

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-ALBACINA

RELAZIONE IDROLOGICA

Studio idrologico del bacino del Fiume Esino

Torrente Giano e corsi d'acqua minori

SCALA:

-

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

IR0E 00 R 09 RI ID0001 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	C. Cesali	dicembre 2021	F. Cabas	dicembre 2021	C. Urcioli	dicembre 2021	A. Vittozzi luglio 2022 ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Det. Ing. Paolo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n° A20783
B	EMISSIONE A SEGUITO MODIFICHE TRACCIATO E OSSERVAZIONI DT RFI	C. Cesali	luglio 2022	F. Cabas	luglio 2022	C. Urcioli	luglio 2022	

File: IR0E00R09RIID0001001B

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	5
1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	7
3. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ESINO: TORRENTE GIANO.....	8
4. STUDIO IDROLOGICO DEL BACINO DEL TORRENTE GIANO E DEL FIUME ESINO	11
4.1 GENERALITÀ.....	11
4.2 METODOLOGIA VA.P.I. – REGIONE MARCHE.....	12
4.2.1. <i>Va.Pi.: regionalizzazione delle piogge</i>	13
4.3 ELABORAZIONE STATISTICA DELLE REGISTRAZIONI PLUVIOMETRICHE.....	18
4.4 CONFRONTO TRA LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DISPONIBILI PER L'AREA DI STUDIO	23
4.5 MODELLO IDROLOGICO DEL BACINO DEL TORRENTE GIANO E DEL FIUME ESINO.....	24
4.6 CORSI D'ACQUA MINORI (AFFLUENTI DEL TORRENTE GIANO)	31
5. EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI.....	38
6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	43

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE – FALCONARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PM228-ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

INDICE DELLE FIGURE

<i>Fig. 1 – Inquadramento generale dell’area di studio.....</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 2 – Bacino idrografico del Fiume Esino: sottobacini maggiori di interesse.</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 3 – Bacino idrografico del Torrente Giano: sottobacini minori di interesse.</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 4 – Va.P.I.: compartimenti di Bologna, Pisa e Roma, sottozone omogenee.....</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 5 – Iso linee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b).....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 6 – Stazioni pluviometriche (e relativi topoi) di riferimento per i sottobacini di interesse.</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 7 – Confronto tra le curve di possibilità pluviometrica (Tr = 200 anni) ricavate dalle differenti metodologie adottate.</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 8 – Costruzione del modello idrologico del sottobacino del Fiume Esino in esame in HEC HMS.</i>	<i>25</i>
<i>Fig. 9 – Bacino del Fiume Esino: carta del Curve Number (AMC II), fonte: Consorzio di Bonifica delle Marche “Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico – Indagine condotta sui bacini idrografici dei fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna”.</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 10 – Fiume Esino e Torrente Giano: idrogrammi di piena di progetto per Tr = 50 anni.</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 11 – Fiume Esino e Torrente Giano: idrogrammi di piena di progetto per Tr = 200 anni.</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 12 – Fiume Esino e Torrente Giano: idrogrammi di piena di progetto per Tr = 500 anni.</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 13 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 14 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 15 – Stazioni pluviometriche di riferimento per il sottobacino del Fiume Esino in esame: serie storiche di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore (nel periodo climatologico 1971-2000).</i>	<i>41</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tab. 1 – Sottobacini (maggiori) di interesse, Fiume Esino e Torrente Giano: dati morfometrici.....</i>	<i>9</i>
<i>Tab. 2 – Sottobacini (minori) di interesse del Torrente Giano: dati morfometrici.....</i>	<i>11</i>
<i>Tab. 3 – Va.P.I.: valori dei parametri a e n della curva di possibilità climatica, per i sottobacini di interesse del Fiume Esino e del Torrente Giano.</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 4 – Stazioni pluviometriche di riferimento per i sottobacini di interesse.....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 5 – Stazioni pluviometriche di riferimento: valori dei parametri a e n.....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 6 – Valori del CN (II e III, AMC) per i sottobacini considerati.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 7 – Valori del parametro SCS lag per i sottobacini considerati.</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 8 – Percentuali di superficie dei singoli sottobacini considerati ricadente nei topoi dei delle stazioni pluviometriche di riferimento.</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 9 – Fiume Esino e Torrente Giano: valori di portata al colmo per $Tr = 200$ anni: CPP Gumbel vs Va.P.I.....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 10 – Fiume Esino e Torrente Giano: valori di portata al colmo per $Tr = 200$ anni, Va.P.I., per diversi valori della durata di pioggia critica.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 11 – Fiume Esino: valori di portata al colmo di progetto per vari tempi di ritorno.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 12 – Bacini minori: valori dei tempi di corrvazione ottenuti.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 13 – Bacini minori: valori dell'altezza di pioggia di progetto (Gumbel).....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 14 – Bacini minori: valori dell'altezza di pioggia di progetto (VAPI).....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 15 – Valori di portata ottenuti per i sottobacini.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 16 – Bacini idrografici minori: portata specifica vs superficie del bacino.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 17 – Valori medio e previsti dai quattro modelli meteo climatici di variazione di precipitazione massima giornaliera nell'area di intervento (ISPRA, 2015).....</i>	<i>41</i>

1. **PREMESSA**

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica “*Potenziamento infrastrutturale Orte-Falconara. Raddoppio della tratta PM228-Albacina*”.

Il presente progetto si basa sullo studio di fattibilità redatto da Rete Ferroviaria Italiana (RFI) nel 2020 e sugli input di base comunicati dalla committenza nei mesi scorsi. L'intervento inizia dal PM228, posto di movimento alla progressiva Km 228+014 della linea storica, e prevede un raddoppio in stretto affiancamento alla linea ferroviaria esistente per circa 4 Km, con un'alternanza di tratti in rilevato e in trincea.

Presso la stazione di Albacina, nella quale viene previsto un nuovo PRG per rispondere alle richieste funzionali della Committenza, verranno realizzati un nuovo sovrappasso, collegamenti pedonali (rampe scale ed ascensori) e nuovi marciapiedi, questi ultimi dotati di nuove pensiline ferroviarie. Nella stazione verranno creati i percorsi tattili e la relativa segnaletica.

Superata Albacina, il tracciato prosegue a semplice binario e si collega con la linea esistente che prosegue, da un lato verso Falconara, e dall'altro verso Macerata/Civitanova Marche. Su tali due rami è previsto soltanto il rifacimento dell'armamento.

Da punto di vista idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria in progetto si sviluppa interamente in affiancamento al Torrente Giano (tributario in sinistra idraulica del Fiume Esino), attraversando una serie di corsi d'acqua minori suoi affluenti in sinistra idraulica. Non sono previsti nuovi attraversamenti sul Torrente Giano.

È stato condotto quindi lo studio idrologico del bacino del Fiume Esino finalizzato alla valutazione delle portate al colmo di progetto, e dei relativi idrogrammi di piena, del T. Giano e dei suoi affluenti da imporre/assumere come condizione al contorno nei modelli numerici idraulici sviluppati.

Lo studio idrologico si compone delle seguenti fasi:

- analisi statistica delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura di riferimento per la definizione dell'altezza totale di precipitazione, nonché della precipitazione netta, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al deflusso, al netto della perdite idrologiche (i.e. immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione);

- applicazione delle procedure di regionalizzazione delle piogge (i.e. VA.P.I.) disponibili per l'area di studio;
- trasformazione *afflussi-deflussi* per il calcolo delle portate al colmo e delle caratteristiche delle corrispondenti onde di piena, per vari tempi di ritorno di riferimento.

Le analisi sono state sviluppate nel rispetto della Pianificazione di Bacino attualmente in vigore, in particolare del PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO dell'ex Autorità di Bacino della Regione Marche (ultimo aggiornamento con DCI n. 68 del 08/08/2016), nonché nel *PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI* (di recente emanazione) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - P.G.R.A.A.C. (Il ciclo di pianificazione, ultimo aggiornamento Dicembre 2021).

1.1 Riferimenti normativi

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie"
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e relativa circolare applicativa n.7/2019
- "*Manuale di Progettazione delle Opere Civili*" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI);
- Piano di Assetto Idrogeologico - Regione Marche – Autorità di bacino regionale - Norme di Attuazione
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale – Norme di Attuazione (elaborato d) – DCR n. 116 del 21/01/2004

- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale*, adottato il 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 6 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e approvato il 3 marzo 2016, con deliberazione n. 9, dal Comitato Istituzionale ed il 27 ottobre 2016 dal Presidente del Consiglio dei Ministri con DPCM Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 28 del 3 febbraio 2017 recante "approvazione del piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Centrale" (ultimo aggiornamento: dicembre 2021).

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

La “nuova” tratta ferroviaria *PM228 - Albacina* si sviluppa interamente in affiancamento al Torrente Giano, tributario in sinistra idraulica del Fiume Esino, attraversando una serie di corsi d'acqua minori, suoi affluenti. Nella figura seguente è riportato il tracciato della linea ferroviaria in progetto, con evidenziata l'area di studio.



Fig. 1 – Inquadramento generale dell'area di studio.

3. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ESINO: TORRENTE GIANO

Il Fiume Esino è il principale corso d'acqua della Provincia di Ancona; il suo bacino imbrifero, che misura complessivamente 1.203 km², rientra con una parte apprezzabile nella provincia di Macerata e solo marginalmente nelle province di Pesaro e Perugia.

Nasce dal monte Cafaggio (1.116 m) ad Esanatoglia (MC) e sfocia, dopo circa 75 km a Falconara Marittima in località Fiumesino.

Il Fiume Esino ha caratteristiche del tutto particolari; a monte è caratterizzato da un regime tipicamente torrentizio, a valle e fino alla foce assomiglia molto di più ad un classico fiume di pianura.

Nel tratto fluviale di studio, i suoi principali affluenti sono il **Torrente Giano** (che confluisce nel F. Esino nei pressi di Albacina), il Torrente Sentino (che confluisce nel F. Esino nei pressi di Genga), il Torrente Esinante (che confluisce nel F. Esino nei pressi di Castelplano).

Il sottobacino idrografico di interesse del Torrente Giano, con sezione di chiusura collocata alla confluenza nel Fiume Esino nei pressi di Albacina, ricopre un'area di 167.4 km² (Fig. 2).

All'interno di quest'ultimo, sono stati individuati i sottobacini dei corsi d'acqua minori, attraversati dalla linea ferroviaria in progetto, con sezione di chiusura in corrispondenza dell'intersezione con la "nuova" infrastruttura.

E' stato delimitato, e studiato, anche il sottobacino del Fiume Esino, "chiuso" alla confluenza del Torrente Giano. Proprio per via della vicina confluenza, come meglio descritto nella relazione idraulica annessa (rif. IR0E00R09RIID0002001B), è stata simulata anche la propagazione dell'onda di piena del Fiume Esino (contemporanea a quella del T. Giano), come "condizione al contorno di valle" del tratto fluviale del Torrente Giano di interesse, oggetto di studio.

I dati morfometrici (A = estensione; L = lunghezza dell'asta principale; H_{max} = quota massima, H_{min} = quota minima; H_{med} = quota media; P_{asta} = pendenza media dell'asta principale; P_{bac} = pendenza media del bacino) dei sottobacini maggiori (T. Giano e F. Esino) e minori individuati sono riportati nelle tabelle seguenti.

Per maggiori dettagli, si rimanda comunque agli elaborati grafici annessi al presente studio.

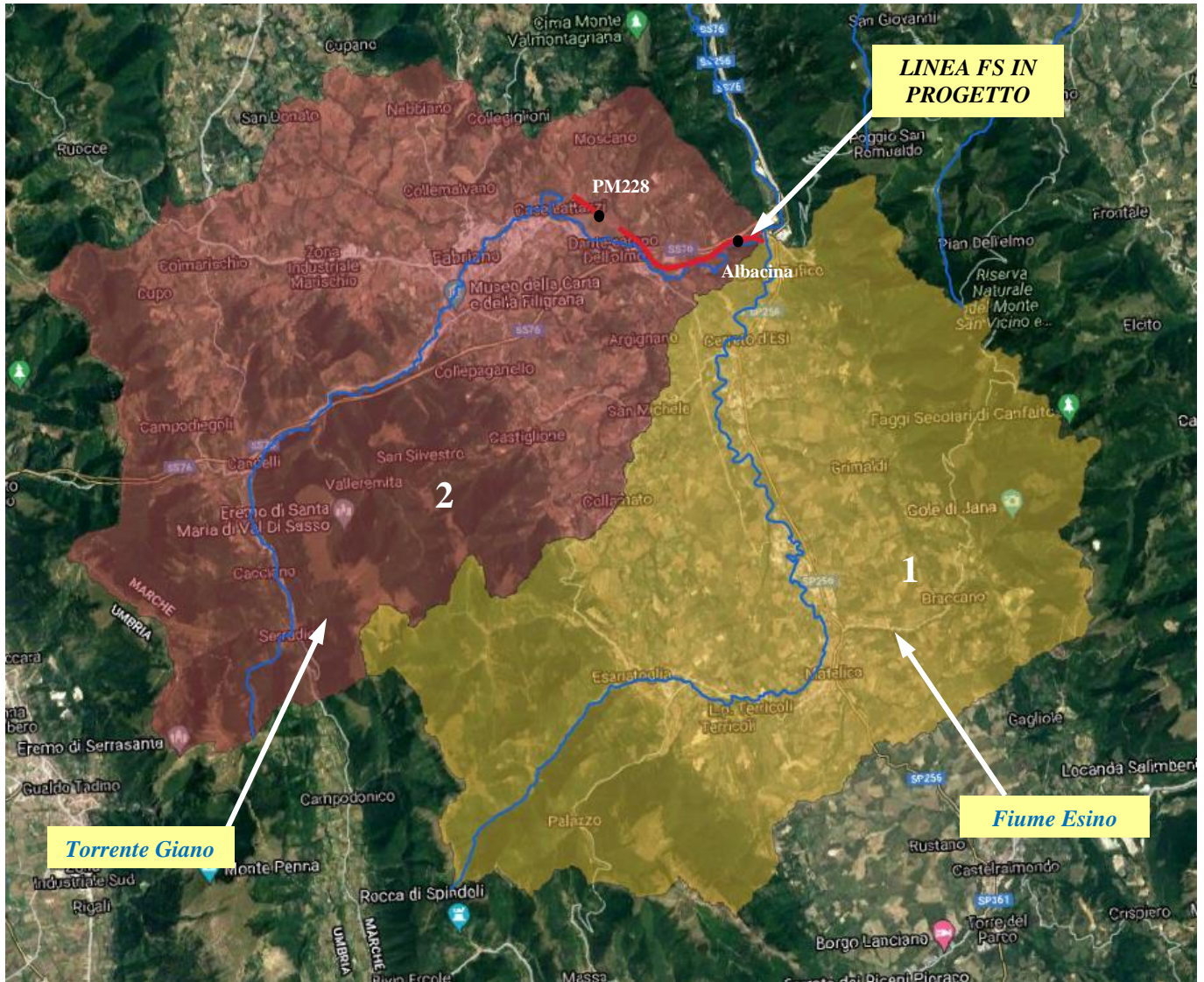


Fig. 2 – Bacino idrografico del Fiume Esino: sottobacini maggiori di interesse.

ID	Sottobacino	A (km ²)	H _{max} (m slm)	H _{min} (m slm)	H _{med} (m slm)	L (km)	P _{asta} (%)
1	F. Esino (a monte confluenza T. Giano)	165	1670	230	550	30.05	2.8
2	T. Giano	167.4	1380	226	580	29.5	3.4

Tab. 1 – Sottobacini (maggiori) di interesse, Fiume Esino e Torrente Giano: dati morfometrici.

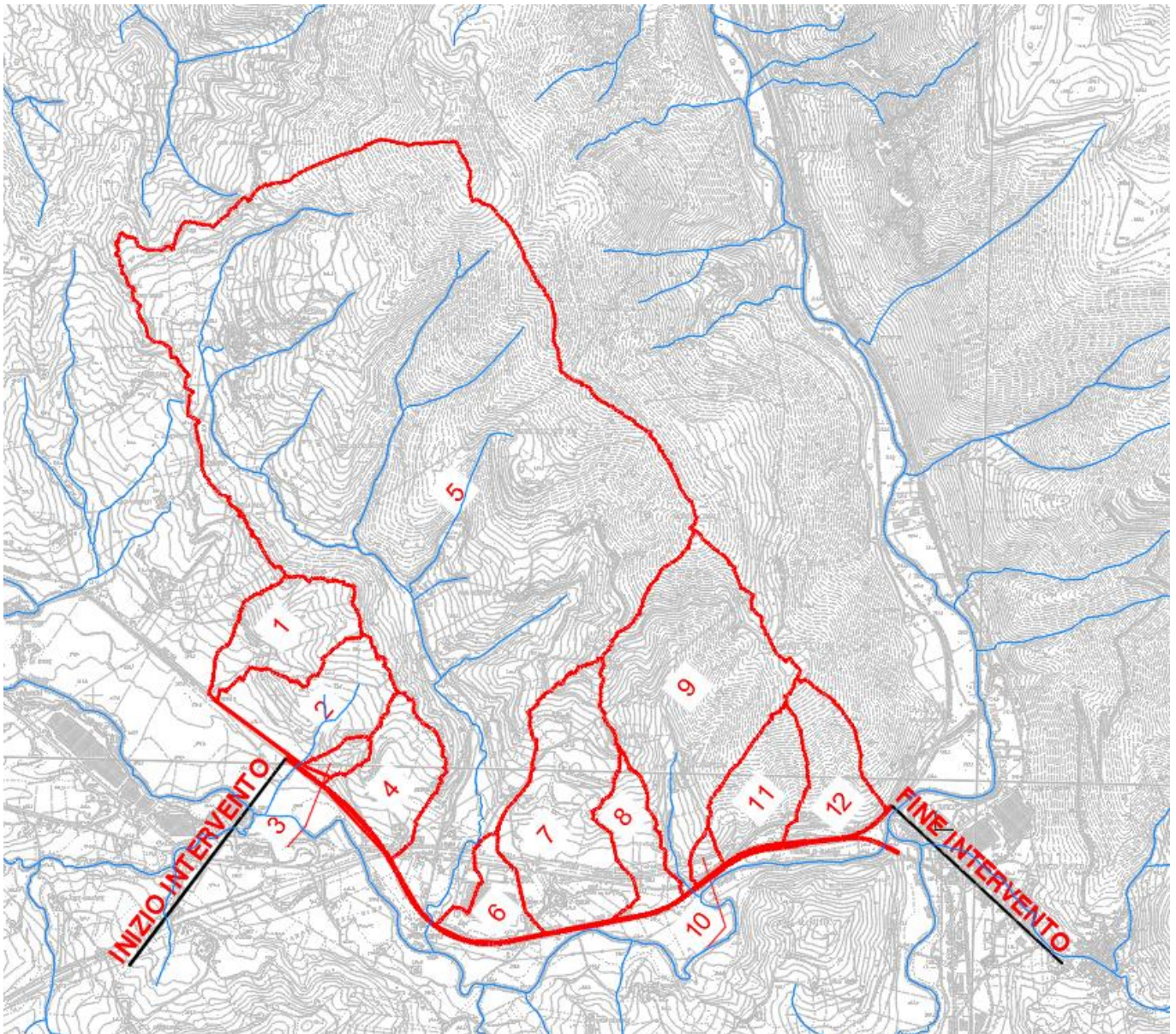


Fig. 3 – Bacino idrografico del Torrente Giano: sottobacini minori di interesse.

	L	A	H_{min}	H_{max}	H_{med}	P_{asta}	P_{bac}
ID	(km)	(kmq)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m/m)	(m/m)
1	0,946	0,325	276	430	361	0,16	0,24
2	0,799	0,375	272	410	331	0,17	0,22
3	0,299	0,044	278	342	314	0,21	0,28
4	0,944	0,308	261	380	313	0,13	0,20
5	5,787	6,299	260	956	510	0,12	0,40
6	0,692	0,160	250	288	265	0,05	0,04
7	1,573	0,689	242	480	315	0,15	0,17
8	0,955	0,194	244	410	286	0,17	0,17
9	2,003	1,079	241	730	440	0,24	0,47
10	0,28	0,033	244	319	270	0,27	0,28
11	0,782	0,283	235	580	358	0,44	0,50
12	0,256	0,281	235	600	364	0,37	0,44

Tab. 2 – Sottobacini (minori) di interesse del Torrente Giano: dati morfometrici.

4. STUDIO IDROLOGICO DEL BACINO DEL TORRENTE GIANO E DEL FIUME ESINO

4.1 Generalità

L'analisi delle precipitazioni intense è stata eseguita mediante il confronto dei risultati derivanti dall'applicazione di due metodologie:

- procedura *Va.P.I.* "Rapporto regionale per i compartimenti di Bologna, Pisa, Roma e zona emiliana del bacino del Po";
- elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche disponibili per l'area di studio mediante il metodo di Gumbel.

Nello specifico, il metodo *Va.P.I.* si basa sull'impiego di piogge estreme regionalizzate nell'ambito degli studi del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) condotti tramite il modello probabilistico TCEV (Two - Component Extreme Value). I dati pluviometrici analizzati sono desunti dalle pubblicazioni del Servizio Idrografico Italiano (oggi SIMN) relative ai Compartimenti di Bologna, Pisa e Roma, e l'archivio dei dati pluviometrici, basato sulle citate pubblicazioni, e aggiornato agli anni '90.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE – FALCONARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PM228-ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>					
<p>RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<p>COMMESSA IR0E</p>	<p>LOTTO 00 R 09</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 12 di 43</p>

L'elaborazione statistica mediante il metodo di Gumbel prende in esame le serie storiche dei dati di pioggia, aggiornate alle recenti registrazioni (fino al 2020), riferite alle stazioni pluviometriche di interesse, fornite dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Marche.

La scelta dei tempi di ritorno di riferimento per il calcolo delle altezze di pioggia, e quindi delle portate, di progetto è stata effettuata in conformità a quanto previsto nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2020), nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018), e nella relativa circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019 "*Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*", nonché nella pianificazione di bacino vigente (i.e. *P.G.R.A.A.C.*, 2021).

In particolare, per i corsi d'acqua principali e secondari, quali il Torrente Giano, Fiume Esino e i relativi affluenti, e la verifica di compatibilità idraulica delle relative opere di attraversamento e dell'infrastruttura ferroviaria in progetto nel suo complesso, il tempo di ritorno di progetto è fissato in 200 anni. Sono presi in considerazione anche i tempi di ritorno di 50 e 500 anni, in accordo alla definizione delle classi di pericolosità idraulica riportata nel *P.G.R.A.A.C.*.

4.2 Metodologia Va.P.I. – Regione Marche

Per il territorio di competenza dei Compartimenti del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Bologna, di Pisa e di Roma non sono stati ancora pubblicati Rapporti Regionali specifici.

Ciononostante, 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 (DISTART 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.

Questi studi, integrati con ulteriori analisi attualmente in corso relativamente alla modellazione statistica degli eventi idrometrici massimi annuali osservati nei bacini idrografici compresi tra lo Scrivia (Emilia) ed il Tronto (Marche), costituiranno la base per la redazione del Rapporto Finale che sarà effettuato durante il prossimo triennio di attività del GNDCI, con coordinamento presso il DISTART dell'Università di

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE – FALCONARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PM228-ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Bologna a cura delle U.O. sopra menzionate e dell'U.O. attualmente in corso di istituzione presso la Facoltà di Ingegneria di Ferrara.

In questa sede si cerca di sintetizzare i risultati salienti delle analisi prima menzionate, fornendone unicamente gli aspetti puramente operativi.

4.2.1. Va.Pi.: regionalizzazione delle piogge

L'area interessata dagli studi comprende i bacini idrografici affluenti in destra Po compresi tra lo Scrivia ed il Panaro (Ufficio Idrografico del Po di Parma), i bacini idrografici con foce in Adriatico compresi tra il fiume Reno ed il fiume Tronto (Compartimento SIMN di Bologna), nonché quelli con foce in Tirreno tra il Serchio e l'Albegna (Compartimento SIMN di Pisa) e tra il Marta a Nord ed il Tevere a Sud (Compartimento SIMN di Roma).

La rete pluviometrica cui si è fatto riferimento risulta composta da 1556 stazioni di misura con numerosità variabile da 1 a 72 anni, per 540 delle quali sono disponibili anche le osservazioni relative ai massimi annuali delle altezze di pioggia di durata inferiore al giorno, con numerosità variabile da 1 a 62 anni.

L'analisi statistica è stata condotta sulle stazioni con almeno 30 anni di osservazione, individuando così 792 stazioni di misura della precipitazione giornaliera (numerosità media campionaria 48 anni) e 240 delle piogge di durata 1-24 ore (numerosità media campionaria di 43 anni).

L'analisi pluviometrica inizialmente svolta da Franchini e Galeati [1994] in riferimento al compartimento SIMN di Bologna ha portato all'identificazione di 2 sotto zone omogenee (SZO), una zona costiera ed una zona appenninica, la cui omogeneità in senso statistico è stata confermata in un successivo studio da Brath et al. [1998]. Tale studio, come già precedentemente ricordato, si estende anche ai bacini idrografici di competenza dei SIMN di Pisa e Roma. Esso ha portato alla identificazione nell'ambito delle regioni Toscana, Umbria e Lazio di due ulteriori SZO: la prima include la zona tirrenica costiera e parte della vallata del Tevere, mentre la seconda i contrafforti appenninici lungo il versante tirrenico. Un più recente studio, che integra i precedenti dati pluviometrici con quelli relativi ai bacini idrografici in destra Po compresi tra lo Scrivia e il Panaro (cfr. Brath e Franchini, 1999), ha infine condotto ad una leggera modifica nella suddivisione delle 2 SZO omogenee individuate sul versante adriatico ed alla delimitazione di 3 ulteriori SZO nel territorio di competenza dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma.

L'intero territorio indagato risulta in definitiva suddiviso in 7 SZO omogenee nei confronti delle precipitazioni intense, visualizzate nella figura seguente, 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 :

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

risultano completamente definite dai parametri riportati in tabella.

Sottozona	Λ_*	θ_*	Λ_1	η
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

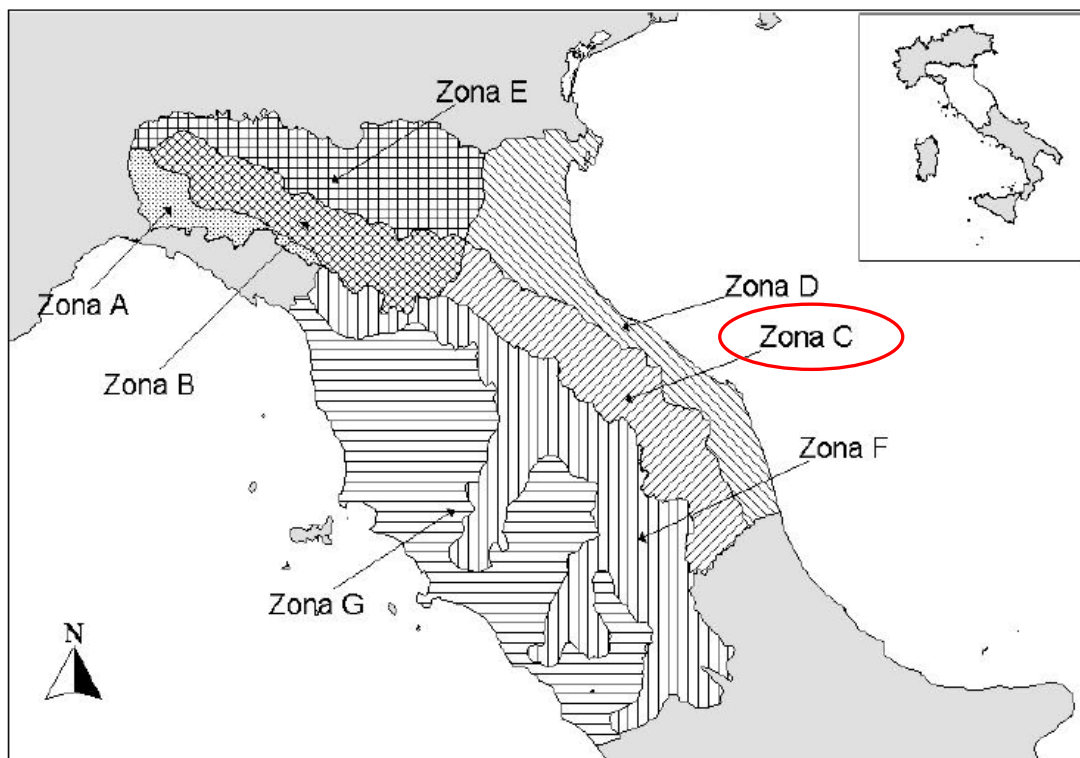


Fig. 4 – Va.P.I.: compartimenti di Bologna, Pisa e Roma, sottozone omogenee.

Per un agevole utilizzo operativo delle curve di crescita occorrerebbe disporre della forma inversa della precedente equazione (*) tramite la quale, fissato il valore T del periodo di ritorno di interesse, ricavare il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T .

Poichè per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile, nella tabella seguente sono riportati i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (*) 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

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T$$

che, sostituendo gli opportuni valori dei parametri, conduce alle seguenti espressioni approssimanti, il cui uso comporta comunque per periodi di ritorno superiori a 50 anni errori sempre inferiori al 10%:

$$\text{SZO A: } K_T = -0.5064 + 0.590 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO B: } K_T = 0.8115 + 0.292 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO C: } K_T = 0.7952 + 0.317 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO D: } K_T = 0.2071 + 0.510 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO E: } K_T = -1.8986 + 0.872 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO F: } K_T = -0.1064 + 0.473 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO G: } K_T = 0.3431 + 0.718 \text{Ln } T$$

Le analisi dei massimi annuali delle piogge brevi (1-24 ore) rilevati alle 240 stazioni di misura disponibili hanno evidenziato che l'ipotesi solitamente assunta di un fattore probabilistico di crescita K_T costante al variare della durata di pioggia non risulta soddisfatto in 5 delle 7 SZO.

Basandosi sia su risultati di carattere statistico sia su considerazioni legate alla applicabilità, quali limitare il numero di parametri di stima e porsi comunque, nei casi incerti, in condizioni conservative, in queste 5 SZO sono stati stimati, per le diverse durate, tutti o alcuni dei parametri descrittivi delle relative curve di crescita. I parametri ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Sottozona	Λ^*	θ^*	Λ_1	η	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	≥ 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	≥ 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	≥ 12 e 1g
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1
	0.144	2.042	33.03	4.321	≥ 3 e 1g
G	0.131	1.820	16.28	3.571	1
	0.770	2.391	24.71	5.140	3
	0.380	2.592	26.21	4.633	6
	0.303	2.799	30.01	4.680	12
	0.221	3.322	30.78	4.628	24 e 1g

La stima dei corrispondenti valori di K_T può essere dedotta dalla (*) oppure mediante le espressioni approssimanti (sopra introdotte) caratterizzate da un errore di stima inferiore al 10% per T maggiore di 50 anni. 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:

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

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

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 della curva di possibilità climatica 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).

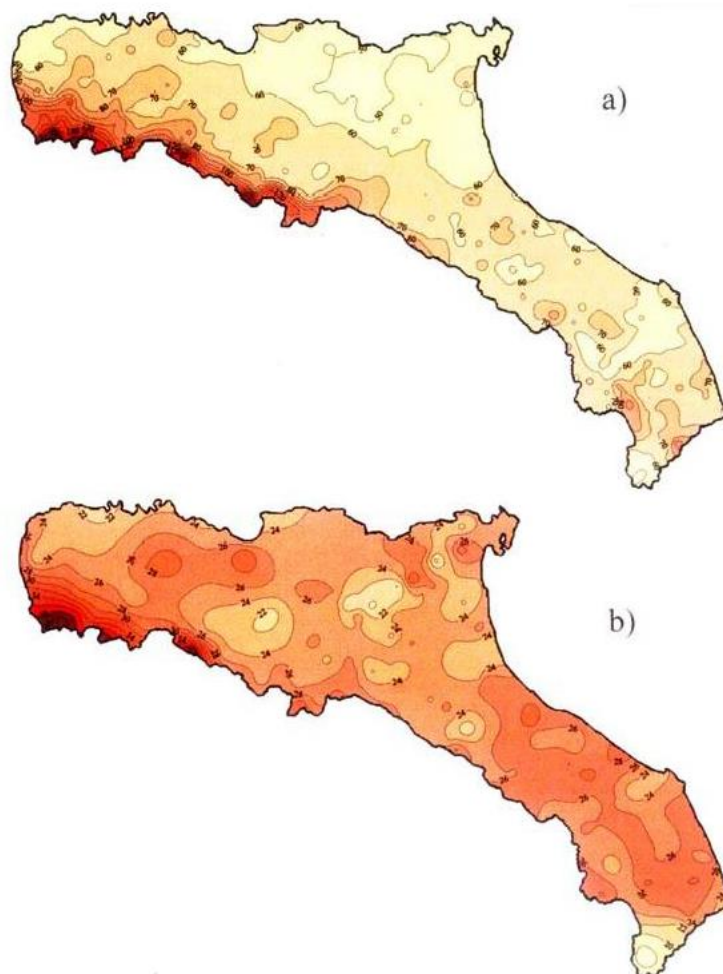


Fig. 5 – Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b).

La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata d e tempo di ritorno T si ottiene moltiplicando il fattore di crescita opportuno per la precipitazione indice deducibile tramite la curva di possibilità climatica.

Per il sottobacino (totale) del Fiume Esino di interesse, ricadente nella "zona omogenea C", sono stati stimati valori dei parametri $m(h_1)$ e $m(h_g)$ pari rispettivamente a 25 e 60.

La tabella seguente riporta i valori calcolati per i parametri a e n delle leggi di pioggia per i diversi tempi di ritorno di riferimento considerati.

Tr (anni)	50	200	500
a	51.3	62.0	69.3
n	0.312	0.312	0.312

Tab. 3 – Va.P.I.: valori dei parametri a e n della curva di possibilità climatica, per i sottobacini di interesse del Fiume Esino e del Torrente Giano.

4.3 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono prese in considerazione le registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura mostrate nella tabella e nella figura seguenti, di riferimento per i sottobacini del Fiume Esino e del Torrente Giano di interesse.

Stazione	Periodo di osservazione	# osservazioni
<i>Campodiegoli</i>	1990-2020	31
<i>Esanatoglia</i>	2001-2020	20
<i>Fabriano</i>	1935-2020	82
<i>Pioraco</i>	1935-2020	82
<i>San Giovanni</i>	2001-2020	20
<i>Sassoferrato</i>	1991-2020	30
<i>Serralta</i>	1991-2020	28

Tab. 4 – Stazioni pluviometriche di riferimento per i sottobacini di interesse.

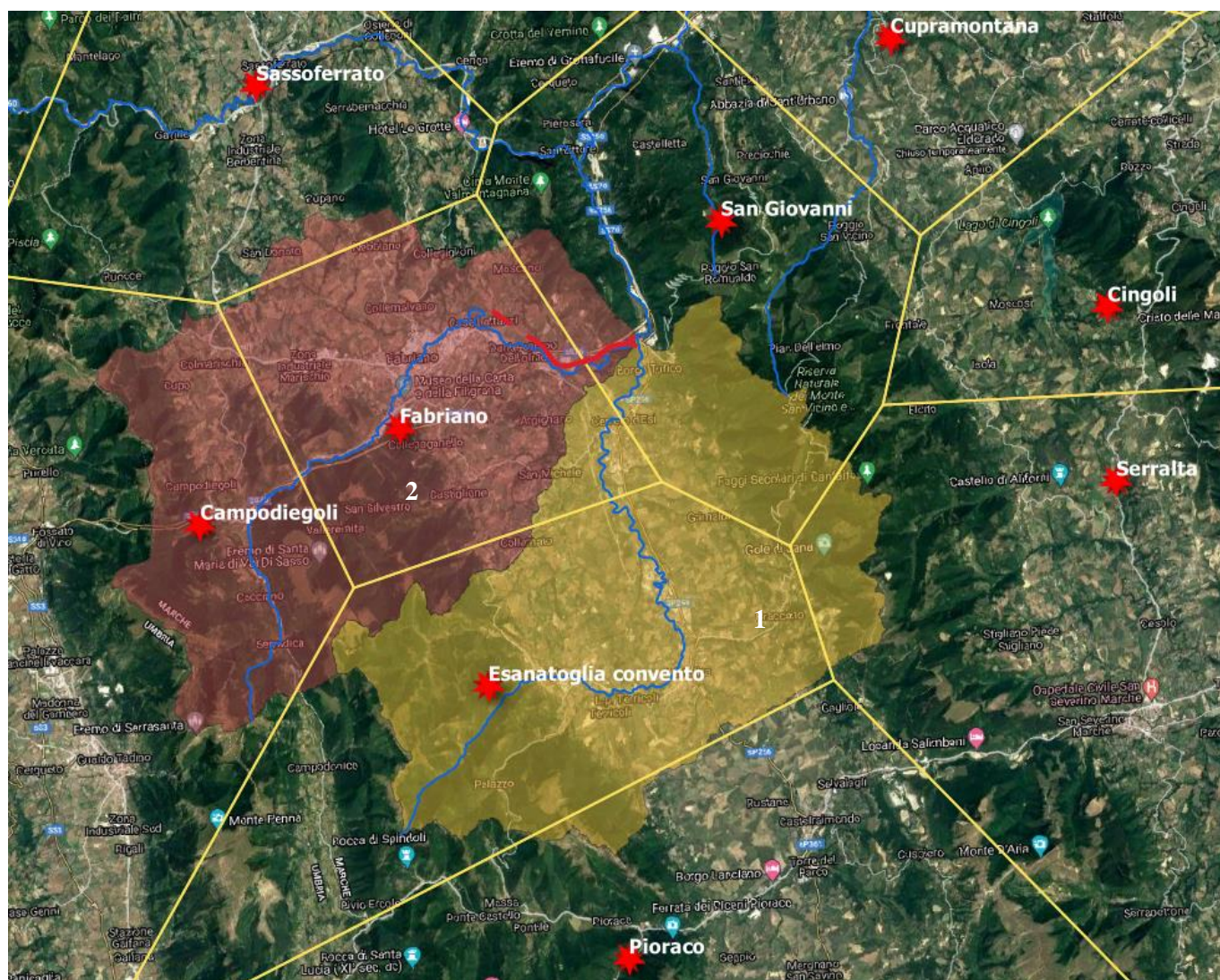


Fig. 6 – Stazioni pluviometriche (e relativi topoi) di riferimento per i sottobacini di interesse.

Si è proceduto quindi all'elaborazione statistica delle serie storiche di altezza di pioggia per 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrate e disponibili presso le stazioni di misura sopra individuate, secondo il modello di Gumbel. Tale metodo prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione, intesi come variabili indipendenti.

Nello specifico, la funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta y :

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

si ha la forma canonica:

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

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

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

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

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare. Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si basa sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende soltanto da h (= precipitazione) secondo la relazione lineare:

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

La stima dei parametri α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Si ottengono quindi per α e u le seguenti espressioni:

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

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

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

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

E' stata quindi ricavata l'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di precipitazione (h) in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata. A questo scopo, si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente forma:

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

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica). L'intensità di precipitazione $j(T_r, \tau)$ è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

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

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

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

Nelle tabelle seguenti, sono dunque riportati i valori a e n (per durate di pioggia superiori all'ora), relativamente alle stazioni di misura considerate, per i tempi di ritorno (Tr) di riferimento adottati.

Stazione	$a(50)$	$n(50)$	$a(200)$	$n(200)$	$a(500)$	$n(500)$
<i>Campodiegoli</i>	48.6	0.309	57.28	0.311	63.0	0.312
<i>Esanatoglia</i>	49.7	0.207	59.98	0.193	66.7	0.186
<i>Fabriano</i>	52.4	0.246	63.67	0.244	71.1	0.243
<i>Pioraco</i>	45.5	0.332	54.38	0.335	60.2	0.337
<i>San Giovanni</i>	51.1	0.361	60.90	0.367	67.4	0.369
<i>Sassoferrato</i>	69.9	0.28	88.50	0.274	100..8	0.271
<i>Serralta</i>	66.1	0.22	82.41	0.203	93.2	0.195

Tab. 5 – Stazioni pluviometriche di riferimento: valori dei parametri a e n .

Con riferimento ai sottobacini individuati, l'altezza di pioggia (ragguagliata all'area del singolo sottobacino) può essere valutata mediante l'applicazione del metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoi). In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoi è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono. Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topoi che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoi che appartiene al bacino:

$$V_p = \sum_{i=1}^N h_i (\Omega_i \cap S)$$

in cui i è il generico topoi/poligono di Thiessen; N , il numero dei topoi; h_i , l'altezza di pioggia misurata nella stazione; Ω_i è l'area del topoi; S , la superficie del bacino. Quindi, l'altezza di pioggia (h) ragguagliata all'area può essere dedotta come $h = V_p/S$.

4.4 Confronto tra le curve di possibilità pluviometrica disponibili per l'area di studio

Di seguito, si riporta il confronto tra le curve di possibilità pluviometrica (CPP), per un tempo di ritorno di 200 anni, ricavate dall'applicazione della metodologia Va.P.I. – Regione Marche ed elaborate per le stazioni pluviometriche di riferimento, come precedentemente descritto.

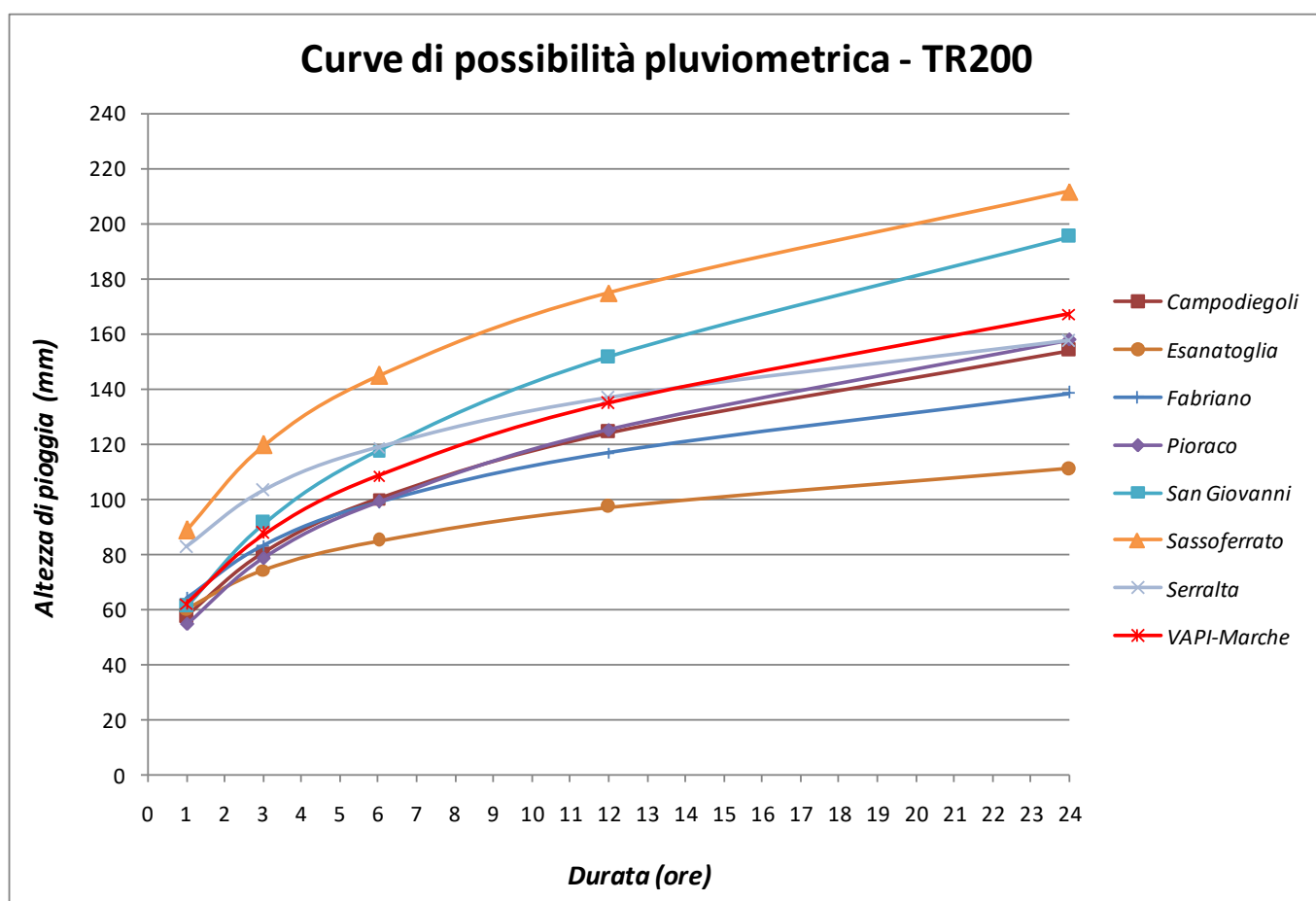


Fig. 7 – Confronto tra le curve di possibilità pluviometrica ($Tr = 200$ anni) ricavate dalle differenti metodologie adottate.

Si osserva che la CPP derivante dall'applicazione della metodologia Va.P.I. fornisce valori di precipitazione superiori rispetto a quelli forniti dalle CPP relative alle stazioni pluviometriche considerate, eccetto per le stazioni di Sassoferatto, San Giovanni e Serralta (per durate inferiori a 12 ore) che restituiscono invece valori di precipitazione superiori e più cautelativi della metodologia Va.P.I. – Regione Marche.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE – FALCONARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PM228-ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B	FOGLIO 24 di 43

4.5 Modello idrologico del bacino del Torrente Giano e del Fiume Esino

Il modello idrologico dei bacini in esame è stato costruito mediante il software HEC HMS (versione 4.8), sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers, in analogia a quanto sviluppato nello studio condotto dal *Consorzio di Bonifica delle Marche* (rif. "Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico – Indagine condotta sui bacini idrografici dei fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna").

Ogni sottobacino è schematizzato attraverso l'opzione "sub basin creation tool" all'interno del quale sono inseriti i dati relativi a: estensione del bacino, metodo di trasformazione afflussi-deflussi, metodo per il calcolo della pioggia efficace. I nodi idrologici (ovvero le confluenze) sono schematizzati attraverso l'opzione "junction creation tool". I tratti fluviali, che uniscono i vari nodi idrologici, sono schematizzati attraverso l'opzione "reach creation tool", all'interno del quale deve essere definito il metodo di propagazione della piena (*routing method*).

Nella figura seguente, si riporta il modello idrologico così costruito.

In generale, per il calcolo della pioggia netta o efficace ovvero del quantitativo di pioggia che partecipa effettivamente al deflusso, si è fatto riferimento al metodo del *Soil Conservation Service* che, utilizzando i valori del cosiddetto Curve Number (CN), permette di calcolare il volume di acque trattenuto nel terreno in funzione del tipo di copertura e uso del suolo e del tipo di suolo.

Il CN varia da 0 a 100; più alto è il valore, maggiore è il deflusso prodotto a parità di precipitazione. Il CN dipende da: classificazione della permeabilità del suolo secondo quattro gruppi idrologici del suolo (A, B, C, D); classificazione dell'uso del suolo e sistemazione della superficie (i.e. solchi dritti, solchi a reggi-poggio, terrazzamenti,...); condizioni di drenaggio; condizioni iniziali di saturazione dei suoli (AMC). Per la suddivisione in classi di suolo si è fatto riferimento alla "Carta delle Province pedologiche" della Regione Marche.

Le differenti tipologie di suolo sono state inizialmente accorpate in 18 macrogruppi sulla base delle caratteristiche tessiturali, granulometriche e litologiche; ad ognuna di esse sono state poi assegnate, in percentuale, le quattro classi di permeabilità (A, B, C, D).

Per la classificazione del territorio in base all'uso del suolo è stato invece utilizzato il *Corine Land Cover 2018* al 4° livello (fonte: ISPRA). Il valore del CN così ottenuto corrisponde alla condizione II delle *Antecedent Moisture Conditions* (AMC), ovvero a quella che prevede terreni mediamente saturi.

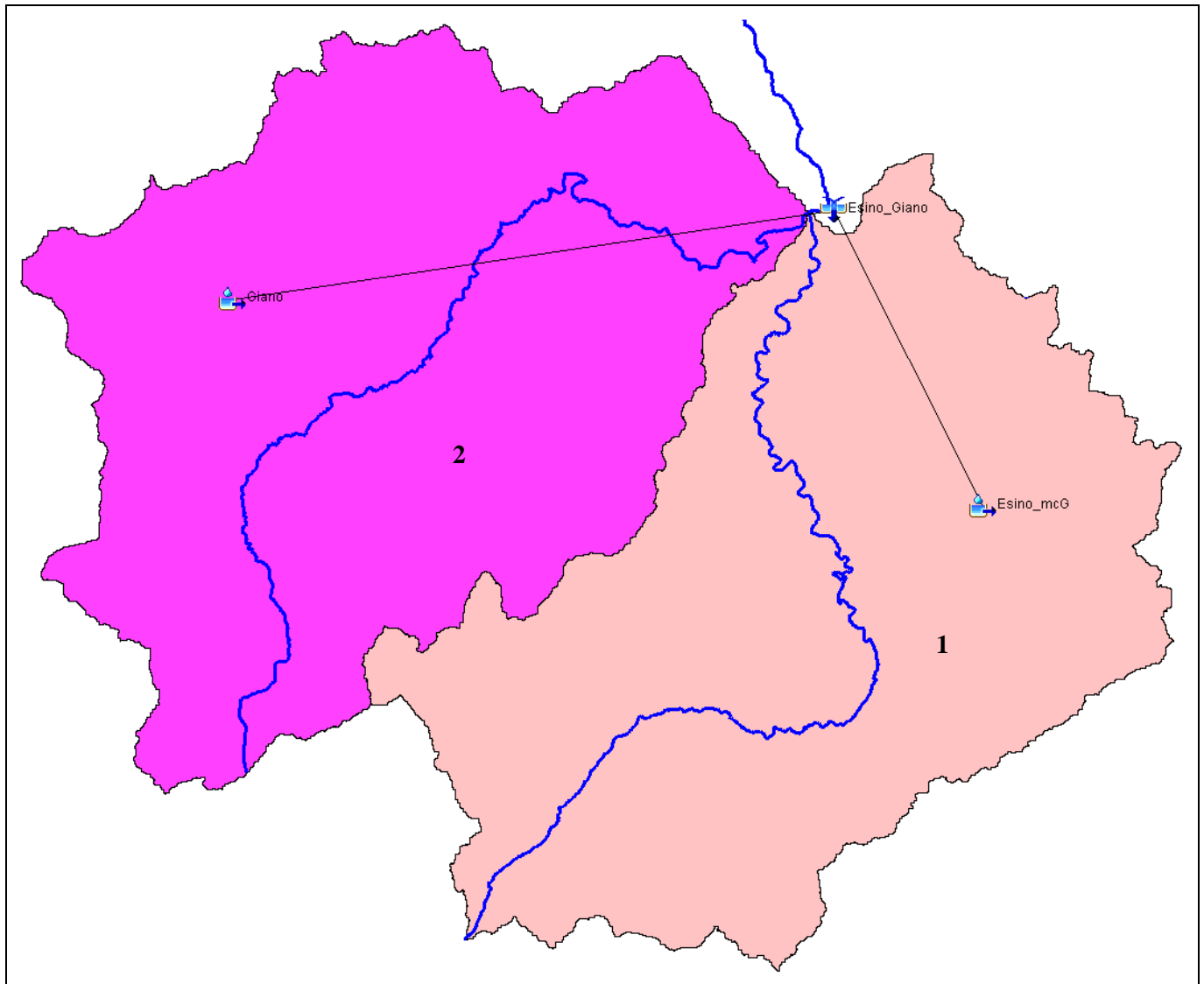


Fig. 8 – Costruzione del modello idrologico del sottobacino del Fiume Esino in esame in HEC HMS.

Tale valore iniziale è stato modificato secondo la seguente relazione assimilandolo alla condizione III delle AMC:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057 \times CN(II)}$$

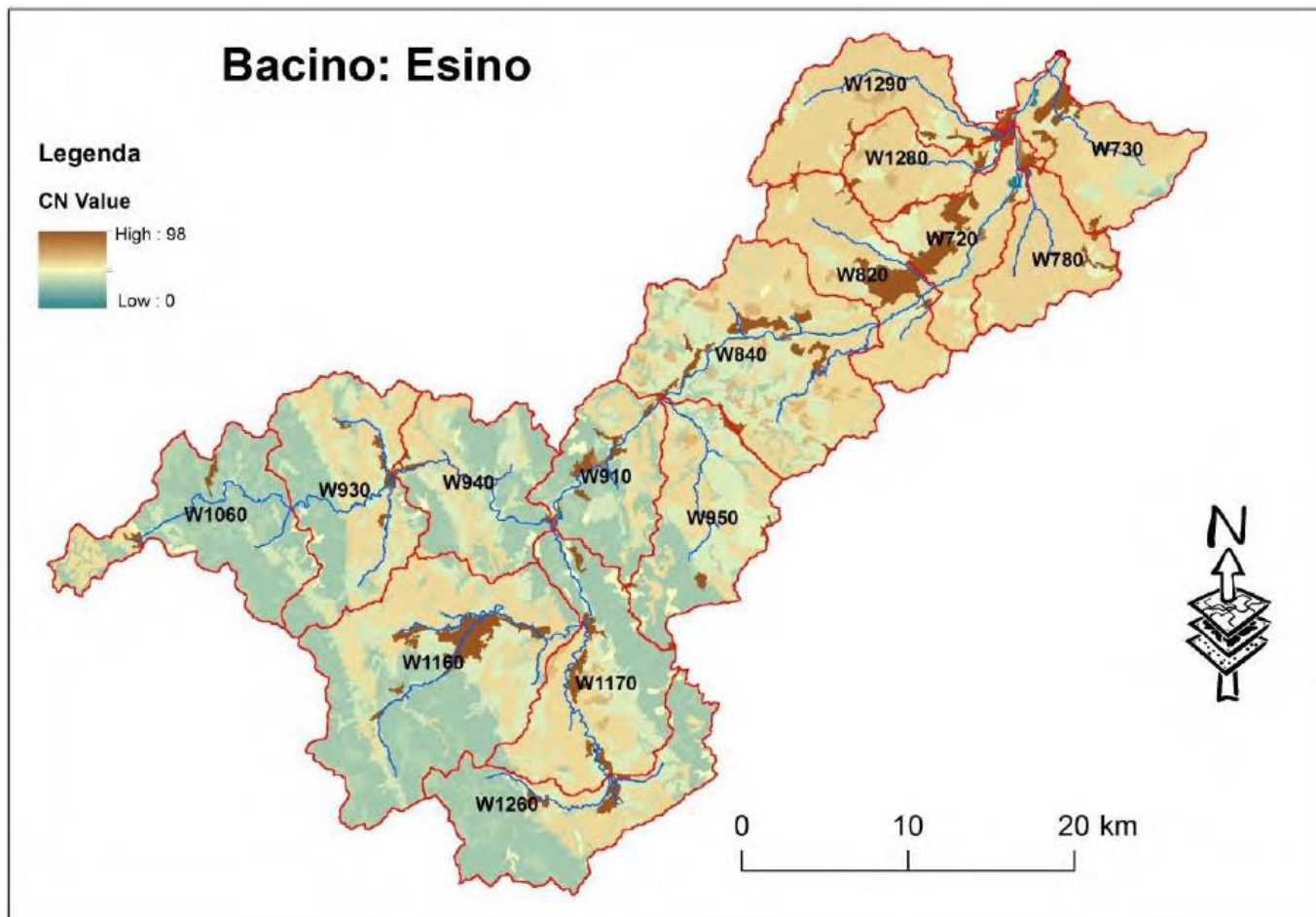


Fig. 9 – Bacino del Fiume Esino: carta del Curve Number (AMC II), fonte: Consorzio di Bonifica delle Marche “Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico – Indagine condotta sui bacini idrografici dei fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna”.

Per ogni sottobacino individuato è stato quindi valutato il valore medio del CN (II e III), come mostrato nella tabella seguente.

ID	Sottobacino	CN (II)	CN (III)
1	F. Esino (a monte confluenza T. Giano)	65	81
2	T. Giano	65	81

Tab. 6 – Valori del CN (II e III, AMC) per i sottobacini considerati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE – FALCONARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PM228-ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IROE	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

La scelta del metodo di formazione della piena è ricaduta su quello dell'idrogramma unitario del *Soil Conservation Service* che prevede il calcolo del cosiddetto *tempo di ritardo* (SCS Lag), stimato attraverso la formula di Mockus (SCS, 1972):

$$t_{lag} = 0.342 \cdot L^{0.8} s^{-0.5} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui L è la lunghezza dell'asta principale (km); s , la pendenza media dell'asta principale (%); CN, il Curve Number; t_{lag} , il tempo di ritardo in ore.

Nella tabella seguente, si riportano i valori del tempo di ritardo adottati per ognuno dei sottobacini in esame.

ID	Sottobacino	SCS lag (ore)	SCS lag (minuti)
1	F. Esino (a monte confluenza T. Giano)	7.2	433
2	T. Giano	6.5	387

Tab. 7 – Valori del parametro SCS lag per i sottobacini considerati.

Per la valutazione degli idrogrammi di piena di progetto ($Tr = 50, 200, 500$ anni) si è scelto di adottare lo ietogramma di tipo Chicago (triangolare). Rispetto ad altri, questo rappresenta meglio alcune caratteristiche degli ietogrammi osservati, come la presenza del picco di intensità, le precipitazioni antecedenti e seguenti l'istante del picco e i volumi totali (fonte: *Consorzio di Bonifica delle Marche "Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico – Indagine condotta sui bacini idrografici dei fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna"*).

Nello ietogramma Chicago, la massima altezza di precipitazione cumulata su qualsiasi durata t è sempre pari all'altezza di precipitazione dedotta dalla CPP per la medesima durata t .

Definiti tutti i parametri del modello idrologico, si è proceduto alla determinazione degli idrogrammi di piena di progetto, per i tempi di ritorno di riferimento ($Tr = 50, 200, 500$ anni), per i due sottobacini di interesse del T. Giano e del F. Esino.

Dapprima, sono stati applicati gli ietogrammi di tipo Chicago (triangolare) costruiti assumendo una durata (critica) di pioggia pari a 12 ore (in analogia allo studio condotto dal Consorzio di Bonifica delle Marche: *"Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico – Indagine condotta sui bacini idrografici dei*

fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna”) e adottando le curve di possibilità pluviometrica con $Tr = 200$ anni derivanti dall’elaborazione statistica (Gumbel, Tab. 5) delle registrazioni presso le stazioni di misura considerate (distribuiti poi sui singoli sottobacini individuati mediante il metodo dei poligoni di topoieti, Tab. 8) e dall’applicazione della procedura *Va.P.I. – Regione Marche* (stesso ietogramma applicato su tutti i sottobacini individuati, Tab. 3).

Stazione\ID sottobacino	1	2
<i>Campodiegoli</i>	0	36%
<i>Esanatoglia</i>	66%	5%
<i>Fabriano</i>	5%	52%
<i>Pioraco</i>	3%	0
<i>San Giovanni</i>	19%	5%
<i>Sassoferrato</i>	0	2%
<i>Serralta</i>	7%	0

Tab. 8 – Percentuali di superficie dei singoli sottobacini considerati ricadente nei topoieti delle stazioni pluviometriche di riferimento.

Di seguito, i risultati in termini di portate al colmo ($Tr = 200$ anni) per i sottobacini di interesse ottenuti applicando i due set di curve di possibilità pluviometrica (CPP Gumbel vs Va.P.I.).

Bacino/tratto fluviale	Q200 (mc/s) Gumbel (12h)	Q200 (mc/s) Va.P.I. (12h)
<i>Torrente Giano</i>	405.3	459.6
<i>F. Esino (a monte della confluenza del T. Giano)</i>	336.6	421.1

Tab. 9 – Fiume Esino e Torrente Giano: valori di portata al colmo per $Tr = 200$ anni: CPP Gumbel vs Va.P.I..

Confrontando i valori riportati nella tabella precedente, si evince che ietogrammi derivanti dall’applicazione della metodologia Va.P.I. tendono a massimizzare le portate al colmo dei corsi d’acqua oggetto di studio, nei tratti fluviali di interesse. Pertanto, si è deciso di applicare le CPP derivanti dalla metodologia Va.P.I. – Regione Marche nella determinazione degli idrogrammi di piena di progetto.

Definite le CPP di riferimento (i.e. Va.P.I. – Regione Marche), sono stati costruiti gli ietogrammi di tipo Chicago (triangolare) assumendo altri valori della durata di pioggia, nello specifico 6 e 24 ore, al fine di verificare se effettivamente la durata di 12 ore possa ritenersi “critica” per i sottobacini in esame.

Applicando tali idetogrammi nel modello idrologico, si ottengono i seguenti risultati (in termini di portata al colmo con $Tr = 200$ anni).

Bacino/tratto fluviale	Q200 (mc/s) Va.P.I. (12h)	Q200 (mc/s) Va.P.I. (6h)	Q200 (mc/s) Va.P.I. (24h)
<i>Torrente Giano</i>	459.6	413.5	413.8
<i>F. Esino (a monte della confluenza del T. Giano)</i>	421.1	369	391.9

Tab. 10 – Fiume Esino e Torrente Giano: valori di portata al colmo per $Tr = 200$ anni, Va.P.I., per diversi valori della durata di pioggia critica.

Si osserva che la durata di pioggia pari a 12 ore tende a massimizzare i valori di portata al colmo nei tratti fluviali del Fiume Esino e del Torrente Giano oggetto di studio. Pertanto, è confermata l'assunzione di durata di pioggia critica pari a 12 ore per i sottobacini in esame.

A questo punto, si è proceduto alla determinazione delle portate al colmo e dei corrispondenti idrogrammi di piena del Fiume Esino e del Torrente Giano anche per i tempi di ritorno di 50 e 500 anni.

Di seguito si riportano i valori di portata al colmo e gli idrogrammi di piena finali, di progetto, assunti nelle successive modellazioni idrauliche (rif. IR0E00R09RIID0002001B), relativi ai sottobacini individuati.

ID	Sottobacino	Q50 (mc/s)	Q200 (mc/s)	Q500 (mc/s)
1	<i>F. Esino (a monte confluenza T. Giano)</i>	332.4	421.1	480.6
2	<i>T. Giano</i>	362.7	459.6	524.5

Tab. 11 – Fiume Esino: valori di portata al colmo di progetto per vari tempi di ritorno.

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0E	00 R 09	RI	ID0001 001	B	30 di 43

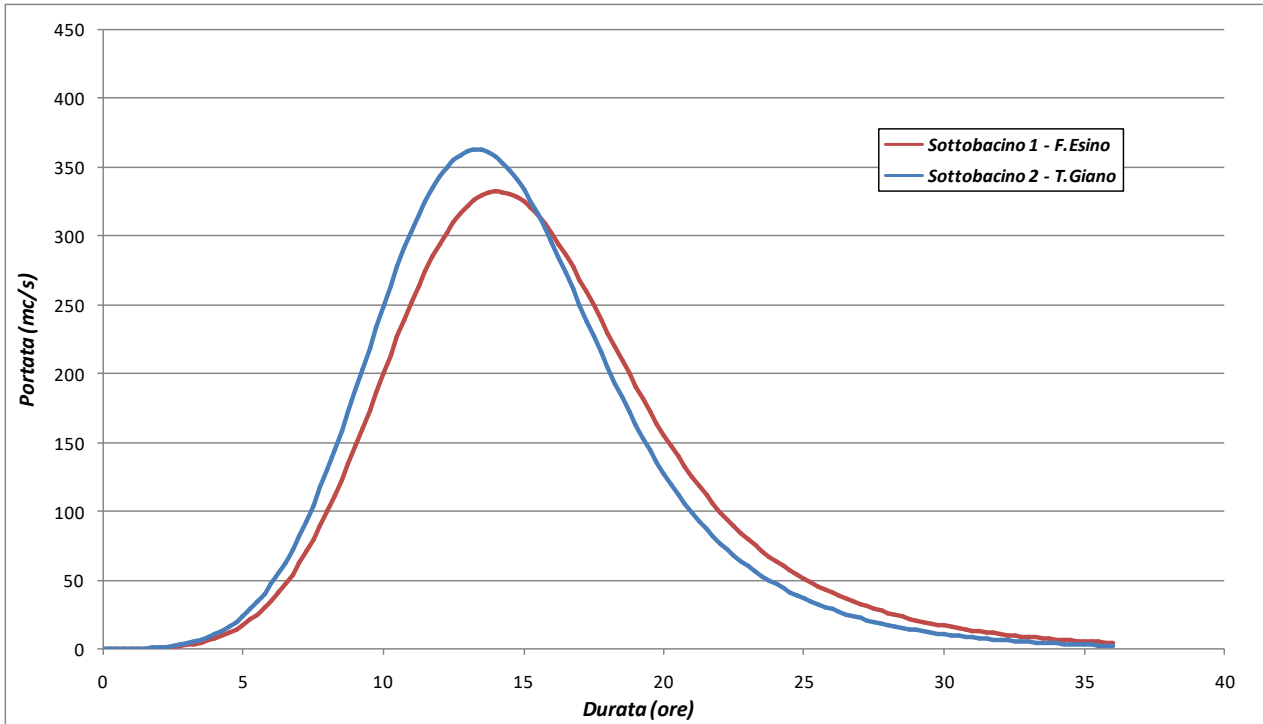


Fig. 10 – Fiume Esino e Torrente Giano: idrogrammi di piena di progetto per $Tr = 50$ anni.

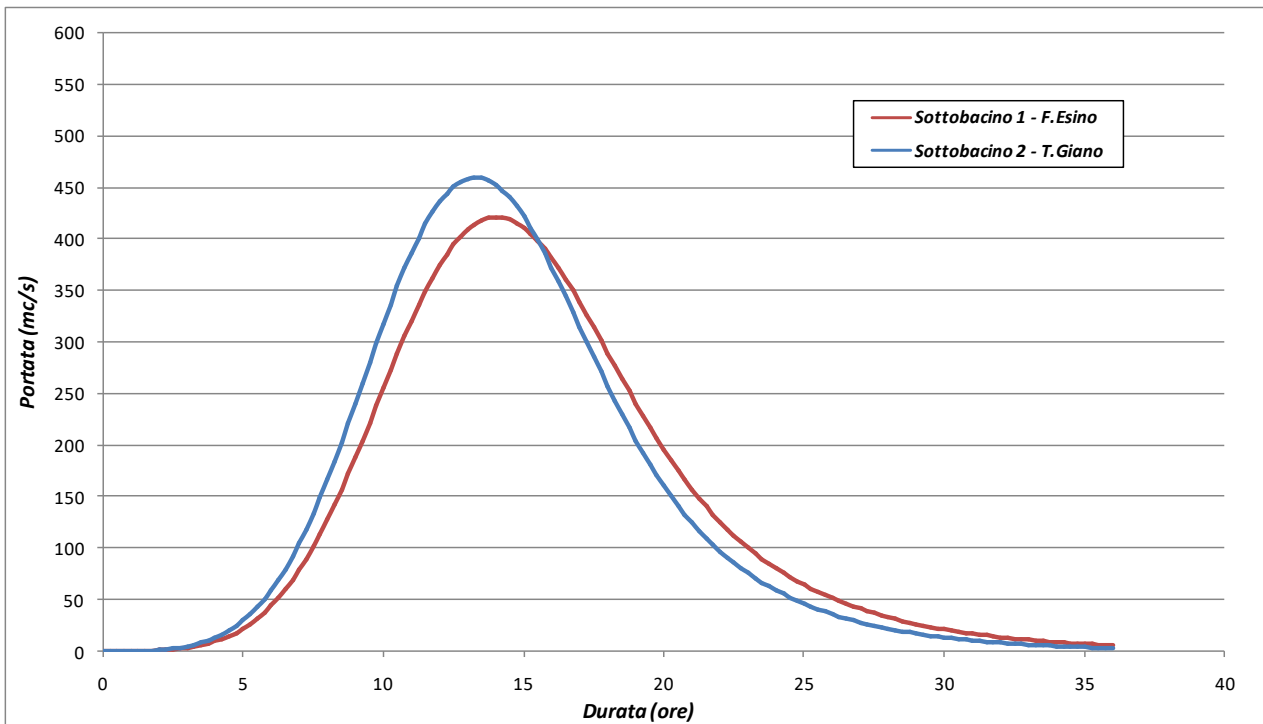


Fig. 11 – Fiume Esino e Torrente Giano: idrogrammi di piena di progetto per $Tr = 200$ anni.

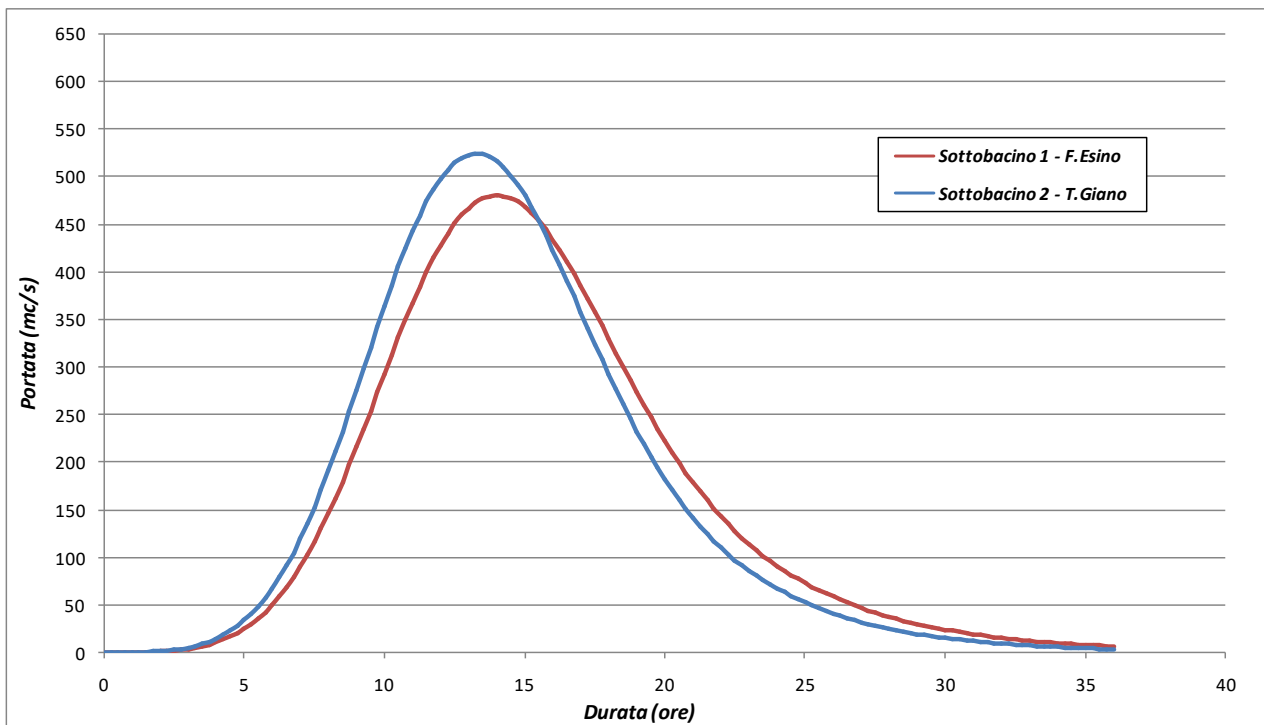


Fig. 12 – Fiume Esino e Torrente Giano: idrogrammi di piena di progetto per $Tr = 500$ anni.

4.6 Corsi d'acqua minori (affluenti del Torrente Giano)

Sulla base dell'analisi pluviometrica precedentemente esposta, si è proceduto alla determinazione delle massime precipitazioni con tempo di ritorno di 200 anni sui bacini idrografici minori in esame, facendo riferimento ai due set di curve di possibilità pluviometrica determinati (Gumbel, Va.P.I. Marche).

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 di seguito riportate:

- Pasini (T_c in ore)

$$T_c = \frac{0.108}{\sqrt{i_m}} * \sqrt[3]{A * L}$$

- Ventura (T_c in ore)

$$T_c = 0.01272 * \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

- Pezzoli (T_c in ore)

$$T_c = \frac{0.055 * L}{i_m^{0.5}}$$

- Kirpich (T_c in ore)

$$T_c = 0.0651 * L^{0.77} * I_v^{-0.385}$$

dove:

- A è l'area del bacino (km²);
- 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.

Per le relative caratteristiche morfometriche, necessarie al calcolo sopra esposto, si rimanda alla Tab. 2.

La tabella seguente riporta i valori dei tempi di corrivazione ottenuti con le varie formule considerate ed il valore scelto pari al minimo tra quelli ottenuti. Nella trattazione, il tempo di corrivazione ottenuto è stato posto pari a 15 minuti quando il valore ottenuto è risultato minore di tale durata, ritenuta “*minima*” al fine di tenere conto dell'effetto di invaso che si ha generalmente all'inizio della precipitazione (rif. Da Deppo et al. 2004).

ID	Progressiva km	Pezzoli (h)	Ventura (h)	Pasini (h)	Kirpich (h)	Tc min (h)	Tc scelto (h)
1	0+850 (NVP01)	0.13	0.18	0.18	0.11	0.11	0.25
2	0+0785	0.11	0.19	0.17	0.10	0.10	0.25
3	0+241.8	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.25
4	0+729.3	0.15	0.20	0.20	0.12	0.12	0.25
5	1+212	0.92	0.92	1.03	0.37	0.37	0.37
6	1+863.4	0.16	0.22	0.22	0.17	0.16	0.25
7	2+154.5	0.22	0.27	0.28	0.19	0.19	0.25
8	2+578.9	0.13	0.13	0.15	0.13	0.13	0.25
9	2+695	0.22	0.27	0.28	0.15	0.15	0.25
10	2+892.6	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.25
11	3+212.3	0.06	0.10	0.10	0.07	0.06	0.25
12	3+700	0.09	0.11	0.12	0.09	0.09	0.25

Tab. 12 – Bacini minori: valori dei tempi di corrivazione ottenuti.

Utilizzando i parametri delle CPP sopra determinate (Gumbel, Va.P.I. Marche), si è proceduto pertanto al calcolo dell'altezza di pioggia di progetto (tempo di ritorno di 200 anni). Con riferimento alle CPP derivanti dall'applicazione del modello di Gumbel, in bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi come quelli in esame, caratterizzati da tempi di corrivazione brevi, inferiori all'ora, per il calcolo dell'altezza di pioggia si è fatto riferimento alla 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*). Nello specifico, 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 $5 < \tau < 120$ 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	Stazione pluviometrica di riferimento	a 200	n 200	$h_{Tc,200}$ (mm) pesata
1	Fabriano	63.7	0.244	35.8
2	Fabriano	63.7	0.244	35.8
3	Fabriano	63.7	0.244	35.8
4	Fabriano	63.7	0.244	35.8
5	Fabriano	63.7	0.244	41.4
	San Giovanni	60.9	0.367	
6	Fabriano	63.7	0.244	35.8
7	Fabriano	63.7	0.244	34.7
	San Giovanni	60.9	0.367	
8	San Giovanni	60.9	0.367	34.3
9	San Giovanni	60.9	0.367	34.3
10	San Giovanni	60.9	0.367	34.3
11	San Giovanni	60.9	0.367	34.3
12	San Giovanni	60.9	0.367	34.3

Tab. 13 – Bacini minori: valori dell'altezza di pioggia di progetto (Gumbel).

Con riferimento alla metodologia Va.P.I., per i corsi d'acqua minori oggetto di studio si ha:

t_c (h)	a200	n200	$h_{60,200}$ VAPI (mm)	$h_{Tc,200}$ VAPI (mm)
0.25	62	0.312	62	40.2

Tab. 14 – Bacini minori: valori dell'altezza di pioggia di progetto (VAPI).

Per la stima della massima portata al colmo di piena dei corsi d'acqua minori si è fatto riferimento al metodo razionale basato sull'assunzione 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:

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

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).

La procedura utilizzata per il calcolo della "pioggia netta" (P_n) si basa sul metodo del Curve Number (CN), formulato dal Soil Conservation Service (SCS) nel 1972, già applicato per i bacini maggiori, valutando dapprima il *CN – AMC II* e successivamente il *CN – AMC III*.

Nello specifico, la relazione tra la pioggia effettivamente caduta nel bacino e la pioggia efficace è espressa come:

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

- 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:

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

Il parametro S è funzione a sua volta del tipo di terreno, del grado di saturazione e dell'uso del suolo, ovvero dipende da CN:

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

Nella tabella seguente, sono riepilogati i calcoli eseguiti e confrontati i valori di portata ottenuti applicando le metodologie sopra descritte.

ID	Progressiva km	CN	S (mm)	I_a (mm)	P_n BELL (mm)	P_n VAPI (mm)	Q GUMBEL (mc/s)	Q VAPI (mc/s)
1	0+850 (NVP01)	81	59.58	11.92	6.86	9.12	2.48	3.29
2	0+0785	81	59.58	11.92	6.86	9.12	2.86	3.80
3	0+241.8	81	59.58	11.92	6.86	9.12	0.34	0.45
4	0+729.3	81	59.58	11.92	6.85	9.12	2.34	3.12
5	1+212	74	89.24	17.85	4.90	6.47	23.39	30.87
6	1+863.4	81	59.58	11.92	6.85	9.12	1.22	1.62
7	2+154.5	81	59.58	11.92	6.32	9.12	4.84	6.98
8	2+578.9	81	59.58	11.92	6.10	9.12	1.31	1.97
9	2+695	81	59.58	11.92	6.10	9.12	7.31	10.93
10	2+892.6	81	59.58	11.92	6.10	9.12	0.22	0.33
11	3+212.3	81	59.58	11.92	6.10	9.12	1.92	2.87
12	3+700	81	59.58	11.92	6.10	9.12	1.90	2.85

Tab. 15 – Valori di portata ottenuti per i sottobacini

Dal 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 le successive verifiche idrauliche poiché più cautelativi.

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

Nello specifico, si osserva in generale che la portata specifica (Q_s) assume un valore pressoché costante (circa 100 l/s/ha) per i bacini con estensione inferiore/uguale a 1 km²; per superfici superiori (i.e. bacino con ID = 5), la portata specifica tende a diminuire.

ID	S (km ²)	S (ha)	Q (mc/s)	Q _s (mc/s/km ²)	Q _s (l/s/ha)
1	0.325	32.5	3.29	10.12	101.23
2	0.375	37.5	3.8	10.13	101.33
3	0.044	4.4	0.45	10.23	102.27
4	0.308	30.8	3.12	10.13	101.30
5	6.299	629.9	30.87	4.90	49.01
6	0.16	16	1.62	10.13	101.25
7	0.689	68.9	6.98	10.13	101.31
8	0.194	19.4	1.97	10.15	101.55
9	1.079	107.9	10.93	10.13	101.30
10	0.033	3.3	0.33	10.00	100.00
11	0.283	28.3	2.87	10.14	101.41
12	0.281	28.1	2.85	10.14	101.42

Tab. 16 – Bacini idrografici minori: portata specifica vs superficie del bacino.

5. EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (SNAC - MATTM, 2015). Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della *World Meteorological Organization* (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale.

Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'*Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways – RCP*), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici.

Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - RCP8.5). Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine "*proiezione climatica*", riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, *globali* e *regionali*, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali ("*Regional Climate Models*", RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km). Recentemente l'ISPRA (rif. "*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*", 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione. Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD), nonché la variazione "media d'insieme" (ENSEMBLE MEAN), con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

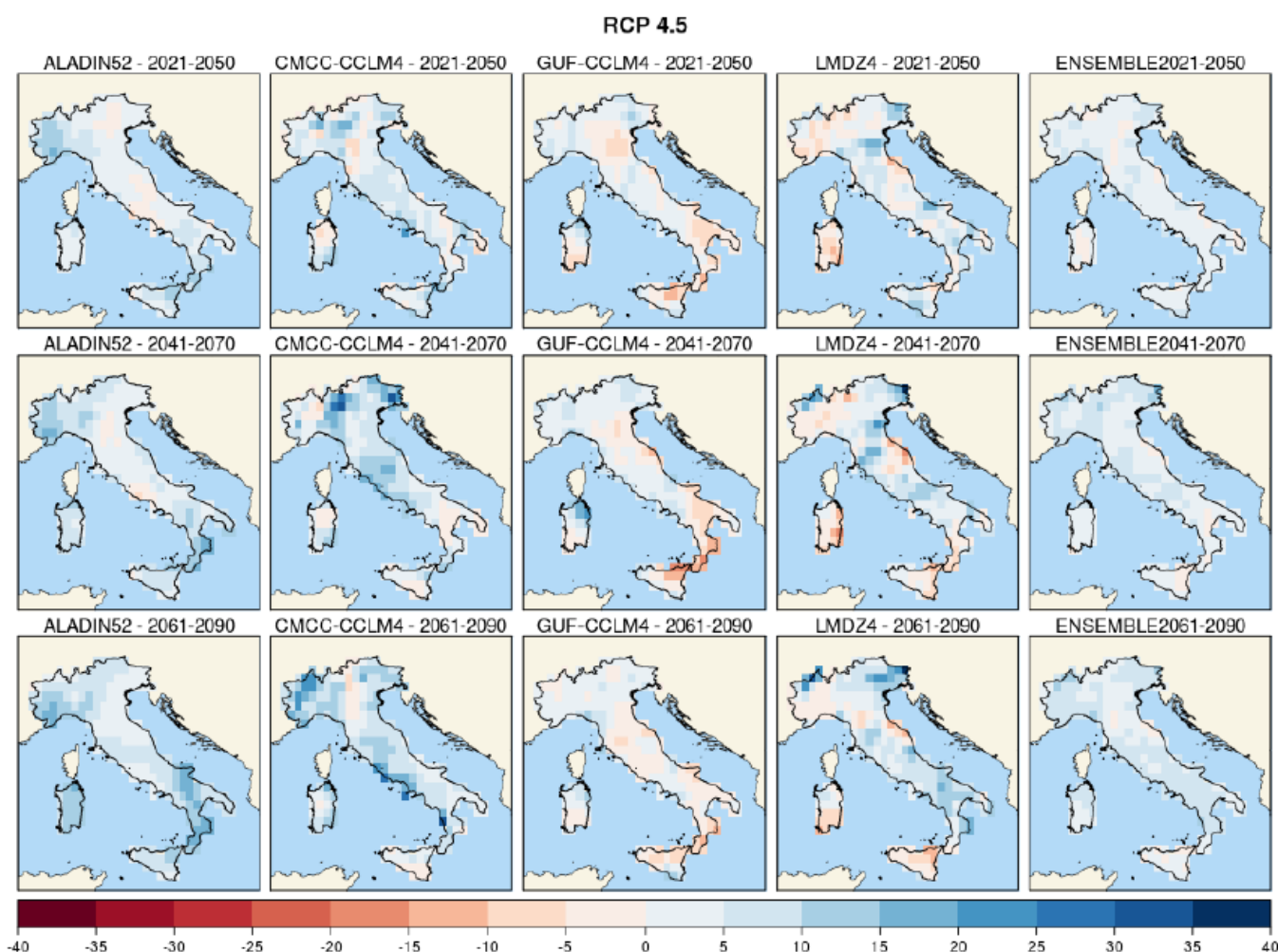


Fig. 13 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

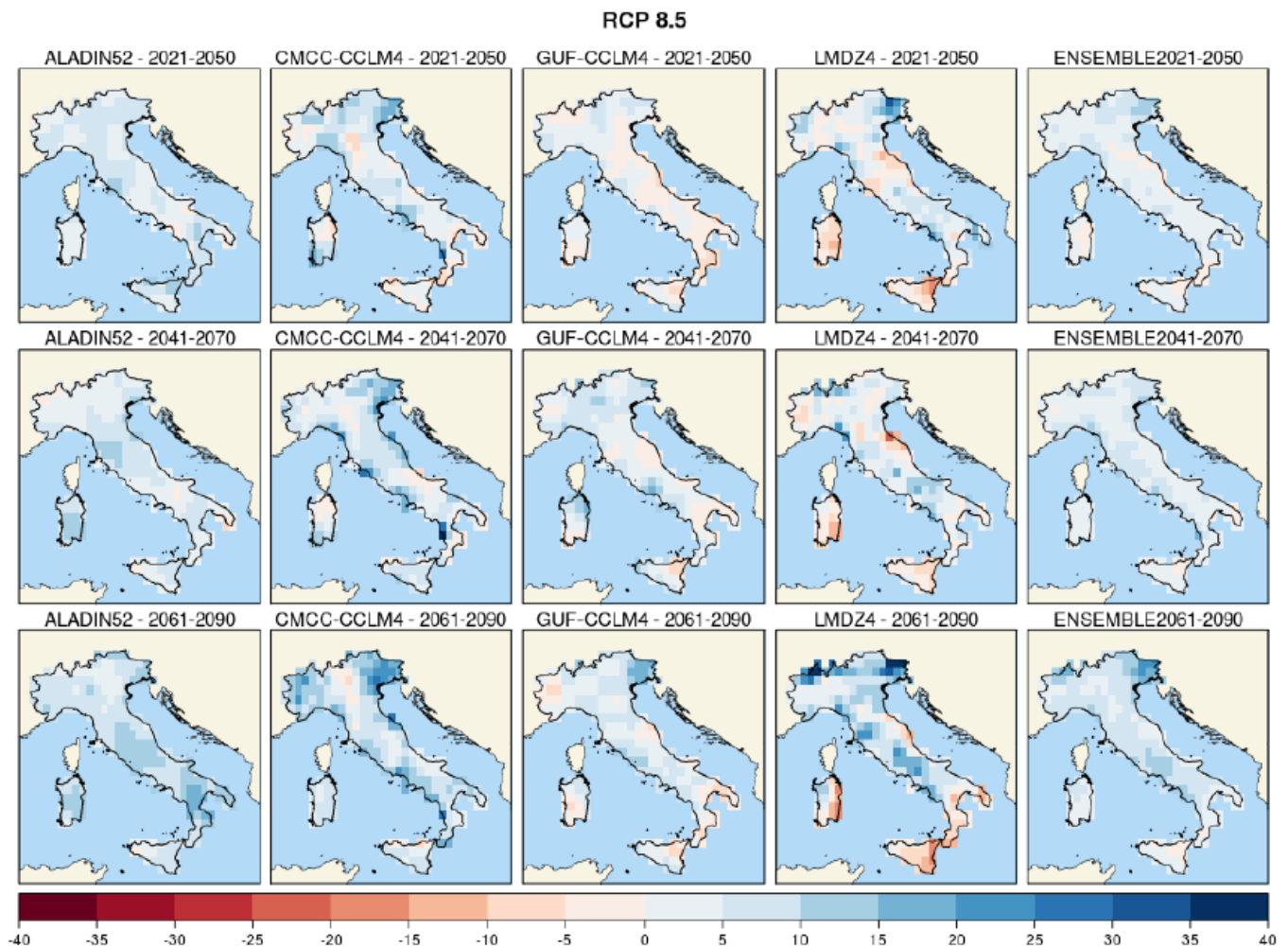


Fig. 14 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione, “media di insieme” (ENSEMBLE MEAN) e prevista dai quattro modelli meteo climatici adottati/considerati, di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), prevista nell’area di

intervento, per l'orizzonte temporale 2061-2090, con riferimento alla scenario "massimo" di emissione RCP8.5, dedotti dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione media (Emsemble mean) h_{24} (RCP8.5)	Variazione da modello ALADIN52 h_{24} (RCP8.5)	Variazione da modello CMCC-CCLM4 h_{24} (RCP8.5)	Variazione da modello GUL-CCLM4 h_{24} (RCP8.5)	Variazione da modello LMDZ4 h_{24} (RCP8.5)
2061-2090	+0÷5 mm	+5÷10 mm	+15÷20 mm	-5÷0 mm	+0÷5 mm

Tab. 17 – Valori medio e previsti dai quattro modelli meteo climatici di variazione di precipitazione massima giornaliera nell'area di intervento (ISPRA, 2015).

Con riferimento alle analisi idrologiche sopra descritte, ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni di misura di riferimento, il valore medio di precipitazione massima giornaliera (h_{24}), nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000, ammonta a **60.1 mm**.

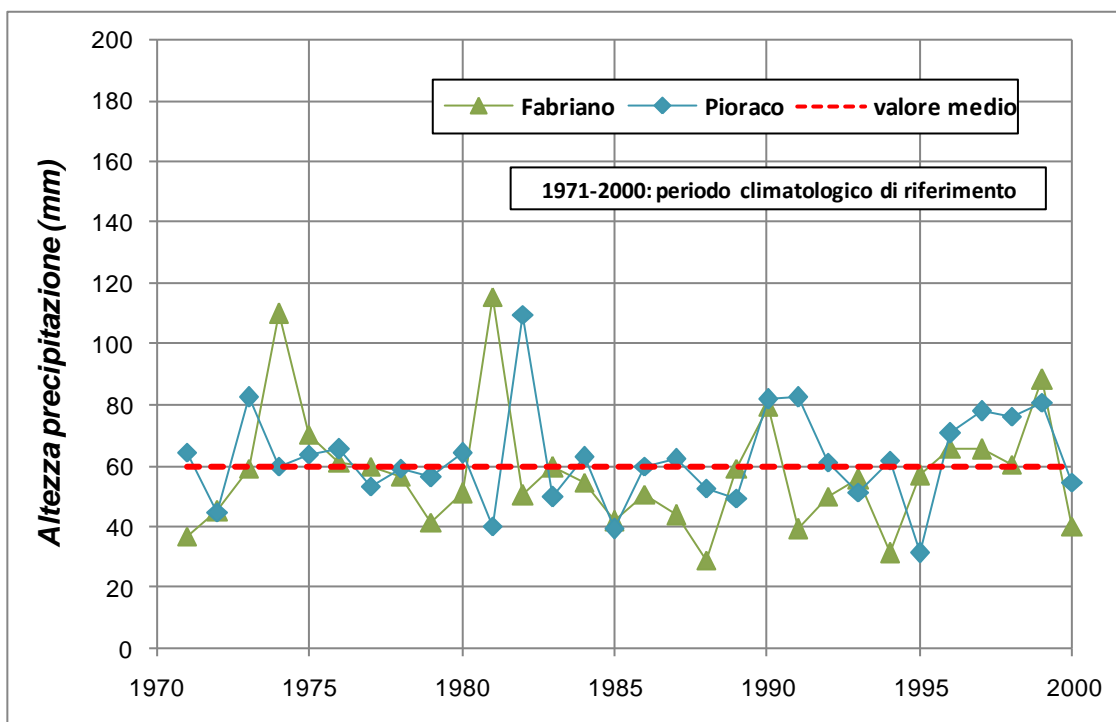


Fig. 15 – Stazioni pluviometriche di riferimento per il sottobacino del Fiume Esino in esame: serie storiche di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore (nel periodo climatologico 1971-2000).

Prendendo tale valore come riferimento, la variazione massima prevista, ossia +15-20 mm nel trentennio 2061-2090 secondo il modello meteo climatico più cautelativo (i.e. CMCC-CCLM4), corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del 25-33%.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE – FALCONARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PM228-ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B	FOGLIO 42 di 43

Analogamente, la variazione media prevista, ossia +0-5 mm nel trentennio 2061-2090 secondo la “media di insieme” (**ENSEMBLE MEAN**) dei risultati dei quattro modelli meteo-climatici adottati, corrisponderebbe ad **un incremento della precipitazione massima giornaliera dell’ 8.3%**.

Quest’ultimo valore di incremento previsto è sicuramente il più rappresentativo delle proiezioni climatiche disponibili previste anche dagli altri modelli meteo-climatici (e.g. il modello GUL-CCLM4 prevede addirittura una riduzione della precipitazione massima giornaliera).

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

Le considerazioni sopra esposte saranno prese come riferimento nelle analisi idrauliche a corredo del presente progetto per lo sviluppo di ulteriori verifiche di compatibilità sia delle opere di attraversamento (ponti/viadotti/tombini) sia dei sistemi di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria (che saranno definiti con maggiore dettaglio nella successiva fase progettuale), nei confronti quindi anche di eventuali variazioni (nello specifico, incrementi) delle precipitazioni per effetto dei cambiamenti climatici.

In particolare, sulla base delle portate incrementate per effetto del cambiamento climatico, si è proceduto a verificare se le opere di attraversamento fluviale e di drenaggio previste in progetto consentano il transito delle portate di riferimento (a pelo libero, senza specifico franco minimo) nell’ipotesi di incremento delle precipitazioni, dedotto dalle proiezioni più cautelative (massimo scenario di emissione, massima variazione prevista, modello meteo-climatico più gravoso, massimo orizzonte temporale) ad oggi disponibili. In mancanza di una specifica normativa o linea guida di riferimento (a livello nazionale e/o locale) sul tema, si ritiene che tale criterio di verifica sia ragionevole e conforme alle indicazioni riportate nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (MATTM, 2015).

I risultati di tali verifiche saranno forniti nella successiva fase progettuale.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

Da Deppo L., Datei C., *Fognature*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

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

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

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

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

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.