COMMITTENTE

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

DIREZIONE PROGETTAZIONE

S.O. IDRAULICA

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA

RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO

Lotto 1

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica – Studio idrologico Corsi d'Acqua Minori - Lotto 1

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
IR0F	01	R	09	RI	ID0001	001	B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Cucino	Gennaio 2022	F. Cabas	Gennaio 2022	C. Urciuoli	Gennaio 2022	F.Cabas Febbraio 2024
B	EMISSIONE ESECUTIVA	C.Cesali	Febbraio 2024	C.Cesali	Febbraio 2024	C. Urciuoli	Febbraio 2024	

ITALFERR S.p.A.
Iscrizione all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n. 15744
Ing. Fabrizio Cabas

File: IR0F01R09RIID0001001B.doc		n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA 5

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA 6

2.1 NORMATIVA NAZIONALE 6

2.2 NORMATIVA REGIONALE 6

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 7

4. IDROLOGIA E IDRAULICA 9

4.1 INQUADRAMENTO GENERALE 9

4.2 ANALISI PLUVIOMETRICA 11

4.2.1 Analisi delle piogge di durata superiore a 1 ora: il modello probabilistico di Gumbel 11

4.2.2 Determinazione delle altezze massime di pioggia 19

4.2.3 Analisi delle piogge di durata inferiori a 1 ora 21

4.2.4 Determinazione delle altezze massime di pioggia con il VAPI 22

4.3 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE 26

4.3.1 Metodo del Curve Number 27

4.3.2 Valori di progetto ed effetti dei cambiamenti climatici 37

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 Inquadramento idrologico/idraulico: bacino del Fiume Esino 9

Fig. 2 Individuazione aree contribuenti relative agli attraversamenti ferroviari nel LOTTO 1. 10

Fig. 3 Stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino secondo i relativi poligoni di Thiessen. 14

Fig. 4 – Mappa del territorio in studio e suddivisione in SZO con riferimento alle precipitazioni intense.....23

Fig. 5 – Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di un giorno a) e di un ora b) 25

Fig. 6 – Classi di assorbimento del suolo.....28

Fig. 7 – Valori del Curve Number in base all'uso del suolo 29

Fig. 8 – Condizioni di saturazione antecedenti l'evento meteorico.....30

Fig. 9 – Tabella di conversione dei dati CLC in CN (III livello) 32

Fig. 10 – Tabella di conversione dei dati CLC in CN (IV livello).....34

Fig. 11 – Corsi d'acqua minori: portata specifica vs area del bacino 37

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 Parametri a e n per diversi tempi di ritorno delle diverse stazioni pluviometriche considerate 13

Tab. 2 Stazione pluviometrica di Arcevia: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia 14

Tab. 3 Stazione pluviometrica di Campodiegoli: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia 15

Tab. 4 Stazione pluviometrica di Cantiano: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....15

Tab. 5 Stazione pluviometrica di Cingoli: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....15

Tab. 6 Stazione pluviometrica di Cupramontana: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....16

Tab. 7 Stazione pluviometrica di Esanatoglia convento: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia 16

Tab. 8 Stazione pluviometrica di Fabriano: altezze di precipitazione per le diverse durate 16

Tab. 9 Stazione pluviometrica di Avellana: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....17

Tab. 10 Stazione pluviometrica di Moie: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....17

Tab. 11 Stazione pluviometrica di Pioraco: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia 17

Tab. 12 Stazione pluviometrica di San Giovanni: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....18

Tab. 13 Stazione pluviometrica di Sassoferrato: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....18

Tab. 14 Stazione pluviometrica di Serralta: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia.....18

Tab. 15 - Caratteristiche morfologiche dei sottobacini individuati 20

Tab. 16 - Valori dei tempi di corrivazione ottenuti 20

Tab. 17 - Valori altezze di pioggia ottenuti 22

Tab. 18 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle pioggie giornaliere nelle 7 SZO 23

Tab. 19 – Valori di kT per vari tempi di ritorno.....24

Tab. 20 – Parametri considerati.....25

Tab. 21 – Risultati metodo VAPI 26

Tab. 22 – Valori di portata ottenuti per i sottobacini oggetto di studio.....36

Tab. 23 – Bacini idrografici minori: portata specifica Tr200 vs superficie del bacino.....36

Tab. 24 – Valori di portata al colmo di progetto (e per effetto dei cambiamenti climatici). 38

1. PREMESSA

Il presente documento, parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del "*Raddoppio della tratta PM228 - Castelplanio - Lotto 1"* nell'ambito del "*Potenziamento infrastrutturale Orte - Falconara*", descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento previste per la risoluzione dell'interferenza della "nuova" linea ferroviaria con alcuni corsi d'acqua minori, tributari del Fiume Esino, nel tratto ferroviario compreso tra PM228 e Bivio Nord Albacina.

Nel dettaglio l'analisi idrologica effettuata è stata eseguita secondo le seguenti fasi:

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle principali interferenze tra la linea ferrovia in progetto e l'idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del nuovo tracciato ferroviario e studio delle loro caratteristiche morfometriche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante due differenti modelli statistici:
  - curva probabilistica di Gumbel;
  - metodo VaPi (sintesi del rapporto regionale per i compartimenti di Bologna, Pisa, Roma e zona emiliana del bacino del Po);
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale.

Le analisi sono state condotte in accordo alle indicazioni riportate nel Piano di Bacino vigente (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale), nonché nelle normative nazionali e locali di riferimento (NTC2018, Manuale di Progettazione RFI, regolamenti regionali,…).

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

Con specifico riferimento agli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, i riferimenti principali nel campo idrologico-idraulico sono elencati nel seguito.

2.1 Normativa nazionale

[1] Legge 18 maggio 1989, n. 183. Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.

[2] L. 36/94 (Legge Galli). Disposizioni in materia di risorse idriche.

[3] D.P.R. 14 aprile 1994. Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale e interregionale.

[4] Dpcm 4/3/96. Disposizioni in materia di risorse idriche.

[5] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.

2.2 Normativa regionale

[6] Legge regionale 22 giugno 1998, n. 18. Disciplina delle risorse idriche.

[7] Legge regionale 25/5/1999, n° 13. Disciplina regionale della difesa del suolo.

[8] Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Marche, richeisto dalle LL. 267/98 e 365/00.

[9] Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale – P.G.R.A.A.C.

[10] Legge regionale 23 novembre 2011, n. 22. Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico

[11] Piano d'ambito per i comuni dell'ATO 2 Marche Centro, Ancona - Fase 3 - Disponibilità attuale e futura delle risorse idriche

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria Orte-Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Castelplanio. Tale progetto è suddiviso nei 3 Lotti Funzionali di seguito elencati:

- Lotto 1: da PM228 a Bivio Nord Albacina da progressiva Km 0+00 (Km 228+014 della LS) alla progressiva Km 7+200 di progetto
- Lotto 2: da Bivio Nord Albacina a Serra San Quirico (i) da progressiva Km 0+00 (Km 237+589 della LS) alla progressiva Km 8+889 (Km 246+958 della LS)
- Lotto 3 da Serra San Quirico (e) a Castelplanio (e) da progressiva Km 0+00 a progressiva Km 6+272 (Km 252+578 della LS).

Nel 2003 era stato redatto da ITF il progetto preliminare nell'ambito della Legge Obiettivo che già teneva conto dei 3 Lotti Funzionali sopra descritti. Rispetto al tracciato previsto in tale Progetto, che non ha ricevuto alcuna approvazione da parte degli Enti, il tracciato del PFTE in oggetto è stato attualizzato per tenere conto degli aggiornamenti normativi intercorsi.

Nell'ambito del lotto 1 (PM228-Bivio Nord Albacina), oggetto di analisi nel presente elaborato:

- ad inizio intervento in corrispondenza del PM228 è previsto un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL;
- la linea ferroviaria prosegue in variante rispetto alla linea esistente, e dopo circa 800m di doppio binario all'aperto, è prevista la lunga galleria (Galleria Le Cone) di lunghezza pari a circa 5.350 m. Trattasi di una galleria a doppia canna con le due canne distanti circa 30m con by pass ogni 500m. Agli imbocchi della galleria sono previste i fabbricati di emergenza (PGEP) per la sicurezza in galleria e i FFP per gestire l'esodo delle persone in condizioni di sicurezza. In progetto sono previste anche le viabilità per raggiungere i fabbricati di emergenza anzidetti agli imbocchi della galleria;
- all'uscita della lunga galleria la linea prosegue in viadotto (VI01) per circa 400m, attraversando il Fiume Esino, per poi congiungersi con la linea esistente nel Bivio Nord Albacina;

- dal punto di vista degli Impianti di Segnalamento, il progetto comprende le modifiche ed implementazioni finalizzate al raddoppio della linea ed il passaggio da tecnologia elettromeccanica (ACEI) a tecnologia statica (ACC). Inoltre, verrà implementato il sistema di distanziamento BABcf eRSC 3/3 - 9 codici gestito da Apparato Centralizzato Computerizzato di Linea (ACC-L) che sarà installato in opportuno fabbricato tecnologico nel PC/Bivio 228 (gestione della tratta PC/Bivio 228 - Genga S. Vittore) e nella stazione di Genga San Vittore (gestione della tratta Genga S. Vittore - Castelplanio).

4. IDROLOGIA E IDRAULICA

4.1 Inquadramento generale

Dal punto di visto idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria in progetto si sviluppa interamente in affiancamento al Fiume Esino e attraversandolo in vari punti, lungo lo sviluppo del tracciato. Inoltre, sono attraversati anche una serie di corsi d'acqua minori, tributari del Fiume Esino stesso.

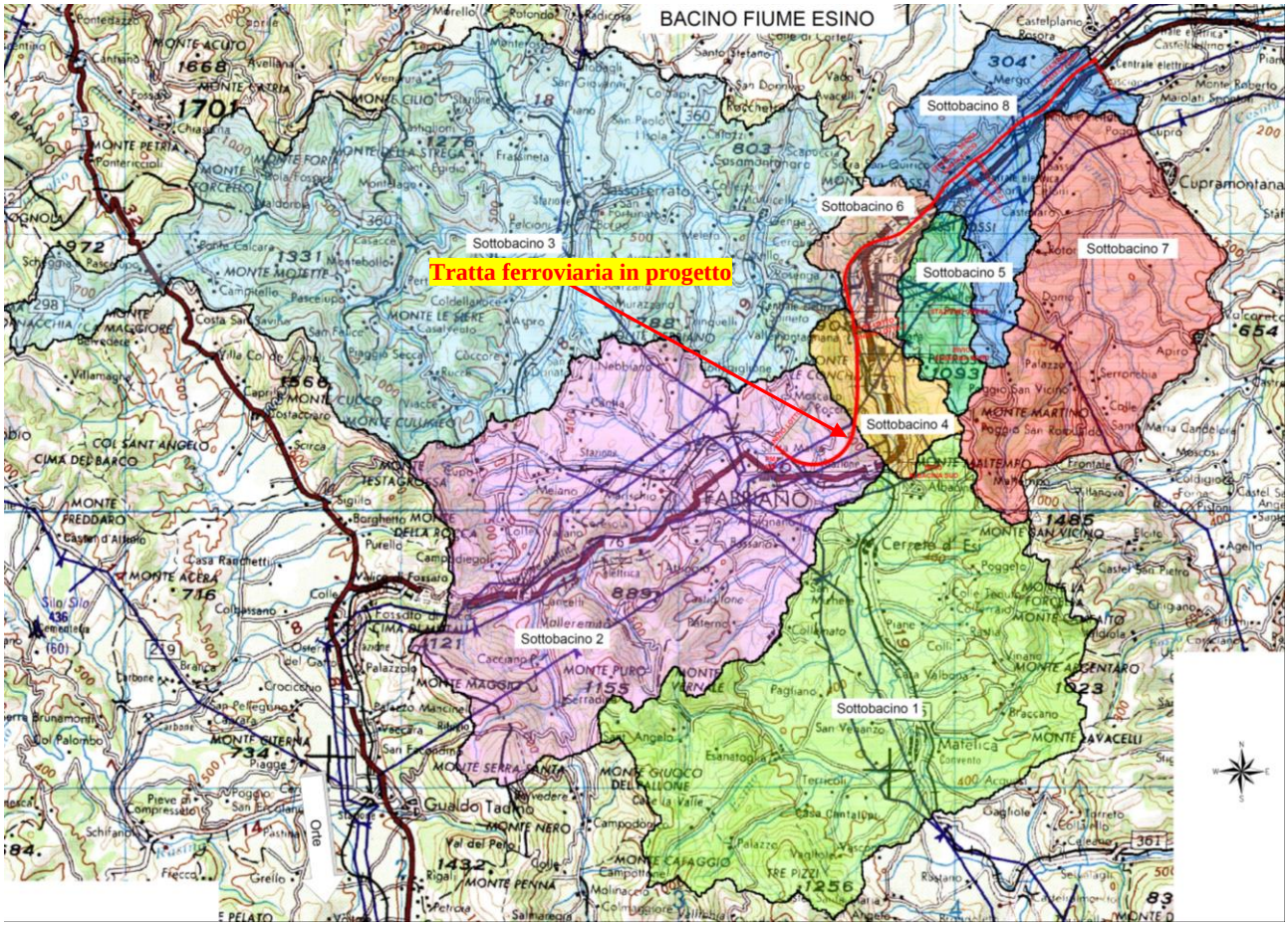

Fig. 1 Inquadramento idrologico/idraulico: bacino del Fiume Esino

Per rappresentare l'andamento plano-altimetrico dell'area di studio è stato utilizzato il DTM (Digital Terrain Model) della Regione Marche (risoluzione 20mx20m) e quello del MATTM (risoluzione 1mx1m) per la fascia in prossimità del Fiume Esino.

Oltre al reticolo idrografico disponibile nel database dell'idrografia regionale della Regione Marche, sulla base del DTM è stata ricostruita la rete idrografica dell'area di intervento, perimetrando i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto, come riportato nella figura seguente.

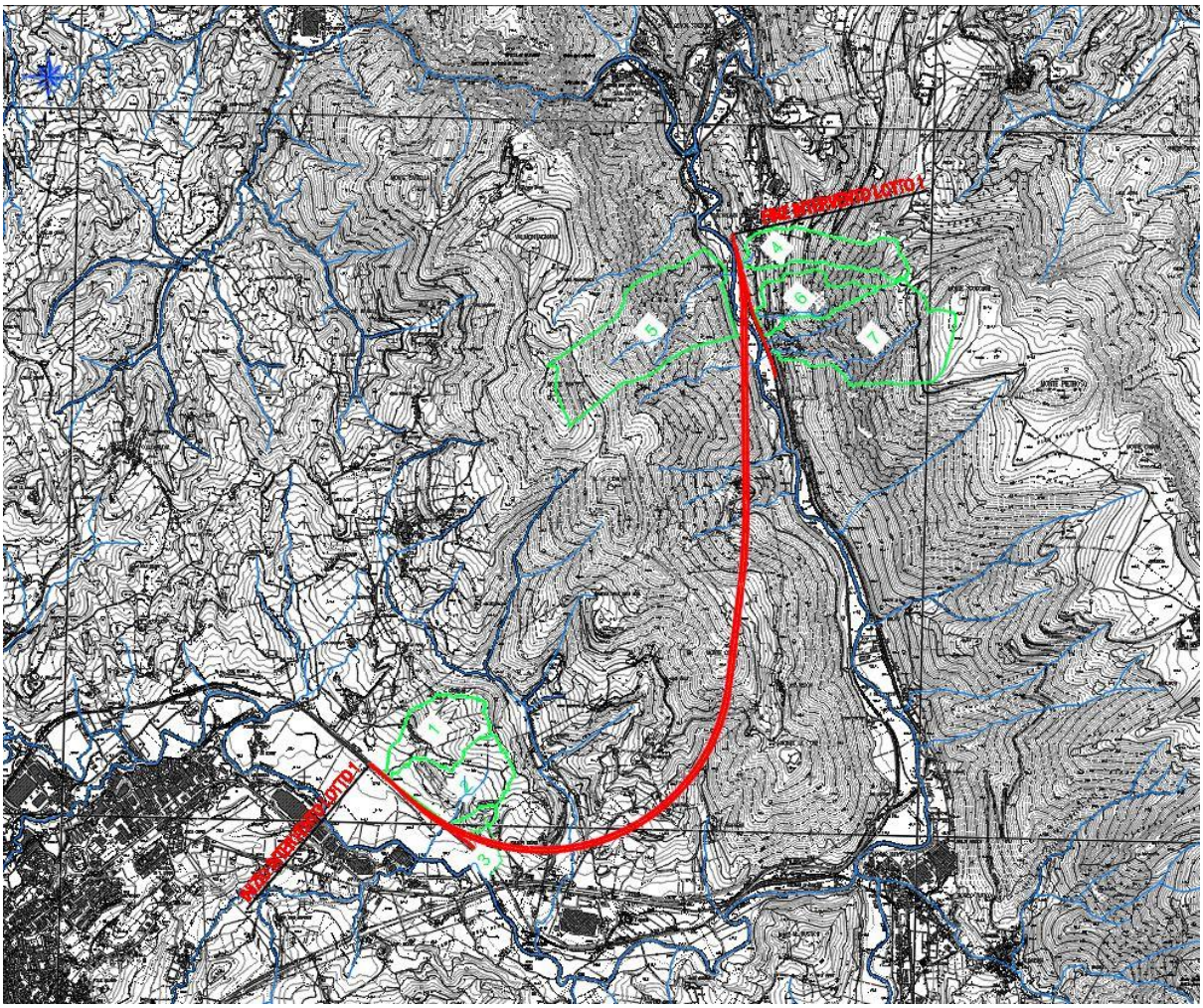

Fig. 2 Individuazione aree contribuenti relative agli attraversamenti ferroviari nel LOTTO 1.

Per individuare le portate afferenti alle sezioni di chiusura dei bacini minori sono stati confrontati i risultati ottenuti dagli studi idrologici condotti secondo la procedura di analisi regionale VAPI, che consente la valutazione dell'altezza di pioggia anche in bacini non strumentati o comunque dove i valori misurati risultano insufficienti, con quelli derivanti dall'analisi delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di misura di riferimento.

4.2 Analisi pluviometrica

4.2.1 Analisi delle piogge di durata superiore a 1 ora: il modello probabilistico di Gumbel

Con l'analisi idrologica si definiscono le portate al colmo di piena attraverso lo studio delle curve di possibilità pluviometrica (di seguito chiamate CPP).

Attuando quanto riportato nel Piano di Bacino, sono stati raccolti i dati di pioggia delle stazioni pluviometriche ricadenti nell'area oggetto di interesse per ottenere le CPP riferite a piogge di durata maggiore di 1 ora. In particolare, si è tenuto conto di un periodo di almeno 20 anni di misurazioni per ciascuna delle stazioni considerate. I dati così raccolti sono stati elaborati mediante il modello probabilistico di Gumbel, che prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione:

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

Introducendo la variabile ridotta y:

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

con *α* ed *u* parametri della distribuzione che vengono stimati con il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{1{,}283}{\sigma} \qquad u = \mu - 0{,}45\sigma$$

dove μ e σ rappresentano rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati. L'espressione assume quindi la foma canonica:

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

Per riportare opportunamente i valori di x corrispondenti ad una fissata probabilità F (o periodo di ritorno T) si può invertire la legge F(x) ottenendo:

$$X_T = u\left\{1 - (\alpha u)^{-1} ln\, ln\left[\frac{T}{T-1}\right]\right\}$$

in quanto vale la relazione *T = 1/(1 – F).*

$$T = \frac{1}{1-F} T = \frac{1}{1-F}$$

Stimando i parametri con il metodo dei momenti è possibile esprimere direttamente X_T funzione di media e scarto, attraverso l'espressione:

$$X_T = \mu \left\{1 - C_v \left[0{,}45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} lnln[\frac{T}{T-1}]\right]\right\}$$

dove C_v rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

L'espressione della legge di Gumbel finisce quindi con l'essere il prodotto della media per una quantità che rappresenta il tasso di crescita della media stessa in funzione del periodo di ritorno, quantità che è chiamata **fattore di crescita** con il periodo di ritorno (K_T), e che consente di rappresentare la relazione di frequenza delle precipitazioni secondo il prodotto:

$$X_T = \mu K_T$$

Tale espressione viene applicata ai massimi di generica durata d (ore) e può essere sintetizzata nella seguente espressione che rappresenta la famiglia di *curve di possibilità pluviometrica*:

$$X_{d,T} = \mu_d K_{d,T}$$

μ_d è in questo caso una funzione, e descrive la variazione dell'altezza media di precipitazione in funzione della durata d.

Effettuando una regressione lineare sui valori di $X_{d,T}$ così ottenuti per ciascun tempo di ritorno *T*, si può ricavare l'espressione analitica della curva di possibilità climatica, che è del tipo:

$$X_{d,T} = a_T t^{n,medio}$$

Nella tabella seguente, sono riportati anche i valori *a* e *n* relativi ad ogni stazione pluviometrica considerata, per diversi tempi di ritorno.

Tempo di ritorno	50 anni		200 anni		500 anni	
Stazione	a_{50}	n_{50}	a_{200}	n_{200}	a_{500}	n_{500}
Arcevia	47.38	0.275	57.08	0.268	63.46	0.265
Campodiegoli	48.22	0.310	56.78	0.312	62.42	0.313
Cantiano	47.30	0.380	56.41	0.379	62.40	0.379
Cingoli	54.15	0.292	65.46	0.292	72.90	0.291
Cupramontana	55.42	0.248	68.33	0.238	76.84	0.233
Esanatoglia Convento	52.78	0.182	63.93	0.165	71.27	0.157
Fabriano	52.21	0.249	63.35	0.247	70.69	0.246
Fonte avellana	61.29	0.308	74.22	0.301	82.74	0.298
Moie	46.69	0.319	55.74	0.322	61.70	0.324
Pioraco	45.37	0.334	54.24	0.337	60.07	0.338
San Giovanni	50.25	0.378	59.81	0.384	66.10	0.386
Sassoferrato	69.04	0.280	87.38	0.274	99.46	0.272
Serralta	65.10	0.226	81.14	0.209	91.72	0.201

Tab. 1 Parametri a e n per diversi tempi di ritorno delle diverse stazioni pluviometriche considerate

L’altezza di pioggia, ottenuta per i vari bacini minori perimetrati, è stata ricavata mediante il metodo dei poligoni di Thiessen.

Tale metodo considera l’altezza di pioggia misurata nella stazione pluviometrica di interesse uguale in tutta l’area di influenza.

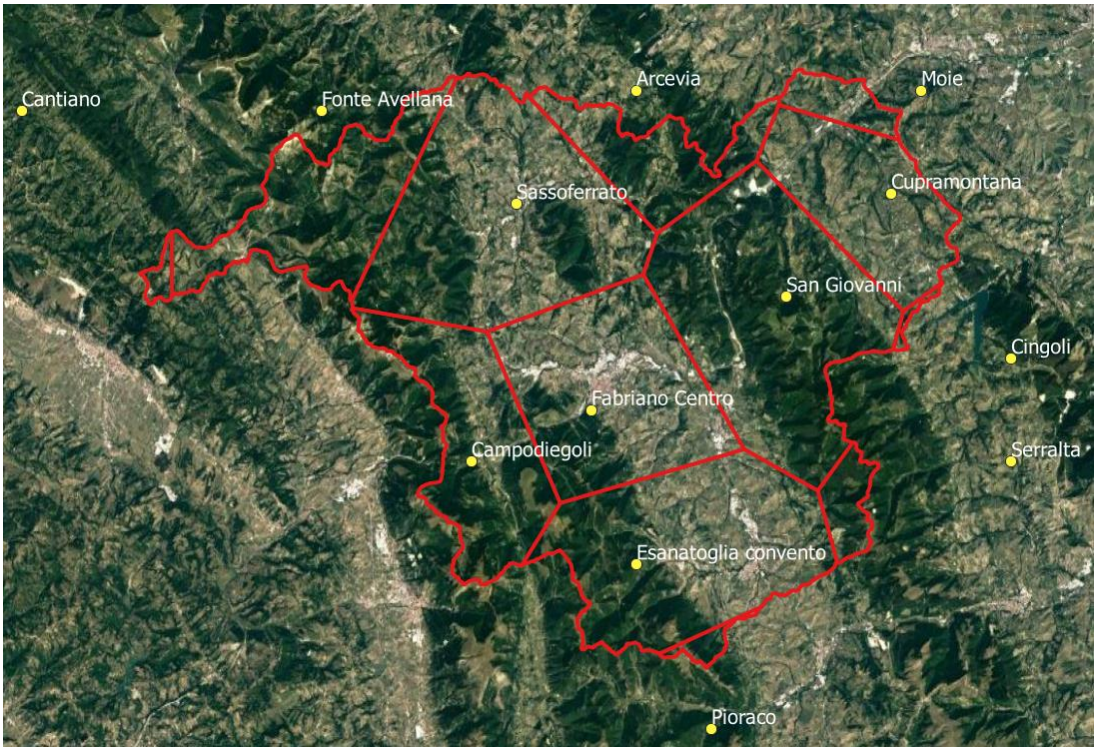

Fig. 3 Stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino secondo i relativi poligoni di Thiessen.

Successivamente si riportano per completezza le altezze di precipitazione per i diversi tempi di ritorno e per le diverse durate di pioggia relative alle stazioni pluviometriche.

STAZIONE PLUVIOMETRICA ARCEVIA			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	47.4	57.1	63.5
3	64.1	76.7	84.9
6	77.5	92.3	102.1
12	93.7	111.2	122.7
24	113.4	134.0	147.5

Tab. 2 Stazione pluviometrica di Arcevia: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA CAMPODIEGOLI			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	48.2	56.8	62.4
3	67.8	80.0	88.0
6	84.1	99.3	109.3
12	104.2	123.2	135.7
24	129.3	152.9	168.5

Tab. 3 Stazione pluviometrica di Campodiegoli: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA CANTIANO			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	47.3	56.4	62.4
3	71.8	85.6	94.6
6	93.4	111.3	123.1
12	121.6	144.8	160.1
24	158.2	188.4	208.2

Tab. 4 Stazione pluviometrica di Cantiano: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA CINGOLI			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	54.1	65.5	72.9
3	74.6	90.2	100.4
6	91.4	110.4	122.9
12	111.9	135.1	150.3
24	137.1	165.4	184.0

Tab. 5 Stazione pluviometrica di Cingoli: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA CUPRAMONTANA			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	55.4	68.3	76.8
3	72.8	88.7	99.2
6	86.5	104.6	116.6
12	102.7	123.4	137.0
24	122.0	145.5	161.0

Tab. 6 Stazione pluviometrica di Cupramontana: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA ESANATOGLIA CONVENTO			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	52.8	63.9	71.3
3	64.4	76.7	84.7
6	73.1	86.0	94.4
12	82.9	96.4	105.3
24	94.0	108.1	117.4

Tab. 7 Stazione pluviometrica di Esanatoglia convento: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA FABRIANO			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	52.2	63.4	70.7
3	68.7	83.1	92.6
6	81.6	98.7	109.9
12	97.0	117.1	130.3
24	115.3	139.0	154.6

Tab. 8 Stazione pluviometrica di Fabriano: altezze di precipitazione per le diverse durate

STAZIONE PLUVIOMETRICA FONTE AVELLANA			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	61.3	74.2	82.7
3	85.9	103.3	114.7
6	106.4	127.3	141.0
12	131.7	156.8	173.3
24	163.0	193.1	213.0

Tab. 9 Stazione pluviometrica di Avellana: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA MOIE			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	46.7	55.7	61.7
3	66.3	79.4	88.1
6	82.7	99.3	110.2
12	103.2	124.2	138.0
24	128.8	155.3	172.7

Tab. 10 Stazione pluviometrica di Moie: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA PIORACO			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	45.4	54.2	60.1
3	65.4	78.5	87.1
6	82.5	99.1	110.1
12	103.9	125.2	139.2
24	131.0	158.1	175.9

Tab. 11 Stazione pluviometrica di Pioraco: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA SAN GIOVANNI			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	50.3	59.8	66.1
3	76.1	91.2	101.1
6	98.9	118.9	132.1
12	128.5	155.1	172.7
24	167.0	202.4	225.7

Tab. 12 Stazione pluviometrica di San Giovanni: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA SASSOFERRATO			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	69.0	87.4	99.5
3	93.9	118.1	134.1
6	114.0	142.9	161.8
12	138.4	172.8	195.4
24	168.1	209.0	235.9

Tab. 13 Stazione pluviometrica di Sassoferrato: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

STAZIONE PLUVIOMETRICA SERRALTA			
Durata (ore)	**Altezza di precipitazione h(Tr) [mm]**		
	Tr = 50 anni	**Tr = 200 anni**	**Tr = 500 anni**
1	65.1	81.1	91.7
3	83.4	102.1	114.3
6	97.6	118.0	131.4
12	114.1	136.4	151.0
24	133.4	157.6	173.5

Tab. 14 Stazione pluviometrica di Serralta: altezze di precipitazione per le diverse durate di pioggia

4.2.2 Determinazione delle altezze massime di pioggia

Sulla base dell'analisi pluviometrica esposta si procede nel seguito alla determinazione delle massime precipitazioni con tempo di ritorno di 200 anni sui bacini idrografici minori in esame. Per tale determinazione occorre innanzitutto stabilire la durata dell'evento pluviometrico critico del bacino idrografico di interesse. A tale fine si è assunto, come ampiamente consolidato in letteratura, che la durata della precipitazione critica sul bacino coincida con il tempo di corrivazione del bacino stesso.

Il tempo di corrivazione, inteso come il tempo necessario affinché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino pervenga alla sezione di chiusura, costituisce un parametro che in letteratura viene legato alle caratteristiche morfologiche e fisiografiche del bacino. Le formule usate per i bacini di interesse sono quelle di Pasini, Ventura, Pezzoli, e Kirpich e vengono di seguito descritte:

- *Pasini:* $Tc = \frac{0.108}{\sqrt{i_m}} * \sqrt[3]{A * L}$ (ore)

- *Ventura:* $Tc = 0.1272 \cdot (A / I_m)^{0.5}$ (ore)

- *Pezzoli:* $Tc = \frac{0.055 * L}{i_m^{0.5}}$ (ore)

- *Kirpich:* $Tc = 0.0651 * L^{0.77} * I_v^{-0.385}$ (ore)

dove:

- A è l'area del bacino (km^2);

- L è la lunghezza dell'asta principale (km);

- H_m è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m);

- I_m è la pendenza media dell'asta, ovvero il rapporto tra l'altezza rispetto alla sezione di chiusura del punto più elevato del bacino e la lunghezza dell'asta principale *L;*

- I_v è la pendenza media dei versanti;

Vengono riportate in tabella le caratteristiche morfologiche necessarie al calcolo sopra esposto.

ID	Progressiva km	Area (km^2)	z_{min} (m)	z_{max} (m)	z_{media} (m)	L (km)	Pendenza media asta (-)	Pendenza media bacino (-)
1	0+163	0.325	276	430	361	0.946	0.16	0.24
2	0+780	0.375	272	410	331	0.799	0.17	0.22
3	0+913	0.044	278	342	314	0.299	0.21	0.28
4	7+053	0.317	208	910	516	1.387	0.51	0.53
5	0+277	0.885	210	960	585	1.254	0.42	0.43
6	0+591 (NA)	0.246	212	825	250	0.790	0.35	0.40
7	0+420 (NA)	0.782	213	1058	625	1.500	0.10	0.12

Tab. 15 - Caratteristiche morfologiche dei sottobacini individuati

La tabella seguente riporta i valori dei tempi di corrivazione ottenuti con le varie formule considerate; il valore scelto, di progetto, in via cautelativa è pari al minimo tra quelli ottenuti.

ID	Progressiva km	Pezzoli (h)	Ventura (h)	Pasini (h)	Kirpich (h)	$t_{c,min}$ (h)
1	0+163	0.13	0.18	0.18	0.11	**0.11**
2	0+780	0.11	0.19	0.17	0.10	**0.10**
3	0+913	0.04	0.06	0.06	0.04	**0.04**
4	7+053	0.11	0.10	0.12	0.11	**0.10**
5	0+277	0.11	0.18	0.17	0.11	**0.11**
6	0+591 (NA)	0.11	0.11	0.08	0.08	**0.08**
7	0+420 (NA)	0.36	0.35	0.26	0.25	**0.25**

Tab. 16 - Valori dei tempi di corrivazione ottenuti

Utilizzando i parametri *a* ed *n* determinati per le stazioni pluviometriche ricadenti nei bacini minori, è possibile individuare l'altezza di precipitazione relativa al tempo di corrivazione e con tempo di ritorno di 200 anni attraverso la relazione:

$$h = a*t^n$$

Laddove la superficie dei bacini minori si estenda su più stazioni pluviometriche è stata effettuata una media pesata sulle aree di interesse dell'altezza di precipitazione.

4.2.3 Analisi delle piogge di durata inferiori a 1 ora

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi come quelli in analisi, i tempi di corrivazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Ricadendo in questa casistica, per il calcolo dell'altezza di pioggia mediante le curve di probabilità pluviometrica è stata utilizzata la relazione di Bell (*Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of american Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969*).

Secondo quanto ricavato da Bell i rapporti r_δ tra le altezze di durata τ molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria non dipendono dalla località in cui si verificano le precipitazioni, ma soltanto dalla durata t.

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

Per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora, viene raccomandata una relazione empirica sviluppata nell'ambito di studi idrologici condotti in America:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = (0.54 * \tau^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per durate 5<τ<120 min dove:

- $h_{\tau,T}$ indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo τ riferita al periodo di ritorno T

- $h_{60,T}$ è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno T - τ è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per i sottobacini individuati, considerando un'altezza di pioggia media pesata tra le differenti stazioni pluviometriche ricadenti nei bacini stessi:

ID	Progressiva km	Area (km^2)	Stazione pluviometrica interessata	a_{200}	n_{200}	$h_{tc,200}$ (mm) pesata
1	0+163	0.325	Fabriano	63.4	0.247	**23.2**
2	0+780	0.375	Fabriano	63.4	0.247	**21.9**
3	0+913	0.044	Fabriano	63.4	0.247	**10.9**
4	7+053	0.317	San Giovanni	59.8	0.384	**20.6**
5	0+277	0.885	San Giovanni	59.8	0.384	**21.9**
6	0+591 (NA)	0.246	San Giovanni	59.8	0.384	**17.9**
7	0+420 (NA)	0.782	San Giovanni	59.8	0.384	**33.7**

Tab. 17 - Valori altezze di pioggia ottenuti

4.2.4Determinazione delle altezze massime di pioggia con il VAPI

Sul territorio in questione sono stati eseguiti vari studi nel rispetto della procedura VAPI, la quale è basata sull'uso della distribuzione della probabilità cumulata a due componenti TCEV (Two Components Extreme Value).

L'importanza dell'utilizzo della distribuzione TCEV nasce dall'esigenza di considerare alcuni eventi piovosi straordinari che si verificano raramente e che sono molto intensi.

Il modello a doppia componente TCEV ipotizza che i valori estremi di una grandezza idrologica (portata, pioggia) facciano parte di due differenti popolazioni legate a differenti fenomeni meteorologici. Questo perché molte serie di massimi annuali presentano uno o più valori nettamente maggiori degli altri e tali da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione degli altri dati.

La distribuzione TCEV si esprime:

$$F(x) = exp\left[-\Lambda_{1exp}\left(-\frac{x}{\theta_1}\right) - \Lambda_{2exp}\left(-\frac{x}{\theta_2}\right)\right] ; x \geq 0$$

Nell'espressione precedente si sono indicati con il pedice 1 i parametri riguardanti la "componente ordinaria" e con il pedice 2 i parametri relativi alla "componente straordinaria".

I parametri Λ_1 e Λ_2 rappresentano il numero medio annuo di eventi indipendenti delle due componenti, mentre ϑ_1 e ϑ_2 esprimono il loro valore medio annuo.

$$T = \frac{1}{1-F_K(K)} = \frac{1}{1-\exp\left(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{\frac{1}{\theta_*}} e^{\frac{-\eta k}{\theta_*}}\right)}$$

$$T = \frac{1}{1-F_K(K)} = \frac{1}{1-\exp\left(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{\frac{1}{\theta_*}} e^{\frac{-\eta k}{\theta_*}}\right)}$$

L'analisi pluviometrica inizialmente svolta da Franchini e Galeati [1994] e successivamente da Brath e Franchini [1999] ha portato all'individuazione di 7 sottozone omogenee (fig. 4.3), in cui vale la relazione tra periodo di ritorno T e coefficiente di crescita K_T.

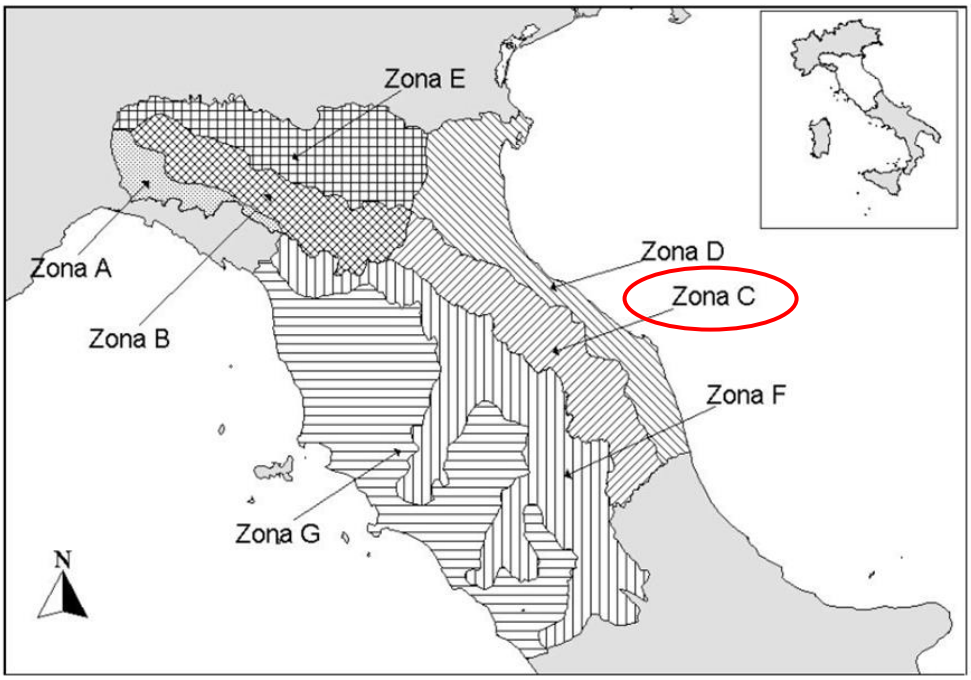

Fig. 4 – Mappa del territorio in studio e suddivisione in SZO con riferimento alle precipitazioni intense

Sottozona	Λ*	θ*	Λ1	η
A	0,109	2,361	24,7	4,001
B	1,528	1,558	39,2	5,335
C	1,528	1,558	25,7	4,913
D	0,361	2,363	29	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

Tab. 18 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle pioggie giornaliere nelle 7 SZO

Sono di seguito riportati in tabella i valori K_T per i valori del periodo di ritorno di maggior utilizzo pratico.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0,93	1,24	1,46	1,7	1,78	1,95	2,04	2,34	2,68	3,18	3,57
SZO B	1,01	1,3	1,51	1,71	1,77	1,9	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	2,2	2,47	2,86	3,17
SZO G	0,88	1,22	1,5	1,87	2,01	2,32	2,47	2,96	3,46	4,12	4,61

Tab. 19 – Valori di k_T per vari tempi di ritorno

Nel caso di studio, il territorio in esame ricade nella sottozona C, pertanto il K_T corrispondente al tempo di ritorno di interesse T = 200 anni risulta K_T = 2,48.

Successivamente si è ricavato il valore medio del massimo annuale della precipitazione di durata *d* attraverso la formula:

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

$$n = \frac{(Ln[m(h_g)] - Ln[m(h_1)] - Ln\ r)}{Ln\ 24}$$

dove:

- $m(h_d)$ = 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;
- *d* = durata posta uguale al tempo di corrivazione utilizzando la formula del Giandotti (ore);

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati dello studio pluviometrico.

Sottozona	Λ_*	θ^*	Λ_1	η
C	1,528	1,558	25,70	4,913

Tab. 20 – Parametri considerati

Attraverso le mappe isoparametriche fornite (vedi Brath e Franchini [1999] per le SZO A, B, C, D, E,) riportate in figura sono stimati i parametri $m(h_d)$ e $m(h_1)$ pari rispettivamente a 65 mm e 26 mm.

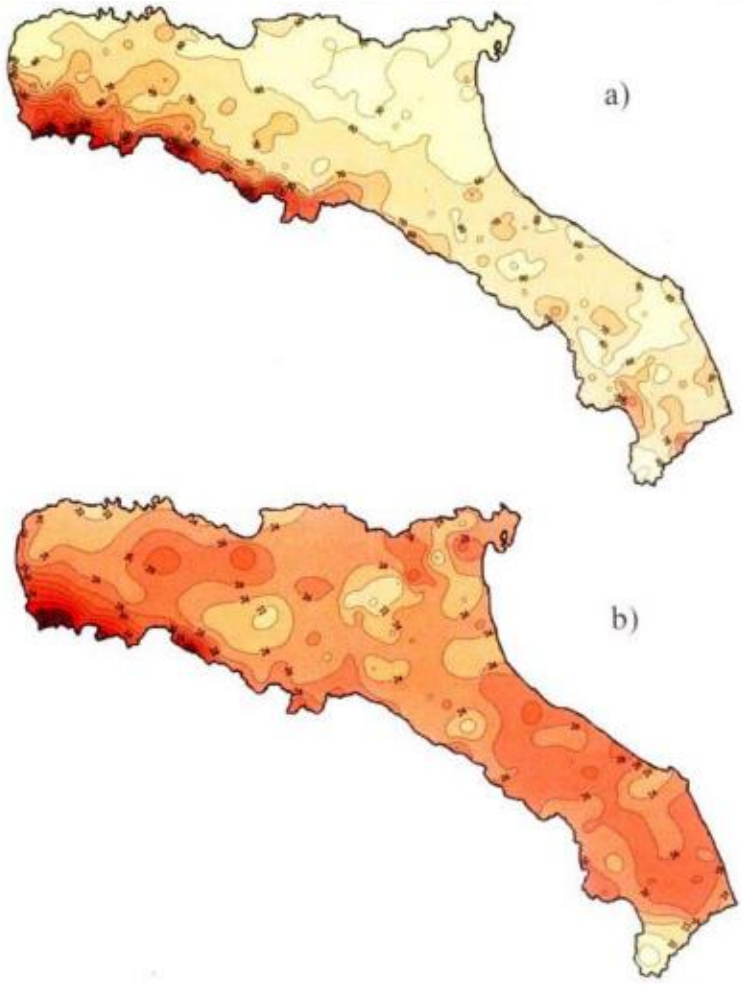

Fig. 5 – Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di un giorno a) e di un ora b)

Il valore di altezza di precipitazione puntuale di durata t e tempo di ritorno T si ottiene:

$$h = K_T * m(h_d)$$

Si riportano i risultati delle altezze di pioggia ottenute con la metodologia VAPI.

ID	Progressiva km	Area (km^2)	a_{200}	n_{200}	$h_{tc,200}$ (mm)
1	0+163	0.325	62.0	0.312	**31.1**
2	0+780	0.375	62.0	0.312	**30.2**
3	0+913	0.044	62.0	0.312	**22.7**
4	7+053	0.317	62.0	0.312	**30.2**
5	0+277	0.885	62.0	0.312	**31.1**
6	0+591 (NA)	0.246	62.0	0.312	**28.2**
7	0+420 (NA)	0.782	62.0	0.312	**40.2**

Tab. 21 – Risultati metodo VAPI

4.3 Determinazione delle portate

Per la stima della massima portata al colmo di piena è stata seguita la metodologia di trasformazione afflussi-deflussi.

Quando non sono disponibili misure storiche di portata, la stima delle portate al colmo viene condotta mediante l'applicazione di modelli di trasformazione afflussi – deflussi a partire dalle precipitazioni e sulle caratteristiche geomorfologiche dei bacini versanti. Generalmente la valutazione delle portate massime al colmo di piena è schematizzata attraverso il metodo razionale secondo cui c'è una relazione di tipo lineare tra precipitazione in ingresso e portata in uscita.

Viene assunto, come descritto precedentemente, che la pioggia abbia durata pari al tempo di corrivazione e che questa sia distribuita omogeneamente sul bacino.

La massima portata al colmo di piena, alla luce di quanto detto viene espressa dalla seguente relazione:

$$Q_c = \frac{A * P_n}{3.6 * t_c}$$

dove:

- Q_c è il valore della portata al colmo (mc /s);

- t_c è il tempo di corrivazione (ore);

- P_n è l'altezza di pioggia netta (mm), corrispondente alla durata pari al tempo di corrivazione (t_c), dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica di tempo di ritorno assegnato (T), calcolata con i diversi metodi descritti in precedenza;

- *A* è l'area del bacino (kmq).

4.3.1 Metodo del Curve Number

La procedura utilizzata per il calcolo della "pioggia netta" si basa sul metodo del Curve Number (CN), formulato dal Soil Conservation Service (SCS) nel 1972, nel seguito brevemente descritto.

Tale criterio mette in relazione la pioggia effettivamente caduta nel bacino con la pioggia efficace attraverso la formula:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

- *F* = perdite effettive (mm);

- *S* = massima saturazione del suolo (mm);

- *Q* = pioggia netta cumulata (mm);

- *P* = pioggia lorda cumulata;

- I_a = perdite iniziali dovute all'infiltrazione ed accumulo nelle depressioni superficiali;

Assumendo F = P-Q, la pioggia netta (P_n) o deflusso superficiale (*Q*) risulta pari a:

$$Q = Pn = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Il parametro S è funzione a sua volta del tipo di terreno, del grado di saturazione e dell'uso del suolo.

Viene identificato mediante la relazione:

$$S = 254 * (\frac{100}{CN} - 1)$$

Dove il parametro CN è il coefficiente di ruscellamento, denominato Curve Number, che dipende dalla tipologia di terreno, dall'uso del suolo e dal contenuto di umidità del terreno.

Il Soil Conservation Service, ed altri autori, forniscono valori empirici di CN a seconda delle caratteristiche idrogeologiche del tipo di suolo, dell'uso del suolo congiuntamente alle pratiche agricole o ai trattamenti dei terreni e della condizione di umidità iniziale (condizioni I, II, o II). In tabella sono riportati i valori di CN per diverse tipologie di uso del suolo, trattamento, condizione idrologica e caratteristiche idrogeologiche. Queste ultime sono specificate suddividendo i terreni in quattro gruppi (A, B, C e D) in dipendenza dalla loro capacità di infiltrazione.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Fig. 6 – Classi di assorbimento del suolo

Per l'analisi in oggetto è stato considerato il gruppo di infiltrazione del terreno "C" sopra descritto e, in base alla classe di uso del suolo di appartenenza, viene scelto il valore del CN secondo la tabella qui riportata.

***Valori del parametro CN** (adimensionale)*	***← Tipo idrologico Suolo →***			
↓ Tipologia di Uso del Territorio	***A***	***B***	***C***	***D***
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m^2 (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m^2 (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m^2 (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali , lotti di 1500÷2000 m^2 (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m^2 (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m^2 (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ...	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terrra	72	82	87	89

Fig. 7 – Valori del Curve Number in base all'uso del suolo

Risulta importante, in fase di valutazione del Curve Number, conoscere la condizione di saturazione del terreno precedente all'evento meteorico. Per questo vengono assegnate 3 classi di saturazione, in relazione all'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni antecedenti l'evento.

Classe *AMC*	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

Fig. 8 – Condizioni di saturazione antecedenti l'evento meteorico

Per condizioni antecedenti all'evento molto umide (AMC III) o molto asciutte (AMC I) viene apportata la seguente correzione:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3-0.013CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.4+0.0057CN(II)}$$

La valutazione del CN è basata sulla trasformazione dei valori riportati nel programma europeo Corine Land Cover (CLC), nato allo scopo di monitorare l'evoluzione dell'uso del suolo e delle caratteristiche di copertura, ed i cui prodotti sono basati sull'interpretazione delle immagini satellitari rese dagli Stati partecipanti.

I dati ottenuti sono restituiti in forma tabellare e grafica e sono organizzati gerarchicamente su più livelli in base al grado di dettaglio.

Si riportano le tabelle utilizzate per la conversione dei parametri CLC con i valori di CN di terzo e quarto livello.

Corine LIVELLO 3	SCS-CN per diversi HSG				Rif. USDA 1986
	A	B	C	D	
111 - Tessuto urbano continuo	89	92	94	95	Commercial and business (85% imp.)
112 - Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)/small>
121 - Unità industriali o commerciali	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
122 - Reti di strade e binari e territori associati	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
123 - Aree portuali	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
124 - Aeroporti	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
131 - Luoghi di estrazioni di minerali	76	85	89	91	Gravel (including right of way)
132 - Discariche	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
133 - Luoghi di costruzione	77	86	91	94	Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)
141 - Aree di verde urbano	49	69	79	84	Fair condition (grass cover 50 to 75%)
142 - Strutture di sport e tempo libero	68	79	86	89	Poor condition (grass cover <50%)
211 - Seminativi non irrigati	61	73	81	84	Contoured (C)
212 - Suolo permanentemente irrigato	67	78	85	89	Straight row (SR)
213 - Risaie	62	71	78	81	Contoured & terraced (C&T)
221 - Vigneti	76	85	90	93	Crop residue cover
222 - Frutteti e frutti minori	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
223 - Oliveti	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
231 - Pascoli	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
241 - Colture annuali associate a colture permanenti	61	73	81	84	Small grain
242 - Coltivazione complessa	61	73	81	84	Small grain
243 - Suoli principalmente occupati dall'agricoltura	61	73	81	84	Small grain

244 - Aree di agro-selvicoltura	43	65	76	82	Small grain
311 - Foreste a latifoglie	36	60	73	79	Woods
312 - Foreste a conifere	36	60	73	79	Woods
313 - Foreste miste	36	60	73	79	Woods
321 - Prateria naturale	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
322 - Lande e brugheria	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
323 - Vegetazione sclerofila	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
324 - Transizione suolo boscoso/arbusti	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
331 - Spiagge, dune e piani di sabbia	46	65	77	82	12% imp.
332 - Roccia nuda	96	96	96	96	Artificial desert landscaping
333 - Aree scarsamente vegetate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)
334 - Aree bruciate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)
335 - Ghiacciai e nevi perenni	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
411 - Paludi interne	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
412 - Torbiere	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
421 - Paludi di sale	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
422 - Saline	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
423 - Piani intertidali	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
511 - Corsi d'acqua	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
512 - Corpi d'acqua	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
521 - Lagune costiere	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
522 - Estuari	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
523 - Mare	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies

Fig. 9 – Tabella di conversione dei dati CLC in CN (III livello)

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
DISCARICHE	1321	90	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85
PRATI ARTIFICIALI. COLTURE FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I SEMINATIVI E UNA CERTA PRODUTTIVITÀ, SONO SEMPRE POTENZIALMENTE RICONVERTITI A SEMINATIVO, POSSONO ESSERE RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
RISAIE	2122	98	98	98	98
VIVAI	2123	66	77	85	89
COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	2412	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI E SEMINATIVI ARBORATI CON COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL 25%)	2413	59	74	82	86
BOSCO DI LATIFOGLIE	3111	39	51	63	70
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI (LATIFOGLIE)	3112	39	51	63	70
BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE, STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI ECC.)	3221	51	58	73	80
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
GARIGA	3232	51	58	73	80
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	45	55	68	75
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3312	56	73	82	86
AREE DUNALI CON COPERTURA VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A 25 M	3313	56	73	82	86
LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	5231	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
SUGHERETE	31122	39	51	63	70
CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
ALTRO	31124	39	51	63	70

Fig. 10 – Tabella di conversione dei dati CLC in CN (IV livello)

Ai fini della definizione del valore di progetto del parametro CN, per bacini esigui o comunque per altezze di pioggia molto ridotte (associate a durate modeste, inferiori all'ora), al fine di evitare di sottostimare la pioggia efficace (P_n), ovvero il corrispondente coefficiente di deflusso, per il calcolo di I_a (perdite iniziali, generalmente $I_a = \lambda \cdot S$, con $\lambda = 0.2$) si è fatto riferimento alla metodologia che prevede la stima di un valore "equivalente" di CN (Woodward et al., 2003), basato sull'applicazione di un coefficiente $\lambda = 0.05$, in funzione del valore dell'altezza di pioggia rispetto ad un valore critico, così come mostrato nella figura seguente, e della relazione di equivalenza:

$$CN_{0.05} = \frac{100}{1.879[100/CN_{0.20} - 1]^{1.15} + 1}$$

Table 4. Conjugate Curve Numbers and P_{crit}

$CN_{0.20}$	$S_{0.20}$(in)	$CN_{0.05}$	$S_{0.05}$(in)	P_{crit} (in)
100.00	0.000	100.00	0.000	-----
95.00	0.526	94.02	0.636	2.44
90.00	1.111	86.95	1.501	1.72
85.00	1.765	79.64	2.556	1.95
80.00	2.500	72.39	3.815	2.27
75.00	3.333	65.31	5.311	2.63
70.00	4.286	58.51	7.091	3.05
65.00	5.385	52.03	9.219	4.51
60.00	6.667	45.90	11.785	4.04
55.00	8.182	40.14	14.915	4.64
50.00	10.000	34.74	18.787	5.35
45.00	12.222	29.71	23.663	6.15
40.00	15.000	25.03	29.947	7.13
35.00	18.571	20.71	38.285	8.35
30.00	23.333	16.73	49.777	9.92
25.00	30.000	13.08	66.457	12.02
20.00	40.000	9.75	92.517	15.04
15.00	56.667	6.75	138.095	19.81
10.00	90.000	4.08	235.088	-----
5.00	190.000	1.77	555.160	-----

Comparisons: How does the modification of Ia/S affect calculated values of runoff? First, by equating the runoff equations using 0.05 and 0.20 and making the transformation of CNs using equations 8 or 9, the rainfall depth corresponding to equal runoffs for conjugate CNs can be determined. This rainfall is shown as P_{crit} in Table 4. There is no closed solution: P_{crit} was determined numerically. For P greater than P_{crit} use of Ia/S=0.2 will result in higher calculated runoffs. For lesser P values, a higher runoff will be found using Ia/S=0.05.

I risultati vengono riassunti nella tabella seguente dove viene comparata la portata relativa all'altezza di pioggia calcolata attraverso l'elaborazione statistica di Gumbel, adattata con la relazione di Bell, e quella ricavata mediante la metodologia del VAPI entrambe descritte precedentemente.

ID	Progressiva km	CN (0.2)	CN (0.05)	S (mm)	Ia (mm)	Pn BELL (mm)	Pn VAPI (mm)	Q GUMBEL (mc/s)	Q VAPI (mc/s)
1	0+163	81	74	90.1	4.503	**3.2**	**6.08**	**3.71**	**4.99**
2	0+780	81	74	90.1	4.503	**2.8**	**5.71**	**4.31**	**5.94**
3	0+913	81	74	90.1	4.503	**0.4**	**3.06**	**0.45**	**0.94**
4	7+053	70	59	180.1	9.007	**0.7**	**2.24**	**1.34**	**1.97**
5	0+277	66	53	222.6	11.129	**0.5**	**1.65**	**2.59**	**3.69**
6	0+591 BNA	80	72	96.9	4.846	**1.5**	**4.53**	**2.46**	**3.87**
7	0+415 BNA	71	60	170.4	8.522	**3.2**	**4.97**	**3.62**	**4.32**

Tab. 22 – Valori di portata ottenuti per i sottobacini oggetto di studio

Dalla tabella di confronto emerge come i valori di portata calcolati a partire dai dati di precipitazione ottenuti con il metodo VAPI risultino sempre maggiori di quelli calcolati secondo il metodo di Gumbel. I primi sono quindi stati considerati per i successivi dimensionamenti idraulici poiché ritenuti più cautelativi.

Infine, per completezza, si riportano di seguito (in forma tabellare e grafica) i valori della portata specifica (per *Tr200*) dei corsi d'acqua minori in funzione della superficie del relativo bacino.

Nello specifico, si osserva in generale che la portata specifica Tr200 (Q_s) tende a diminuire all'aumentare della superficie del bacino.

ID bacino	*A (kmq)*	*A (ha)*	*Qs (mc/s/kmq)*	*Qs (l/s/ha)*
1	0.325	32.5	15.351	153.51
2	0.375	37.5	15.874	158.74
3	0.044	4.4	21.262	212.62
4	0.317	31.7	6.212	62.12
5	0.885	88.5	4.168	41.68
6	0.246	24.6	15.739	157.39
7	0.782	78.2	5.526	55.26

Tab. 23 – Bacini idrografici minori: portata specifica Tr200 vs superficie del bacino

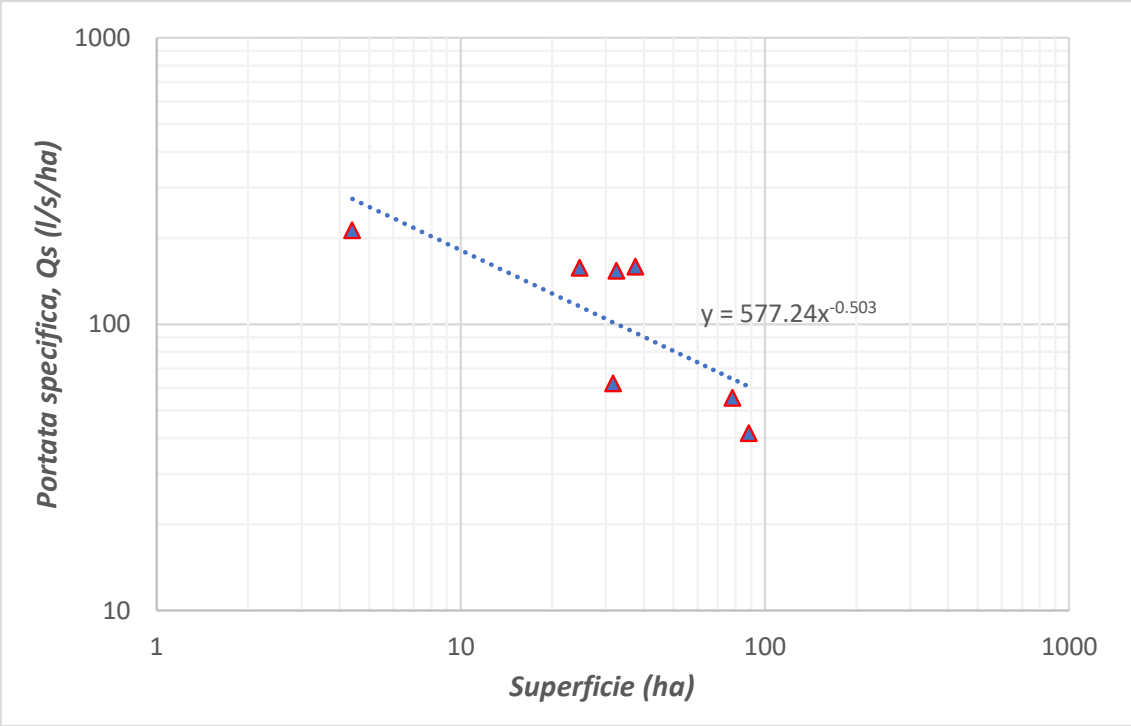

Fig. 11 – Corsi d'acqua minori: portata specifica vs area del bacino

4.3.2 Valori di progetto ed effetti dei cambiamenti climatici

Nella tabella seguente si riportano dunque i valori di portata al colmo di progetto per i corsi d'acqua minori, da considerare nelle relative verifiche idrauliche.

Con riferimento, inoltre, all'analisi descritta al Cap. 6 nella relazione idrologica annessa (IR0F00R09RIID0001001), per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell'elaborazione dei risultati di differenti modelli meteoclimatici sviluppati su base regionale) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo, pari a circa **+8%.**

Applicando (impropriamente) tale incremento all'altezza di pioggia di progetto, riferita ad una specifica durata, ne deriva un contestuale aumento delle portate al colmo, della medesima entità.

ID bacino	*Q200 (mc/s)*	*Q200 (mc/s) + climate change*
1	4.99	5.40
2	5.95	6.45
3	0.94	1.01
4	1.97	2.13
5	3.69	3.99
6	3.87	4.19
7	4.32	4.68

Tab. 24 – Valori di portata al colmo di progetto (e per effetto dei cambiamenti climatici).

Per maggiori dettagli circa le analisi idrauliche sviluppate per i bacini minori interferenti, si rimanda alla relazione IR0F01R09RIID0002001 annessa.