

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMA INVESTIMENTI DIRETTRICE SUD

PROGETTAZIONE:



**CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE  
DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI- LECCE-TARANTO**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO**

**SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO,  
SOPPRESSIONE PL E CONSOLIDAMENTO SEDE.**

**LOTTO 4 – OPERE AGGIUNTIVE PER OTTEMPERANZA PRESCRIZIONI  
DI CDS ISTRUTTORIA – CAVALCAFERROVIA NV08 NEI COMUNI DI  
RIONERO IN VULTURE E BARILE**

Relazione idrologica

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 4 K 4 2 E 7 8 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	PROGIN	Sett.2021	DD Domenico Iorio	Sett.2021	G. Lestingi	Sett.2021	D. Tiberti Sett. 2021

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane  
Direzione Investimenti  
UO Infrastrutture Sud  
Dott. Ing. D. Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10878

File:IA4K42E78RIID0001001A.doc

n. Elab.:

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA .....	4
2.1	RETE IDROGRAFICA INTERFERENTE CON LE OPERE IN PROGETTO.....	6
3	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE .....	8
3.1	IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV .....	8
3.1.1	<i>Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri.....</i>	9
3.1.2	<i>Curve regionali di crescita delle precipitazioni.....</i>	11
3.2	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI.....	11
3.3	SCROSCI .....	15
4	DEFINIZIONE DELLE PORTATE.....	19
4.1	IL METODO CINEMATICO .....	19
4.2	PORTATE DI PROGETTO .....	22

## 1 PREMESSA

Il progetto di Ammodernamento della linea Foggia-Potenza - Sottoprogetto 2 - Elettrificazione, rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede – Lotto 4 – Opere aggiuntive per ottemperanza proscrizioni di CDS istruttoria ha come oggetto l'intervento di soppressione di un passaggio a livello mediante la realizzazione di un Cavalcaferrovia al km 73+295 e la viabilità NV08 tra i Comuni di Rionero in Vulture e Barile, Basilicata.

La presente relazione riporta lo studio idrologico teso alla stima delle curve di probabilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di attraversamento e di smaltimento idraulico della viabilità principale di progetto e delle viabilità secondarie di collegamento alla rete stradale esistente.

Sebbene l'area oggetto di studio ricada, da un punto di vista amministrativo, nel territorio della Regione Basilicata, da un punto di vista idrologico l'area appartiene al bacino idrografico dell'Ofanto che ricade per la maggior parte nel territorio della Regione Puglia.

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

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle interferenze tra le viabilità in progetto e l'idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza dei nuovi tracciati stradali e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse relazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per i tempi di ritorno indicati dalla normativa di riferimento, mediante il modello statistico TCEV implementato nello studio VaPi relativo alla regione Puglia.
- calcolo delle portate di picco dei bacini idrografici mediante il metodo razionale;
- definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale.

## 2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area oggetto di indagine è ubicata in un territorio fortemente condizionato dalla presenza del Monte Vulture, vulcano di età pleistocenica a morfologia complessa, con diversi centri eruttivi e strutture vulcano-tettoniche. Il vulcano si forma nel Quaternario continentale, quando si verifica l'apertura, tra l'Ofanto e la fiumara di Atella, di fratture che hanno permesso una risalita del magma e l'instaurarsi di condizioni eruttive. Il Monte Vulture sorge su terreni sedimentari meso-cenozoici sui quali è intagliata una paleosuperficie fossilizzata dai prodotti dell'eruzione. Lembi di tale superficie sono presenti tra Monte Mattina e la valle dell'Ofanto, a quote di circa m 600-800 s.l.m., in cui sono presenti forme di incisione fluviale. L'area montuosa è distinta morfologicamente dalle basse vallate fluviali che si trovano ai suoi piedi, quali la fiumara di Atella, sul versante meridionale, che separa fisicamente l'area del Monte Vulture dalla dorsale conglomeratico-sabbiosa di Ruvo del Monte, la fiumara dell'Arcidiaconata ad est e la valle dell'Ofanto a nord-ovest, il cui corso è controllato da una linea di faglia.

Per quanto riguarda l'idrologia, ad ovest scorre il sistema drenante principale, il fiume Ofanto, spostatosi verso nord-ovest e nord:



Figura 1 – Carta IGM 1:250.000

Ad est dell'area oggetto di studio si trova la fiumara dell'Arcidiaconata che proseguendo verso nord sfocia nell'Ofanto.



Figura 2 – Carta IGM 1:250.000 : Dettaglio

Nel dettaglio la zona è interessata dal vallone di Catavatto e, più a sud rispetto alla zona di intervento, dal Vallone delle Querci. Si tratta di due affluenti in sinistra della Fiumara dell'Arcidiaconata a carattere più che altro torrentizio con incisioni di modesta entità e pendenze medie dell'ordine di circa il 15%.

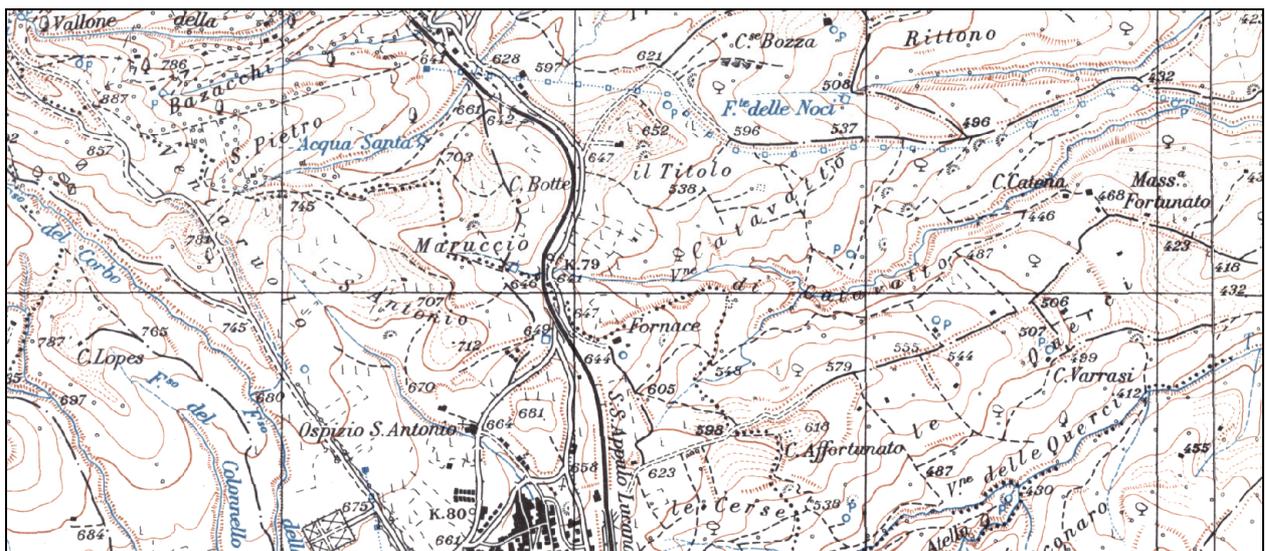


Figura 3 – Carta IGM 1:25.000

## 2.1 Rete idrografica interferente con le opere in progetto

Sovrapponendo il reticolo idrografico e le opere in progetto, sono state individuate le seguenti interferenze (Figura 4).

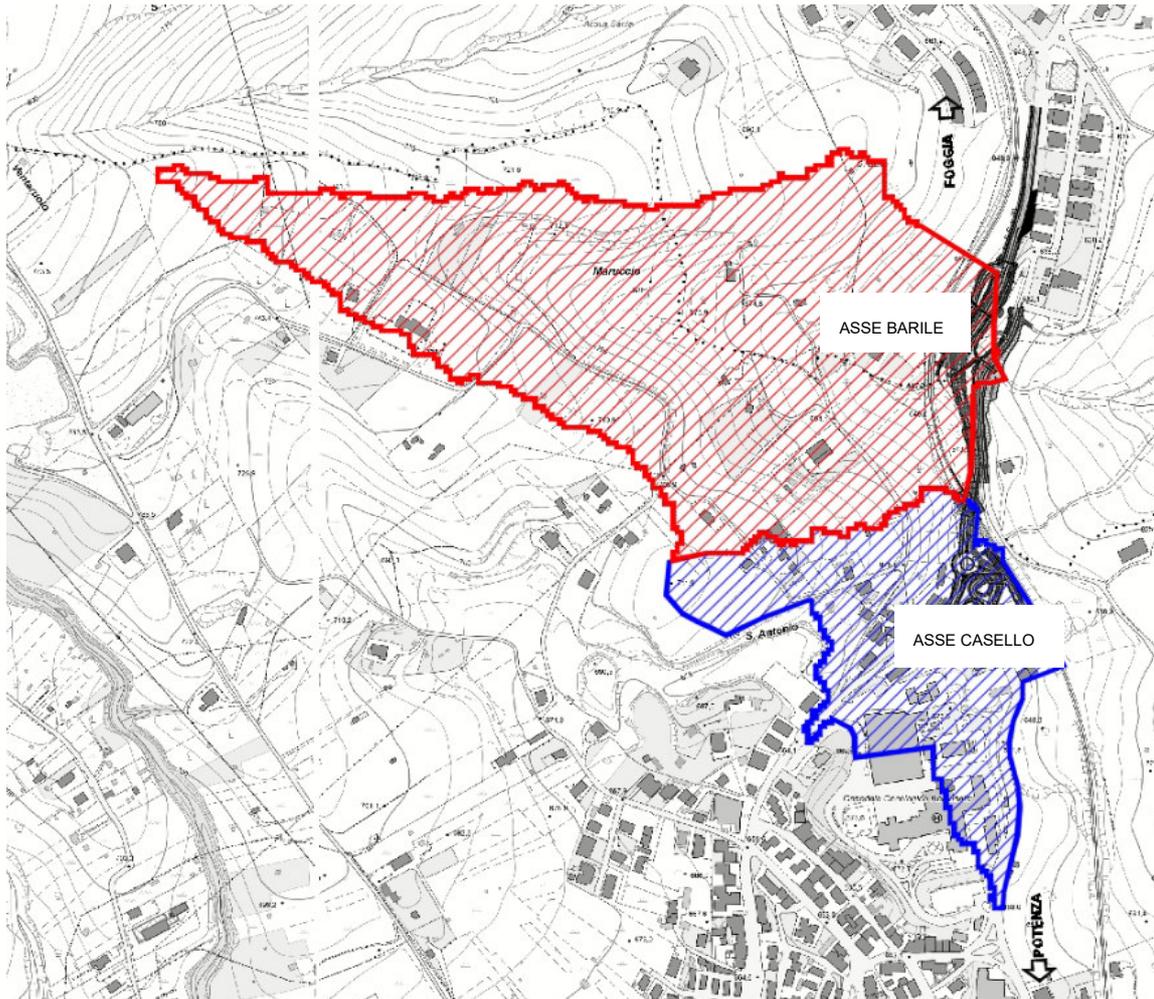


Figura 4 – Bacini idrografici afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento.

Il vallone Catavatto o “Asse Barile” è attraversato dall’Asse 4 - SS93 Lato Barile con un viadotto (NW08) e dall’Asse 8 – Via delle More con un tombino scatolare in c.a. di dimensioni 3.50 m x 3.57 m (IN05).

L’ “Asse Casello” è attraversato dall’Asse 4 – Rampa Casello FS con un tombino circolare in c.a. Ø1800.

Nella Tabella 1 è riportato l’elenco delle interferenze idrauliche identificate dal nome idrografico se disponibile, da una denominazione utilizzata nell’ambito del presente progetto, dall’indicazione dell’asse

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA4K	42 E 78	RI	ID00 01001	A	7 di 24

viario in progetto che interferisce con l'incisione, la pk di progetto a cui avviene detta interferenza, e le principali grandezze morfometriche, che saranno utilizzate nel successivo paragrafo 4.2 per il calcolo del tempo di corrivazione: superficie ( $A_{tot}$ ), quota massima del bacino ( $Z_{max}$ ), quota minima in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino ( $Z_{min}$ ), lunghezza dell'asta (L), pendenza media dell'asta (j).

Denominazione idrografico	Denominazione in ambito del progetto	Viabilità in progetto	pk	$A_{tot}$ [m <sup>2</sup> ]	$Z_{max}$ [m.s.l.m]	$Z_{min}$ [m.s.l.m]	L [m]	j [m/m]
-	Asse Casello	Asse 6 - RAMPA CASELLO FS	0+045.47	100500	712	638	300	0.247
Vallone Catavatto	Asse Barile	Asse 4 - SS93 LATO BARILE	0+240	274581	770	626	1030	0.140
		Asse 8 - VIA DELLE MORE	0+091.00					

Tabella 1: Caratteristiche morfometriche dei bacini interferiti dalle viabilità in progetto

## 3 MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE

### 3.1 Il modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni o delle portate al colmo non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche delle precipitazioni e delle portate al colmo di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_2}\right)\right\} \quad x \geq 0$$

La funzione ha quattro parametri,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla  $X$ , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1$$

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\Theta_*}\right)\right\}$$

nella quale risulta:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il valore indice (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta curva di crescita la quale dipende dai parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ( $\mu(X_t)$ ) per avere, a partire dalla  $K_{t,Tr}$ , la distribuzione di probabilità finale.

$$FX(x) = \mu(X_t) K_{t,Tr}$$

### 3.1.1 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Sulle relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni:

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

I° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria  $C_A$  sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata  $Y$ , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione  $C_V$  risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse.

Nel seguito si fa riferimento al valore indice della precipitazione  $\mu(X_t)$  in quanto l'ipotesi di aree con caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche tali da poter definire un valore indice  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

### 3.1.2 Curve regionali di crescita delle precipitazioni

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

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

La stima delle precipitazioni per fissata durata in corrispondenza di un dato tempo di ritorno avviene tramite il calcolo dei valori della media dei massimi delle precipitazioni stesse  $\mu(X_t)$  relative ad una generica durata  $t$ , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno)  $K_T$

$$h_{i,T} = \mu(X_t) K_T$$

## 3.2 Analisi delle precipitazioni con il metodo VAPI

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto VAPI per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio di interesse in questo studio. Questa sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Puglia [Copertino e Fiorentino, 1994], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

I risultati dello studio citato hanno evidenziato per la regione Puglia la consistenza di due zone di primo e secondo livello. L'intero territorio di competenza del compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta quindi diviso, al primo e secondo livello, in una sottozona settentrionale della regione ed in un'altra centromeridionale. La prima comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno (dove è posizionata la nostra area di studio), il Gargano e l'Alta Murgia, la seconda include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina. L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di quattro sottozone nella parte settentrionale e due nella parte meridionale ciascuna con le curve di possibilità climatica.

I dati pluviometrici utilizzati nell'Analisi sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del Compartimento di Bari del S.I.M.I.: le osservazioni pluviometriche interessano il periodo dal 1932 al 1994 in tutte le stazioni di studio, con almeno quindici anni di misure, dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie.

*I° e II° Livello di regionalizzazione*

Nell'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia condotta sulle piogge giornaliere, è stata accolta l'ipotesi secondo la quale le stazioni appartengano ad una zona unica, al primo livello nella zona settentrionale, entro la quale si possano ritenere costanti i valori teorici dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ .

Anche nella procedura operata al secondo livello di regionalizzazione, la verifica dell'ipotesi di unica zona omogenea ha condotto ad un risultato positivo con valore costante di  $\Lambda_1$ .

Piogge	$\Theta^*=2.352$	$\Lambda^*=0.772$	$\Lambda_1=45$
--------	------------------	-------------------	----------------

*Tabella 2 - Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.*

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione ha consentito dunque, conoscendo  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , la determinazione delle curve regionali di crescita della precipitazione.

Il valore di  $K_T$  può essere calcolato in funzione di T attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita:

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

In cui:

$$a = (\Theta^* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta \quad b = \Theta^* / \eta \quad \eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\Theta^*}\right) \quad C = 0.5772 \text{ (costante di Eulero)}$$

Che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Puglia, diventa:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 \ln T$$

Nella tabella seguente sono riportati, i valori di  $K_T$  relativi ai valori del periodo di ritorno più comunemente adottati in questo studio.

T	10	20	30	50	100	200	300
K <sub>T</sub>	1.52	1.81	1.98	2.19	2.48	2.76	2.93

Tabella 3 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.

### III° Livello di regionalizzazione

Lo studio svolto nell'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia ha individuato diverse aree omogenee al terzo livello di regionalizzazione, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda o mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. A tal fine sono stati indagati eventuali legami esistenti tra i valori medi  $x_g$  dei massimi annuali delle piogge giornaliere e parametri geografici significativi (ad esempio la quota sul livello del mare) delle diverse località.

Lo studio ha condotto l'analisi su 85 serie caratterizzate da almeno 10 anni di osservazione ed ha individuato le aree omogenee al terzo livello proponendo che in ciascuna area  $x_g$  sia costante, oppure variabile linearmente in funzione della quota  $h$  sul livello medio mare della stazione di osservazione, con la relazione:

$$\ln(x_g) = C h + D$$

i cui parametri C e D sono determinabili attraverso regressione lineare.

Sono state individuate quattro zone pluviometriche omogenee illustrate in Figura 5.

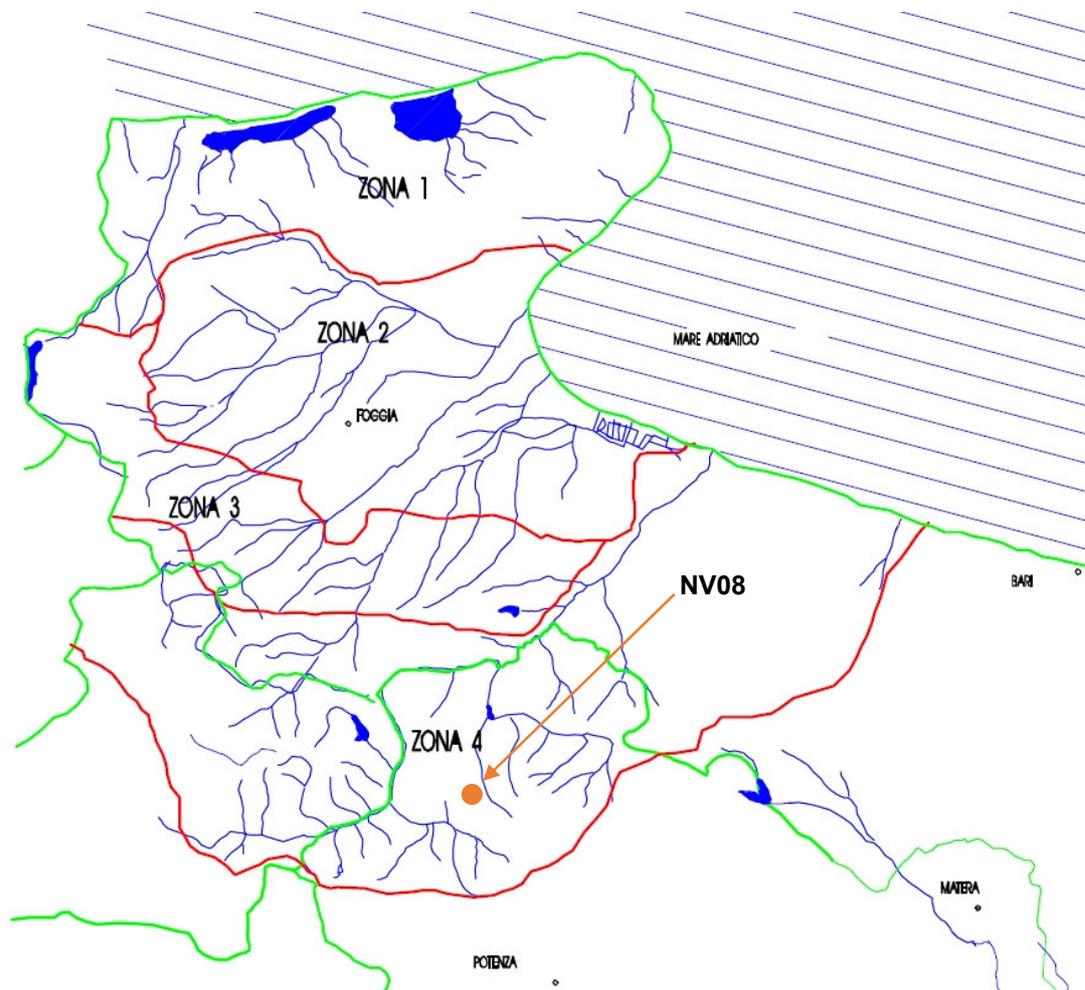


Figura 5 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito (h), per le aree in esame, viene generalizzata nella forma:

$$\mu(X_i) = a t (Ch + D + \ln \alpha - \ln a) / \ln 24$$

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

I valori dei parametri sono riportati nella Tabella 4.

Zona	$\alpha$	a	C	D	n
1	0.89	28.66	.00503	3.959	-
2	"	22.23	-	-	.247
3	"	25.325	.000531	3.811	-
4	"	24.7	-	-	.256

*Tabella 4 - Parametri del VAPI per il III livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.*

All'interno delle zone 1 (Gargano) e 3 (Murge) si è riscontrata una buona dipendenza dei valori medi delle massime precipitazioni giornaliere dalle quote, non riscontrata invece nelle restanti due zone 2 (Tavoliere) e 4 (Subappennino), nelle quali non si apprezzano sensibili variazioni tra i diversi siti di osservazione, pur variando notevolmente la quota.

Come indicato in Figura 5 l'area di intervento ricade nella Zona 4.

### 3.3 Scrosci

Come descritto nel precedente capitolo, l'intervento in progetto ricade nella sottozona 4 per la quale i parametri idrologici risultano essere i seguenti:

$$a = 24.70 \text{ mm/h}$$

$$n = 0.256$$

Sia per la ridotta estensione dei bacini (come descritto nei successivi paragrafi), sia per definire le portate caratteristiche della progettazione del drenaggio di piattaforma, lo studio idrologico è stato integrato con la definizione delle curve di possibilità pluviometrica per tempi di pioggia inferiori all'ora (scrosci).

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti  $r_T$  tra le altezze di durata  $t$  molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in

pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

<b>t (minuti)</b>	5	10	15	30
<b><math>r_{\delta} = h_{\delta} / h_{60}</math></b>	0.29	0.45	0.57	0.79

*Tabella 5 – Rapporto  $r_{\delta}$  tra altezza di pioggia per  $d < 1h$  e altezza di pioggia  $d = 1 h$*

Questi rapporti variano di molto poco negli Stati Uniti ed i loro valori sono indipendenti dal periodo di ritorno.

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore; come risulta dalla figura seguente, Bell ha riscontrato la costanza dei rapporti tra i tempi di pioggia di breve durata e tempo di pioggia della durata pari ad un'ora, anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico.

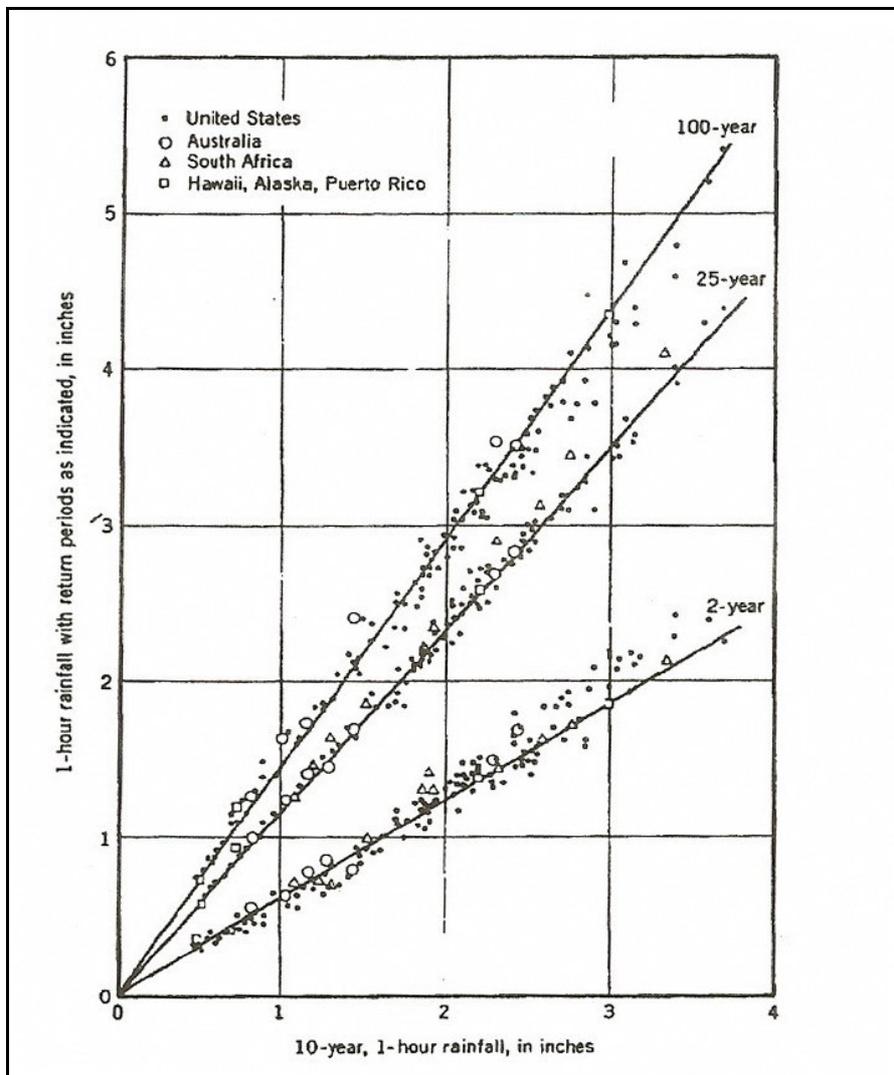


Figura 6 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per  $5 \leq t \leq 120$  dove:

- $P_T^t$  indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo  $t$  riferita al periodo di ritorno  $T$ ;

- $h^{60}_T$  è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita l periodo di ritorno  $T$ ;
- $t$  è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia  $h_t$  relativa all'evento di durata  $t$ , passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro  $a$  e il coefficiente angolare rappresenta il parametro  $n'$ .

Applicando la procedura alla zona in esame si è ottenuto il coefficiente  $n' = 0.47$ .

Ai fini del dimensionamento delle opere di attraversamento in progetto, in accordo alle Norme tecniche di Attuazione del P.A.I., delle NTC 2018 e del manuale di progettazione ferroviaria, l'altezza di pioggia è calcolata per un tempo di ritorno pari a 200 anni con i seguenti parametri:

Calcolo parametri IDF $T_r=200$ anni					
Sottozona	$\mu_{h1}$ [mm]	$n$	$T_r$ [anni]	$K_T$	$a$ [mm/h]
4	24.7	0.47	200	2.76	68.26

Tabella 6 : Parametri curve IDF per  $T_r=200$  anni

Ai fini del dimensionamento del drenaggio di piattaforma stradale, in accordo con il manuale di progettazione ferroviaria, l'altezza di pioggia per tempi di ritorno pari a 25 anni è calcolata con i seguenti parametri:

Calcolo parametri IDF $T_r=25$ anni					
Sottozona	$\mu_{h1}$ [mm]	$n$	$T_r$ [anni]	$K_T$	$a$ [mm/h]
4	24.7	0.47	25	1.90	46.93

Tabella 7 : Parametri curve IDF per  $T_r=25$  anni

## 4 DEFINIZIONE DELLE PORTATE

### 4.1 IL METODO CINEMATICO

Il calcolo delle portate in corrispondenza delle interferenze lungo le viabilità in progetto è stato effettuato utilizzando il metodo razionale o del ritardo di corrivazione.

Il metodo razionale permette il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione: in particolare si assume come valido il concetto di isofrequenza tra l'evento meteorico e il colmo di piena derivato.

Il metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

1. la formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
2. ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta;
3. la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;
4. la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura;
5. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento.

Dalle ipotesi (1) e (2), sopra formulate, il tempo impiegato da ciascuna goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, definito come tempo di corrivazione puntuale, risulta essere necessariamente univoco per ogni punto del bacino stesso; il tempo di corrivazione massimo viene a coincidere con il tempo di corrivazione del bacino.

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 assuma la forma triangolare.

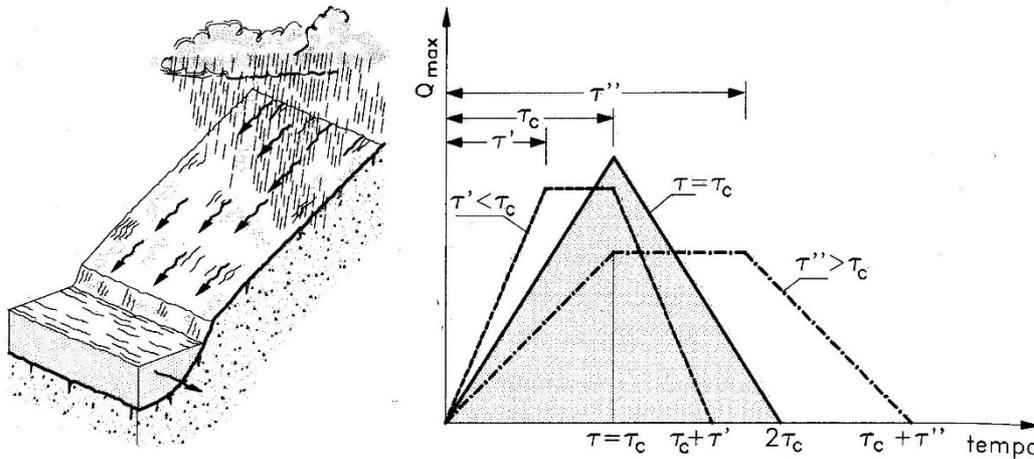


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

La definizione della portata di piena avviene tramite la formula:

$$Q = \frac{1000}{3600} \cdot \frac{\phi \cdot A \cdot h(\tau, T)}{\tau}$$

dove

- $\phi$  = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);
- A = superficie del bacino [km<sup>2</sup>];
- $h(\tau, T)$  = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati [mm];
- $\tau$  = tempo di corrivazione del bacino [ore].

Utilizzando, per il calcolo dell'altezza di pioggia, un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione, si ottengono le portate maggiormente critiche in quanto sono tali da mettere tutto il bacino in condizione di contribuire al deflusso attraverso la sezione considerata ed allo stesso tempo sono quelle più intense in quanto di ridotta durata.

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.

Un'altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di Ventura (1905). La formula 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.

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

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

Si è utilizzata anche la formula di Pezzoli, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km<sup>2</sup>:

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

Si è utilizzata 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 8). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.3, valore intermedio alle classi di riferimento per le aree coltivate e quelle adibite al pascolo 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 8 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.

## 4.2 Portate di progetto

Il tempo di corrivazione calcolato con le formule del paragrafo 4.1 risulta essere molto basso e questo potrebbe portare ad una sovrastima delle portate, in particolare per l'“Asse casello”.

### Tempo di Corrivazione Asse Casello (h)

Formula di Pasini	0.07
Formula di Pezzoli	0.03
Formula di Kirpich	0.05
Formula di Ventura	0.08
Formula di Kerby	0.27

Tabella 9 – Tempo di corrivazione dell'Asse Casello per le diverse formulazioni

### Tempo di Corrivazione Asse Barile (h)

Formula di Pasini	0.19
Formula di Pezzoli	0.15
Formula di Kirpich	0.15
Formula di Ventura	0.18
Formula di Kerby	0.55

Tabella 10 – Tempo di corrivazione dell'asse Barile per le diverse formulazioni

Per tale ragione si è deciso di utilizzare un tempo di concentrazione non inferiore a 10 minuti per il calcolo della portata al colmo. Sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di deflusso:

$\varphi = 0.9$  aree impermeabili;

$\varphi = 0.5$  aree permeabili.

Le tabelle seguenti riassumono le portate di massima piena dei bacini.

Asse Casello AO								
Calcolo tempo di concentrazione						Calcolo portata (Tr 200 anni)		
A [m <sup>2</sup> ]	Z <sub>max</sub> [m.s.l.m]	Z <sub>min</sub> [m.s.l.m]	L [m]	j [m/m]	T <sub>c</sub> [h]	φ	i [mm/h]	Q [m <sup>3</sup> /s]
100500	712	638	300	0.247	0.167	0.5	176.3	2.46

Tabella 11: Portata di progetto Asse Casello AO

Asse Casello PO										
Calcolo tempo di concentrazione								Calcolo portata (Tr 200 anni)		
A <sub>perme</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>imp.</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>tot</sub> [m <sup>2</sup> ]	Z <sub>max</sub> [m.s.l.m]	Z <sub>min</sub> [m.s.l.m]	L [m]	j [m/m]	T <sub>c</sub> [h]	φ	i [mm/h]	Q [m <sup>3</sup> /s]
94600	5900	100500	712	638	300	0.247	0.167	0.52	176.3	2.58

Tabella 12: Portata di progetto Asse Casello PO

Asse V. Barile AO								
Calcolo tempo di concentrazione						Calcolo portata (Tr 200 anni)		
A [m <sup>2</sup> ]	Z <sub>max</sub> [m.s.l.m]	Z <sub>min</sub> [m.s.l.m]	L [m]	j [m/m]	T <sub>c</sub> [h]	φ	i [mm/h]	Q [m <sup>3</sup> /s]
274581	770	626	1030	0.140	0.167	0.5	176.3	6.73

Tabella 13: Portata di progetto Asse Barile AO

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA4K	42 E 78	RI	ID00 01001	A	24 di 24

Asse V.Barile PO								
Calcolo tempo di concentrazione						Calcolo portata (Tr 200 anni)		
A [m <sup>2</sup> ]	Zmax [m.s.l.m]	Zmin [m.s.l.m]	L [m]	j [m/m]	Tc [h]	φ	i [mm/h]	Q [m <sup>3</sup> /s]
274581	770	626	1030	0.140	0.167	0.5	176.3	6.73

Tabella 14: Portata di progetto Asse Barile PO