

## ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:  
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA  
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO  
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

### PROGETTO ESECUTIVO

<p><b>CONTRAENTE GENERALE:</b></p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
--	---	--

**PROGETTAZIONE:** Associazione Temporanea di Imprese

*Mandataria:*









<p><b>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'ATI</b></p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p><b>GEOLOGO</b> Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p><b>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> Ing. Michele Curiale</p>			
---	---	--	---

<p><b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p>Ing. Giulio Petrizzelli</p>		
---	--	--

<p><b>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord</p> <p><b>IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idrologica</p>	<p><b>SCALA:</b> -</p> <p><b>DATA:</b> Maggio 2017</p>
--	--

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
L 0 7 0 3	2 1 2	E	0 3	0 1 0 0 0 0	REL	0 1	B

Codice Elaborato:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Agosto 2016	Emissione per progetto esecutivo	PROGIN	E. Abbasciano	S. Lieto	A. Grimaldi
B	Maggio 2017	Emissione congruenza generale	PROGIN	E. Abbasciano	S. Lieto	A. Grimaldi



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	2 di 39

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. AREA OGGETTO DI STUDIO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
3.1 NORMATIVA NAZIONALE.....	5
3.2 NORMATIVA REGIONALE .....	7
3.3 PIANIFICAZIONE TERRITORIALE.....	7
<b>4. IDROLOGIA.....</b>	<b>10</b>
4.1 METODOLOGIA VAPI.....	11
4.2 METODOLOGIA GUMBEL.....	24
<b>5. SCELTA DELLA DISTRIBUZIONE.....</b>	<b>29</b>
<b>6. STIMA DEI DEFLUSSI OPERE MAGGIORI .....</b>	<b>35</b>

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	3 di 39

## 1. PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio idrologico per la caratterizzazione dei parametri delle leggi di pioggia del Progetto Esecutivo del secondo stralcio funzionale "Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord" della "Pedemontana delle Marche" inserito nell'ambito nell'ambito del Maxilotto 2 dell'Asse viario Marche-Umbria e Quadrilatero di penetrazione interna.

L'intervento in progetto riguarda una nuova infrastruttura stradale, di lunghezza pari a 8,4 km, composta da un asse principale e tre svincoli, che si sviluppa, da Nord verso Sud, attraverso un tracciato con sezione tipo C1 secondo il D.M. 05/11/2001, che si collega a progr. 0+000 (immediatamente a valle dello svincolo di Matelica Nord-Zona industriale) allo stralcio funzionale precedente ("primo stralcio funzionale") ed a progr. 8+400 (in corrispondenza dello svincolo di Castelraimondo nord allo stralcio funzionale successivo ("terzo stralcio funzionale").

Il presente Progetto Esecutivo (PE) è stato sviluppato sulla base del Progetto Definitivo approvato (PD) e tenendo conto di quanto contenuto nella Delibera CIPE n. 109 del 23/12/2015 (G.U. del 28/05/2016).

Nel seguito, vengono illustrati e descritti gli studi e le indagini sviluppati per la caratterizzazione pluviometrica delle aree oggetto di intervento. Saranno ricavati sia il regime pluviometrico che le portate nelle sezioni di chiusura dei maggiori bacini idrografici che l'infrastruttura incontra. Vengono illustrati, inoltre, le modalità di calcolo dei parametri idrologici con riferimento a diversi approcci procedurali e prendendo in considerazione il regime più conservativo.

Saranno espone le impostazioni teoriche adottate per la schematizzazione dei fenomeni naturali, le ipotesi semplificative assunte e le metodologie di calcolo utilizzate rispettivamente per l'idraulica fluviale e per i fenomeni fisici propri dell'interferenza tra le strutture di attraversamento e corso d'acqua e dell'idraulica di piattaforma.

## 2. AREA OGGETTO DI STUDIO

Il territorio in esame è costituito dalla fascia pedemontana che si sviluppa a ridosso del versante appenninico marchigiano tra le valli dei fiumi Esino a nord e Potenza a sud.

L'infrastruttura stradale del "secondo lotto funzionale" ha origine dall'estremità sud dello svincolo di Matelica Nord/Zona industriale, in corrispondenza del termine del "primo stralcio funzionale", sviluppandosi per 8,4 km e terminando subito a valle dello svincolo Castelraimondo nord in corrispondenza dell'inizio del "terzo stralcio funzionale".

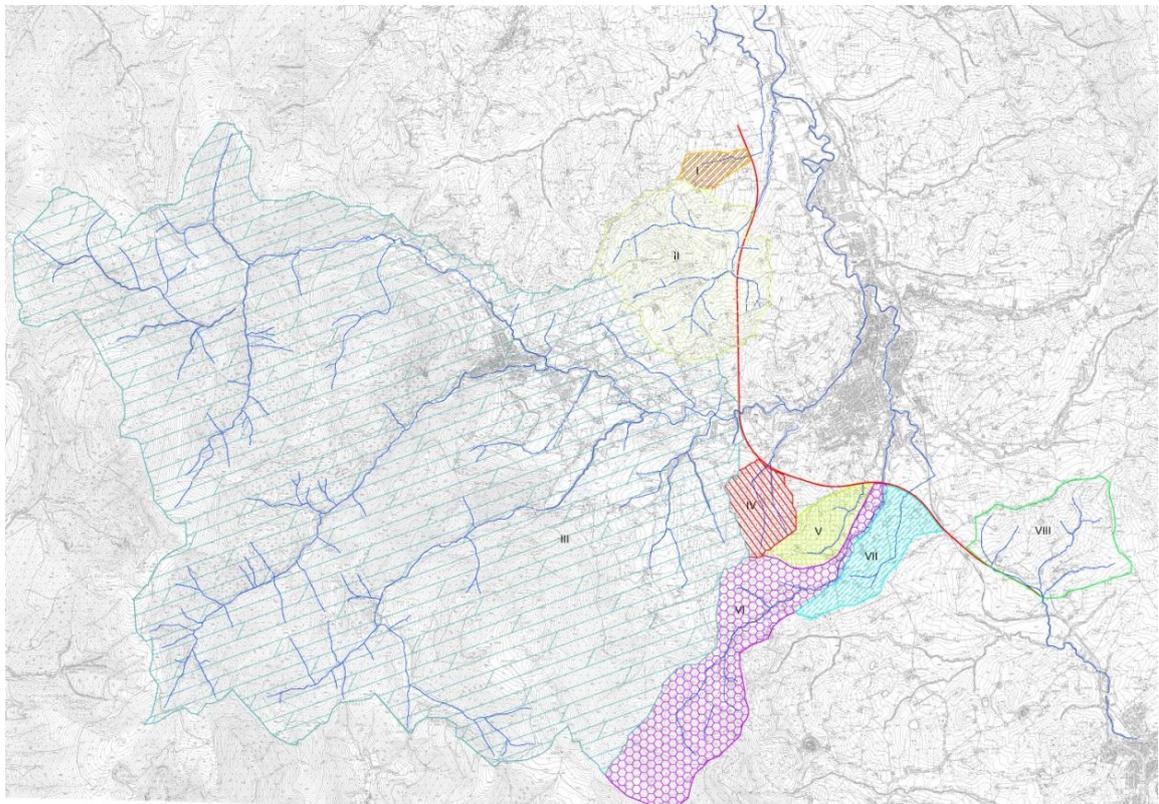
Procedendo da nord verso sud, vengono di seguito localizzati e descritti i principali corsi d'acqua intercettati dal tracciato stradale, per lo più provenienti da O-SO con direzione di scorrimento

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	4 di 39

perpendicolare alla catena appenninica da cui hanno origine e con la caratteristica comune di essere affluenti o subaffluenti dei corsi d'acqua principali della zona: Esino e, nella parte terminale del lotto, fiume Potenza:

- Fosso Pagliano: proviene da sud-ovest e confluisce nel Fiume Esino a monte di Matelica. Alla sezione dell'attraversamento (Viadotto "Pagliano", 0+700) presenta una lunghezza dell'asta di 2.4 km e un bacino a monte di 3.80 km<sup>2</sup>;
- Fiume Esino: proveniente da ovest attraverso una valle ben incisa, alla sezione dell'attraversamento (Viadotto "Esino", 3+440) presenta una lunghezza dell'asta di 12.14 km e un bacino a monte di 50.79 km<sup>2</sup>.
- Rio di Mistriano: proveniente da sud-ovest, alla sezione dell'attraversamento (Ponte "Mistriano", 5+830) presenta una lunghezza dell'asta di 4.82 km e un bacino a monte di 3.7 km<sup>2</sup>;

Nella restante parte del tracciato vengono inoltre attraversate o intercettate le testate di alcuni fossi minori o piccoli compluvi tributari dei corsi d'acqua principali. La maggior parte di queste incisioni, di modesta dimensione, viene attraversata mediante tombini circolari o scatolari. Per i fossi più importanti sono stati previsti attraversamenti mediante ponti.



**Figura 1: Inquadramento bacini principali**

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	5 di 39



**Figura 2: Inquadramento generale**

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano i principali riferimenti normativi e gli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, al fine di fornire un quadro esaustivo della normativa vigente nel campo idrologico - idraulico, ambientale e di difesa del suolo.

#### 3.1 NORMATIVA NAZIONALE

Rd 25/07/1904 n° 523

Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

Dpr 15/01/1972 n° 8

Trasferimento alle regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici.

L. 319/76 (legge merli)

Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento. La legge sancisce l'obbligo per le regioni di elaborare il piano di risanamento delle acque.

Dpr 24/7/1977 n° 616

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	O10000	REL	01	B	6 di 39

Trasferimento delle funzioni statali alle regioni

L. 183/89

Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo. Scopo della legge è la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi. Vengono individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione; vengono istituiti il comitato nazionale per la difesa del suolo e l'autorità di bacino. Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale e date le prime indicazioni per la redazione dei piani di bacino.

L. 142/90

Ordinamento delle autonomie locali.

DL 04/12/1993 n° 496

Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (convertito con modificazioni dalla l. 61/94).

L. 36/94 (legge galli)

Disposizioni in materia di risorse idriche.

Dpr 14/4/94

Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183.

Dpr 18/7/95

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino.

Dpcm 4/3/96

Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della legge galli).

Decreto legislativo 31/3/1998, n° 112

Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59

Dpcm 29/9/98

Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, n. 180. Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia.

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE								
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord								
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.	
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	7 di 39	

L. 267/98 (legge Sarno)

Conversione in legge del dl 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania. La legge impone alle autorità di bacino nazionali e interregionali la redazione dei piani stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio.

L. 365/00 (legge Soverato)

Conversione in legge del dl 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000. La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile; individua la procedura per l'adozione dei progetti di piano stralcio; prevede un'attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio.

Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152

Tale decreto ha riorganizzato le autorità di bacino introducendo i distretti idrografici. Disciplina, in attuazione della legge 15 dicembre 2004, n. 308, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche. Sostituisce ed integra il dl 152/99.

### 3.2 NORMATIVA REGIONALE

Legge regionale n° 18 del 22/6/1998

Disciplina delle risorse idriche.

Legge regionale 17/5/1999, n° 10

Riordino delle funzioni amministrative della Regione e degli Enti Locali nei settori dello sviluppo economico ed attività produttive, del territorio, ambiente e infrastrutture, dei servizi alla persona e alla comunità, nonché dell'ordinamento ed organizzazione amministrativa.

Legge regionale 25/5/1999, n° 13

Disciplina regionale della difesa del suolo.

Legge regionale 9/6/2006, n° 5

Disciplina della derivazioni di acqua pubblica e delle occupazioni del demanio idrico.

### 3.3 PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Il Piano per l'assetto idrogeologico (PAI), richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00, si configura come

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	8 di 39

stralcio funzionale del settore della pericolosità idraulica ed idrogeologica del Piano generale di bacino previsto dalla L. 183/89 e dalla L.R. 13/99.

L'ambito di applicazione del PAI è relativo ai bacini idrografici regionali elencati e cartografati nell'Allegato B della L.R. 13/99. In tali bacini ricadono anche territori della Regione Umbria e pertanto per l'applicazione del PAI in tali aree dovrà essere seguita la procedura prevista dall'art. 20 della Legge 183/89.

E' esclusa la parte del territorio regionale ricadente all'interno dei bacini idrografici di competenza delle Autorità di Bacino Nazionale del F. Tevere, Interregionale del F. Tronto e Interregionale dei Fiumi Marecchia e Conca.

Il progetto di piano è stato approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 13 del 30/04/2001.

Il PAI è stato adottato, in prima adozione, con Delibera n. 15 del 28 giugno 2001. A seguito delle osservazioni alla prima adozione del piano e alle loro istruttorie, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ha adottato definitivamente il PAI, con Delibera n. 42 del 7 maggio 2003 (seconda e definitiva adozione).

La Giunta Regionale con DGR n. 872 del 17/06/2003 ha trasmesso il Piano al Consiglio Regionale e con DGR n. 873 del 17/06/2003 ha approvato le "Misure di Salvaguardia", decorrenti dalla data di pubblicazione sul BURM (12 settembre 2003 - BUR n. 83) e vigenti fino all'entrata in vigore del Piano.

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale è stato approvato con Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004 pubblicata sul supplemento n. 5 al BUR n. 15 del 13/02/2004.

Successivamente all'approvazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale sono stati approvati degli atti che modificano parte degli elaborati allegati al PAI di cui alla Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004.

Esso è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. L'assetto idrogeologico comprende:

- a) l'assetto idraulico, riguardante le aree a rischio idraulico;
- b) l'assetto dei versanti, riguardante le aree a rischio di frane e valanghe.

Il Piano approvato dall'AdB persegue gli obiettivi previsti dalle leggi di settore, quelli particolari riferiti alle specificità dei singoli bacini e le finalità previste all'art. 3 della L. n.183/89, con particolare riferimento ai contenuti di cui all'art. 17, comma 3, lettere b), c), d), f), l), m) e dell'art. 1, comma 1, della L. n. 267/'98 e della Legge Regionale 25 maggio 1999 n. 13.

Le finalità del Piano per l'assetto idraulico sono:

- a) la individuazione secondo la procedura definita nel Piano stesso, della fascia di territorio inondabile

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	9 di 39

assimilabile a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni dei principali corsi d'acqua dei bacini regionali;

b) la definizione, per le dette aree e per i restanti tratti della rete idrografica, di una strategia di gestione finalizzata a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a favorire il mantenimento o il ripristino dei caratteri di naturalità del reticolo idrografico;

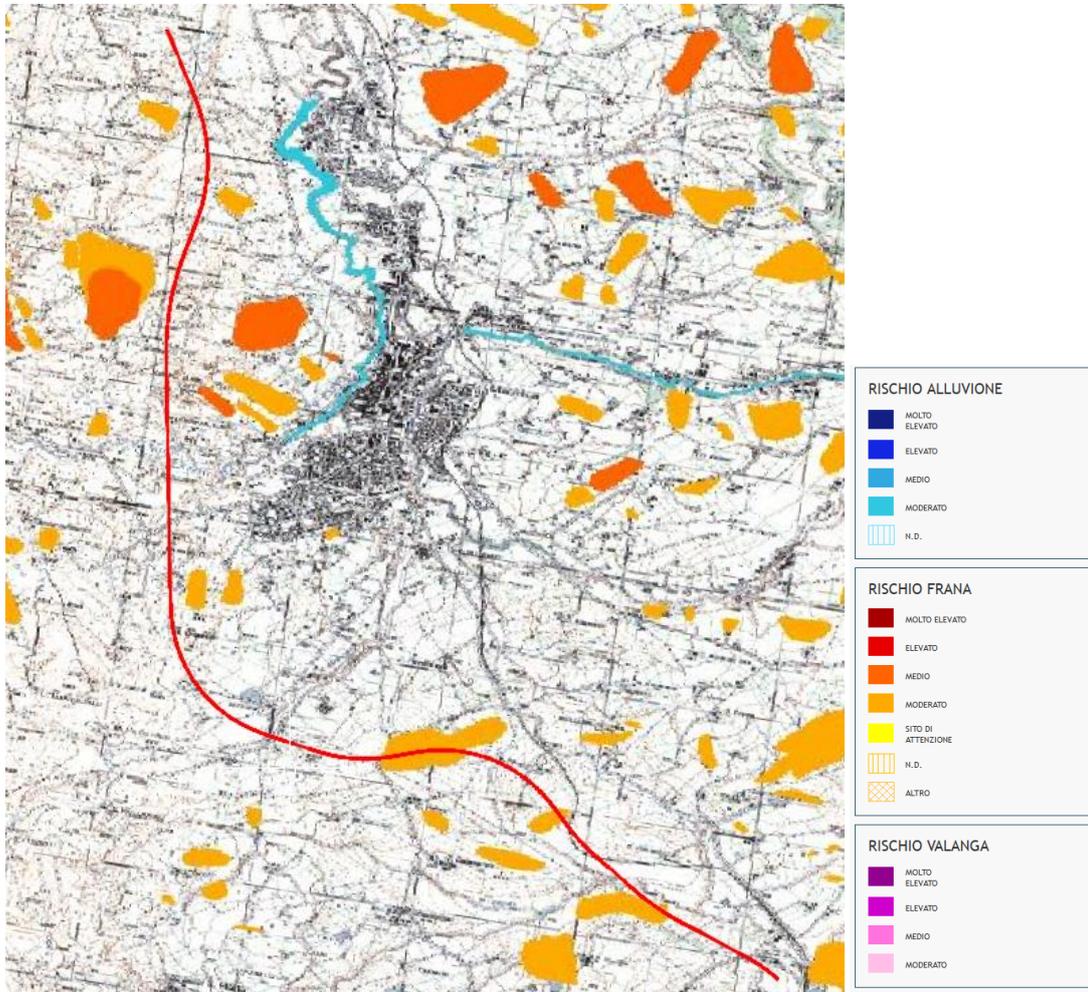
c) la definizione di una politica di prevenzione e di mitigazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di azioni e norme di piano e tramite la predisposizione di un assetto di progetto dei corsi d'acqua, definito nei tipi di intervento, nelle priorità di attuazione e nel fabbisogno economico di massima.

Nell'Art. 7 delle norme di attuazione (All. D) viene definita la fascia di territorio inondabile pertinente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni. La fascia di territorio inondabile assimilabile a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni comprende il relativo alveo di piena così come definito nell'allegato indicato all'Articolo 3, comma 2, lettera d), "Indirizzi d'uso del territorio per la salvaguardia dai fenomeni di esondazione".

La fascia di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni costituisce, nei territori non urbanizzati, l'ambito di riferimento naturale per il massimo deflusso idrico ed ha la funzione del contenimento e laminazione naturale delle piene nonché la funzione della salvaguardia della qualità ambientale dei corsi d'acqua. La fascia che, anche successivamente alla realizzazione degli interventi per la mitigazione del rischio idraulico previsti dal presente Piano, risulta inondabile per piene con tempi di ritorno fino a 200 anni, costituisce l'ambito territoriale definitivo di deflusso delle piene.

Il confronto del tracciato della strata di progetto con le zone a rischio idrogeologico, dedotte dall'Autorità di Bacino Marche, mostra che l'infrastruttura di progetto non ricade in zone a rischio di alluvione come si può osservare nella figura seguente.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	10 di 39



**Figura 3: Stralcio planimetrico PAI**

## 4. IDROLOGIA

Le precipitazioni che si abbattano sulla sede stradale possono produrre un deflusso superficiale di non trascurabile entità. Ciò è tanto più vero quanto più le precipitazioni sono brevi ed intense. Per l'analisi idrologica delle piogge ed in particolare la determinazione delle portate di piena dei corsi d'acqua (fiumi, canali e fossi), che interferiscono con il tracciato stradale di progetto, si è resa perciò necessaria la definizione del regime delle piogge di breve durata e notevole intensità per i bacini minori e per gli elementi della piattaforma stradale, considerando durate inferiori ai 30 minuti, e le piogge comprese tra 30 minuti e 24 ore per valutare le portate dei bacini maggiori, degli attraversamenti principali con tempi di risposta superiori ai 30 minuti.

Per la determinazione delle leggi di pioggia si è fatto riferimento alla procedura VAPI basata sull'uso

	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	11 di 39

della distribuzione della probabilità cumulata tipo TCEV (Two Components Extreme Value).

Inoltre sono state considerate le leggi di pioggia ricavate in sede di progetto definitivo tramite l'elaborazione statistica dei dati di pioggia dei pluviometri di Pioraco e di Fabriano, che si trovano in prossimità dell'area interessata dal progetto. In particolare i dati sono stati adattati secondo la distribuzione asintotica del massimo valore tipo I o di Gumbel.

Ai fini del dimensionamento dei manufatti idraulici e per la verifica dei franchi è stata adottata la legge di pioggia che restituisce i risultati più gravosi come meglio specificato di seguito.

## 4.1 METODOLOGIA VAPI

### **DISTRIBUZIONE TCEV**

L'adozione della legge TCEV è stata introdotta a seguito della constatazione del fatto che in numerosi pluviometri si sono registrati alcuni eventi assolutamente straordinari, la cui intensità supera di gran lunga le intensità inferiori di pari durata. Tali eventi sono indicati nella letteratura anglosassone come outliers.

La probabilità di questi eventi è fortemente sottostimata da una legge di Gumbel o da una legge lognormale. La distribuzione TCEV definisce la probabilità di non superamento di una mistura di due popolazioni di eventi definite come componente bassa, che include gli eventi che potremmo chiamare ordinari, e componente alta che include gli eventi che potremmo considerare straordinari, di cui fanno parte gli eventuali outliers.

La distribuzione TCEV si esprime:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}}$$

dove X è la variabile, x è un generico valore di X e i parametri indicano:

-  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  il valore atteso del numero degli eventi che nell'intervallo di tempo unitario, ad esempio l'anno, che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta;

-  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  il valore atteso dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta, in cui è ovviamente:

$$\Theta_2 \geq \Theta_1$$

La TCEV può essere messa nella forma:

$$P_X(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} - e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)}}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	12 di 39

avendo posto:

$$\alpha_1 = \frac{l}{\Theta_1} \quad e \quad \alpha_2 = \frac{l}{\Theta_2}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\ln \Lambda_1}{\alpha_1} = \Theta_1 \ln \Lambda_1 \quad e \quad \varepsilon_2 = \frac{\ln \Lambda_2}{\alpha_2} = \Theta_2 \ln \Lambda_2$$

Derivando rispetto a x si ottiene la densità di probabilità della TCEV:

$$p_X(x) = \left( \frac{\Lambda_1}{\Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_1}} + \frac{\Lambda_2}{\Theta_2} e^{-\frac{x}{\Theta_2}} \right) \cdot e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}}$$

che può essere anche espressa nella forma:

$$p_X(x) = \left( \alpha_1 e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} + \alpha_2 e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)} \right) \cdot e^{-e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} - e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)}}$$

Sostituzione dei parametri  $\Theta_2$  e  $\Lambda_2$

Ponendo:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1}$$

$$\Lambda^* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

diventa:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{x}{\Theta_* \Theta_1}}}$$

e

$$p_X(x) = \left( \frac{\Lambda_1}{\Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_1}} + \frac{\Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta_*}}{\Theta_* \Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_* \Theta_1}} \right) e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{x}{\Theta_* \Theta_1}}}$$

Si osservi che è sempre:

$$\Theta_* > 1;$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	13 di 39

$\Lambda^* \geq 0$  poiché è  $\Lambda_1 \geq 0$  e  $\Lambda_2 \geq 0$ .

Nella distribuzione TCEV i momenti di ordine  $r$  rispetto all'origine si esprimono (Versace e al., 1989):

$$\mu'_r = \Theta_1^r \left[ \sum_{k=1}^r (-1)^k \binom{r}{k} (\ln \Lambda_1)^{r-k} \Gamma^{(k)}(1) + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \sum_{k=1}^r (-1)^k k \binom{r}{k} (\ln \Lambda_1)^{r-k} \Gamma^{(k-1)}(j/\Theta_*) \right]$$

L'espressione della media è quindi:

$$\mu = \Theta_1 \left[ \ln \Lambda_1 + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left( \frac{j}{\Theta_*} \right) \right] = \Theta_1 \beta$$

con:

$$\beta(\Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1) = \ln \Lambda_1 + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left( \frac{j}{\Theta_*} \right)$$

Sostituendo si ottiene:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{\beta}{\mu_x}}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{\beta}{\Theta_* \mu_x} x}$$

Si può dimostrare che:

- il coefficiente di variazione teorico:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\mu}$$

dipende da  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  ed è indipendente da  $\Theta_1$ ;

- il coefficiente di asimmetria teorico:

$$\xi = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{E[(X - \mu)^3]}{\sigma^3}$$

dipende solo da  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  ed è indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

### STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI DELLA TCEV

Nel caso delle piogge intense il numero degli eventi straordinari registrati da un singolo pluviometro è molto basso, e ciò rende impossibile una stima efficace dei parametri della componente alta

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	14 di 39

facendo riferimento alle singole serie di osservazioni. È necessario quindi far ricorso a metodi regionali, in modo da utilizzare per la stima dei parametri tutte le osservazioni di una regione pluviometricamente omogenea. Il concetto di omogeneità pluviometrica risulterà definito dal modo in cui si sviluppa la procedura di regionalizzazione.

Con regionalizzazione delle variabili  $X_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) s'intende l'aggregazione di tali variabili in gruppi con caratteristiche stocastiche comuni. Nel caso di variabili distribuite sul territorio, come le piogge, si richiede generalmente che tali raggruppamenti abbiano anche riferimenti geografici.

Secondo la procedura proposta da Versace e al. (1989) vengono considerati tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al primo livello *regioni omogenee* rispetto ai parametri  $A_*$  e  $\Theta_*$ , da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al *coefficiente di asimmetria*;
- al secondo livello *zone omogenee* anche rispetto al parametro  $A_1$ , da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al *coefficiente di variazione*;
- al terzo livello *sottozone omogenee* rispetto alla dipendenza del parametro  $\Theta_1$  - e quindi della media - da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti).

Si procede come segue:

- a) al primo livello di regionalizzazione:

in base ai valori dei coefficienti di asimmetria empirici, s'individuano, in prima approssimazione, delle regioni omogenee;

in ciascuna regione viene eseguita la stima dei parametri  $A_*$  e  $\Theta_*$  con il metodo proposto da Fiorentino e Gabriele (1985), applicando il criterio della massima verosimiglianza a tutte le variabili che ricadono in essa;

con la legge standardizzata si determinano gli intervalli di confidenza, con livello di significatività  $\alpha$ , del coefficiente di asimmetria, e si verifica se l'ipotesi di omogeneità è verificata, con quel livello di significatività, per le regioni individuate;

se tale condizione non è soddisfatta, si modificano le regioni e si riprende la procedura;

- b) al secondo livello di regionalizzazione, avendo fissato i valori di  $A_*$  e  $\Theta_*$  determinati al primo livello:

in base ai valori dei coefficienti di variazione empirici, s'individuano, in prima approssimazione, delle zone omogenee;

si stimano con il criterio della massima verosimiglianza i parametri  $A_1$ , relativi a ciascuna stazione;

si determinano i coefficienti di variazione della componente base di ciascuna stazione tramite la:

	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	15 di 39

$$\gamma_{1,i} = \frac{1,2825}{\ln \Lambda_{1,i} + 0,57722} \quad (4.1)$$

in ciascuna zona omogenea si calcola il coefficiente di variazione della zona  $\gamma_1$  come media dei  $\gamma_{1,i}$  relativi a quella zona;

per ciascuna zona omogenea si calcola la stima di  $\Theta_1$  introducendo  $\gamma_1$  nella (4.1);

con la legge standardizzata si determinano gli intervalli di confidenza, con livello di significatività  $\alpha$ , del coefficiente di variazione, e si verifica se l'ipotesi di omogeneità è verificata, con quel livello di significatività, per le zone individuate;

se questa condizione non è soddisfatta, si modificano le zone e si riprende la procedura;

- c) al terzo livello di regionalizzazione, avendo fissato i valori di  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  determinati ai precedenti livelli, per cui risulta fissato il parametro  $\beta$  :

s'individuano, in prima approssimazione, in base all'andamento della media con la quota  $z$ , le sottozone omogenee;

s'interpolano gli andamenti di  $\mu(z)$  con la legge prescelta, e si verifica l'adattamento;

se l'adattamento non risulta soddisfacente, si modificano le sottozone e si riprende la procedura.

### **APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA VAPI ALLA ZONA DI INTERESSE**

Sul territorio in questione sono stati eseguiti vari studi nel rispetto dei criteri del Progetto VAPI, ai differenti livelli della procedura gerarchica e per le differenti grandezze idrologiche, a cura dell'U.O. 1.31 (ENEL S.p.a. Unità di Idrologia di Mestre) e dell'U.O. 1.41 (DSTART Università di Bologna).

L'area di indagine, che comprende parte dell'Emilia-Romagna e l'intera regione Marche (SIMN Bologna), gran parte della regione Toscana (SIMN Pisa), l'intera regione Umbria e parte della regione Lazio (SIMN Roma), è stata inoltre recentemente estesa ad alcuni bacini idrografici di competenza dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma, così da ricoprire totalmente la regione Emilia- Romagna.

Una panoramica dettagliata dei risultati ottenuti dalle U.O. sopra ricordate è contenuta nelle seguenti memorie e rapporti tecnici:

- - "Valutazione delle piogge estreme in Romagna e Marche" [Franchini e Galeati, 1994] e "La regionalizzazione delle piogge intense mediante modello TCEV. Una applicazione alla regione Romagna Marche" [Franchini e Galeati, 1994], per quanto riguarda la modellazione statistica dei dati pluviometrici relativi agli eventi massimi annuali osservati nel territorio del compartimento SIMN di Bologna.
- - "Il fattore di riduzione delle piogge all'area. Stima di una legge interpretativa" [Benaglia, 1996],

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE  Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	16 di 39

per quanto riguarda la modellazione del fattore di riduzione areale delle piogge intense (ARF) osservate nelle stazioni pluviometriche dislocate nel bacino del Reno e bacini limitrofi.

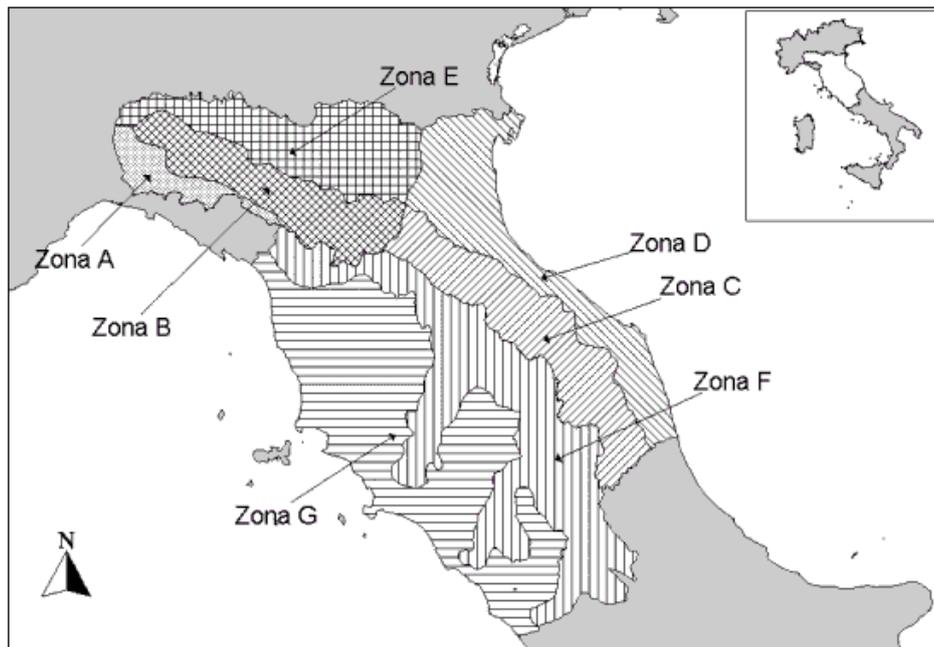
- – “Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo per la regione Romagna Marche” [Franchini e Galeati, 1996] e “Analisi delle portate massime annuali su intervalli di assegnata durata nei corsi d’acqua della regione Romagna Marche” [Franchini e Galeati, 1998] per quanto riguarda la modellazione statistica degli eventi idrometrici massimi annuali osservati nel territorio del compartimento SIMN di Bologna; “La valutazione regionale del rischio di piena con il metodo della portata indice” [Brath e Franchini, 1998] per quanto riguarda la modellazione statistica degli eventi idrometrici massimi annuali osservati nell’Italia settentrionale; “La stima della portata indice mediante metodi indiretti” [Brath et al., 1999b] per quanto riguarda la medellazione della portata indice con riferimento ai dati disponibili sul territorio del compartimento SIMN di Bologna e sui bacini appenninici emiliano affluenti in sponda destra del Po compresi tra i fiumi Scrivia e Panaro sui quali ha competenza l’Ufficio Idrografico per il Po.
- – “Valutazione delle piogge intense nell’Italia centrosettentrionale” [Brath et al., 1998], per quanto riguarda la modellazione statistica dei dati pluviometrici relativi agli eventi massimi annuali osservati nel territorio di competenza dei compartimenti SIMN di Bologna, Pisa e Roma. Questo studio è stato ultimamente affinato considerando anche i dati pluviometrici relativi ai bacini idrografici affluenti in destra Po, dallo Scrivia al Panaro, gestiti dell’Ufficio Idrografico del Po di Parma. I risultati sono raccolti in “Valutazione regionale degli indici di rischio idropluviometrico in alcune regioni dell’Italia centrale e settentrionale” [Brath et al., 1999a] ed in “La valutazione delle piogge intense su base regionale” [Brath e Franchini, 1999].

Gli studi citati ed in particolare “La valutazione delle piogge intense su base regionale” (A. Brath, M. Franchini, 1998) ha come oggetto la particolarizzazione del Metodo VAPI-pioggie al territorio appartenente alle regioni amministrative Emilia-Romagna e Marche.

I modelli regionali VAPI si basano sull’ipotesi di esistenza di regioni compatte e idrologicamente omogenee all’interno delle quali le portate di colmo normalizzate rispetto ad una portata di riferimento – la portata indice – siano descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità, denominata curva di crescita.

In particolare l’area in esame valgono i seguenti valori dei parametri della curva di crescita:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	17 di 39



**Figura 4: Sottozone pluviometriche omogenee**

L'intero territorio indagato risulta in definitiva suddiviso in 7 SZO omogenee nei confronti delle precipitazioni intense, visualizzate in Fig. 4, le cui curve di crescita, che determinano in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$ :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})} \quad (4.2)$$

risultano completamente definite dai parametri riportati in tabella:

Sottozona	$\Lambda_*$	$\theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.109	2.361	24.70	4.001
B	1.528	1.558	39.20	5.335
C	1.528	1.558	25.70	4.913
D	0.361	2.363	29.00	4.634
E	0.044	3.607	30.45	4.135
F	0.144	2.042	33.03	4.321
G	0.221	3.322	30.78	4.628

Un'ulteriore tabella mostra i parametri per la stima del  $K_T$  in funzione della durata dell'evento



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	O10000	REL	01	B	18 di 39

pluviometrico:

Sottozona	$\Lambda^*$	$\theta^*$	$\Lambda_1$	$\eta$	durata (ore)
A	0.109	2.361	24.70	4.001	Tutte
B	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			19.35	4.629	3
			26.20	4.932	6
			39.20	5.335	$\geq 12$ e 1g
C	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			14.70	4.354	3
			20.25	4.674	6
			25.70	4.913	$\geq 12$ e 1g
D	0.361	2.363	29.00	4.634	Tutte
E	0.044	3.607	13.60	3.329	1
			19.80	3.704	3
			23.65	3.882	6
			30.45	4.135	$\geq 12$ e 1g
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1
	0.144	2.042	33.03	4.321	$\geq 3$ e 1g
G	0.131	1.820	16.28	3.571	1
			24.71	5.140	3
			26.21	4.633	6
			30.01	4.680	12
			30.78	4.628	24 e 1g

nella tabella seguente sono riportati i valori di  $K_T$  ottenuti numericamente dall'equazione (4.2) per i valori del periodo di ritorno di maggior interesse pratico

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0.93	1.24	1.46	1.70	1.78	1.95	2.04	2.34	2.68	3.18	3.57
SZO B	1.01	1.30	1.51	1.71	1.77	1.90	1.97	2.17	2.37	2.63	2.83
SZO C	1.01	1.33	1.55	1.77	1.84	1.98	2.05	2.27	2.48	2.77	2.99
SZO D	0.87	1.19	1.44	1.72	1.82	2.02	2.13	2.45	2.79	3.23	3.57
SZO E	0.93	1.22	1.43	1.64	1.72	1.89	1.98	2.32	2.78	3.53	4.13
SZO F	0.93	1.23	1.43	1.65	1.72	1.87	1.95	2.20	2.47	2.86	3.17
SZO G	0.88	1.22	1.50	1.87	2.01	2.32	2.47	2.96	3.46	4.12	4.61

### PIOGGIA INDICE

Per ottenere il valore della precipitazione indice di durata  $d$  cui fare riferimento per calcolare il valore della precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno per la regione in esame si propone l'utilizzo di una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

$$m(h_d) = m(h_1) \cdot d^n$$

$$n = \frac{(\ln[m(h_g)] - \ln[m(h_1)] - \ln(r)) / \ln(24)}{\quad} \quad (4.3)$$

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	19 di 39

in cui:

$m(h_d)$ =media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d (ore);

$m(h_g)$ =media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;

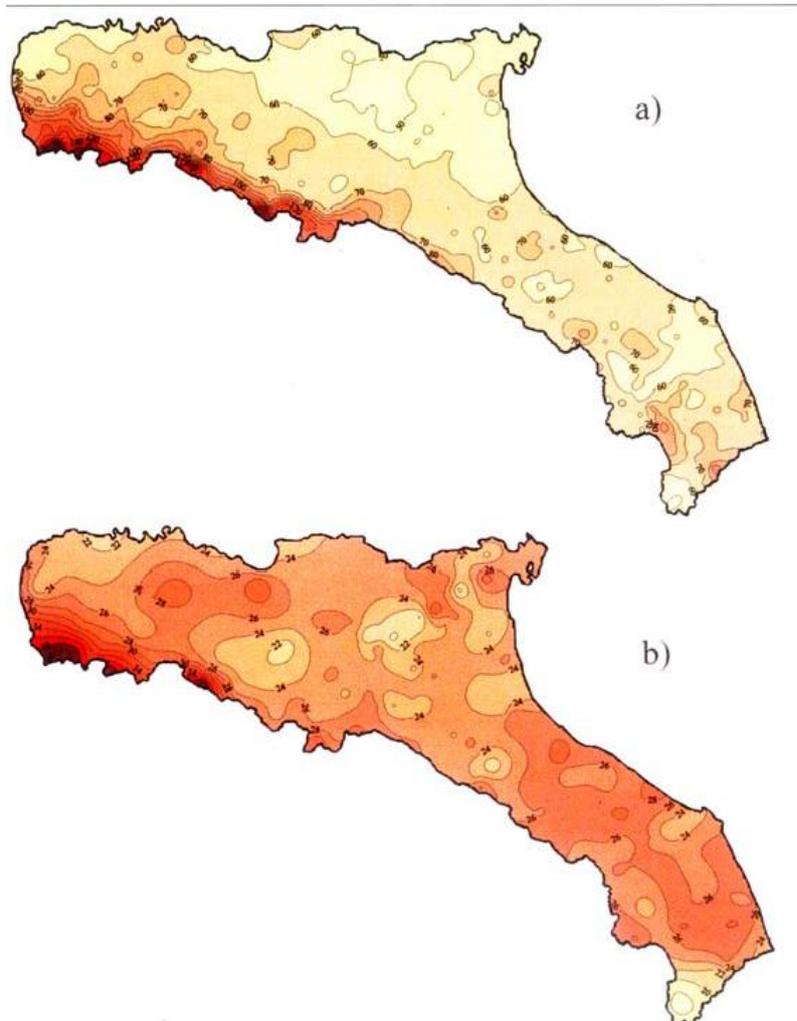
$m(h_1)$ =media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;

$r = m(h_g) / m(h_{24}) = 0.89$  nella regione esaminata

Per una pratica applicazione delle relazioni sopra riportate, vengono fornite le mappe isoparametriche di  $m(h_1)$  e di  $m(h_g)$  per l'intero territorio di indagine (vedi Brath e Franchini [1999] per le SZO A, B, C, D, E, e Brath et al. [1998] per le SZO G e F).

La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata d e tempo di ritorno T si ottiene moltiplicando il fattore di crescita opportuno, da selezionare fra quelli indicati in tabella o ottenuti dalla 4.2, per la precipitazione indice deducibile tramite le (4.3).

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	20 di 39



**Figura 5: Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b)**

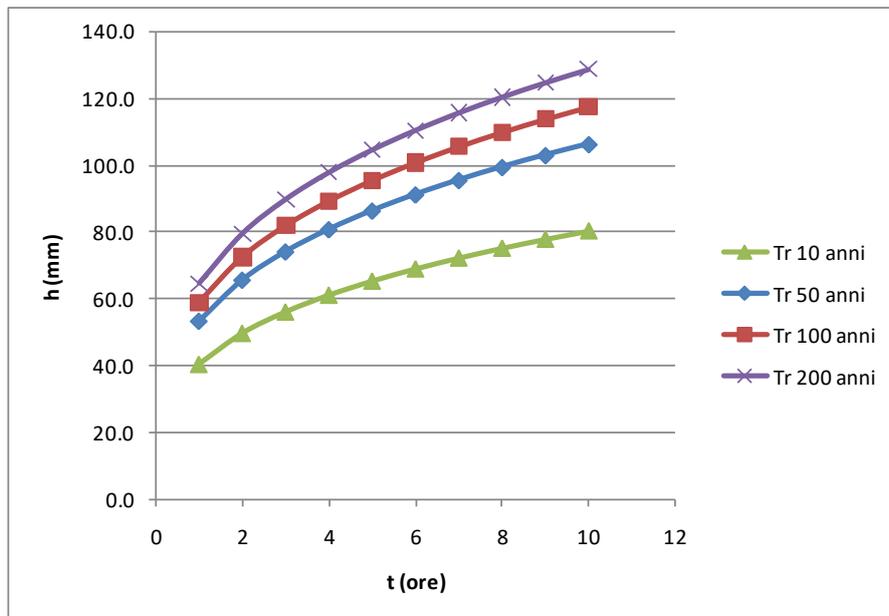
Per tutti i corsi d'acqua di interesse, appartenenti alla "zona omogenea C", sono stati stimati valori dei parametri  $m_1$  e  $m_6$  pari rispettivamente a 26 e 60.

La Tabella riporta i valori calcolati per i parametri  $a$  e  $n$  delle leggi di pioggia per i diversi tempi di ritorno di interesse.

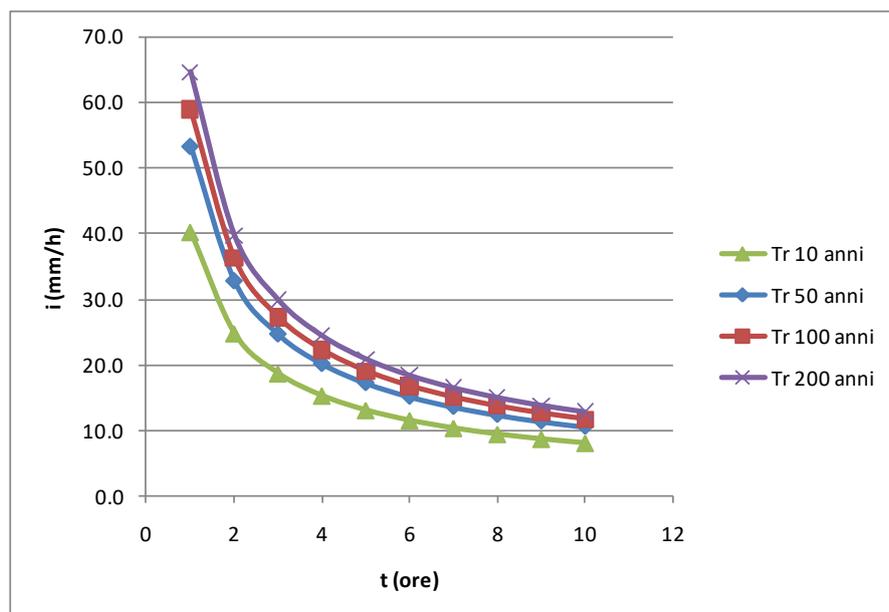
Tr (anni)	10	25	50	100	200
Kt	1.55	1.96	2.05	2.27	2.48
a	40.29	50.92	53.30	58.92	64.56
n	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	21 di 39

Le curve di possibilità pluviometrica avranno il seguente andamento:



**Figura 6: TCEV: Altezze di pioggia per d>30 min**



**Figura 7: TCEV: Intensità di pioggia per d>30 min**

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	22 di 39

Un discorso a parte meritano le piogge di durate inferiori ai 30 minuti.

E' stato osservato che i valori dei rapporti  $r_\delta$  tra le altezze di durata  $\delta$  molto brevi e l'altezza oraria di precipitazione sono poco dipendenti dalla località, per cui è possibile stabilire delle relazioni univoche che ci permettono di estrapolare la legge oraria per le piogge di breve durata a partire dai seguenti rapporti noti:

$\delta$ (min)	1	2	3	4	5	10	15	30
$r_\delta = r_w / r_1$	0.130	0.180	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.811

L'estrapolazione della legge oraria per le brevi durate avviene imponendo il passaggio per le altezze ricavate dai rapporti di letteratura. Si impone:

- Il passaggio nel punto corrispondente ad una pioggia di durata 30 minuti (0.5 ore)

$$a'(t) \cdot 0.5^{n'(t)} = h(30min)$$

- Il passaggio nel punto corrispondente ad una pioggia di durata 1 minuto (0.017 ore)

$$a'(t) \cdot 0.017^{n'(t)} = r_{(1min)} / r_1 \cdot h(1ora)$$

Risolviendo il sistema per i vari tempi di ritorno si ha:

Tr (anni)	10	25	50	100	200
Kt	1.55	1.96	2.05	2.27	2.48
a	49.16	59.03	66.48	73.95	81.46
n	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52

che presentano il seguente andamento:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	23 di 39

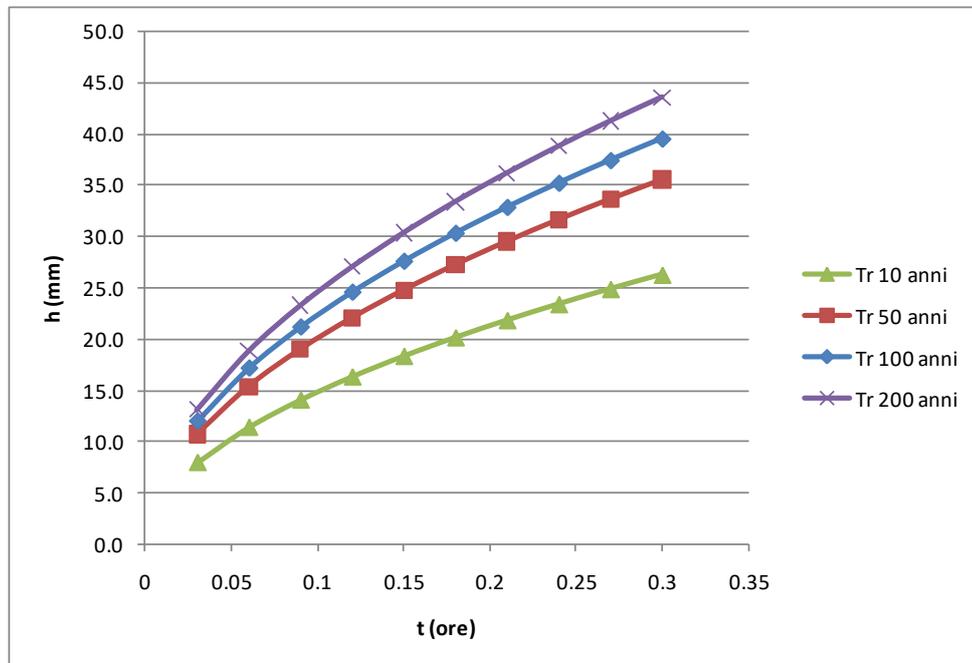


Figura 8: TCEV: Altezze di pioggia per d<30 min

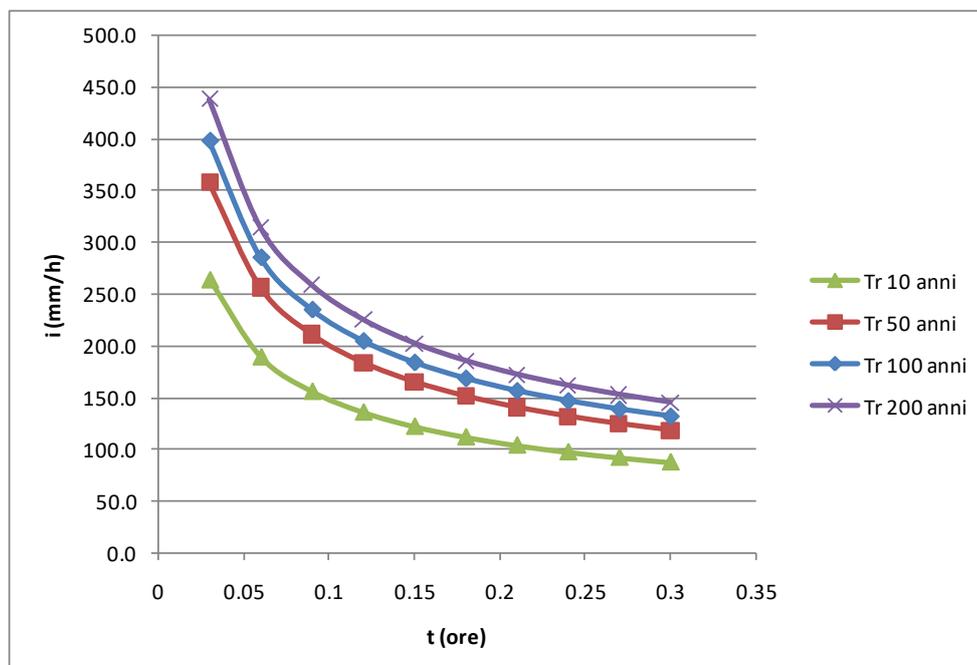


Figura 9: TCEV: Intensità di pioggia per d<30 min



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	24 di 39

## 4.2 METODOLOGIA GUMBEL

Facendo riferimento allo studio idrologico del progetto definitivo dove, a partire dai dati di pioggia rilevati dalle stazioni pluviografiche prossime all'area in esame ed interpretati mediante la distribuzione di Gumbel, si sono ricavate le curve di possibilità pluviometrica tramite la relazione:

$$h = a \cdot t^n \quad e \quad i = a \cdot t^{(n-1)}$$

Una volta acquisite le serie storiche riportate negli Annali Idrologici delle precipitazioni brevi ed intense relative alle stazioni pluviografiche di Fabriano, Pioraco, Camerino, Serravalle di Chienti e Gualdo Tadino, in questa sede si prenderanno in considerazione esclusivamente i dati ricavati per le serie storiche delle stazioni di Pioraco e Fabriano che risultano le più prossime al lotto in esame. Tali pluviometri mostrano campioni di misure sufficientemente numerosi (in media 40-50 anni di osservazioni) e sono ubicati nell'area di pertinenza dei bacini idrografici di interesse.

Sulle serie storiche delle precipitazioni brevi ed intense è stata svolta, nel progetto definitivo, un'analisi statistica mediante il metodo scala-invariante di Gumbel, che consente di determinare le altezze massime di pioggia previste per le durate caratteristiche 1, 3, 6, 12, 24 al variare del tempo di ritorno.

Le tabelle riassuntive delle elaborazioni svolte vengono di seguito riportate. In particolare sono state costruite le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica delle stazioni analizzate per i tempi di ritorno di 10, 50, 100, 200 anni e sono stati riportati i valori dei parametri caratteristici  $a$  ed  $n$  ricavati.

Parametri della stazione di Fabriano:

$T_r$ (anni)	$a$ (mm ore <sup>-n</sup> )	$n$
10	41.441	0.2627
50	56.299	0.2703
100	62.58	0.2724
200	68.838	0.2741

Parametri della stazione di Pioraco:

$T_r$ (anni)	$a$ (mm ore <sup>-n</sup> )	$n$
10	35.422	0.2987
50	46.336	0.3059
100	50.949	0.308
200	55.544	0.3098

Che presentano rispettivamente i seguenti andamenti:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	25 di 39

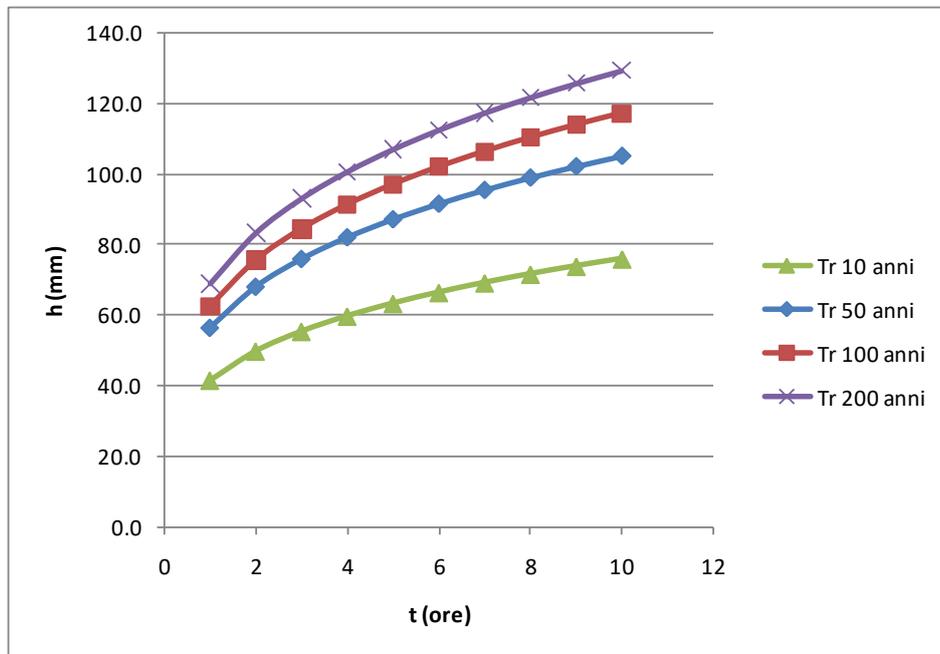


Figura 10: Gumbel Fabriano: Altezze di pioggia per  $d > 30$  min

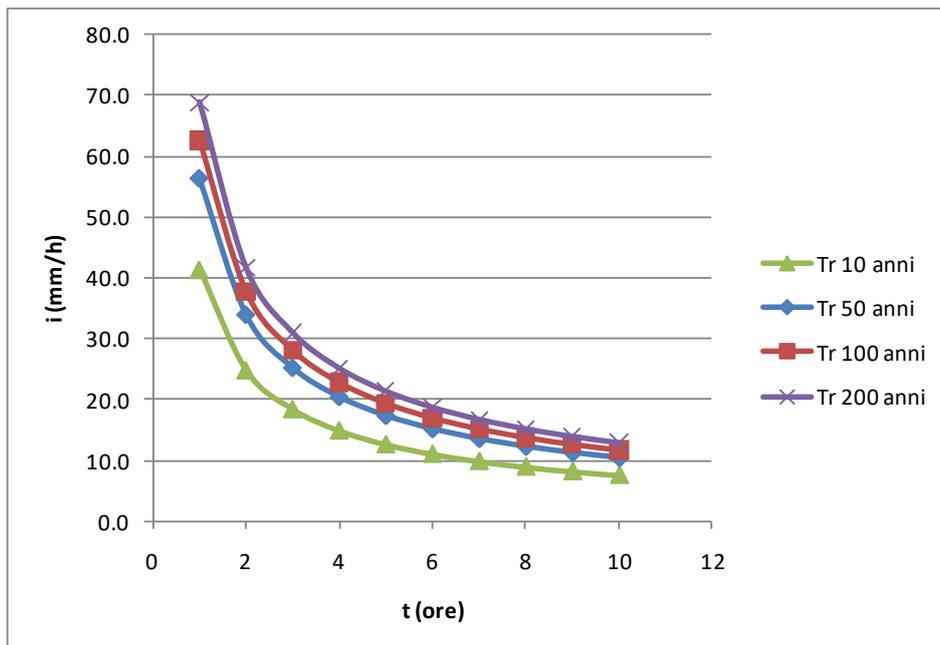


Figura 11: Gumbel Fabriano: Intensità di pioggia per  $d > 30$  min

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	26 di 39

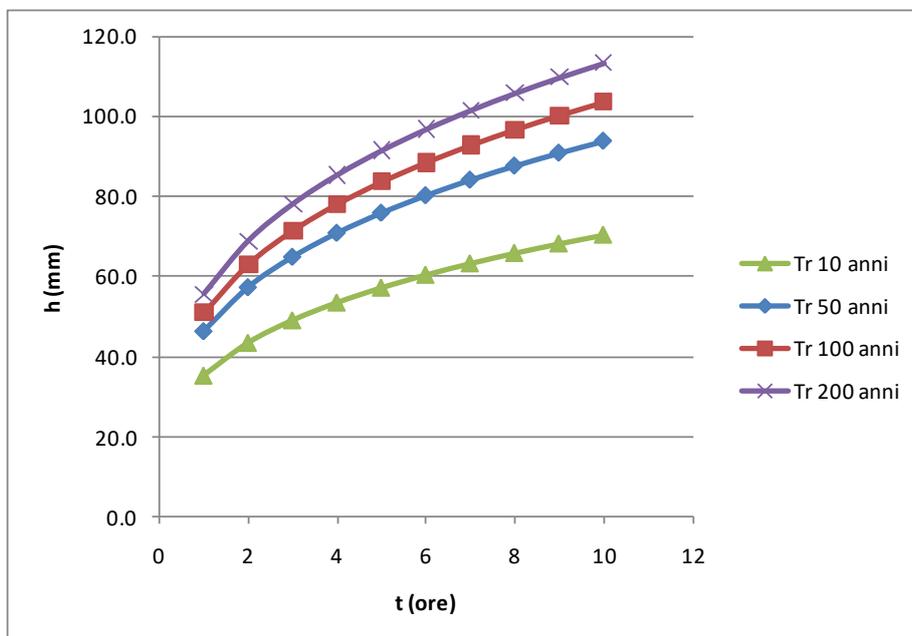


Figura 12:Gumbel Pioraco: Altezze di pioggia per d>30 min

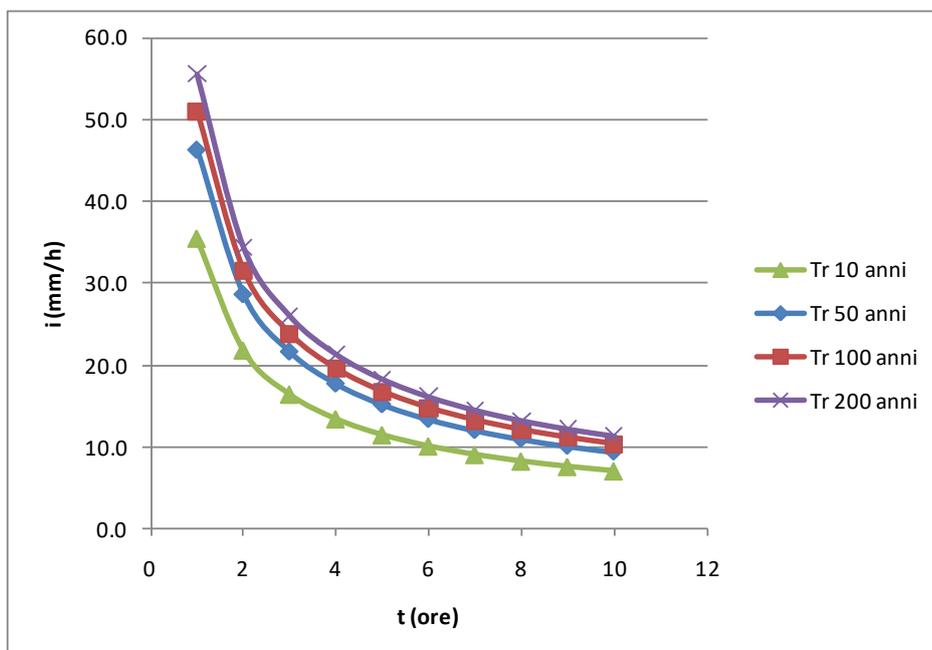


Figura 13: Gumbel Pioraco: Intensità di pioggia per d>30 min

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	27 di 39

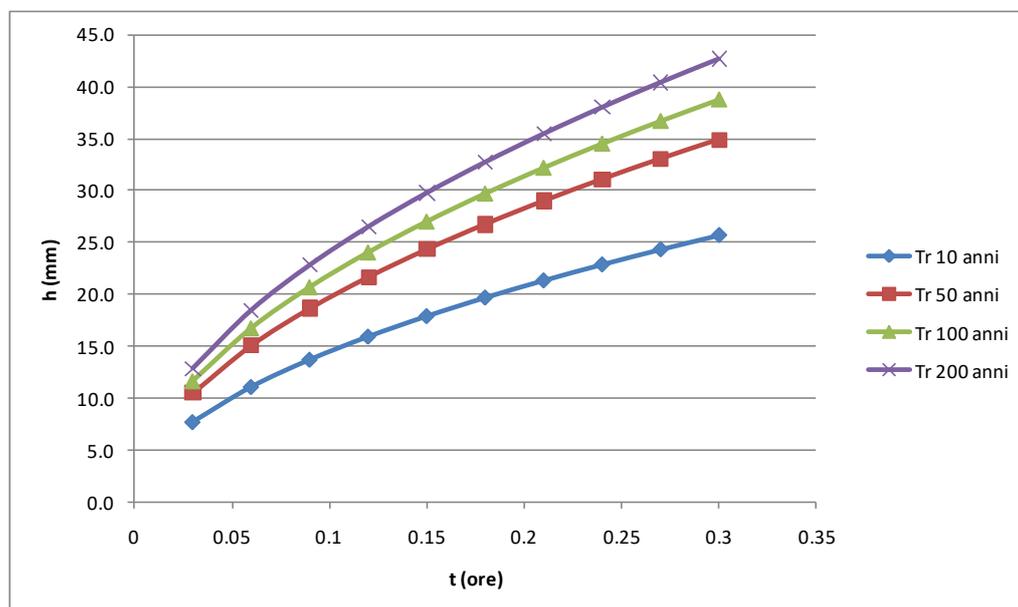
Per le piogge di durate inferiori ai 30 minuti si devono fare le stesse considerazioni di cui sopra come nel caso della distribuzione TCEV, per cui si ottengono i seguenti valori dei parametri della legge di pioggia:

Parametri della stazione di Fabriano per  $d < 30$  minuti:

Tr (anni)	10	50	100	200
$a'$	48.04	65.27	72.55	79.81
$n'$	0.52	0.52	0.52	0.52

Parametri della stazione di Pioraco per  $d < 30$  minuti

Tr (anni)	10	50	100	200
$a'$	41.06	53.72	59.07	64.39
$n'$	0.52	0.52	0.52	0.52



**Figura 14: Gumbel Fabriano: Altezza di pioggia per  $d < 30$  min**

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	28 di 39

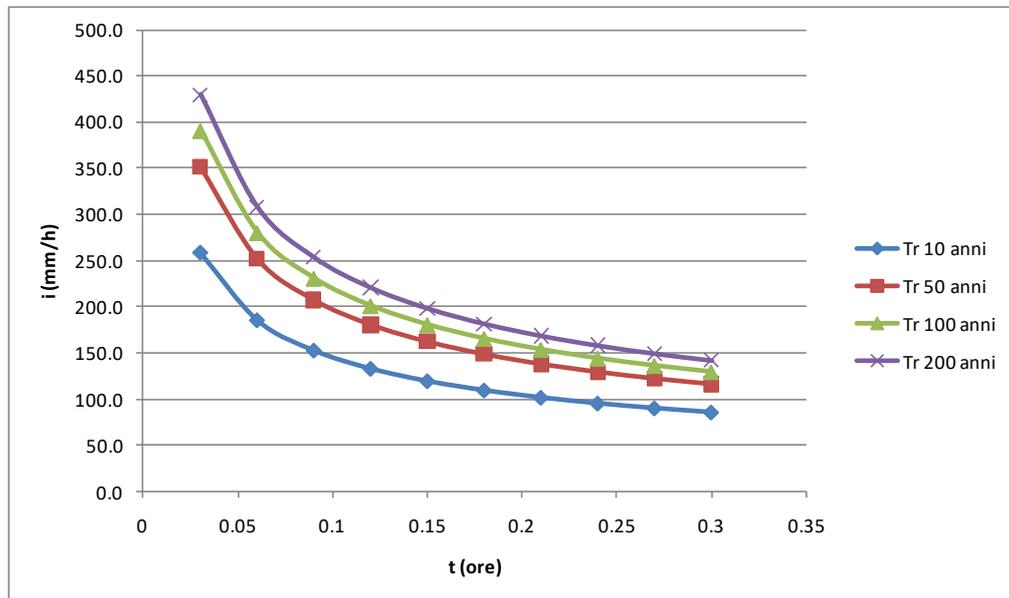


Figura 15: Gumbel Fabiano: Intensità di pioggia per d<30 min

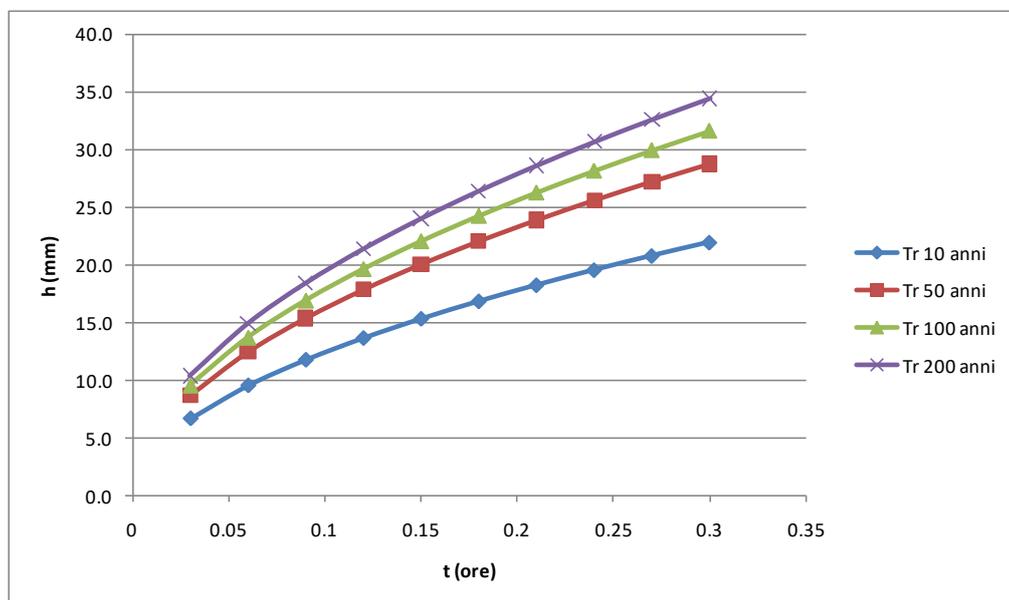
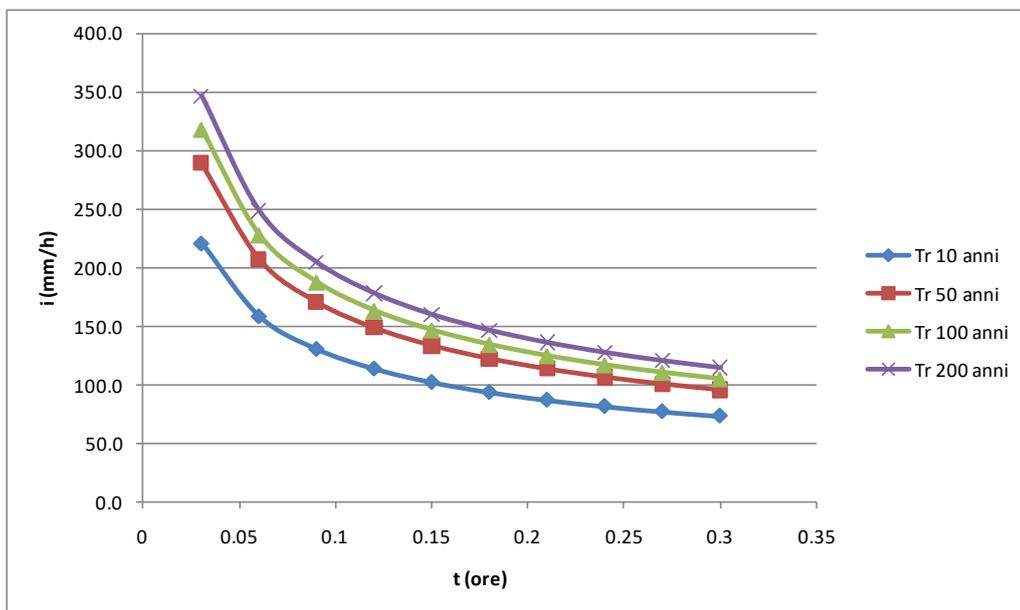


Figura 16 : Gumbel Pioraco: Altezza di pioggia per d<30 min

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	29 di 39



**Figura 17: Gumbel Pioraco: Intensità di pioggia per d<30 min**

## 5. SCELTA DELLA DISTRIBUZIONE

Per verificare quale delle leggi di pioggia sopra riportate conduce a valutazioni cautelative delle piogge di progetto si metteranno di seguito a confronto l'andamento delle relazioni ADF per la distribuzione di Gumbel ricavata dai dati pluviometrici alle stazioni di Pioraco e di Fabriano e l'andamento della distribuzione TCEV con la metodologia VAPI. Il confronto sarà distinto per le piogge di durate superiori ai 30 minuti e per quelle inferiori e per i diversi tempi di ritorno.

Si riporta il confronto per durate maggiori di 30 minuti:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	O10000	REL	01	B	30 di 39

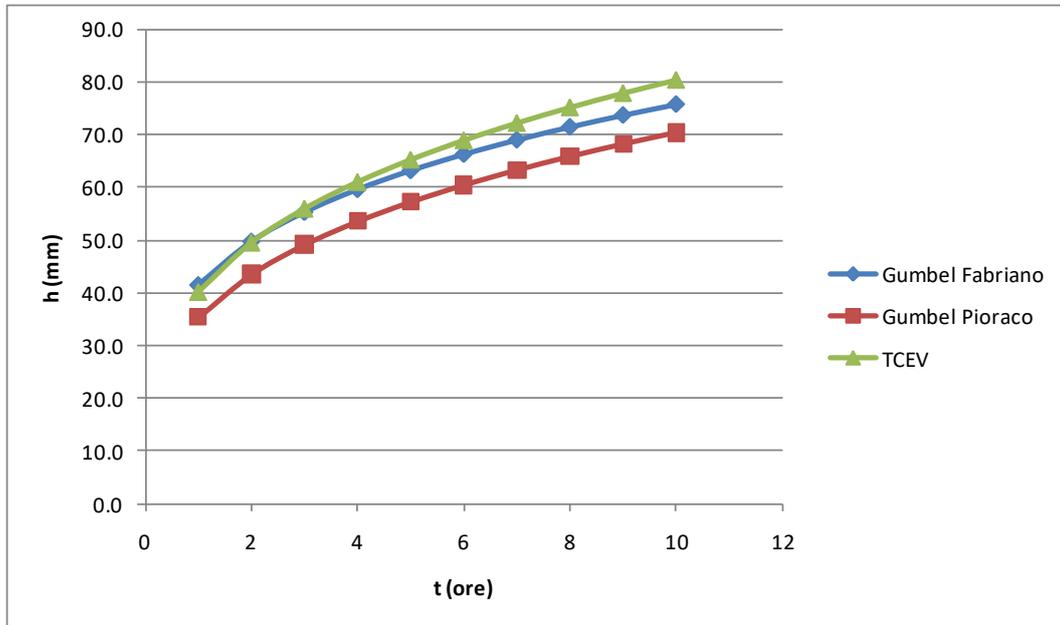


Figura 18: Confronto relazioni per t > 30 min e Tr=10anni

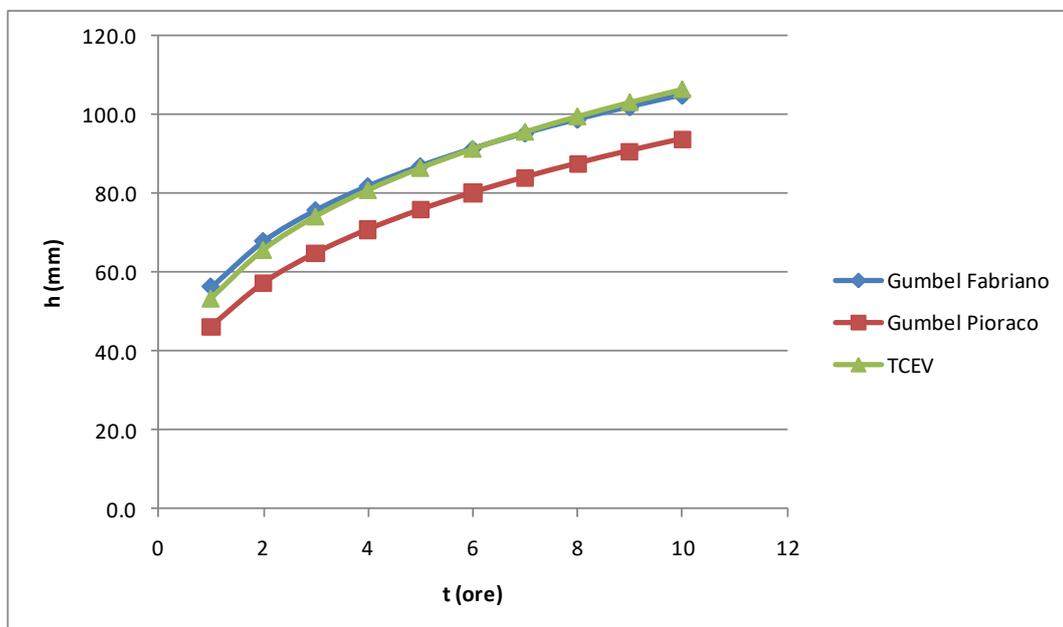
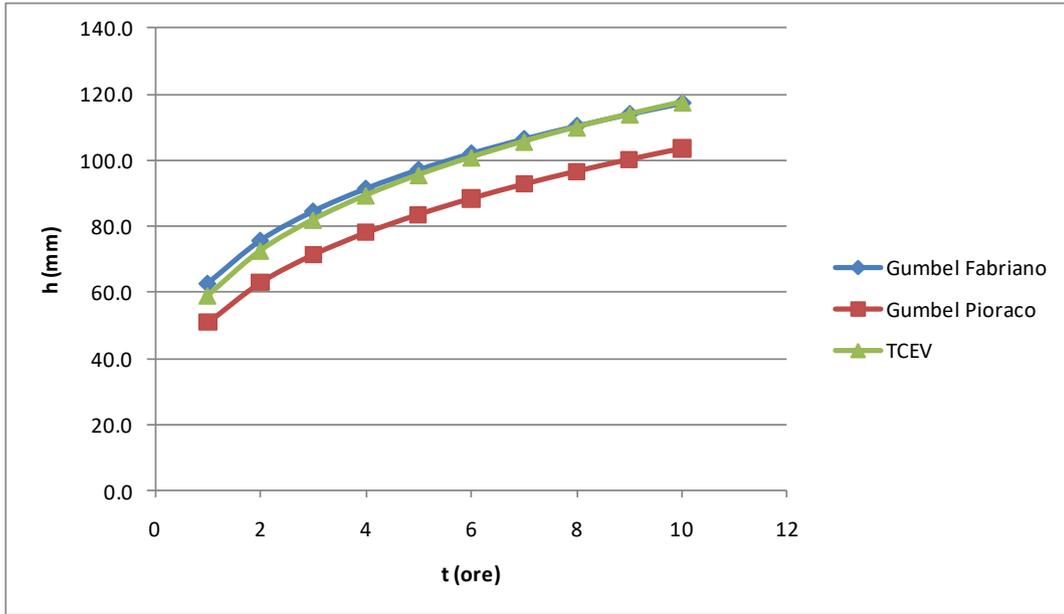
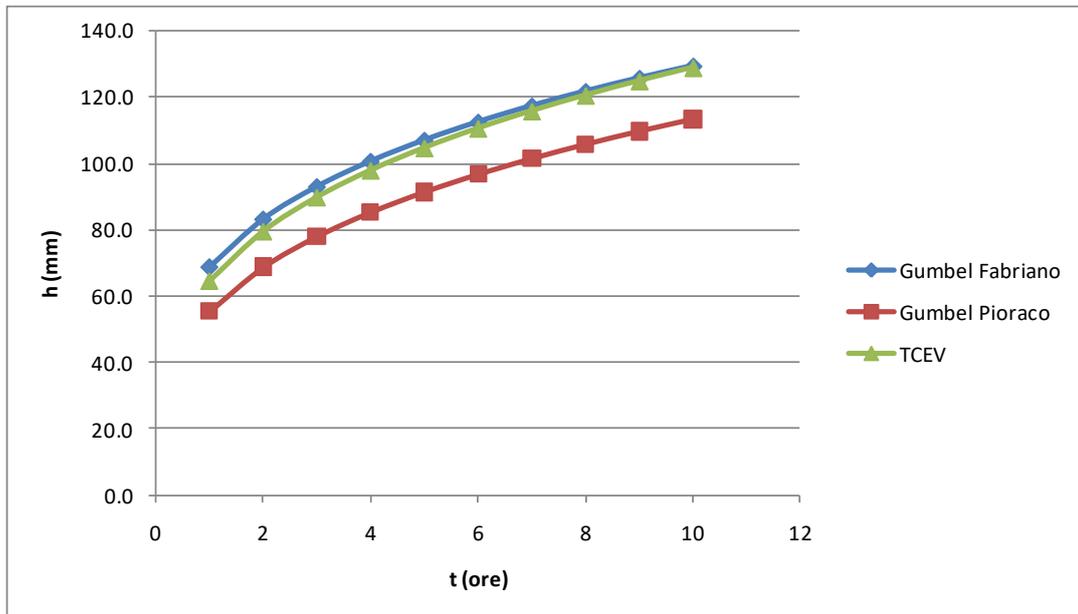


Figura 19: Confronto relazioni per t > 30 min e Tr=50anni

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	31 di 39



**Figura 20: Confronto relazioni per t > 30 min e Tr=100anni**



**Figura 21: Confronto relazioni per t > 30 min e Tr=200anni**

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	32 di 39

Si può notare che per piogge di durata superiore ai 30 minuti, escluso il caso per  $Tr=10$  anni, la distribuzione di Gumbel elaborata per i dati del pluviometro di Pioraco sottostima di molto i valori delle altezze. Le distribuzioni di Gumbel al pluviometro di Fabriano e TCEV presentano andamenti e valori tra loro confrontabili.

Nel caso delle opere maggiori, per i bacini di grandi dimensioni da verificare con tempi di ritorno di 200 anni, sono le piogge di media durata, per lo più superiori ai 30 minuti, ad interessare il dimensionamento dei manufatti, per questo, a favore di sicurezza, le valutazioni saranno fatte sulla base delle leggi di pioggia ricavate dalla distribuzione di Gumbel applicata di dati della stazione di Fabriano. Nel caso in cui i bacini maggiori hanno tempi di corrvazione inferiore ai 30 minuti sarà applicata la stessa distribuzione di Gumbel con i dati ricavati per le piogge brevi. I parametri della distribuzione sono di seguito riportati:

Tr (anni)	50	100	200
<b>a (<math>t \geq 0.5h</math>)</b>	56.30	62.58	68.84
<b>n (<math>t \geq 0.5h</math>)</b>	0.27	0.27	0.27
<b>a' (<math>t &lt; 0.5h</math>)</b>	65.27	72.55	79.81
<b>n' (<math>t &lt; 0.5h</math>)</b>	0.52	0.52	0.52

Si riporta il confronto per durate minori di 30 minuti:

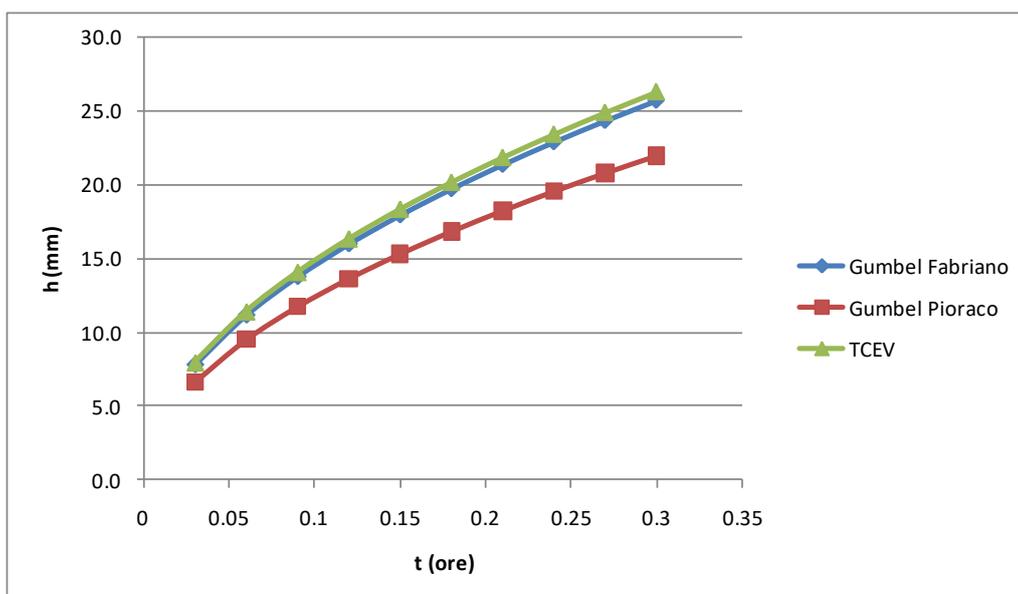
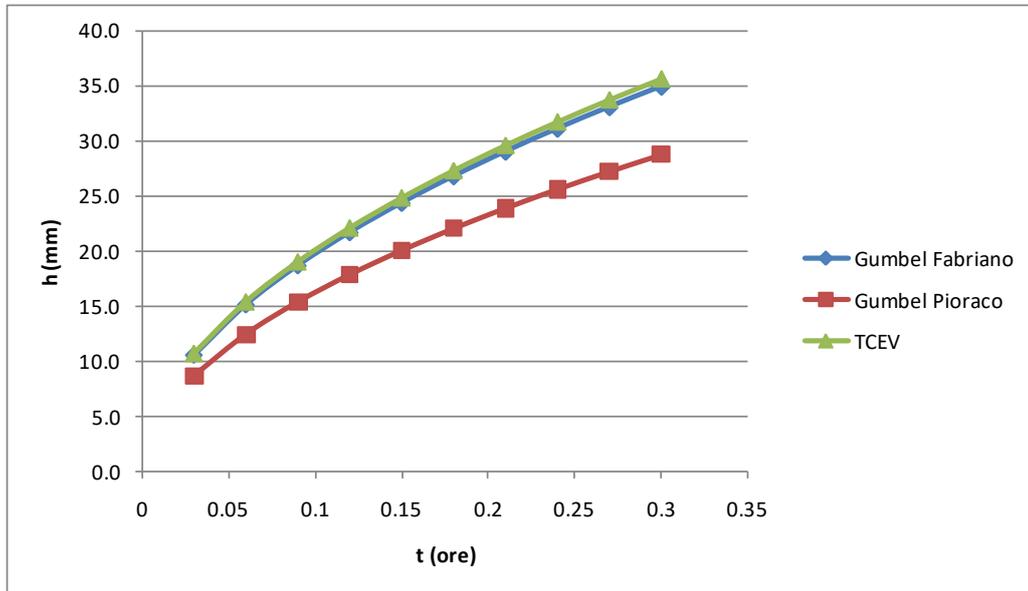
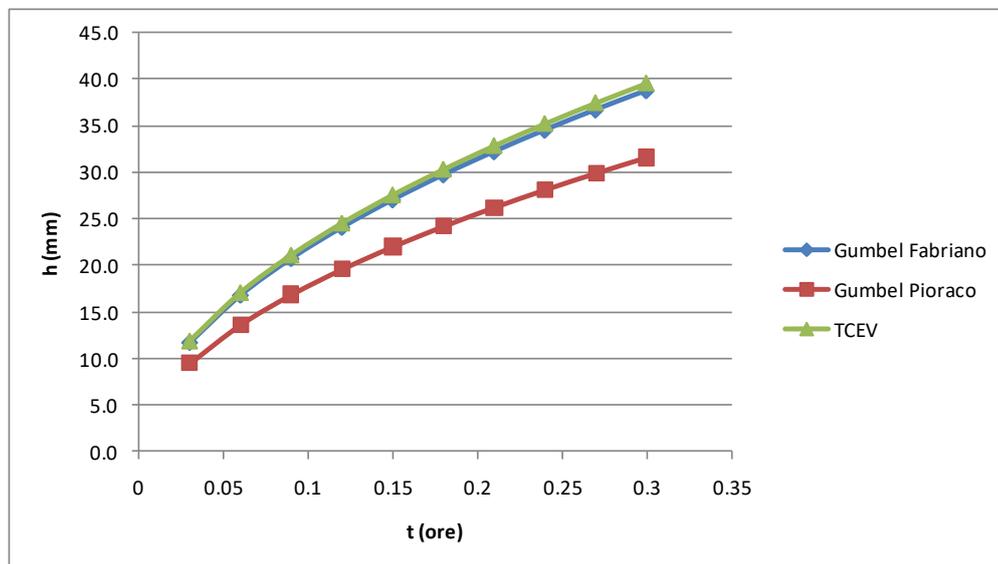


Figura 22: Confronto relazioni per  $t < 30$  min e  $Tr=10$ anni

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	33 di 39

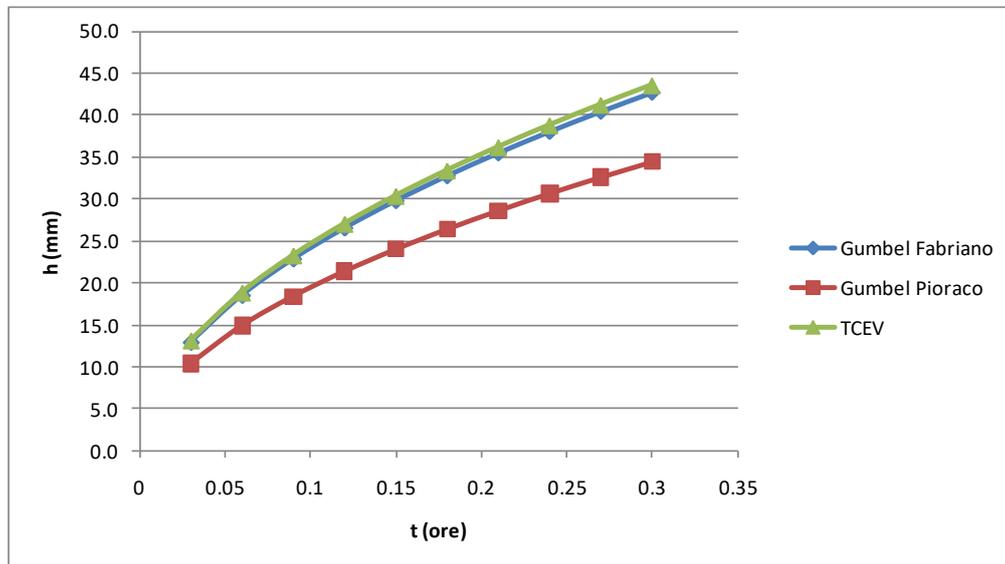


**Figura 23: Confronto relazioni per t < 30 min e Tr=50anni**



**Figura 24: Confronto relazioni per t < 30 min e Tr=100anni**

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	O10000	REL	01	B	34 di 39



**Figura 25: Confronto relazioni per  $t < 30$  min e  $T_r = 200$  anni**

Si può notare che per piogge di breve durata, inferiori cioè ai 30 minuti, la distribuzione di Gumbel elaborata per i dati del pluviometro di Pioraco sottostima di molto i valori delle altezze. Le distribuzioni di Gumbel al pluviometro di Fabriano e TCEV presentano andamenti e valori tra loro confrontabili.

Nel caso degli elementi di drenaggio della piattaforma stradale e dei fossi di guardia da verificare con piogge rispettivamente con tempi di ritorno di 25 anni e 50 anni, sono le piogge di breve durata ad interessare il dimensionamento dei manufatti, per questo, a favore di sicurezza, le valutazioni saranno fatte sulla base delle leggi di pioggia ricavate dalla distribuzione TCEV. I parametri della distribuzione sono di seguito riportati:

Tr (anni)	25	50
a ( $t \geq 0.5h$ )	50.92	57.34
n ( $t \geq 0.5h$ )	0.30	0.30
a' ( $t < 0.5h$ )	59.03	66.48
n' ( $t < 0.5h$ )	0.52	0.52

 <b>QUADRILATERO</b> Marche Umbria S.p.A.	2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE							
	Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord							
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	35 di 39

## 6. STIMA DEI DEFLUSSI OPERE MAGGIORI

Per la stima dei deflussi lungo i corsi d'acqua oggetto dello studio si è proceduto alla delimitazione dei bacini imbriferi contribuenti ed al calcolo dei parametri fisici fondamentali:

- $S$  = superficie del bacino (Km<sup>2</sup>)
- $L$  = lunghezza del percorso idraulico più lungo (Km)
- $H_{max}$  = quota massima del bacino (m s.l.m.)
- $H_{min}$  = quota minima del bacino (m s.l.m.)
- $H_{med}$  = quota media del bacino (m s.l.m.)

Per quanto riguarda il tempo di corrvazione  $t_c$  del bacino, esso può essere definito come l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale. La determinazione di tale parametro dipende fortemente dalle caratteristiche morfometriche del bacino idrografico in esame.

Per la stima dei tempi di corrvazione dei singoli bacini si è ricorso alla nota formula di Giandotti (per bacini di superficie  $S > 1\text{Km}^2$ ):

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{med} - H_{min}}}$$

mentre per bacini di superficie minore ( $S < 1\text{Km}^2$ ) si è considerata la formula di Kirplich nella forma:

$$T_c = 0.325 L^{0.77} i^{-0.385}$$

con  $i$  = pendenza media dell'asta principale

Ad ogni modo in caso è stato imposto un tempo di corrvazione minimo pari a 5 minuti.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i parametri fisici (superficie, lunghezza dell'asta principale, quota minima, media e massima sul livello del mare) e i tempi di corrvazione relativi ai bacini dei corsi d'acqua di interesse con sezione di chiusura in corrispondenza degli attraversamenti di progetto per i bacini maggiori, per le incisioni minori come piccolo fossi di scolo dei terreni agricoli, piccole canalizzazioni artificiali, etc. dove non è stato possibile riconoscere con adeguata precisione il bacino naturale contribuente e l'asta idraulica si sono considerati alla stregua degli attraversamenti secondari dei fossi di guardia e sono stati comunque dimensionati assicurando sezioni di deflusso adeguate.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	36 di 39

Dimensioni / Opera	Progressiva	S kmq	L km	Hmin msm	Hmax msm	Hmed msm	Tc ore
3x2	0+011.90	0.32	0.66	320	430	375	0.29
2x2	0+331.50	0.065	0.3	320	400	360	0.12
2X2	0+546.00	0.17	0.2	320	405	362.5	0.07
Viadotto Pagliano		3.80	2.4	320	515	417.5	1.43
2X2	1+262.40	0.124	0.2	334	385	359.5	0.08
Ponte Faranghe		0.35	0.65	339	495	417	0.28
Viadotto Esino		50.79	12.14	370	1220	795	2.83
Ponte Fratte fosso nord		0.51	1.17	390	570	480	0.52
Ponte Fratte fosso sud		0.27	0.86	390	525	457.5	0.37
2x2	4+737.88	0.043	0.07	417	490	453.5	0.08
2x2	4+930	0.0848	0.1	409	590	454.5	0.08
3X2	5+567.60	0.76	1.35	386	540	463	0.62
DN1800	5+745.20	0.009	0.12	391	395	393	0.08
Ponte Mistriano		3.7	4.82	377	1220	798.5	0.91
DN1800	5+988.50	0.02	0.14	390	395	392.5	0.08
3x2	6+208.60	1.06	1.61	386	465	425.5	1.30
DN1800	6+583.40	0.11	0.26	385	415	400	0.10
DN1800	7+161.50	0.078	0.2	373	412	392.5	0.07
2xDN1800	1+215.2 Deviazione Muccese	0.5	0.86	340	450	395	0.39
DN1800	8+440 rampa	0.48	1.2	323	420	371.5	0.59
5x3	8+464.20	2.18	1.67	325	470	397.5	1.23

Per la stima del deflusso su un bacino idrografico si è ricorso alla classica formula razionale che assegna ad un evento di piena la stessa probabilità di verificarsi della precipitazione che lo genera.

La schematizzazione alla base del metodo si basa su 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:

$$Q = \frac{\varphi S h}{360 \cdot \tau_c} = \frac{\varphi S i}{360}$$

in cui:

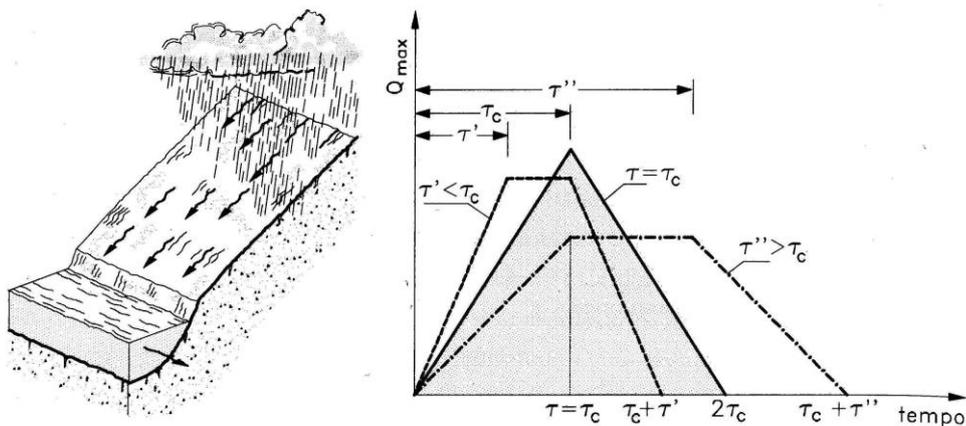
- Q = portata di piena [m<sup>3</sup>/sec];

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	010000	REL	01	B	37 di 39

- $\varphi$  = coefficiente di deflusso;
- $h$  = altezza di pioggia [mm] per una precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione;
- $i$  = intensità di pioggia [mm/ore];
- $S$  = area del bacino [ha];
- $\tau_c$  = tempo di corrivazione [ore], da individuare.

Il valore di  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione  $\tau_c$ : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo  $\tau_c$  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 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 26: Metodo cinematico: confronto tra idrogrammi di piena**

Il coefficiente di afflusso rappresenta l'aliquota di pioggia effettivamente contribuente al deflusso superficiale, in accordo con le considerazioni riportate nella relazione idraulica di progetto definitivo, per i bacini di grandi dimensioni è stato assunto il valore di 0.6. Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di afflusso suggeriti dal manuale "Hydraulic Engineering Circular No. 22, Third Edition URBAN DRAINAGE DESIGN MANUAL" per differenti tipi di superficie, come si può notare il valore considerato è cautelativo per i versanti studiati.



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	38 di 39

Type of Drainage Area	Runoff Coefficient, C*
<b>Business:</b>	
Downtown areas	0.70 - 0.95
Neighborhood areas	0.50 - 0.70
<b>Residential:</b>	
Single-family areas	0.30 - 0.50
Multi-units, detached	0.40 - 0.60
Multi-units, attached	0.60 - 0.75
Suburban	0.25 - 0.40
Apartment dwelling areas	0.50 - 0.70
<b>Industrial:</b>	
Light areas	0.50 - 0.80
Heavy areas	0.60 - 0.90
Parks, cemeteries	0.10 - 0.25
Playgrounds	0.20 - 0.40
Railroad yard areas	0.20 - 0.40
Unimproved areas	0.10 - 0.30
<b>Lawns:</b>	
Sandy soil, flat, 2%	0.05 - 0.10
Sandy soil, average, 2 - 7%	0.10 - 0.15
Sandy soil, steep, 7%	0.15 - 0.20
Heavy soil, flat, 2%	0.13 - 0.17
Heavy soil, average, 2 - 7%	0.18 - 0.22
Heavy soil, steep, 7%	0.25 - 0.35
<b>Streets:</b>	
Asphaltic	0.70 - 0.95
Concrete	0.80 - 0.95
Brick	0.70 - 0.85
Drives and walks	0.75 - 0.85
Roofs	0.75 - 0.95
*Higher values are usually appropriate for steeply sloped areas and longer return periods because infiltration and other losses have a proportionally smaller effect on runoff in these cases.	

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	03	OI0000	REL	01	B	39 di 39

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

Dimensioni / Opera	Progressiva	Q (Tr 50 anni) m <sup>3</sup> /s	Q (Tr 100 anni) m <sup>3</sup> /s	Q (Tr 200 anni) m <sup>3</sup> /s
3x2	0+011.90	6.27	8.17	8.99
2x2	0+331.50	1.96	2.18	2.39
2X2	0+546.00	6.42	7.13	7.85
Viadotto Pagliano		27.40	30.46	33.51
2X2	1+262.40	4.67	5.20	5.72
Ponte Faranghe		7.05	7.84	8.63
Viadotto Esino		222.87	247.73	272.51
Ponte Fratte fosso nord		7.76	8.62	9.49
Ponte Fratte fosso sud		4.74	5.27	5.80
2x2	4+737.88	1.57	1.75	1.92
2x2	4+930.00	3.10	3.45	3.79
3X2	5+567.60	10.13	11.26	12.39
DN1800	5+745.20	0.33	0.37	0.40
Ponte Mistriano		37.23	41.39	45.53
DN1800	5+988.50	0.73	0.81	0.89
3x2	6+208.60	8.22	9.13	10.05
DN1800	6+583.40	3.66	4.06	4.47
DN1800	7+161.50	2.99	3.32	3.65
2xDN1800	1+215.2 Deviazione Muccese	8.54	9.50	10.45
DN1800	8+440 rampa	6.64	7.38	8.12
5x3	8+464.20	17.54	19.49	21.44