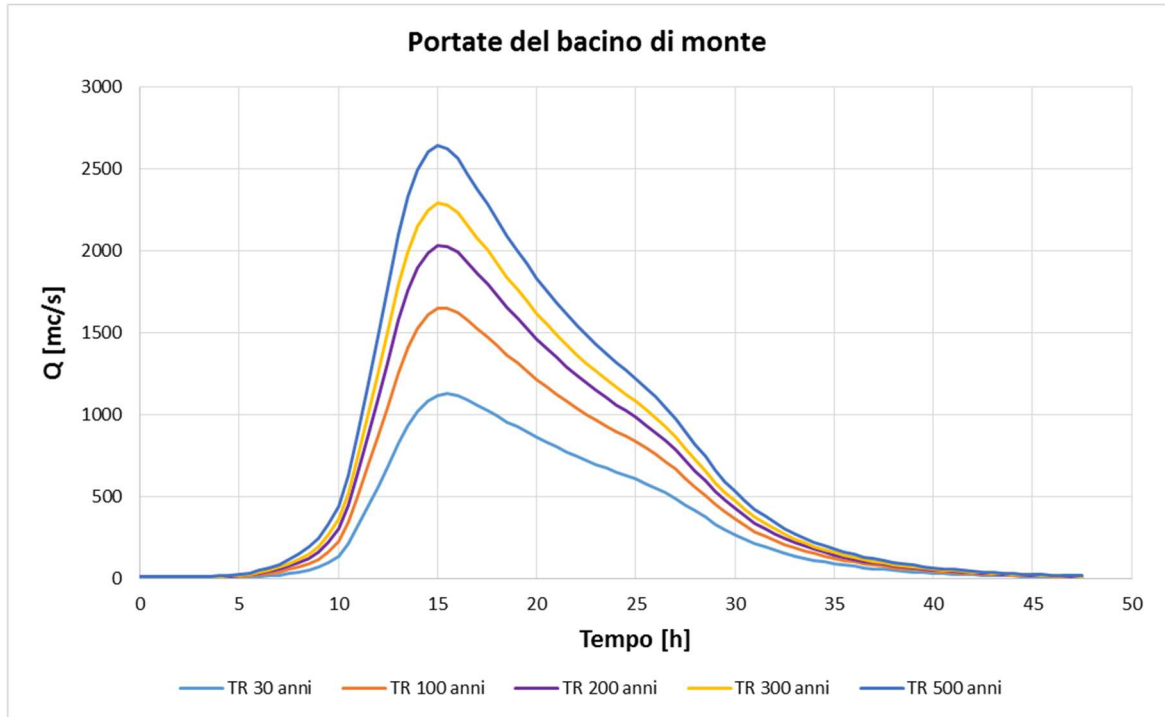


Figura 10- Onde di piena del bacino a monte della diga di Occhito

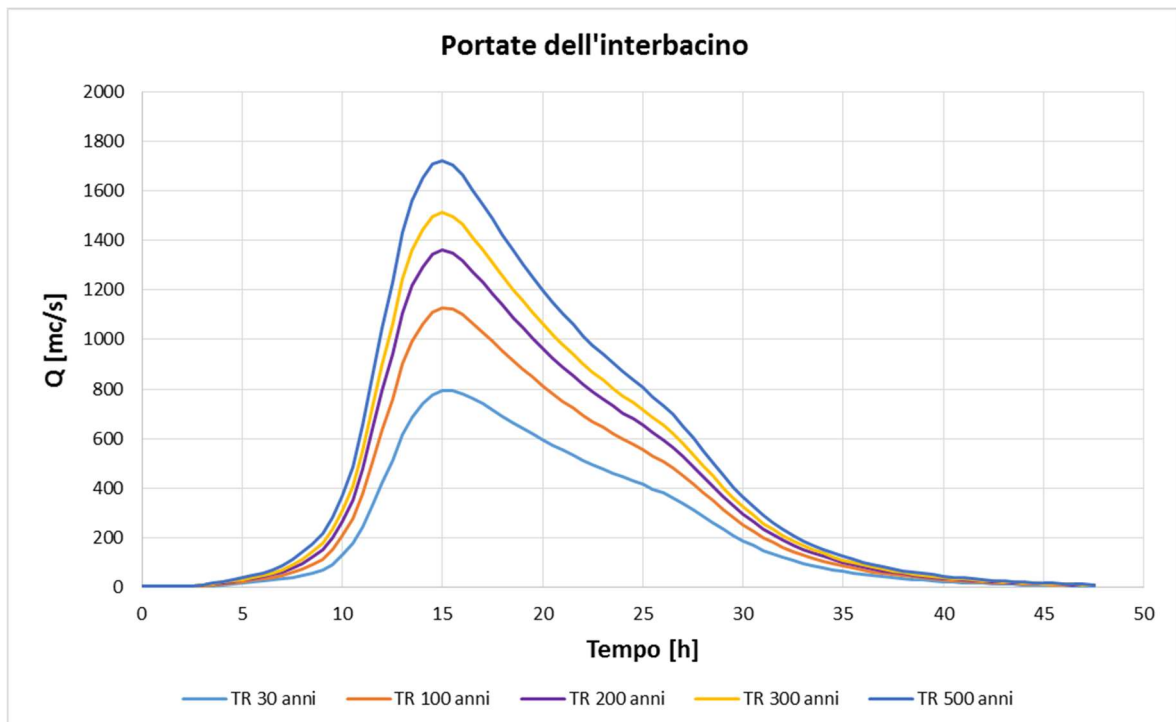


Figura 11- Onde di piena del bacino a valle della diga di Occhito

## 6.2 Calcolo delle onde di piena all'uscita dell'invaso di Occhito

Le considerazioni che verranno fatte nei prossimi paragrafi sono in accordo con quanto riportato nel Piano di Laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul Fiume Fortore, redatto dal Politecnico di Bari sulla base della convenzione con la Regione Puglia – Settore Protezione Civile.

La diga di Occhito tra le più grandi in Europa nella categoria delle dighe in terra (seconda in Italia solo alla diga di Monte Cotugno sul Sinni) prende il nome dall'invaso sotteso a monte dalla diga stessa, intercettando il percorso del fiume Fortore.

Il lago di Occhito, situato nel comune di Carlantino (FG), funge da confine naturale tra la Puglia e il Molise per circa 10 km. Esso ha una lunghezza di circa 12 km ed è suddiviso tra le Province di Foggia e di Campobasso. Il serbatoio, gestito dal Consorzio per la Bonifica della Capitanata, fa parte del complesso degli impianti per l'irrigazione di un comprensorio di 143 mila ettari di terreni lungo il corso vallivo del fiume Fortore e nella pianura del Tavoliere delle Puglie.

Si riporta di seguito un riassunto delle principali caratteristiche dello sbarramento (Tabella 16) e degli organi di scarico (Tabella 17).

**Principali caratteristiche dello sbarramento**

Classifica (D.M. 24/03/82): <b>in terra con nucleo impermeabile (Bb)</b>
Altezza (D.M. 24/03/82): <b>60,40 m</b>
Altezza (L. 584/1994): <b>58,40 m</b>
Altezza di massima ritenuta: <b>56,00 m</b>
Quota coronamento: <b>200,40 m slm</b>
Franco: <b>2,40 m</b>
Franco netto: <b>1,90 m</b>
Sviluppo coronamento: <b>432,00 m</b>
Larghezza coronamento: <b>11,00 m</b>
Volume diga: <b>3.000.000 mc</b>
Quota di massimo invaso : <b>198,0 m s.l.m.</b>
Quota di massima regolazione: <b>195,0 m s.l.m.</b>
Quota di minima regolazione: <b>168,5 m s.l.m.</b>
Superficie dello specchio liquido al massimo invaso: <b>14,25 kmq</b>
Superficie dello specchio liquido alla massima regolazione: <b>13,74 kmq</b>
Superficie dello specchio liquido alla minima regolazione: <b>4,87 kmq</b>
Volume totale di invaso (D.M. 24/03/82): <b>333.350.000 mc</b>
Volume totale di invaso (L. 584/1994): <b>290.830.000 mc</b>
Volume utile di regolazione: <b>247.540.000 mc</b>
Volume di laminazione: <b>43.290.000 mc</b>
Superficie del bacino imbrifero sotteso: <b>1.012 kmq</b>
Portata massima piena di progetto: <b>2.130 mc/s</b>

*Tabella 16 – Principali caratteristiche dello sbarramento*

**Scarico di fondo**

Quota scarico di fondo: <b>142,00 m slm</b>
Diametro galleria: <b>8,50 m</b>
Portata in cond. di max invaso: <b>661 mc/s</b>

**Scarichi di superficie**

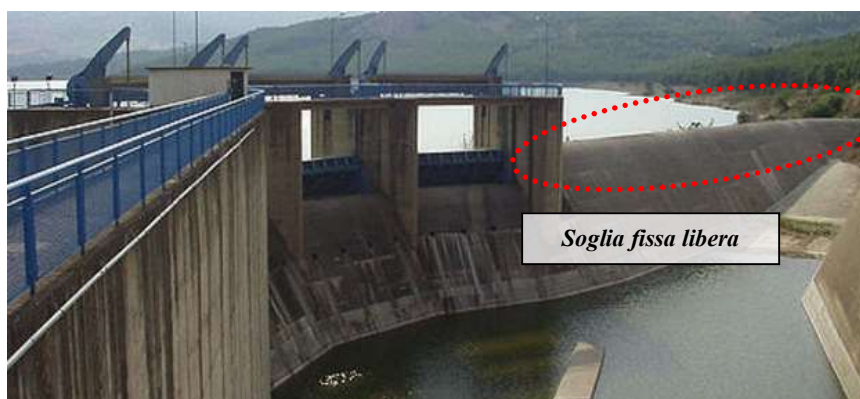
Quota soglia libera: <b>195,00 m slm</b>
Lunghezza soglia libera: <b>110,00 m</b>
Portata soglia libera in cond. di max invaso: <b>1.190 mc/s</b>
Numero soglie regolate con paratoie: <b>3</b>
Tipo paratoie mobili: <b>automatiche a ventola</b>
Lunghezza soglie regolate: <b>12,70 m</b>
Quota soglia fissa paratoie mobili: <b>192,00 m slm</b>
Quota sommità paratoie mobili: <b>195,00 m slm</b>
Portata max tre soglie regolabili in cond. di max invaso: <b>910 mc/s</b>
Portata max scarichi superficie in cond. di max invaso: <b>2.100 mc/s</b>

*Tabella 17 – Principali caratteristiche degli organi di scarico*



Lo scarico di superficie dell'invaso è dimensionato per una portata di 2100 m<sup>3</sup>/s. Esso è ubicato in sponda sinistra ed è costituito da una soglia fissa libera sfiorante posta alla quota di 195.00 m.s.m.m., della lunghezza pari a 112.40 m e da 3 luci sfioranti, ciascuna della lunghezza di m 12.70, aventi soglia fissa a quota 192 m s.m.m. e munite di paratoie automatiche a ventola (Figura 12).

Le paratoie sono caratterizzate da un funzionamento automatico secondo il quale esse restano alzate fintanto che il livello idrico nel lago non raggiunge quota 195.15 m smm. (a tale quota è già superata la quota di sfioro della soglia sfiorante libera). Oltre 195.15 l'abbattimento graduale delle paratoie consente un rapido incremento della portata sfiorata, finché le tre paratoie hanno raggiunto la massima escursione corrispondente alla quota del lago 195.45 m smm; nel momento in cui la portata uscente eguaglia la portata entrante, la diga non invasa più ed il livello idrico del lago ha raggiunto il suo massimo valore, quindi la diga comincia a svasare ed il livello decresce gradualmente facendo diminuire il carico sulla soglia sfiorante e quindi la portata uscente finché, a quota 195.30 m smm, le paratoie tornano ad alzarsi generando un decremento di portata uscente maggiore rispetto agli istanti precedenti perché il carico sulla soglia diminuisce più repentinamente. La portata uscente continua a ridursi finché le paratoie non si chiudono completamente quando livello è tornato a quota 195.00 m smm. .



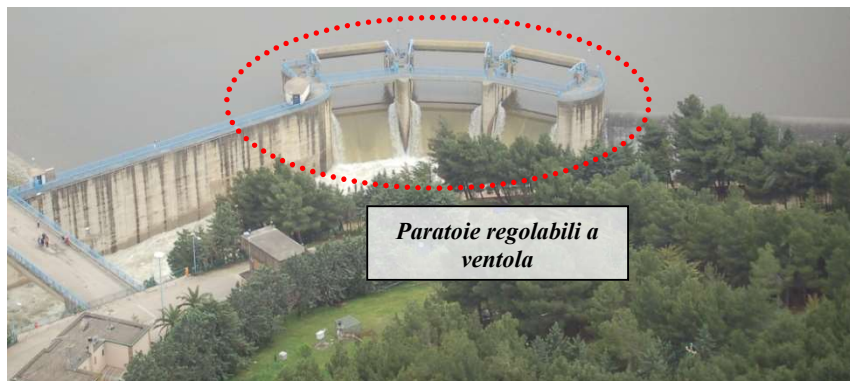


Figura 12 – Scarichi di superficie della diga di Occhito.

Il meccanismo automatico di gestione degli scarichi di superficie appena descritto presuppone una tipologia di piano di laminazione dell'invaso di tipo dinamico. Infatti, in base all'articolo 5 della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 febbraio 2004, si definisce un programma di laminazione dinamico come:

*"l' esecuzione di manovre preventive e/o nel corso dell'evento in atto da attivare sulla base di previsioni quantitative delle precipitazioni sul bacino a monte e dei conseguenti deflussi attesi all'invaso, nonché sulla base dello stato dell'invaso e della portata territorialmente sostenibile a valle dello stesso. Tali manovre, potrebbero rendere necessaria comunque l'attivazione del piano di emergenza a valle della diga stessa".*

Negli studi propedeutici alla redazione del PAI è stato sviluppato un modello idraulico del Fiume Fortore. All'interno di tale modello viene analizzato l'effetto di laminazione delle piene dell'invaso di Occhito, ipotizzando una gestione dell'invaso come quella appena descritta.

Nel seguito vengono analizzate le possibili onde in uscita dall'invaso della diga di Occhito, considerando diverse ipotesi di gestione degli organi di regolazione degli scarichi. Verranno analizzati più eventi di piena, per i tempi di ritorno 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

Si ipotizza prudenzialmente un livello iniziale dell'invaso pari a 195 m. s.m., pari alla quota di massima regolazione dell'invaso, le paratoie regolabili sono completamente abbattute. Nei grafici seguenti sono riportate, per ogni tempo di ritorno, le portate in ingresso e in uscita calcolate, il livello dell'invaso e i livelli della paratoie regolabili.

Portate e livelli - TR 30 anni

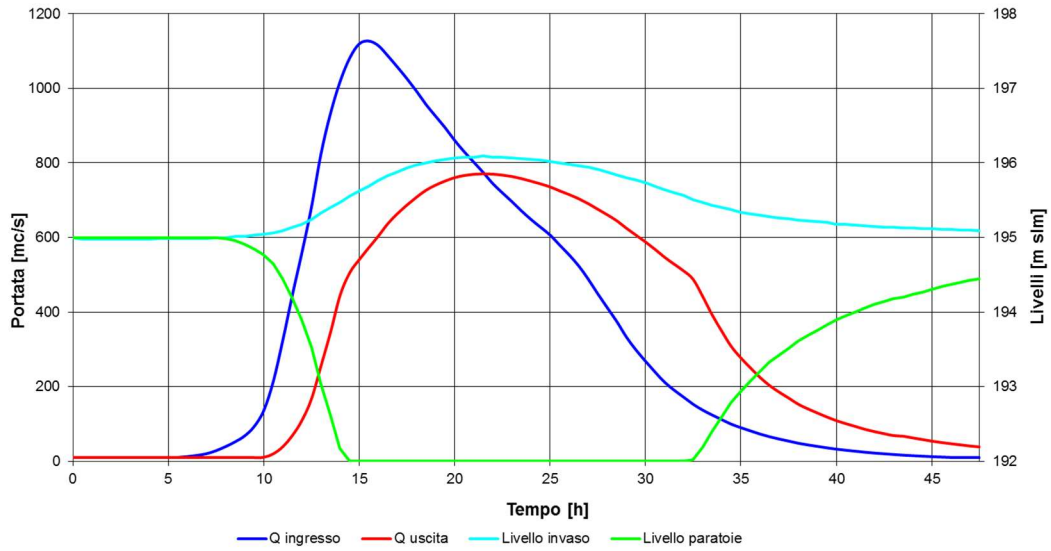


Figura 13- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 30

Portate e livelli - TR 100 anni

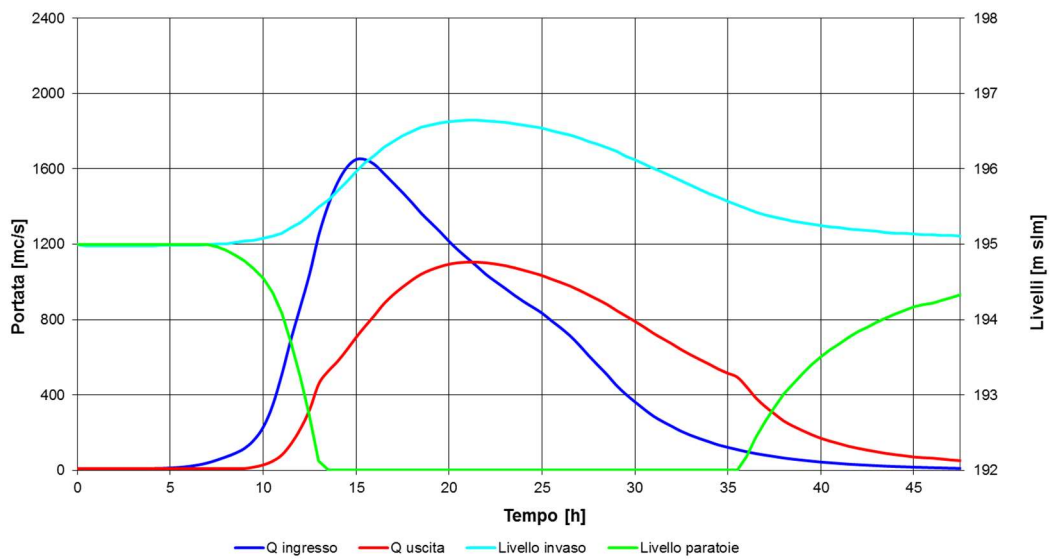


Figura 14- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 100

Portate e livelli - TR 200 anni

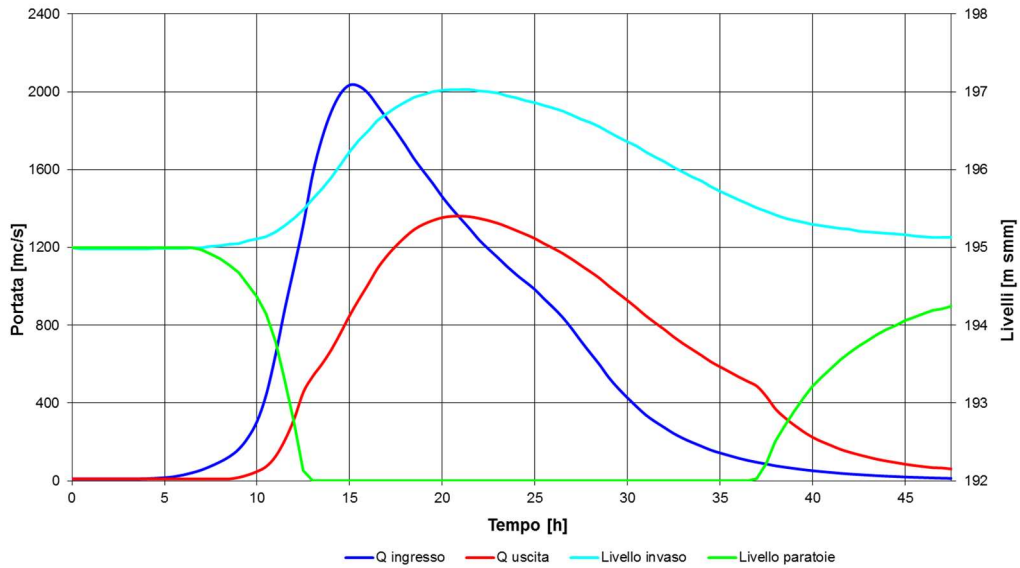


Figura 15- Piano di laminazione dinamica, portate e livelli - TR 200

Portate e livelli - TR 300

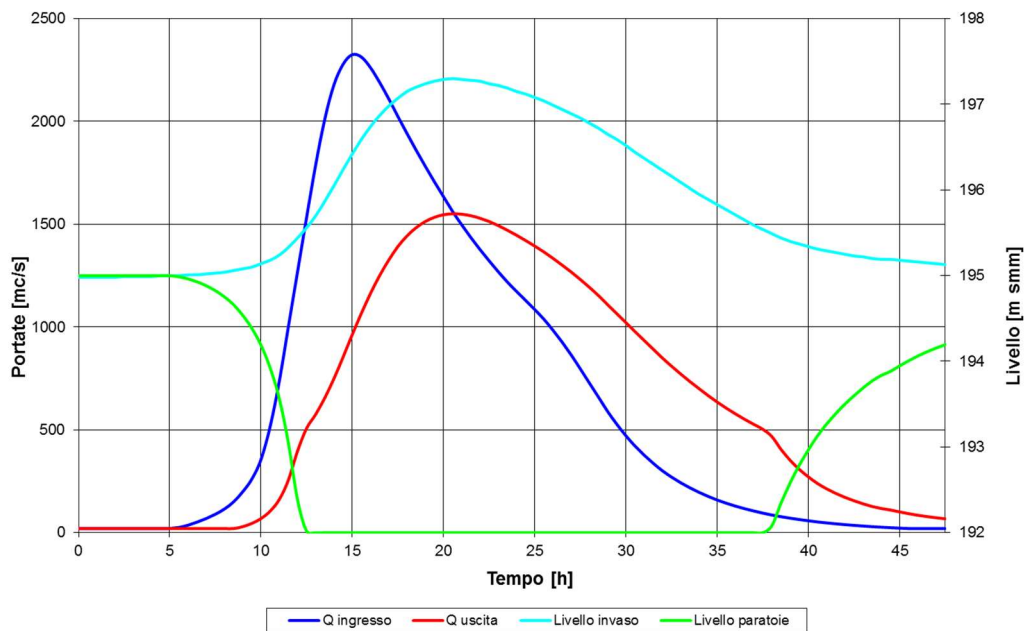
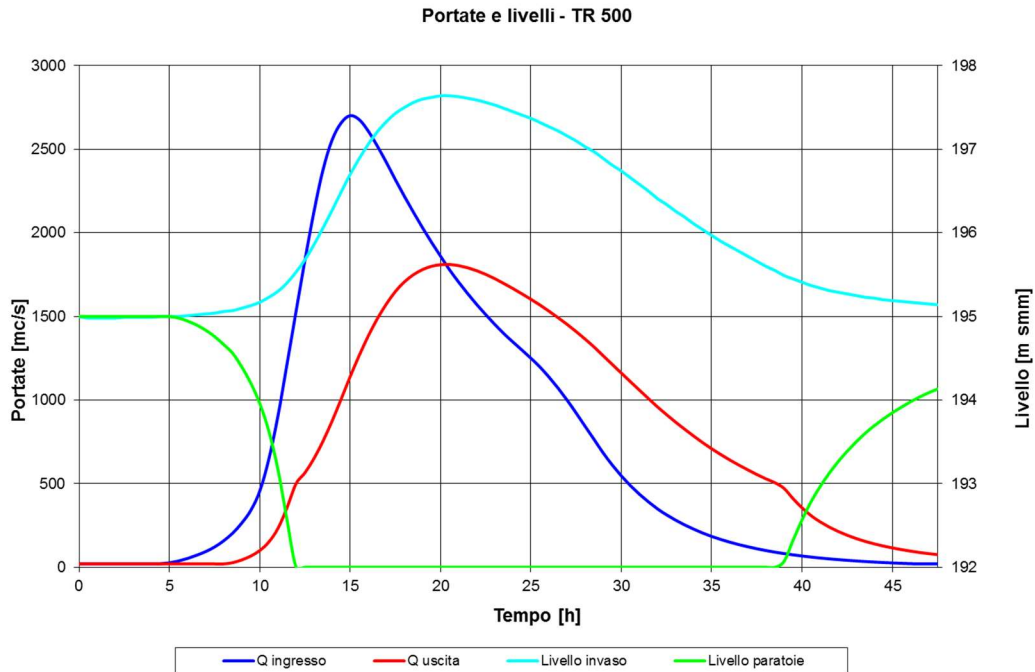


Figura 16- Piano di laminazione dinamica, portate e livelli - TR 300



*Figura 17- Piano di laminazione dinamico, portate e livelli - TR 500*

L'ipotesi di gestione dell'invaso di Occhitto appena illustrata è la medesima adottata nello studio idraulico del PAI Fortore, i grafici appena esposti sono del tutto analoghi a quelli pubblicati nella relazione generale del Piano di Bacino.

Per ciascun tempo di ritorno sono state inoltre calcolate le portate in uscita dall'invaso ipotizzando diverse configurazioni delle paratoie, mantenute ad una quota costante durante l'evento di piena. Le configurazioni delle paratoie a settore considerate sono quattro, con quota di sfioro rispettivamente a : 192, 193, 194 e 195 m smm. Si ipotizza che ciascuna delle tre paratoie sia nella medesima posizione durante l'evento di piena. Un'ulteriore ipotesi è quella per cui il livello iniziale del lago è pari alla quota delle paratoie regolabili, in quella configurazione. In altre parole, quando si farà riferimento a una quota delle paratoie regolabili, implicitamente si assumerà che il livello iniziale del lago sia alla stessa quota. Le onde in ingresso nell'invaso di Occhitto sono le stesse utilizzate per il calcolo delle portate e livelli nell'ipotesi gestione dell'invaso esposte nel precedente paragrafo, sono riportate in Figura 10.

Scopo del presente approfondimento è quello di valutare funzionamenti alternativi degli organi di regolazione della diga, cercando le condizioni più prudenziali da adottare nelle verifiche idrauliche delle opere in progetto poste nei tratti più vallivi.

I risultati calcolati sono esposti in termini di massima portata scaricata dall'invaso e massimo livello idrico del bacino artificiale, per ciascun tempo di ritorno, al variare delle quota di regolazione delle paratoie.

Come si evince dai grafici riportati nel seguito, per ogni tempo di ritorno analizzato, cioè a parità di onda in ingresso all'invaso, al crescere della quota iniziale dell'invaso, cresce la massima portata scaricata dalla diga così come aumenta il massimo livello idrico dell'invaso. Le portate maggiori si ottengono per la quota iniziale dell'invaso massima, pari alla quota di massima regolazione, 195 m smm.

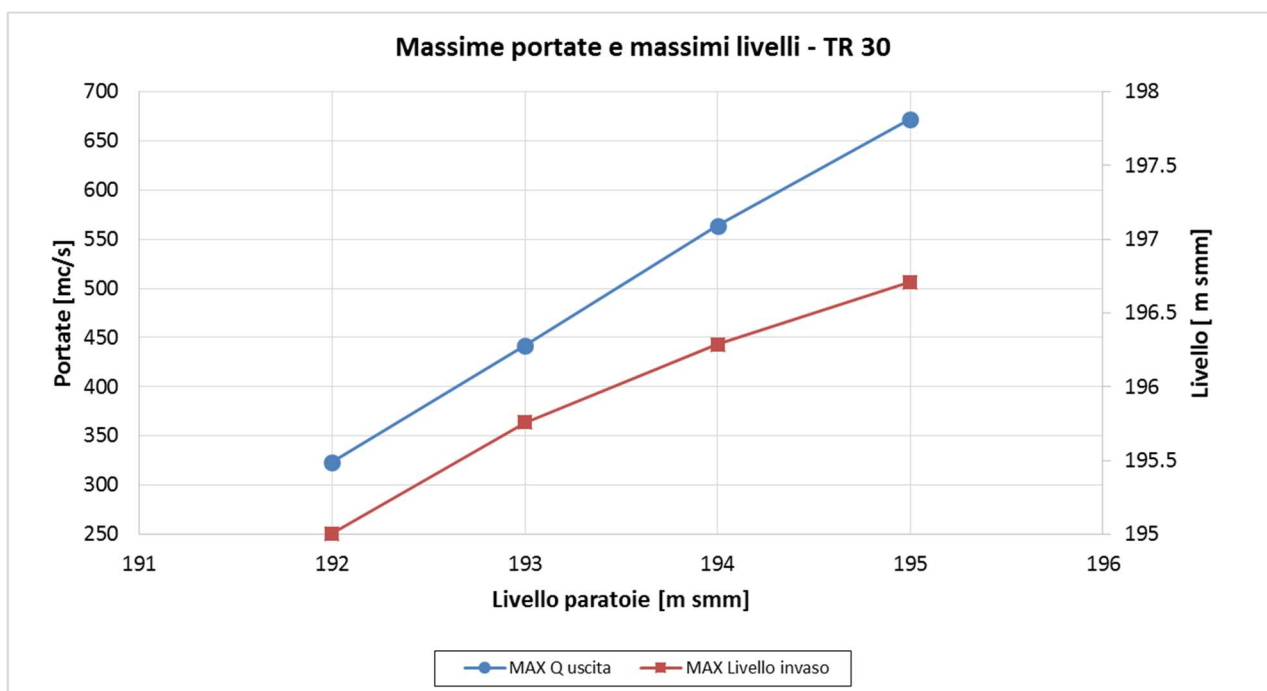


Figura 18- Piano di laminazione, massime portate e massimi livelli - TR 30

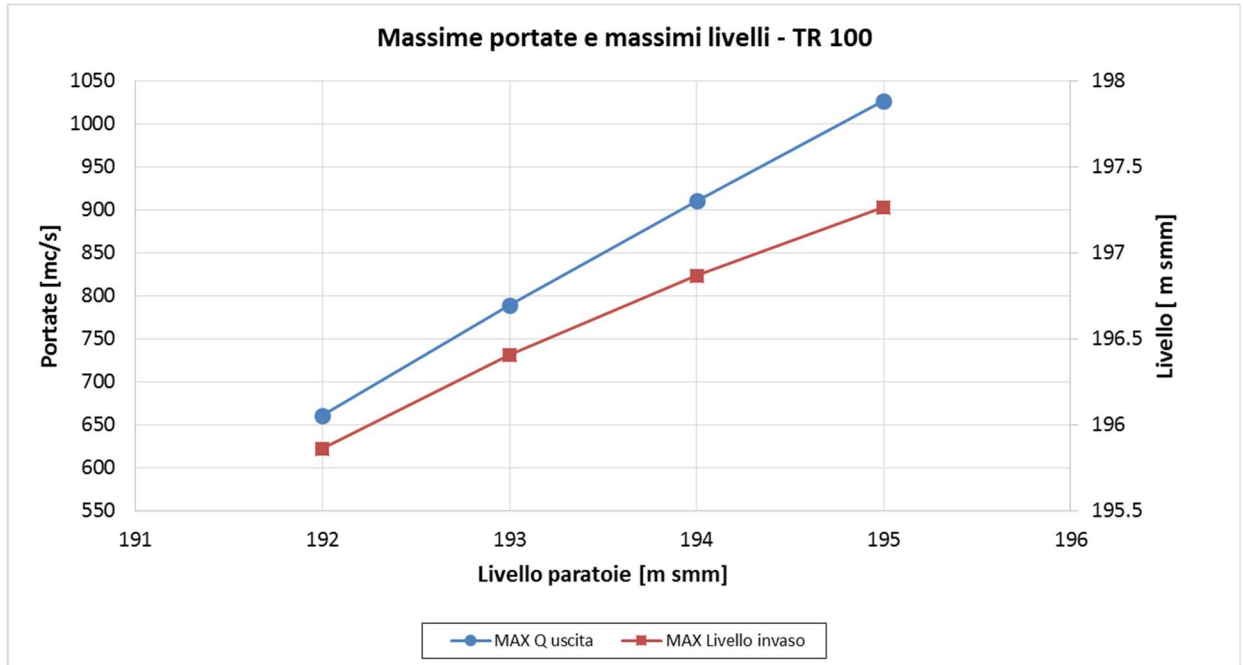


Figura 19- Piano di laminazione, massime portate e massimi livelli - TR 100

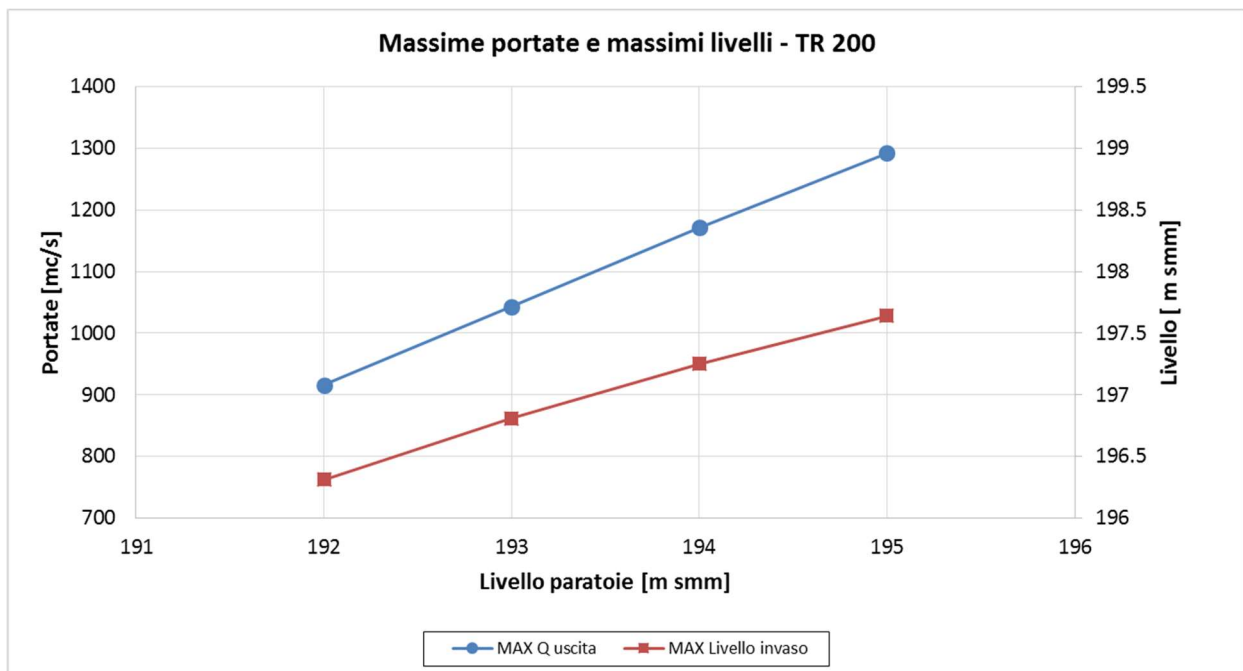


Figura 20- Piano di laminazione, massime portate e massimi livelli - TR 200

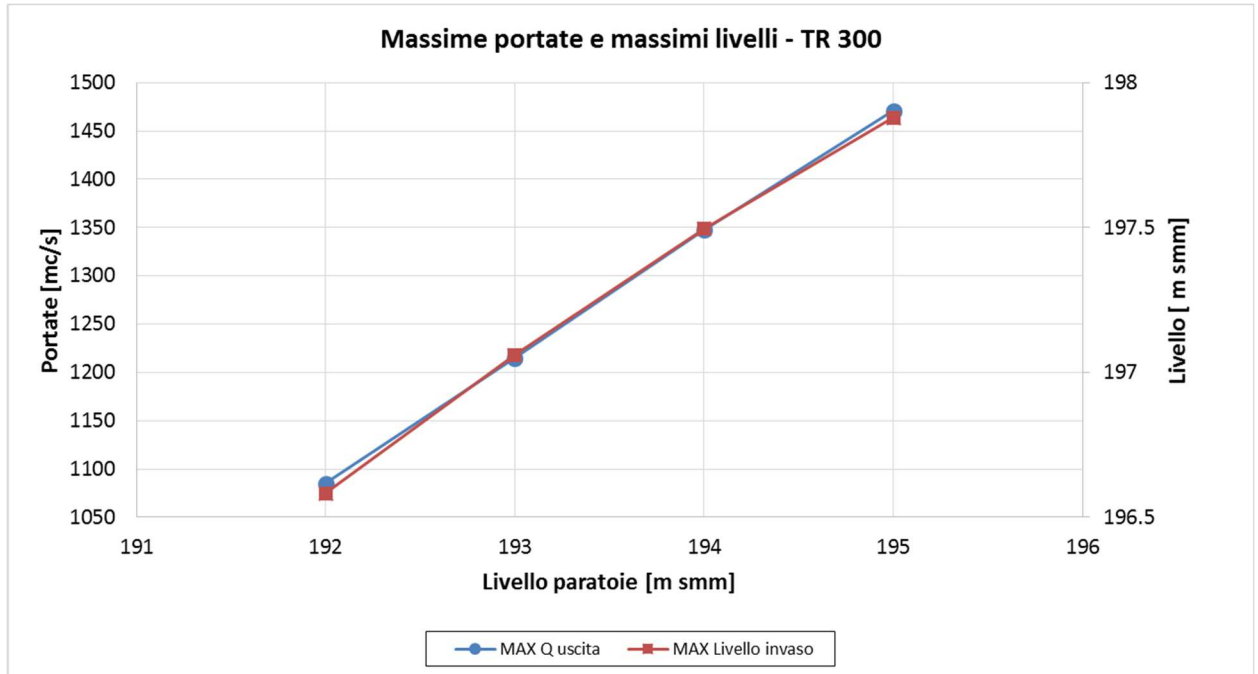


Figura 21- Piano di laminazione, massime portate e massimi livelli - TR 300

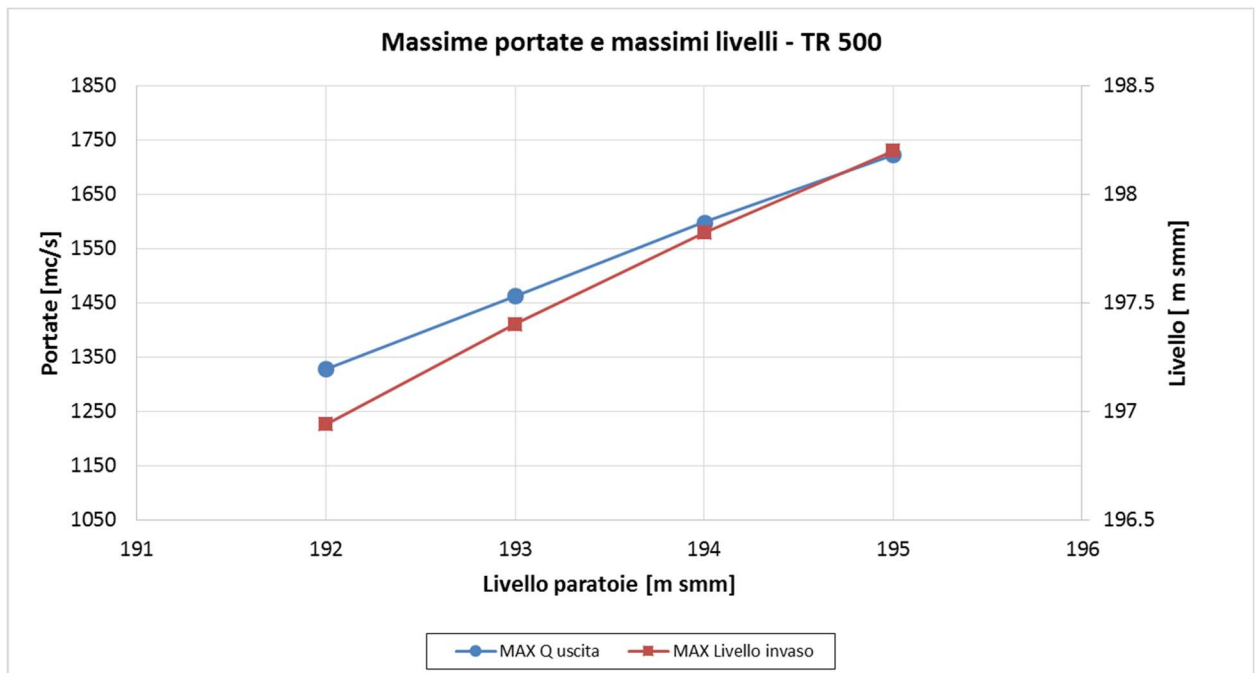


Figura 22- Piano di laminazione, massime portate e massimi livelli - TR 500



Nei grafici riportati alle figure Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27, vengono confrontate per ogni tempo di ritorno, le massime portate scaricate dall'invaso di Occhito calcolate nelle diverse ipotesi di regolazione degli organi di scarico dell'invaso ipotizzate. Nel caso della gestione indicato nel grafico come 'statico' sono riportati i valori corrispondenti a diversi livelli iniziali dell'invaso, per lo schema indicato nel grafico come 'dinamico' il livello iniziale e pari a 195 m smm.

Per ogni tempo di ritorno, le portate calcolate assumendo che le tre paratoie siano completamente abbattute risultano le più cautelative. Si ricorda tale configurazione è quella è quella ipotizzata per il modello idraulico sviluppato nel PAI Fortore.

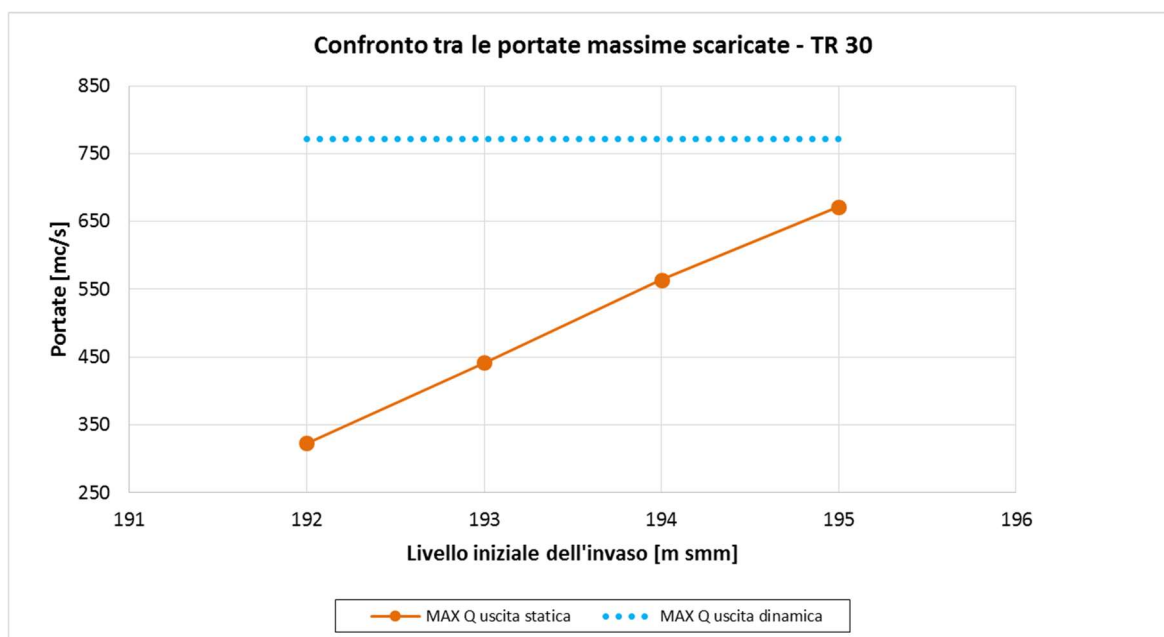


Figura 23- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR30 anni.

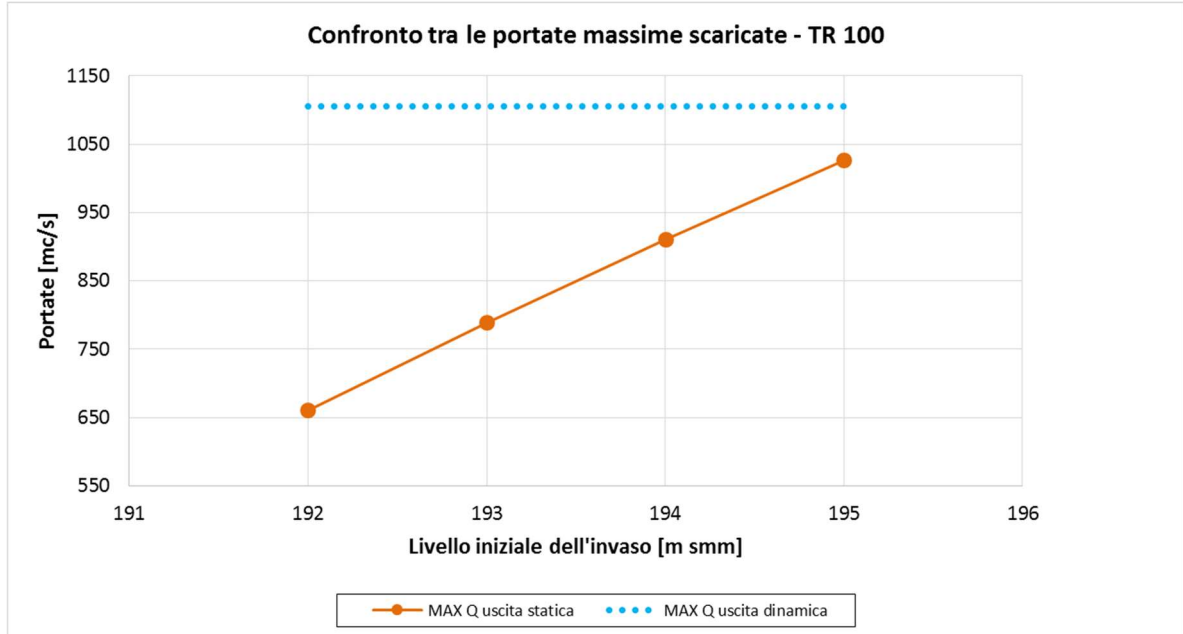


Figura 24- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR100 anni.

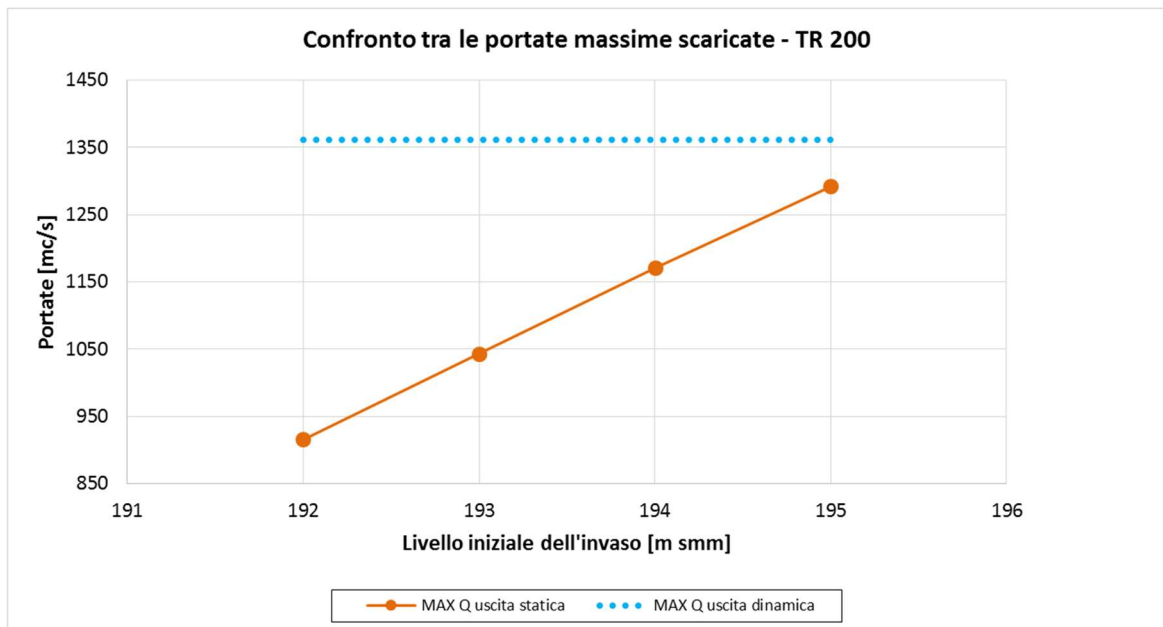


Figura 25- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR200 anni.

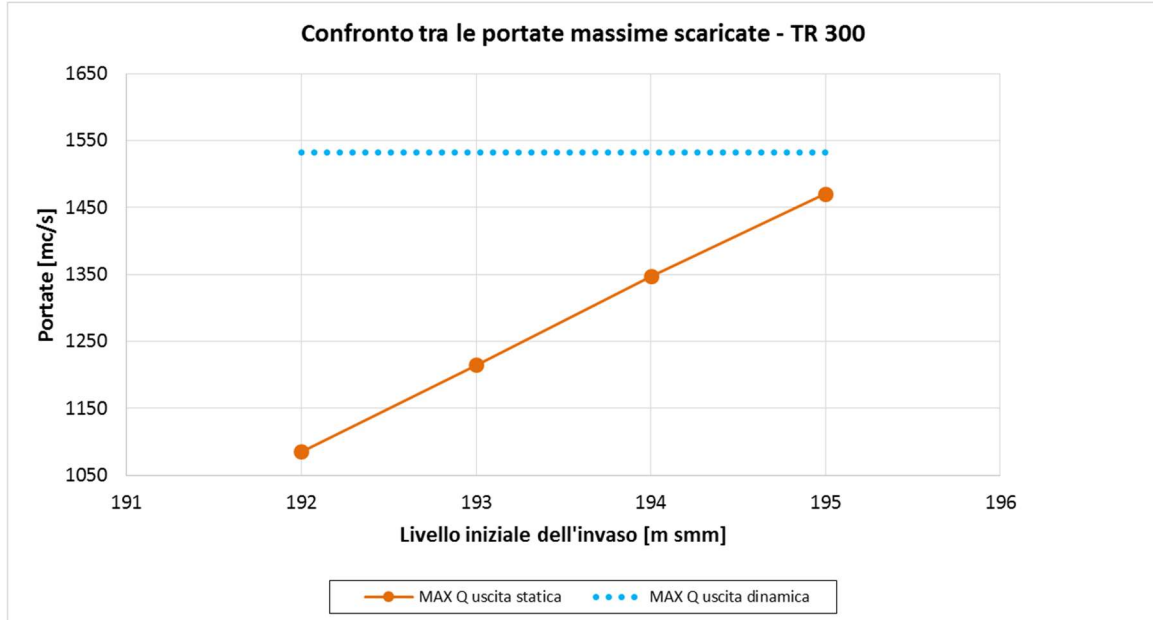


Figura 26- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR300 anni.

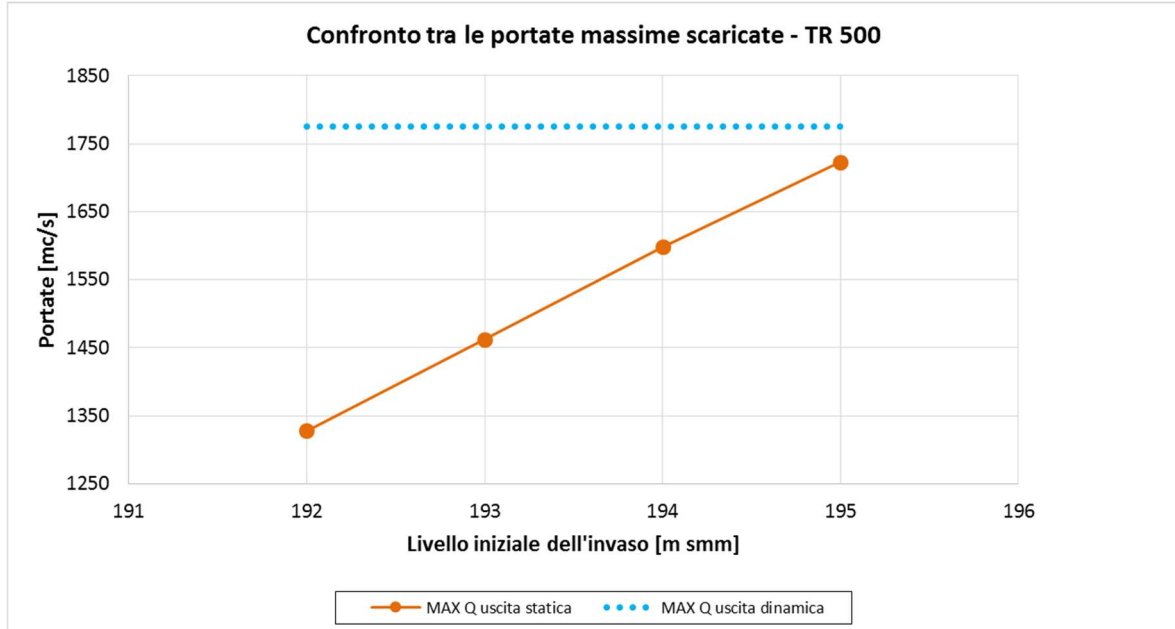


Figura 27- Confronto tra le massime portate scaricate dalla diga di Occhitto – TR500 anni.

### 6.3 Onde di piena del bacino a valle della diga e onde risultanti alla sezione del ponte ferroviario.

Lo scopo della presente analisi è quello di definire nelle ipotesi più cautelative le onde di piena di progetto da applicare al modello bidimensionale, descritto nella relazione idraulica dedicata. A parità di tempo di ritorno, sarà adottata l'onda di piena che possiede la maggiore portata di picco. L'idrogramma risultante dell'intero bacino del Fortore, può essere calcolato come somma idrologica di due contributi, l'idrogramma in uscita dalla diga e l'idrogramma generato dal bacino di valle. Le onde di piena generate da tale porzione di territorio sono già state oggetto di approfonditi studi in fase di progetto preliminare preliminare.

Per ogni tempo di ritorno analizzato, sono state quindi sommate idrologicamente le onde di piena in uscita dalla diga (studiate nel paragrafo precedente) con le onde di piena del bacino a valle, i risultati sono esposti nei grafici successivi.

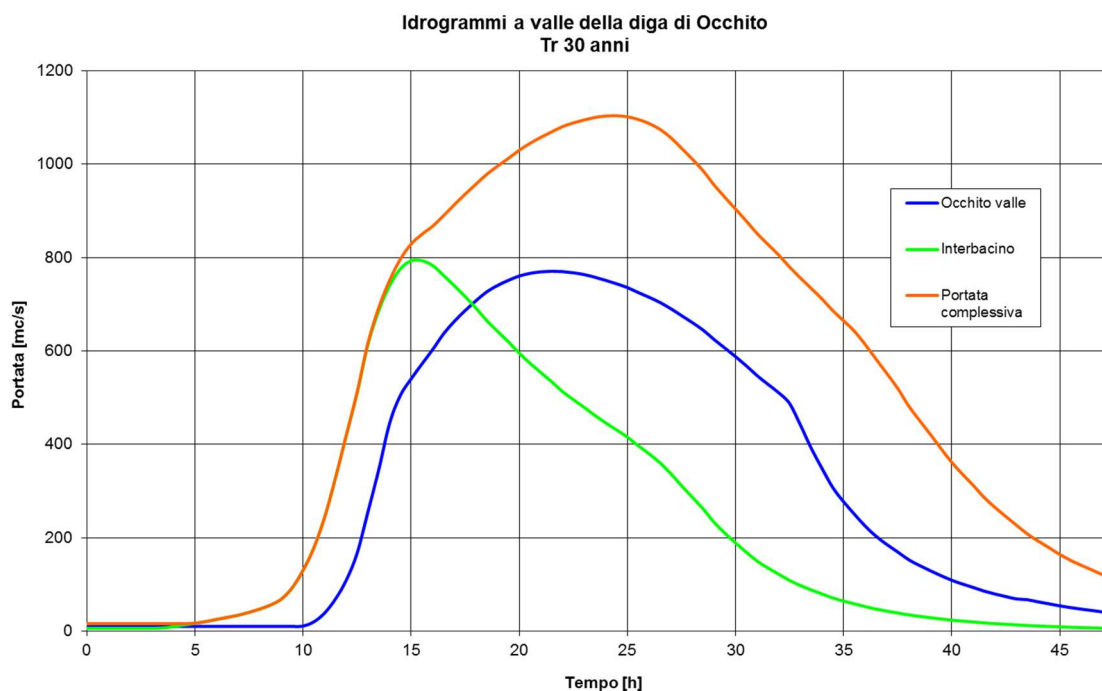


Figura 28- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 30 anni.

Idrogrammi a valle della diga di Occhito  
Tr 100 anni

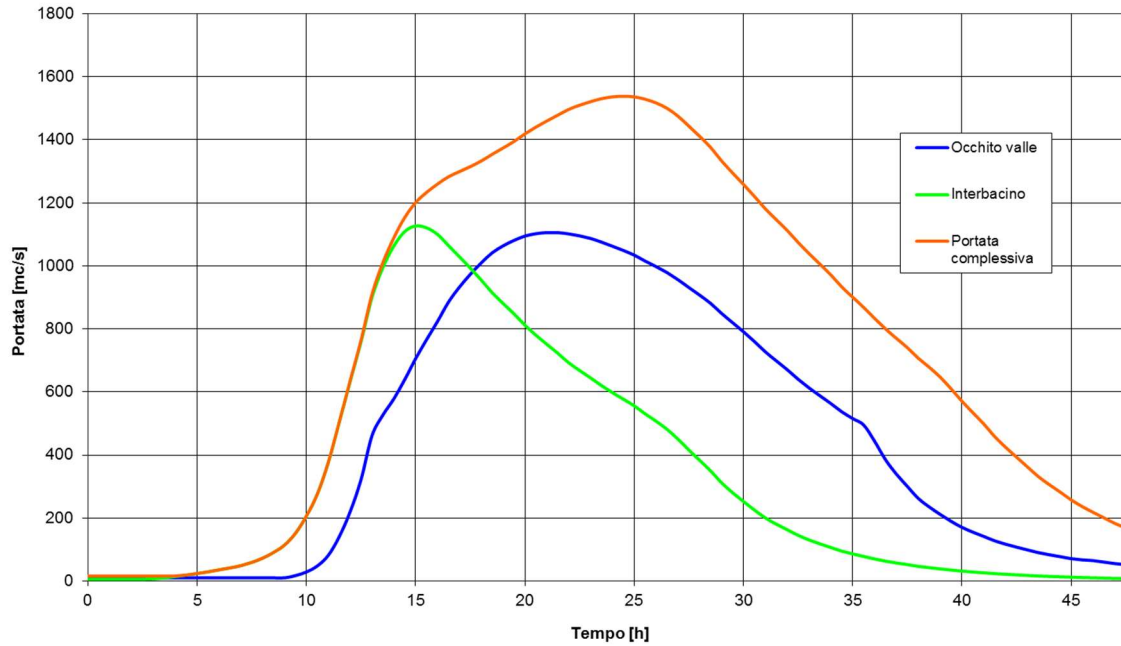


Figura 29- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 100 anni.

Idrogrammi a valle della diga di Occhito  
Tr 200 anni

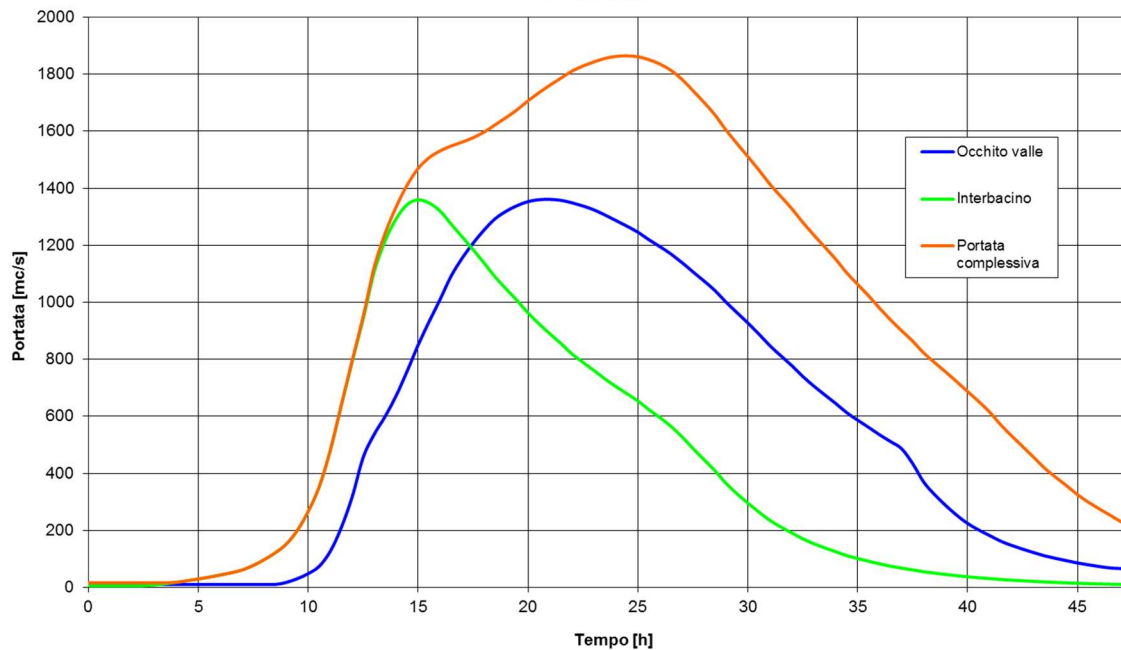


Figura 30- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 200 anni.

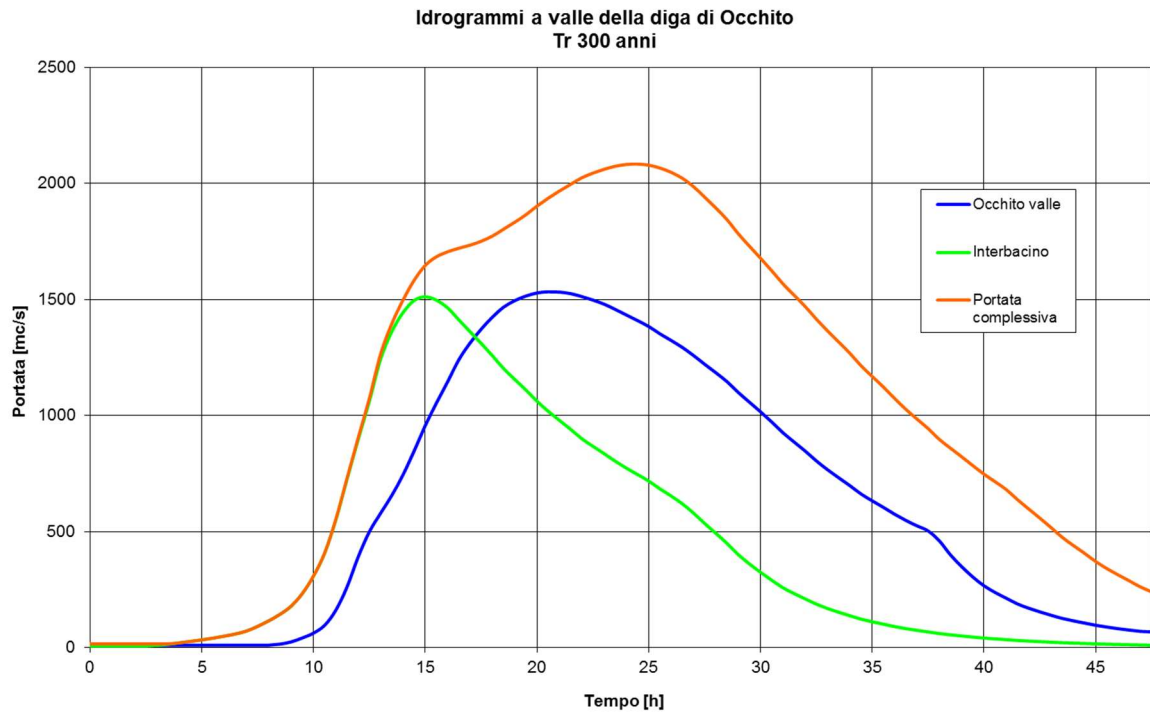


Figura 31- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 300 anni.

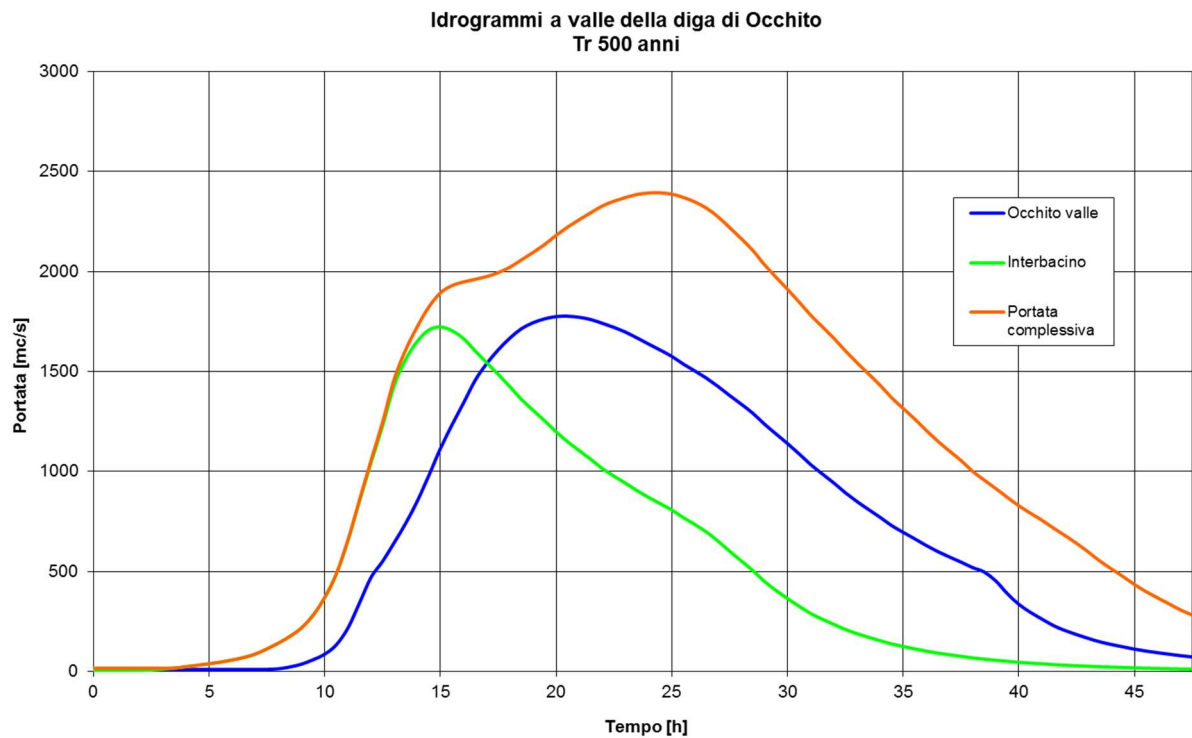


Figura 32- Portata complessiva del bacino del Fortore – TR 500 anni.

Il modello idrologico adottato nel PAI fornisce dei valori di portata massima per il tratto di valle del Fiume Fortore (ponte di Ripalta), tali valori compaiono nella tabella seguente.

	<b>TR30</b>	<b>TR100</b>	<b>TR200</b>	<b>TR300</b>	<b>TR500</b>
<i>Q complessiva calcolata [mc/s]</i>	1126	1650	2034	2281	2646
<i>Q PAI [mc/s]</i>	1099	1536	1863	NON FORNITA	2392

Tabella 18 – Confronto tra i valori massimi delle portate

Nella stessa tabella è possibile confrontare i valori di portata del PAI Fortore con i valori massimi delle onde di piena calcolate nel presente studio. Per ogni tempo di ritorno, si nota una ottima corrispondenza tra le risultanze delle due differenti simulazioni idrologiche.

## BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Interregionale del Fiume Fortore, 2006.

Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, Norme di Attuazione-assetto di versante-assetto idraulico, 2006.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

DM 14 gennaio 2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.