

057 – Bacino Idrografico del Fiume Belice

PROF. ING.
GABRIELE FRENI

[COMPANY NAME] | [Company address]

Indice

1	<i>Premessa</i>	2
2	<i>Sintesi dell'inquadramento morfologico e territoriale.....</i>	3
3	<i>Valutazione delle variabili climatiche e di consumo di suolo</i>	11
4	<i>Valutazione della suscettibilità dei bacini alle piene lampo.....</i>	21
5	<i>Valutazione della suscettibilità delle piene ai trend climatici</i>	36
6	<i>Modifiche alle misure di piano</i>	38
	6.1	Aggiornamento della valutazione dei punteggi tecnici alle misure inserite nel piano in relazione alla valutazione del cambiamento climatico.....38
	6.2	Proposta di nuove misure per la mitigazione delle piene lampo e dell'impatto del cambiamento climatico.....38

1 Premessa

L'appendice alla relazione fornisce, per ciascun bacino o area territoriale omogenea, l'inquadramento morfologico utile alla valutazione del rischio di piene lampo attraverso l'applicazione della metodologia geomorfologica Arno (Brugioni et al., 2010)¹. Per una più ampia discussione sulle caratteristiche morfologiche e sull'inquadramento geografico ed amministrativo del bacino, si rimanda alla relazione generale del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

In particolare, successivamente alla delimitazione di tutti i sottobacini con superficie superiore ai 2 kmq e, in generale, inferiore ai 15 kmq, si è proceduto alla valutazione degli indicatori morfologici utili alla stima del rischio di piene lampo: l'area del sottobacino ed il tempo di lag. È stata quindi analizzata la variabile indice idrologica (il tempo di ritorno delle piogge intense di durata pari ad un'ora e volume pari a 50mm) che è stata considerata un'adeguata "proxy" della frequenza con cui si manifestano eventi meteorici brevi ed intensi che possono determinare piene lampo. Infine, come ulteriore fattore predisponente, si è adoperato il grado di consumo di suolo per ciascun sottobacino espresso come il rapporto tra l'area consumata e l'area totale. Questi ultimi due indicatori, essendo soggetti a variabilità nel tempo per variazioni climatiche o per intervento antropico, sono stati valutati nelle condizioni attuali e nello scenario di medio periodo al 2050. Per ciascun fattore sono state determinate 4 classi attribuendo un punteggio da 1 a 4 dove i valori più bassi rappresentano una condizione di minore suscettibilità al fenomeno delle piene lampo. È stata poi effettuata una media aritmetica dei punteggi per ciascun bacino reputando che i fattori siano equipollenti nella determinazione del rischio di piene lampo.

Per i tratti fluviali caratterizzati da bacini drenati di maggiori dimensioni, si è proceduto ad una seconda analisi di valutazione dell'impatto del cambiamento climatico valutando il tempo di corrivazione (in analogia alla metodologia Arno) per il bacino drenato da ciascuna asta fluviale e assumendo come variabile di riferimento la variazione media areale (allo scenario 2050) delle altezze di pioggia di massima intensità annua e durata più prossima al tempo di corrivazione.

A seguito delle valutazioni analitiche, un apposito paragrafo evidenzia l'opportunità di integrare le misure previste dal piano con azioni specifiche volte alla mitigazione del rischio di piene lampo e dell'impatto del cambiamento climatico.

¹ M. Brugioni, B. Mazzanti and S. Franceschini (2010). How meaningful is flash flood risk mapping? - Arno River Basin Authority. WG F Thematic Workshop on Implementation of the Floods Directive 2007/60/EC "FLASH FLOODS AND PLUVIAL FLOODING", 26th – 28th May 2010, Cagliari, Italy.

2 Sintesi dell'inquadramento morfologico e territoriale

Il bacino del F. Belice si sviluppa lungo una direttrice NE-SW dalle aree a sud dei Monti di Palermo fino alla costa meridionale della Sicilia, tra Punta Granitola e Capo S. Marco.

L'assetto geomorfologico del Fiume Belice presenta caratteri variabili, da quelli tipici dell'entroterra isolano, a quelli delle fasce costiere meridionali e sud-occidentali. La morfologia è piuttosto varia: man mano che si procede dai settori settentrionali, in cui compaiono più estesamente le masse plastiche, fino alla fascia costiera mediterranea, dominano prevalentemente i terreni arenaceo-sabbioso.

Si evidenziano quindi forme definite, settori modellati con una morfologia ondulata e spianate dalla configurazione a terrazzi. Su questo tessuto caratterizzato da una frequente diversificazione della tipologia geolitologica delle rocce in affioramento, il reticolo idrografico del Belice si è articolato condizionando la configurazione geomorfologica di tutto il bacino. Nel complesso, l'assetto morfologico del bacino si presenta abbastanza vario in quanto risente delle diversità ed eterogeneità dei tipi litologici affioranti: laddove predominano i termini più francamente lapidei si hanno pareti ripide e pendii scoscesi, mentre in corrispondenza dei termini litologici di natura prevalentemente argillosa i pendii presentano morfologia più dolce e modellata. Il reticolo idrografico si adatta al substrato litologico cosicché le valli appaiono più strette nelle aree montuose e si slargano laddove i termini plastici lasciano ai corsi d'acqua maggiori spazi per la divagazione. I principali rami della rete idrografica scorrono incidendo, quindi, sia rocce lapidee che rocce sciolte, per cui lungo i versanti subentrano condizioni di dissesto e di intensa attività erosiva sia ad opera delle acque incanalate che del ruscellamento superficiale. Il bacino del Fiume Belice è il più esteso della Sicilia Occidentale. Il corso d'acqua ha vita perenne ed uno sviluppo idrografico completo.

Ad una cospicua zona sorgentizia, ubicata a Sud dei Monti di Palermo e a SW della Rocca Busambra, segue un tratto giovanile ripido, a forte pendenza, con alveo prevalentemente roccioso. Il tratto giovanile corrisponde in gran parte con le aste fluviali dei Fiumi Belice Sinistro e Belice Destro. A valle della confluenza tra questi ultimi il Fiume, modellandosi fra versanti argillosi e carbonatici, attenua la sua pendenza fino ad assumere il carattere vero e proprio di un fiume con decorso lento che si snoda in ampi meandri. Il corso d'acqua è alimentato da alcuni piccoli torrenti tra i quali il fosso Bicchinello in territorio di Corleone. Dallo stesso circondario confluisce, sempre in sinistra idrografica, il T. Corleone che trae origine dalla zona settentrionale di M. Cardellia e attraversa il centro abitato di Corleone.

Successivamente prende il nome di Belice Sinistro e riceve i vari affluenti, i principali dei quali sono il T. Batticano e T. Realbate. Dalla confluenza dei rami sinistro e destro il Belice, assumendo un orientamento NNE-SSW. Nel bacino del F. Belice sono stati realizzati e messi in esercizio i serbatoi "Piana degli Albanesi" e "Garcia" rispettivamente sul Belice Destro e sul Belice Sinistro. Complessivamente il bacino presenta un reticolo idrografico abbastanza articolato con regimi di tipo torrentizio che si estrinsecano in prolungati periodi di assoluta siccità alternati a periodi di piena, con tempi brevi di corrivazione dopo gli eventi meteorici. I maggiori volumi dei deflussi appaiono sempre concentrati nel semestre Novembre-Aprile. I rilievi più elevati si localizzano in corrispondenza delle impalcature carbonatiche dei circondari di Piana degli Albanesi, Corleone, Contessa Entellina e nella parte mediana del bacino, lungo

lo spartiacque fra i due rami principali del Belice. Nella parte meridionale del bacino, invece, la morfologia è più uniforme in relazione alla litologia calcarenitico-sabbiosa ed argilloso-marnosa diffusa in maniera prevalente.

La Tavola 1 inquadra territorialmente il bacino e ne fornisce alcune caratteristiche salienti. La Tavola 2 fornisce il dato relativo all'altimetria sulla base del Modello Digitale delle Elevazioni recentemente predisposto dal Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali e avente risoluzione spaziale pari a 10 m.

Le successive Tavole 3, 4 e 5 definiscono le funzioni di:

- Lunghezza dei percorsi di drenaggio dalla displuviale alla foce
- Flow Accumulation ovvero la superficie del bacino drenato da ciascun elemento del reticolo idrografico delineato
- Le pendenze dei versanti

L'insieme di questi elementi morfologici ha consentito di individuare i sottobacini drenati da ciascuna porzione del reticolo idrografico ed aventi superficie inferiore a 15 km². Complessivamente sono stati individuati 285 sottobacini su cui si è proceduto, nel paragrafo successivo a stimare i fattori predisponenti al rischio di piene lampo catalogando i sottobacini in 4 classi di Suscettibilità. Come previsto nel metodo, in considerazione della notevole estensione del bacino, i tratti fluviali che superano i 500 km² di bacino tributario non sono stati considerati nell'analisi di suscettibilità alle piene lampo.

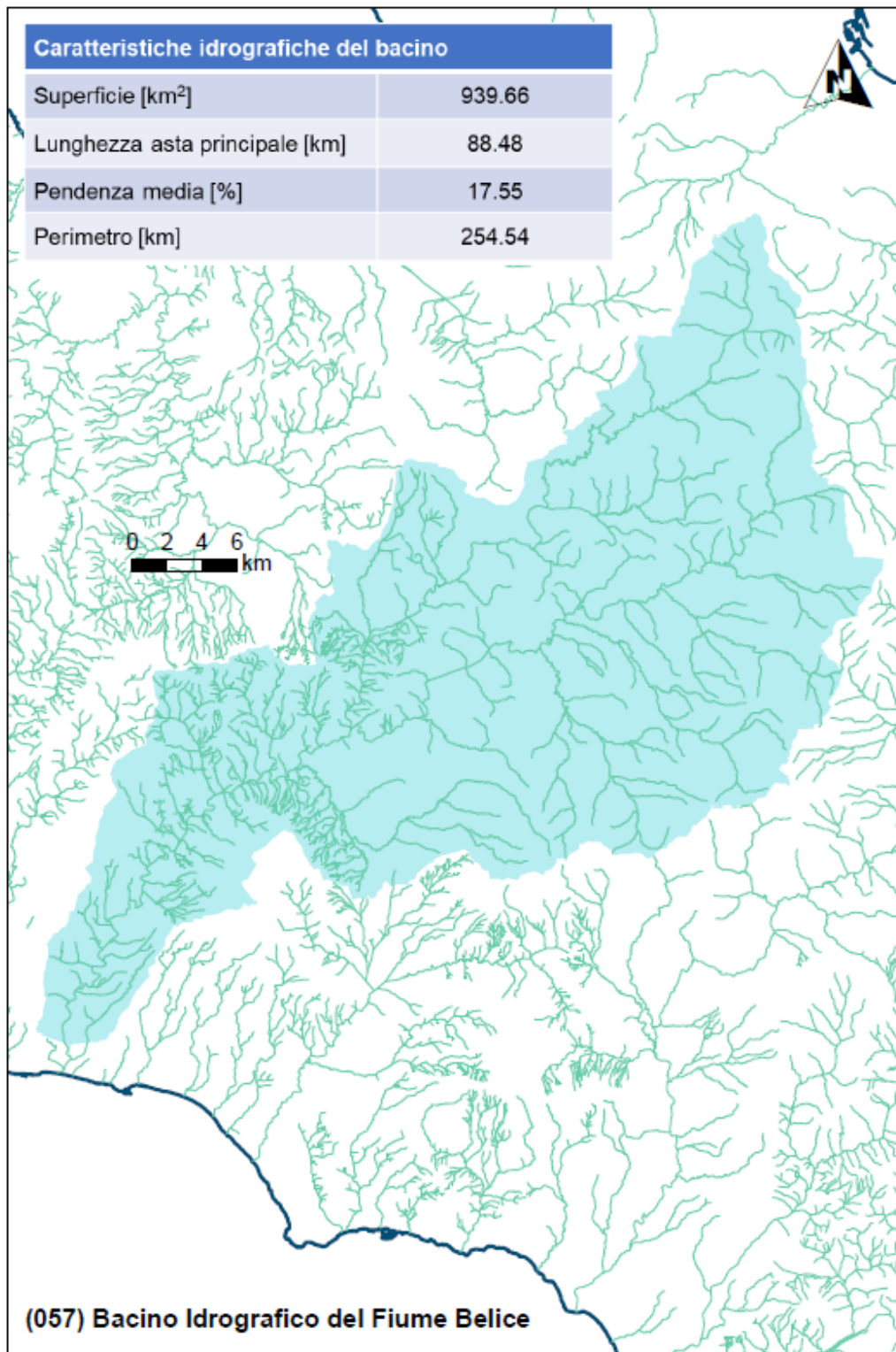


Figura 1 Inquadramento Territoriale del bacino

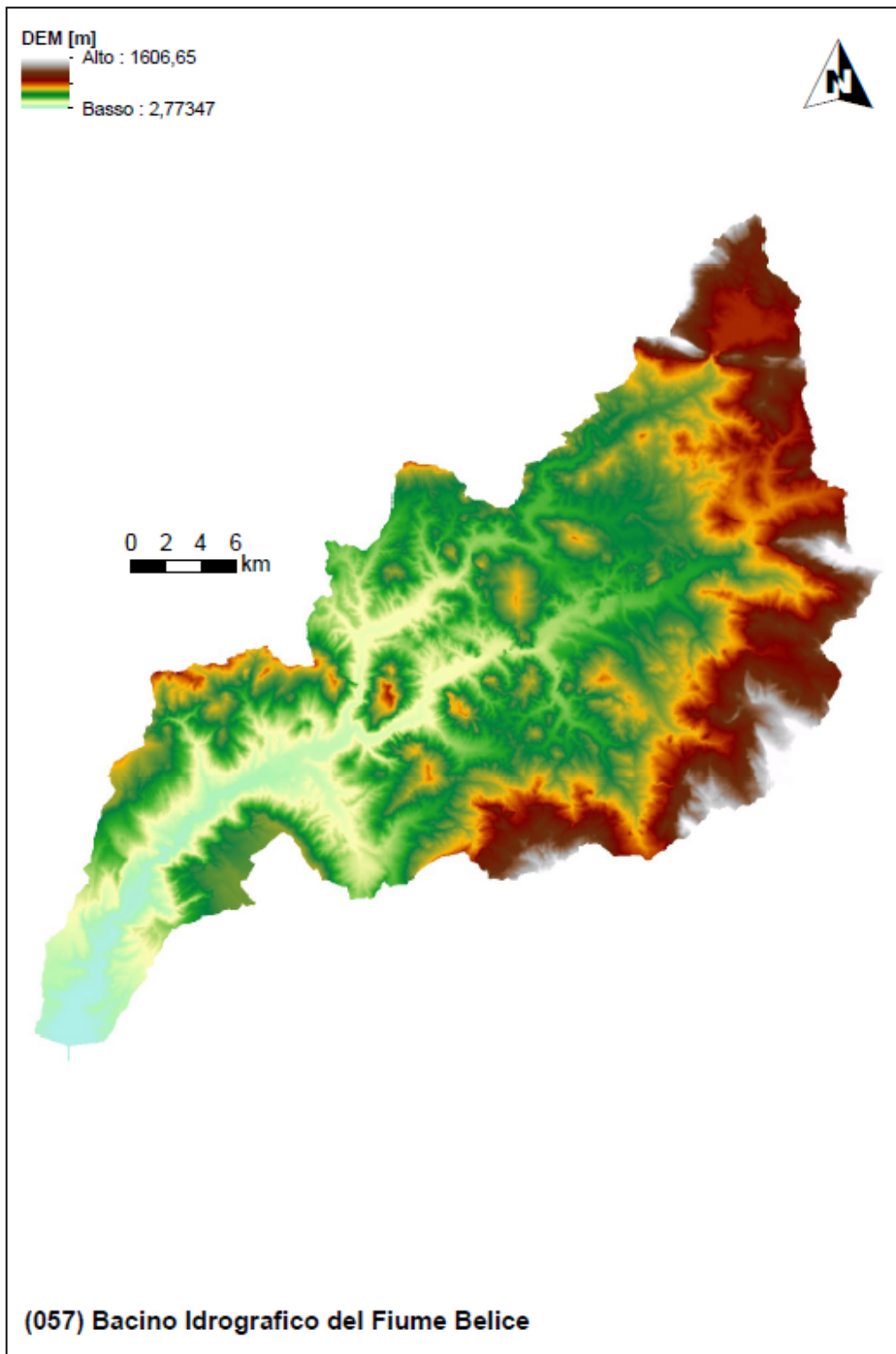


Figura 2 Modello digitale delle elevazioni con risoluzione spaziale pari a 10 m

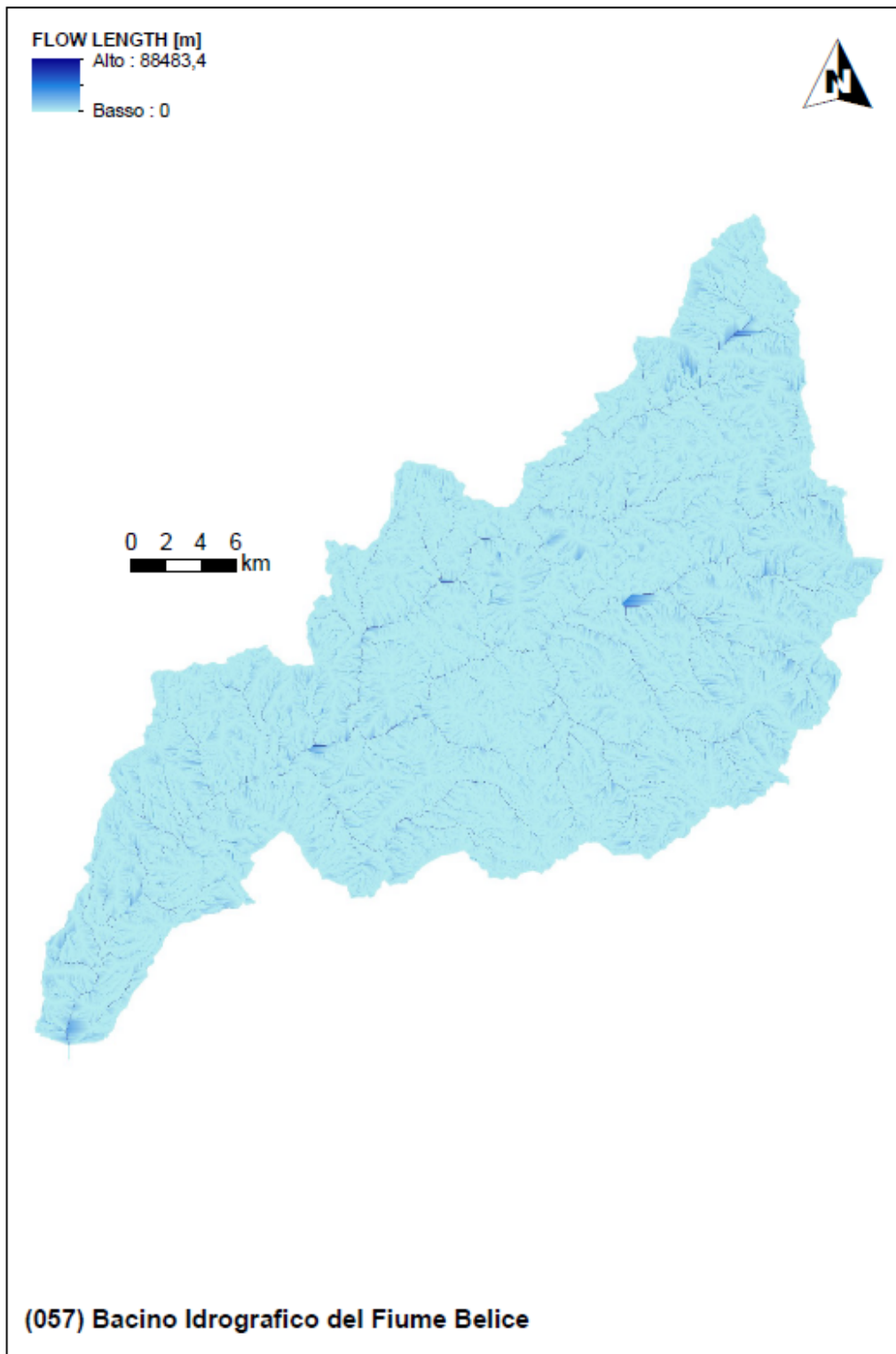


Figura 3 Lunghezze dei percorsi di drenaggio sulla base del modello digitale delle elevazioni

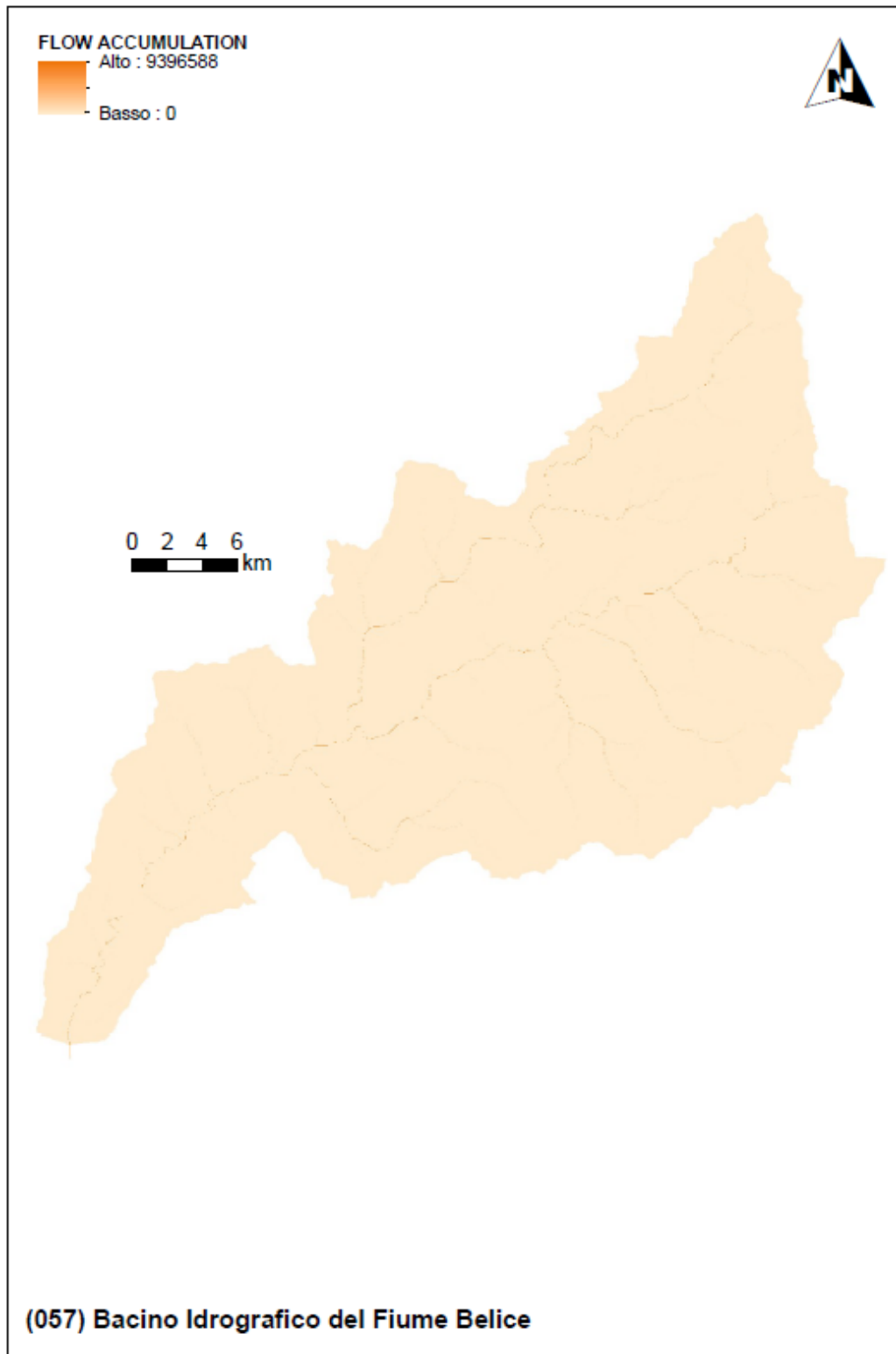


Figura 4 Funzione Flow Accumulation del bacino

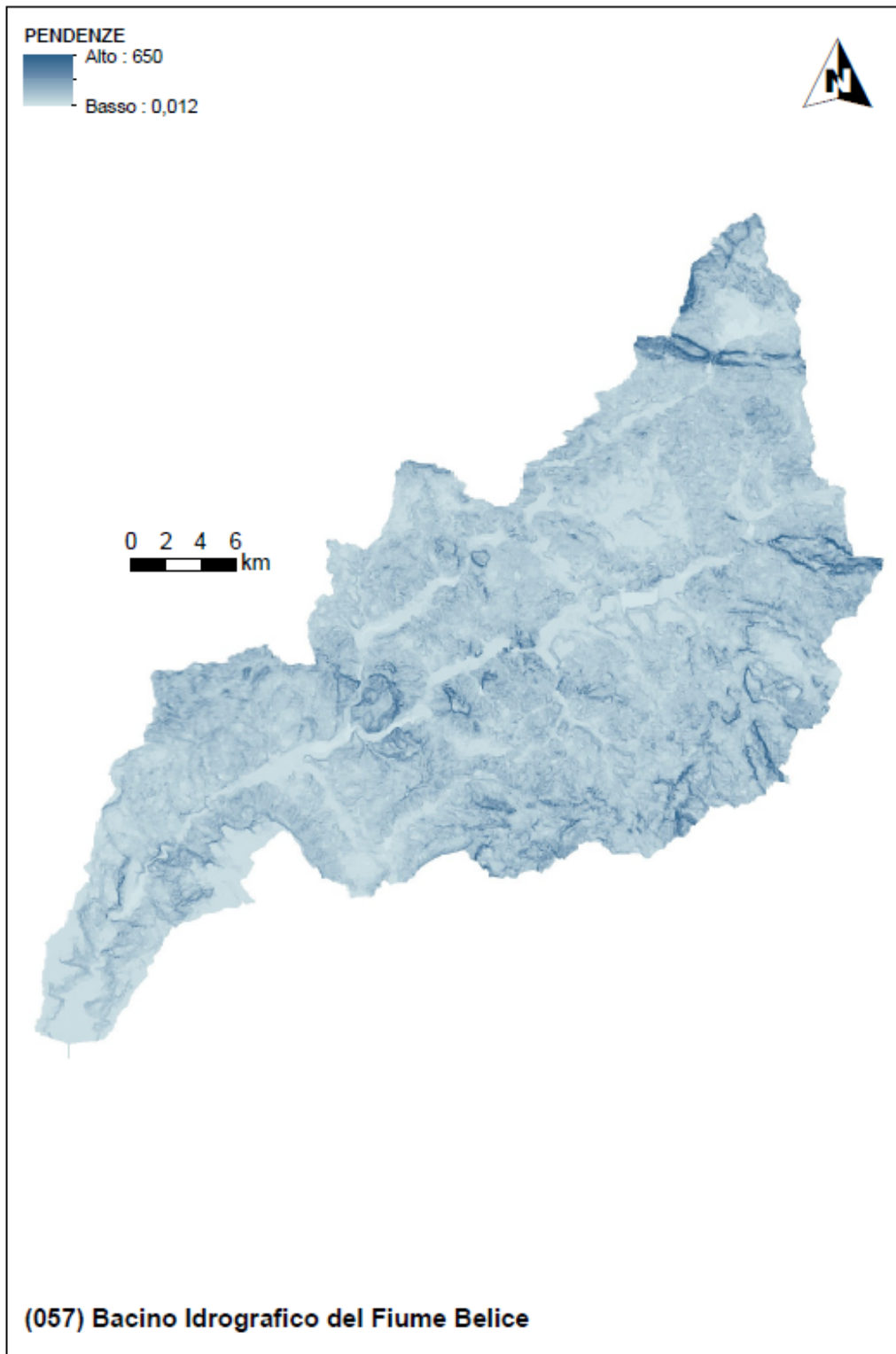


Figura 5 Carta delle pendenze [%] sulla base del modello digitale delle elevazioni con risoluzione spaziale pari a 10 m

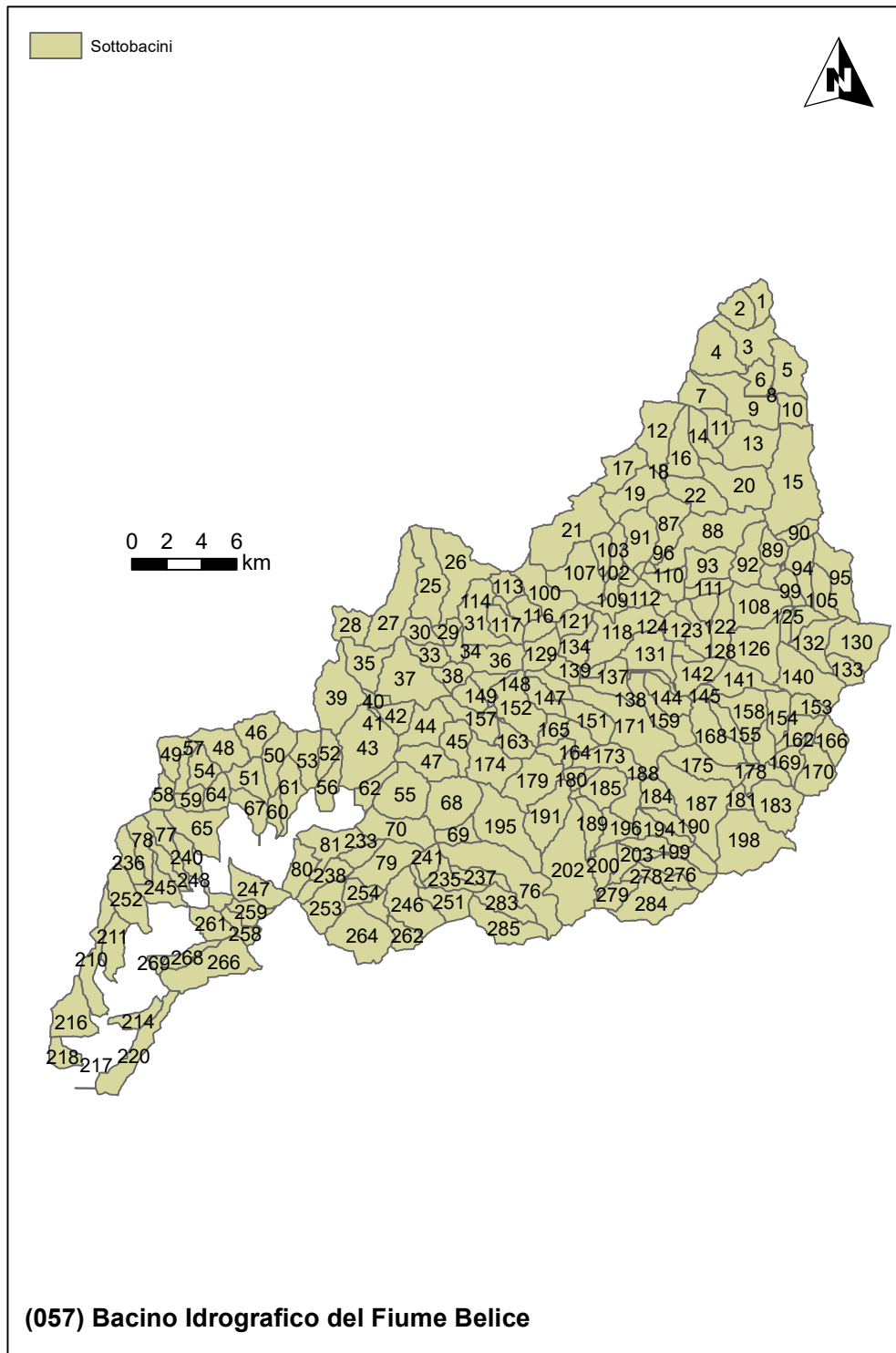


Figura 6 Delimitazione dei sottobacini tra 2 e 10 kmq sulla base delle caratteristiche morfologiche e della densità di drenaggio

3 Valutazione delle variabili climatiche e di consumo di suolo

Come ampiamente discusso nella relazione generale, l'analisi climatica è stata sviluppata in due fasi:

- L'analisi del trend sul tempo di ritorno della variabile indice (altezza di pioggia pari a 50 mm in un'ora) stimato attraverso l'applicazione della GEV a subset di dati di dimensioni progressivamente crescenti inglobando gli ultimi dati registrati disponibili;
- L'analisi del trend climatico sulle serie di piogge di massima intensità annuale e fissata durata.

La prima analisi è stata effettuata perché funzionale alla stima del rischio di piene lampo e dell'evoluzione di tale rischio nello scenario di cambiamento climatico di medio termine (2050).

I tempi di ritorno risultano medio-alti (in generale superiori a 25 anni) incidendo positivamente sul rischio di piene lampo nel bacino. Considerando anche le dimensioni del bacino, la situazione è diversificata con alcune aree che manifestano tempi di ritorno più bassi e inferiori alla media regionale. Nello scenario di medio termine, si manifestano delle variazioni decrescenti della variabile in tutto il bacino sebbene con intensità variabile da trascurabile a moderata.

La seconda analisi è stata effettuata perché funzionale alla stima dell'impatto climatico sulle altre piene che possono interessare il reticolo idrografico (per bacini superiori a 2 km²).

I trend riscontrati si evidenziano sempre significativi (con livello di significatività pari a 0.05) tranne che in piccole aree della porzione intermedia del bacino. Dal punto di vista quantitativo, il quadro è complesso: per le brevi durate, il trend è sensibilmente positivo in tutto il bacino; per le durate maggiori e, in particolare, per 12h e 24h il trend tende ad annullarsi o ad assumere valori debolmente negativi in diffuse aree del territorio sebbene la media sull'intero bacino si mantenga positiva anche se di modesta entità.

L'analisi climatica finalizzata alla valutazione del rischio di piene lampo è stata anche integrata con la valutazione del consumo di suolo ad oggi (dati 2019) e, sulla base della tendenza media del periodo 2012 – 2019, allo scenario di medio termine (2050). La tendenza media del periodo 2012 – 2019 è stata proiettata al fine di valutare l'area che, bacino per bacino, presumibilmente sarà consumata al 2050.

Il bacino è molto vasto e con caratteri prettamente rurali. In queste aree il consumo di suolo è ampiamente al di sotto del 10% con tendenze positive alla crescita ma molto modeste. I dati mostrano un consumo di suolo più significativo nei sottobacini intorno alle aree urbane più popolose con circa il 20% del suolo del bacino già consumato.

Il trend di consumo del suolo mostra sempre un andamento positivo con ratei di crescita annui maggiori nelle aree già maggiormente urbanizzate (che comunque non superano mai il 10% nel periodo 2020 – 2050). Lo scenario al 2050 mostra una crescita media inferiore all'1.0% rispetto al 2020 che rappresenta un valore comunque modesto sebbene positivo.

Le seguenti tavole riportano i risultati delle elaborazioni sul bacino che saranno poi utilizzate per le successive valutazioni.

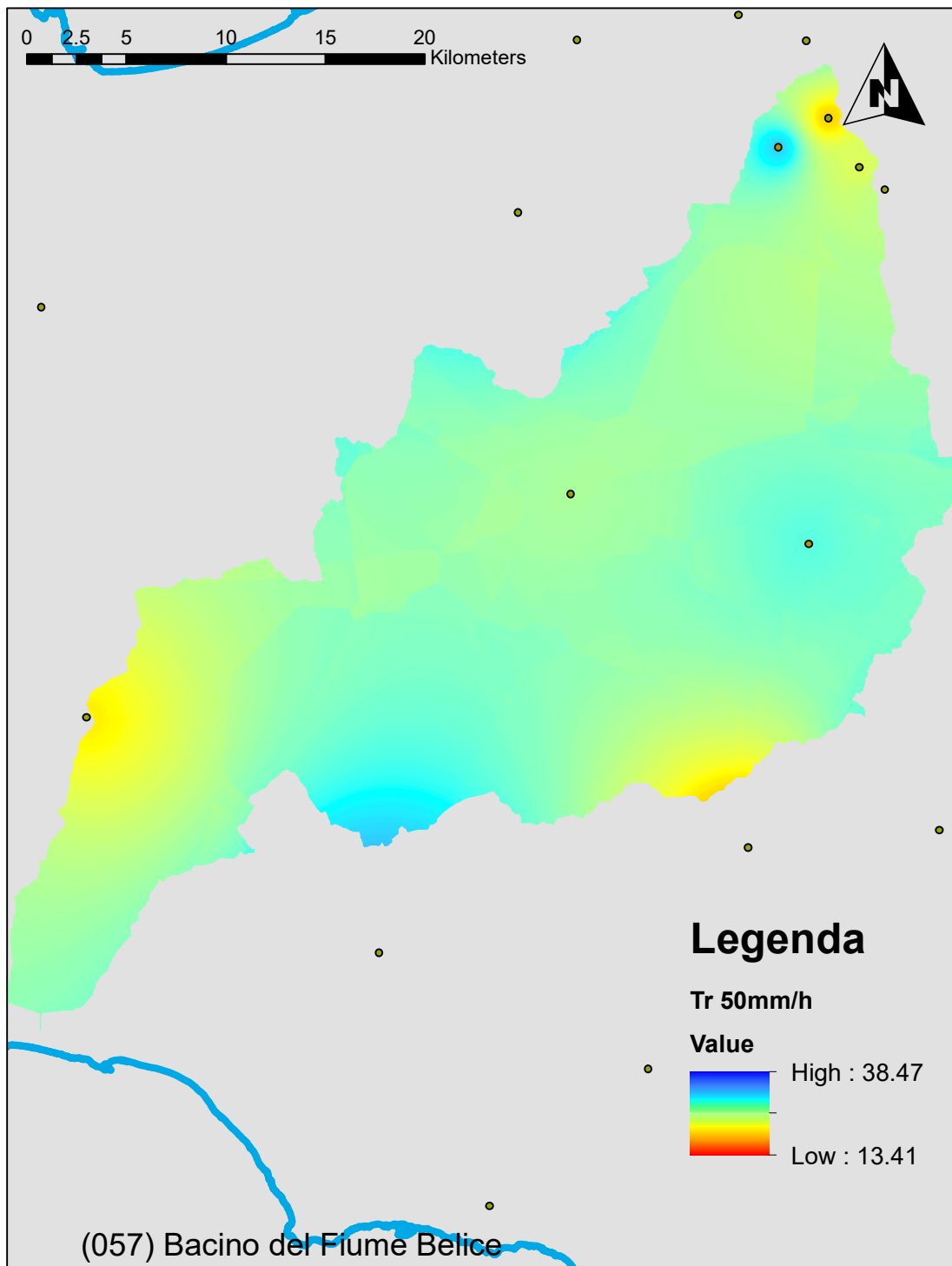


Figura 7 Tempo di ritorno della pioggia indice per il rischio di piene lampo nello scenario attuale (anni)

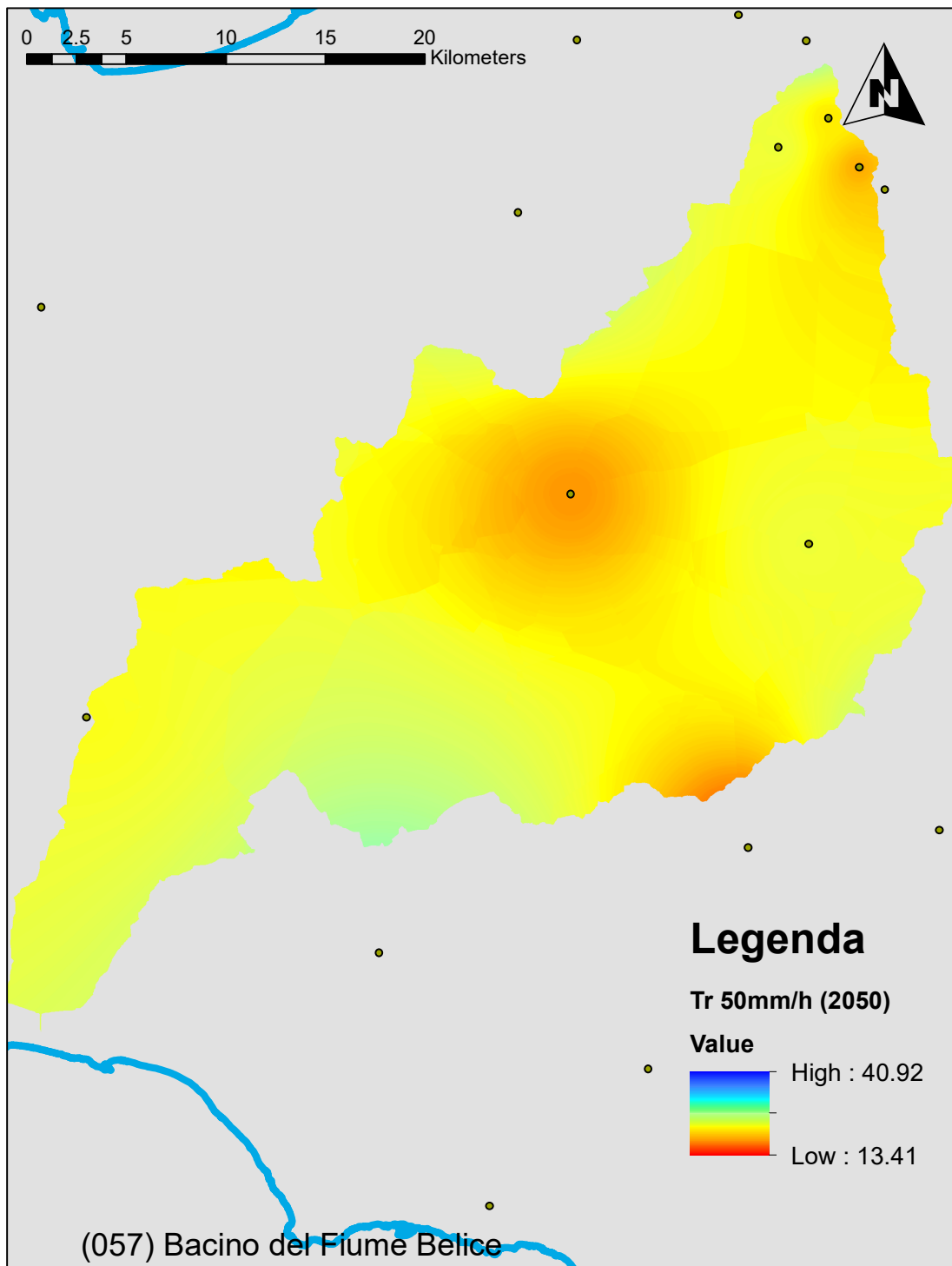


Figura 8 Tempo di ritorno della pioggia indice per il rischio di piene lampo nello scenario di medio termine al 2050 (anni)

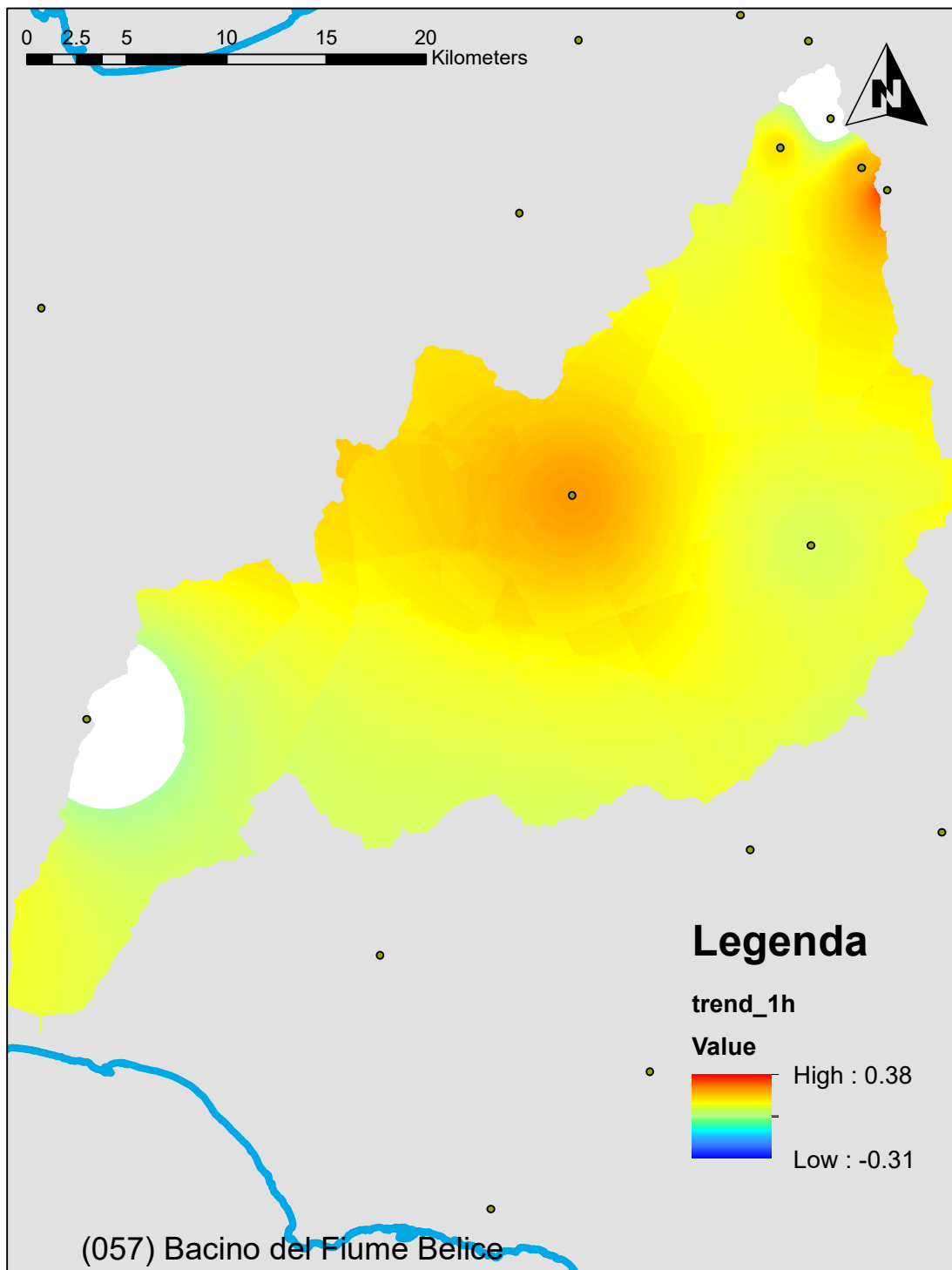


Figura 9 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 1 h (mm/anno)

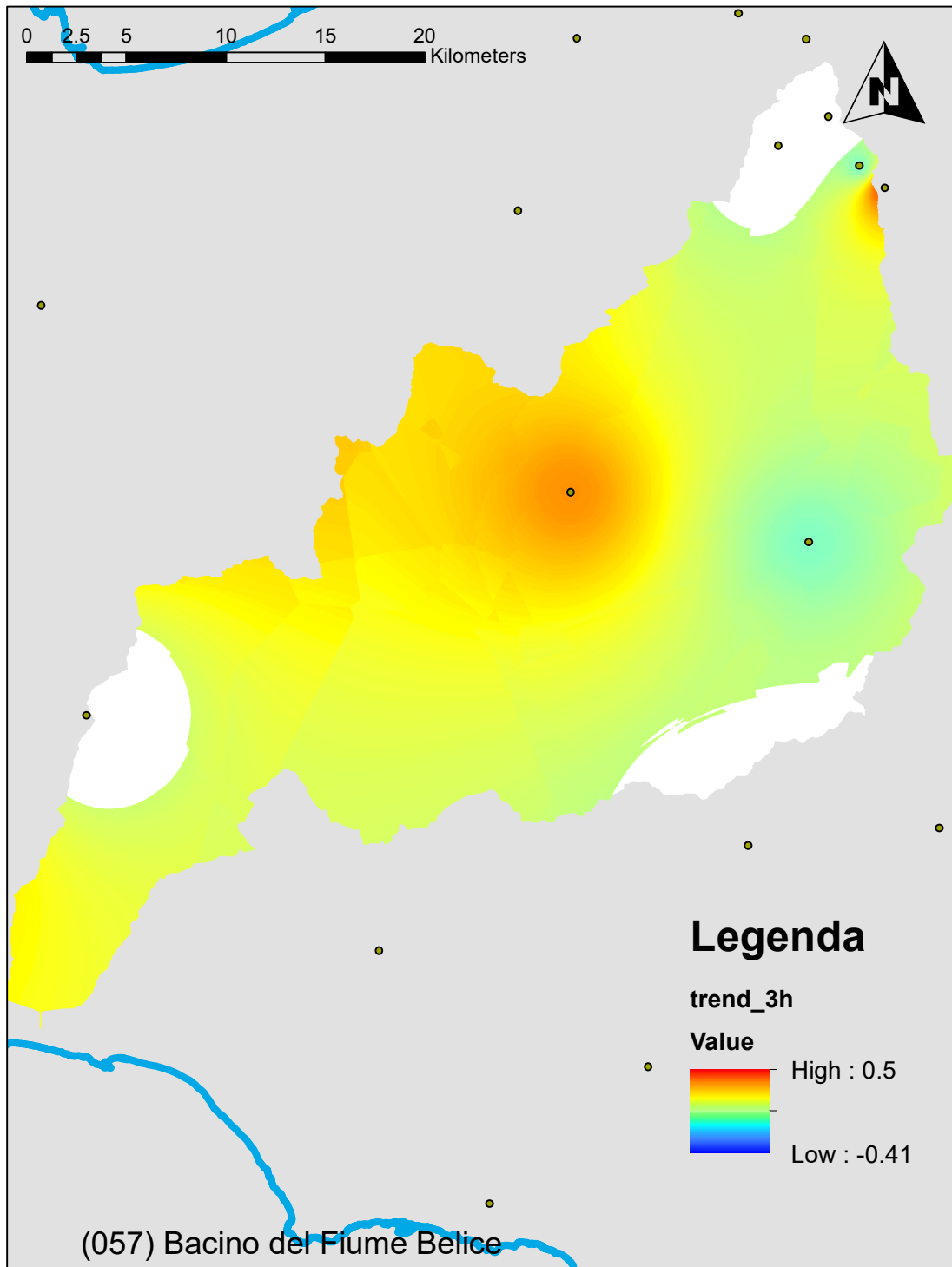


Figura 10 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 3 h (mm/anno)

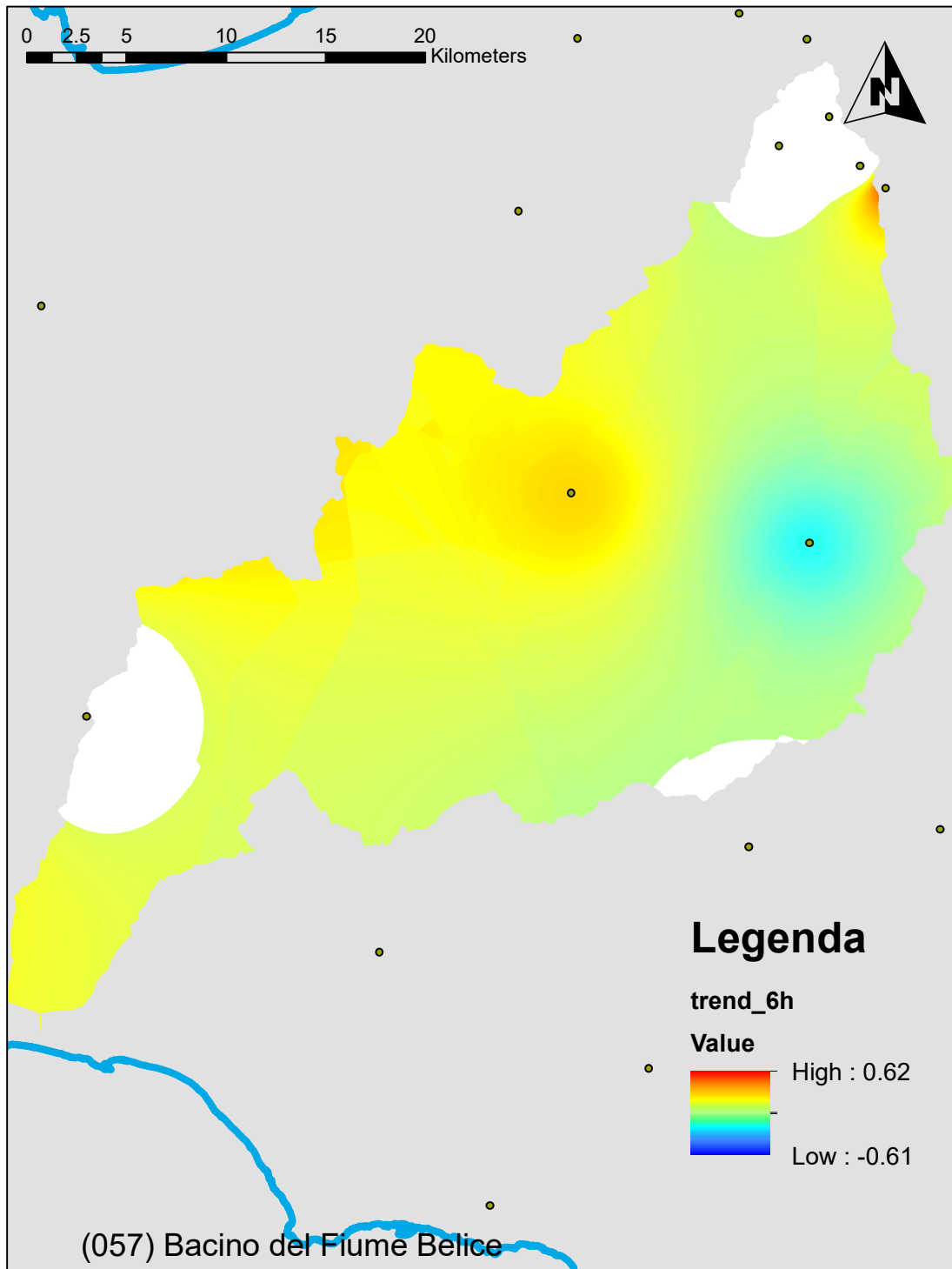


Figura 11 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 6 h (mm/anno)

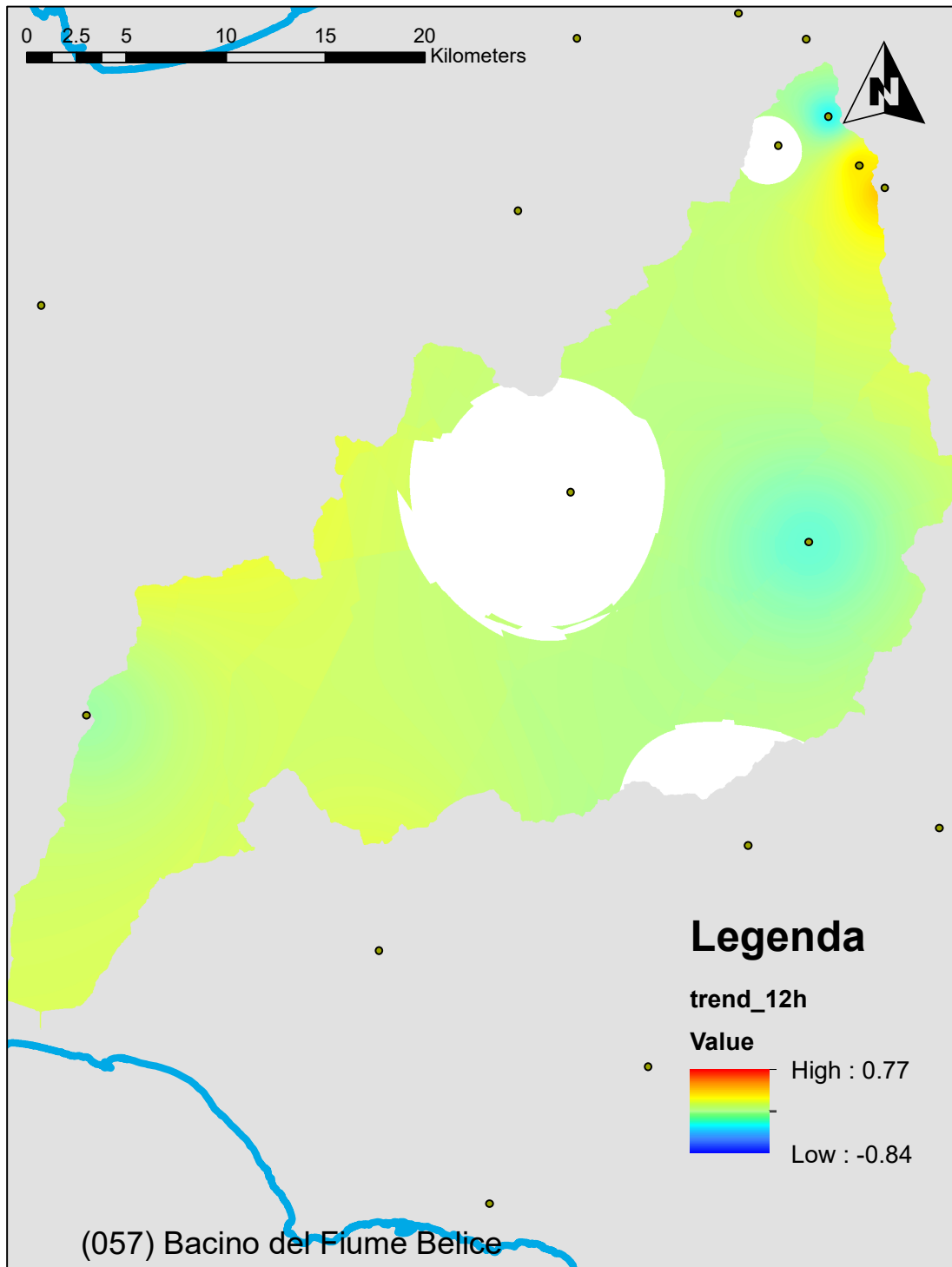


Figura 12 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 12 h (mm/anno)

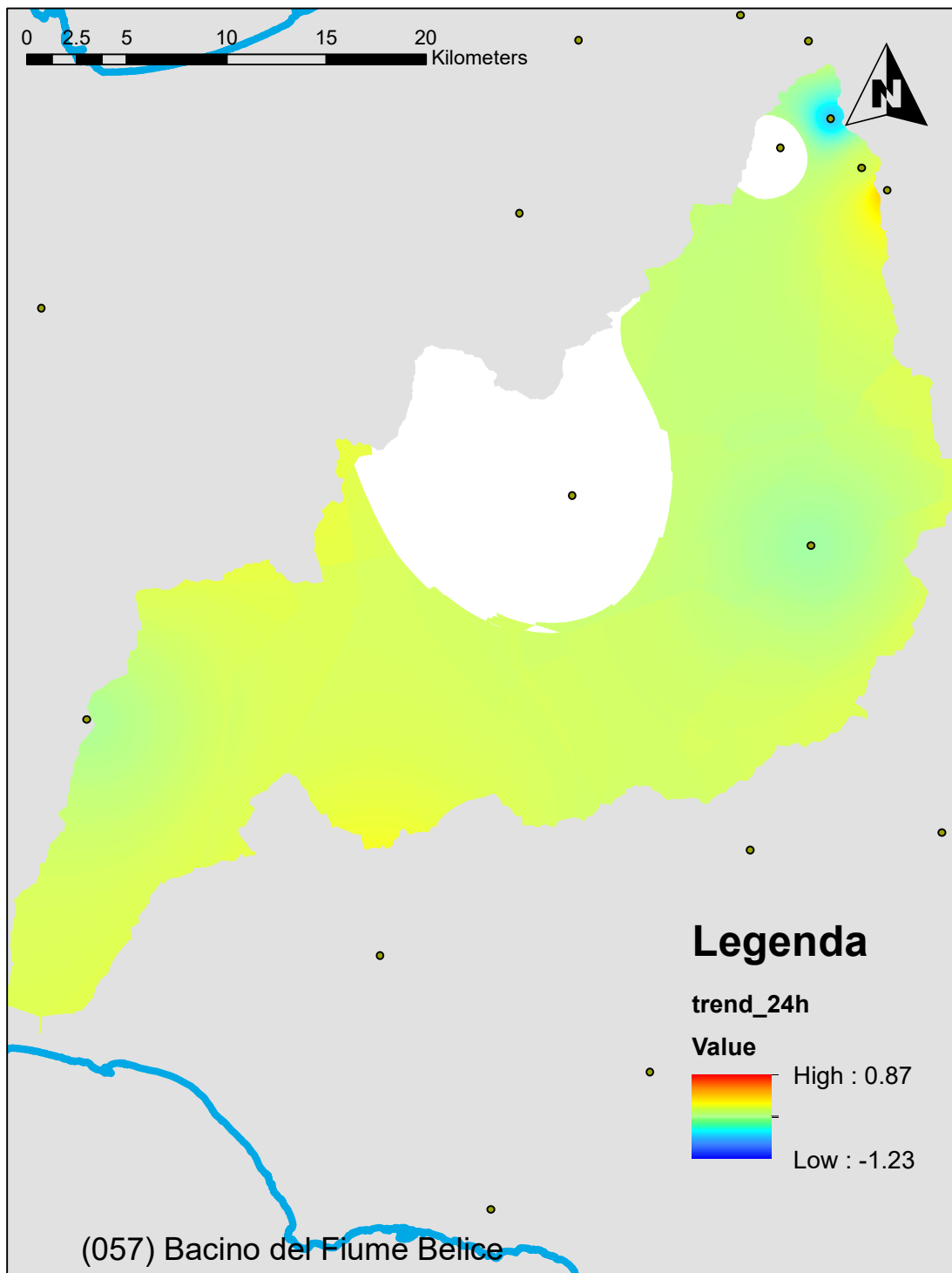


Figura 13 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 24 h (mm/anno)

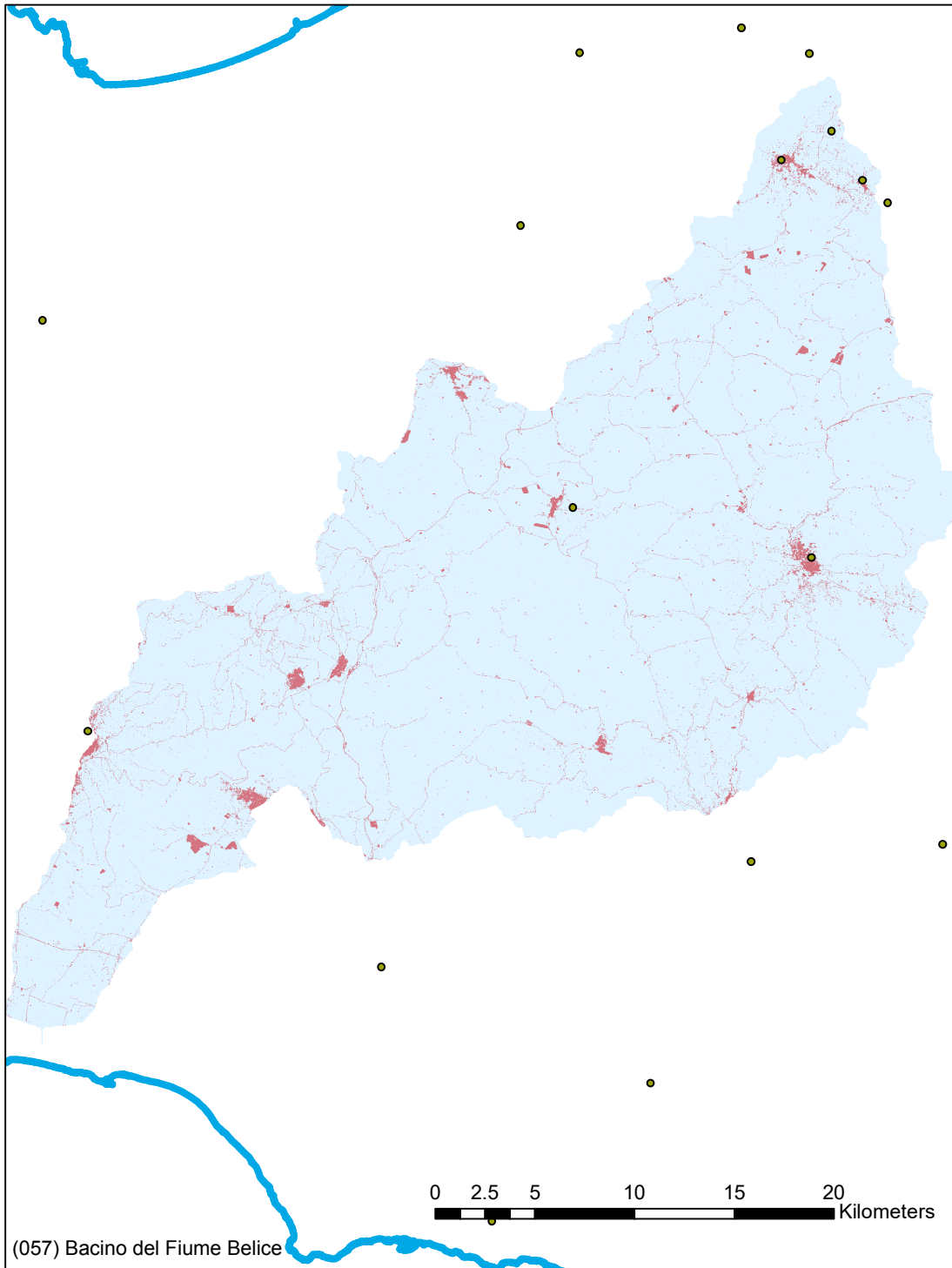


Figura 14 Suolo consumato al 2019 (-)

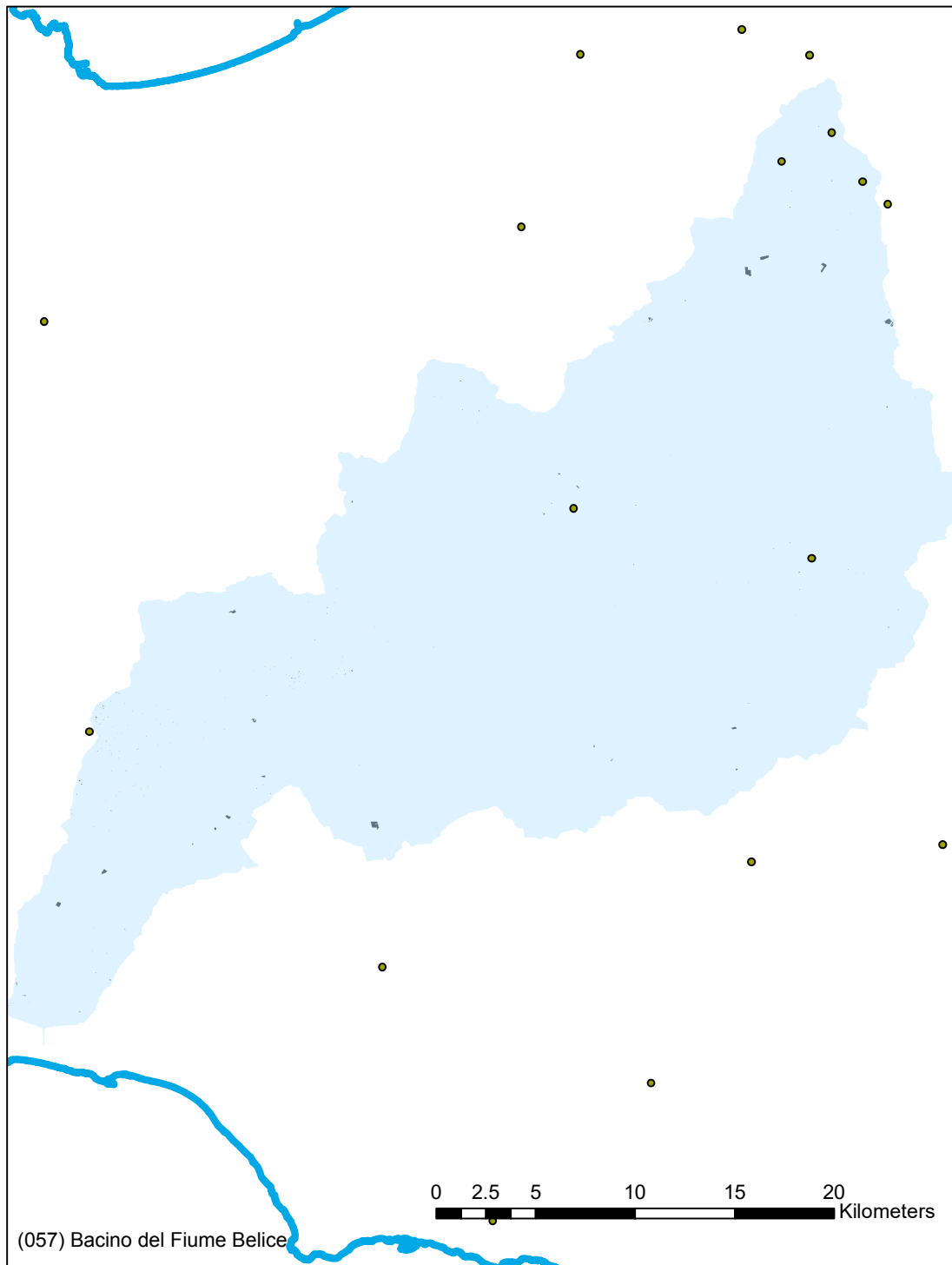


Figura 15 Variazione del suolo consumato tra il 2012 ed il 2019: in verde le aree ripristinate a suolo naturale; in nero le aree consumate nel periodo di riferimento (-)

4 Valutazione della suscettibilità dei bacini alle piene lampo

Sulla base della metodologia Arno (*Brugioni et al.*, 2010), sono stati individuati 4 fattori predisponenti e ciascun fattore suddiviso in 4 classi di suscettibilità.

Il bacino supera i 500 km² e, di conseguenza, in accordo con la metodologia, la porzione valliva del corso d'acqua principale è stata stralciata dall'analisi sulle piene lampo. E' ovviamente stata considerata nella successiva analisi delle piene di maggior durata.

L'area dei sottobacini

- Minore di 3 km² – Classe 4 (Suscettibilità Molto Elevata)
- Da 3 a 5 km² – Classe 3 (Suscettibilità Elevata)
- Da 5 a 7 km² – Classe 2 (Suscettibilità Moderata)
- Maggiore di 7 km² – Classe 1 (Suscettibilità Bassa)

Il tempo di Lag del sottobacino valutato sulla base delle formulazioni proposte da Brugioni et al. (2010)

- Minore di 0.6 h – Classe 4 (Suscettibilità Molto Elevata)
- Da 0.6 h a 1.2 h – Classe 3 (Suscettibilità Elevata)
- Da 1.2 h a 2 h – Classe 2 (Suscettibilità Moderata)
- Maggiore di 2 h – Classe 1 (Suscettibilità Bassa)

Il tempo di ritorno della pioggia intensa indice (50 mm in un'ora)

- Minore di 20 anni – Classe 4 (Suscettibilità Molto Elevata)
- Da 20 a 23.5 anni – Classe 3 (Suscettibilità Elevata)
- Da 23.5 a 27 anni – Classe 2 (Suscettibilità Moderata)
- Maggiore di 27 anni – Classe 1 (Suscettibilità Bassa)

Grado di consumo del suolo

- Maggiore del 30% – Classe 4 (Suscettibilità Molto Elevata)
- Da 20% al 30% – Classe 3 (Suscettibilità Elevata)
- Da 10% al 20% – Classe 2 (Suscettibilità Moderata)
- Minore del 10% – Classe 1 (Suscettibilità Bassa)

Le tavole relative ai 4 fattori sono stati riportate nel seguito. La figura 11 riporta la media pesata dei 4 fattori attribuendo ciascun bacino ad una differente classe di suscettibilità.

Il valore del tempo di lag è funzione del tempo di corrivazione che è a sua volta è stato calcolato con le molteplici formulazioni proposte in letteratura e che di seguito sono riportate.

$$\text{Giandotti} = (4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L) / (0.8 \cdot (Q_{\text{med}} - Q_{\text{min}})^{0.5})$$

$$\text{Kirpick} = 0.000325 \cdot (L \cdot 1000)^{0.77} \cdot i_b^{-0.385}$$

$$\text{Johnstone and Cross} = (3.258 \cdot (D_{\text{max}} / i_b)^{0.5}) / 60$$

$$\text{California Culvert Practice} = ((11.9 \cdot (L \cdot 0.621371)^3) / ((Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}) \cdot 3.28084))^{0.385}$$

$$\text{NRCS SCS} = (((1000 / \text{CN}) - 9)^{0.7} \cdot (D_{\text{max}} \cdot 1000)^{0.8}) / (441 \cdot (i_b \cdot 100)^{0.5})$$

$$\text{Pezzoli} = 0.055 \cdot L / i_a^{0.5}$$

$$\text{Puglisi} = 6 \cdot \text{LunghezzaAsta}^{2/3} \cdot (Q_{\max} - Q_{\min})^{-1/3}$$

$$\text{Ventura} = 0.1272 \cdot (A / i_a)^{0.5}$$

$$\text{Tournon} = ((0.396 \cdot L) / (i_a)^{0.5}) \cdot ((A / L^2) \cdot (i_a) / i_b)^{0.5} \cdot 0.72$$

$$\text{Pasini} = 0.108 \cdot ((A \cdot L)^{1/3}) / (i_a^{0.5})$$

$$\text{Viparelli} = L / (3.5 \cdot 1.5)$$

Dove:

- A [Km²], Area del bacino idrografico
- L [Km], Lunghezza dell'asta principale
- Q_{max} [m], Quota massima del bacino idrografico
- Q_{med} [m], Quota media del bacino idrografico
- Q_{min} [m], Quota minima del bacino idrografico
- CN [0-100], Curve Number
- D_{max} [Km], Distanza massima tra lo spartiacque e la sezione di chiusura
- i_b [m/m], Pendenza media del bacino idrografico
- i_a [m/m], Pendenza media dell'asta principale
- V, Velocità media di deflusso all'interno dei canali, i valori suggeriti dell'autore sono compresi tra [1;1.5] m/s, nell'applicazione online si assume il limite superiore.
- P[Km], Perimetro del bacino idrografico

I fattori relativi alla variabile climatica ed al consumo di suolo sono stati rivalutati anche sulla base dello scenario al 2050 adottando i trend stimati nella relazione generale offrendo così anche un quadro evolutivo della situazione nel corso del prossimo trentennio (Figure 20, 21 e 22).

La Tabella 1 mostra gli indicatori numerici dei 4 criteri per ciascun sottobacino che conducono alla divisione in classi rappresentata nelle figure.

L'analisi dei fattori morfologici evidenzia che il criterio sul time lag è il più stringente e questo appare convincente perché al tempo di corrivazione concorrono numerosi fattori morfologici oltre alla superficie del bacino che già compare da sola. Tale fattore identifica chiaramente numerosi sotto-bacini montani in classe elevata e uno in classe molto elevata. I fattori climatici non sembrano essere discriminanti tra i sottobacini posizionando quasi l'intero bacino nella seconda classe di suscettibilità con tempi di ritorno delle piogge indice che risultano medio alti. Il consumo di suolo, sia al 2020 che al 2050, per la maggior parte del bacino risulta in classe 1 con percentuali inferiori al 10%, tuttavia anche le altre classi sono presenti. Nello scenario di suscettività al 2020, l'analisi complessivamente individua 1 sottobacino in classe 4 per il quale il rischio di piene lampo è molto elevato e per cui è opportuno procedere alla definizione di misure specifiche. L'area è quella dell'abitato di Montevago ed è caratterizzato anche da un significativo livello di consumo di suolo. Nello scenario al 2050, il livello di suscettività aumenta per la gran parte dei sottobacini passando dalla classe 2 alla 3. Non muta il numero di sottobacini nella massima classe di suscettibilità.

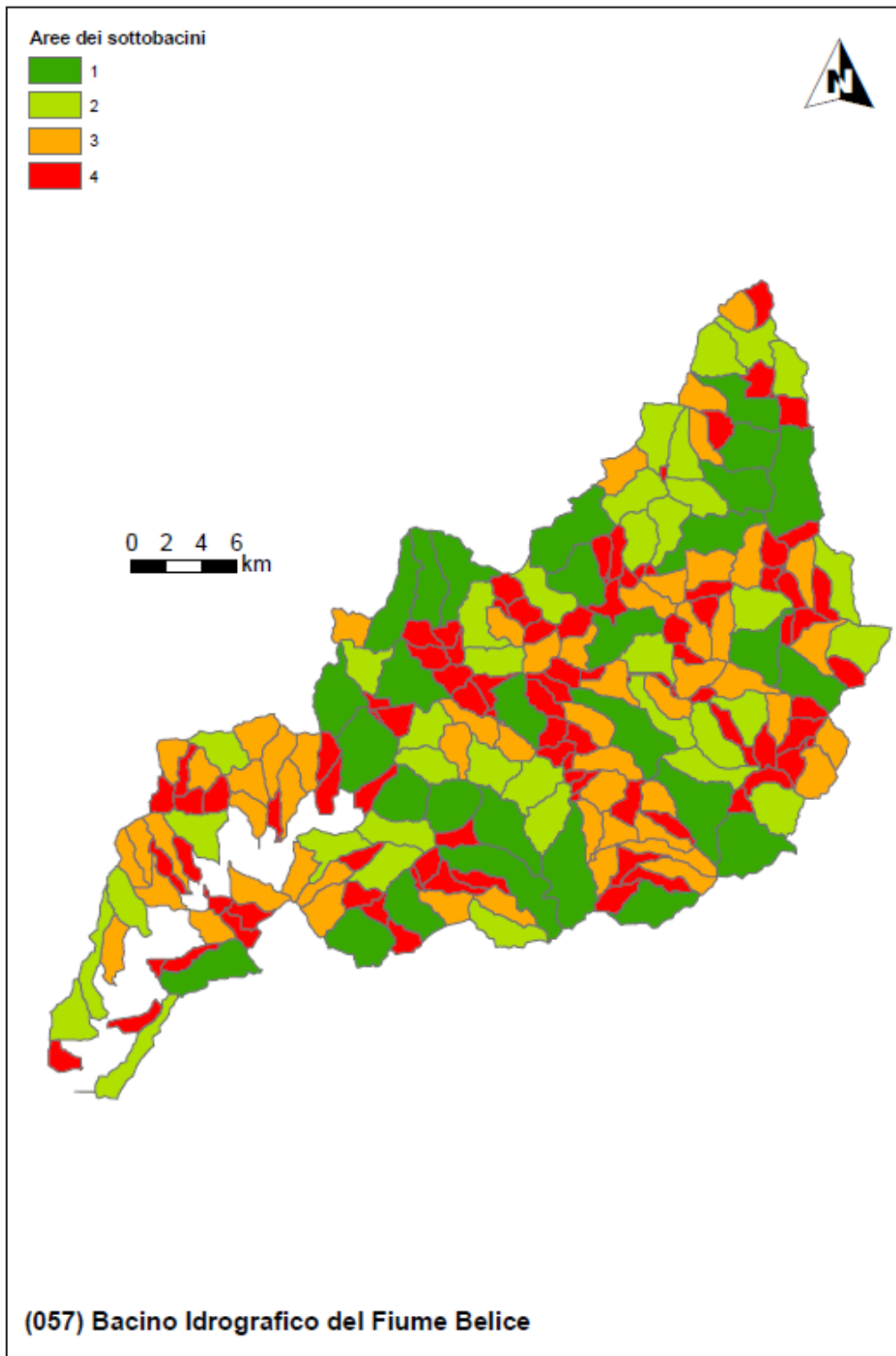


Figura 16 Fattore predisponente alle piene lampo legato all'area del sottobacino drenato

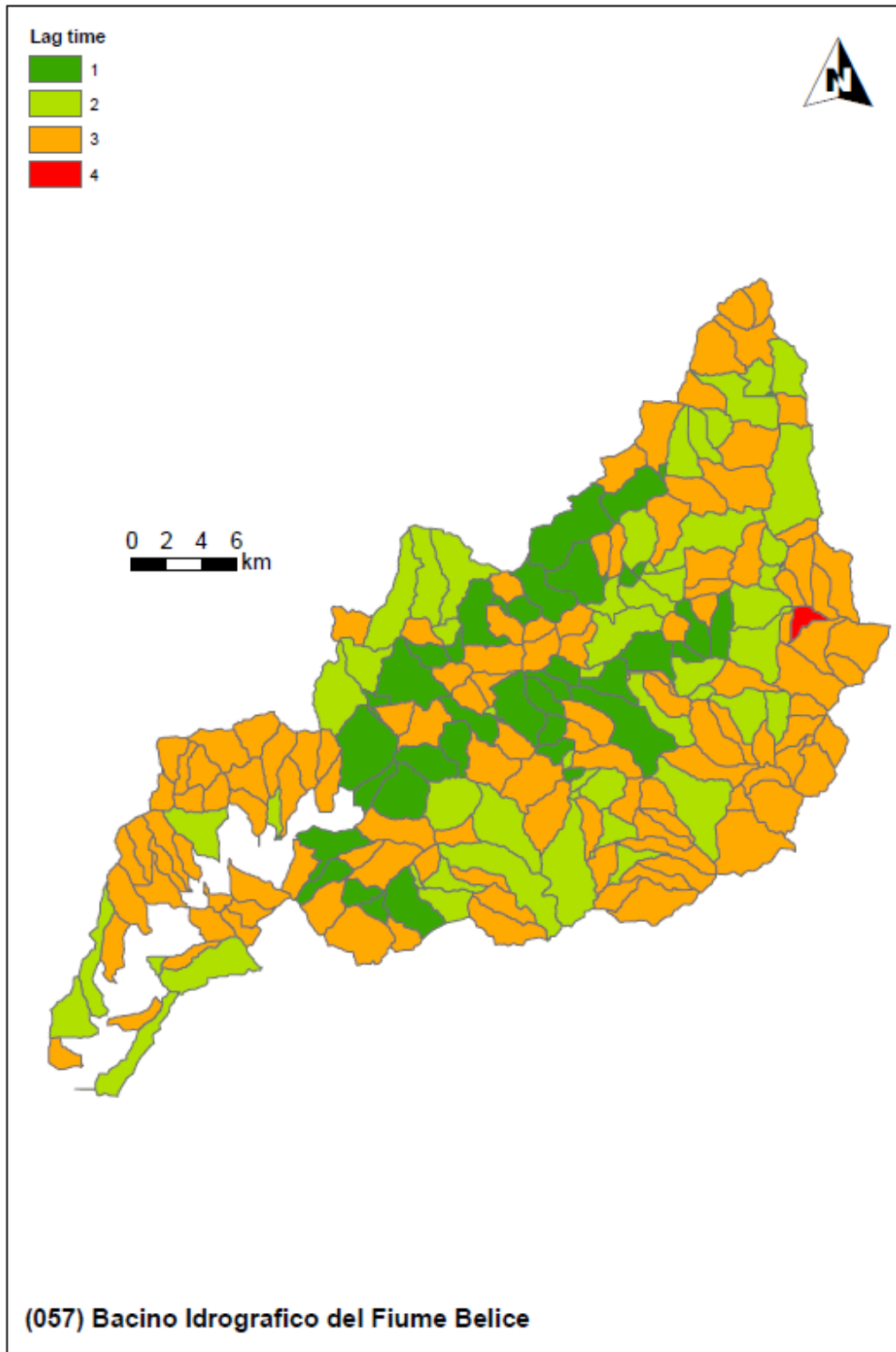


Figura 17 Fattore predisponente legato al tempo di lag del sottobacino drenato

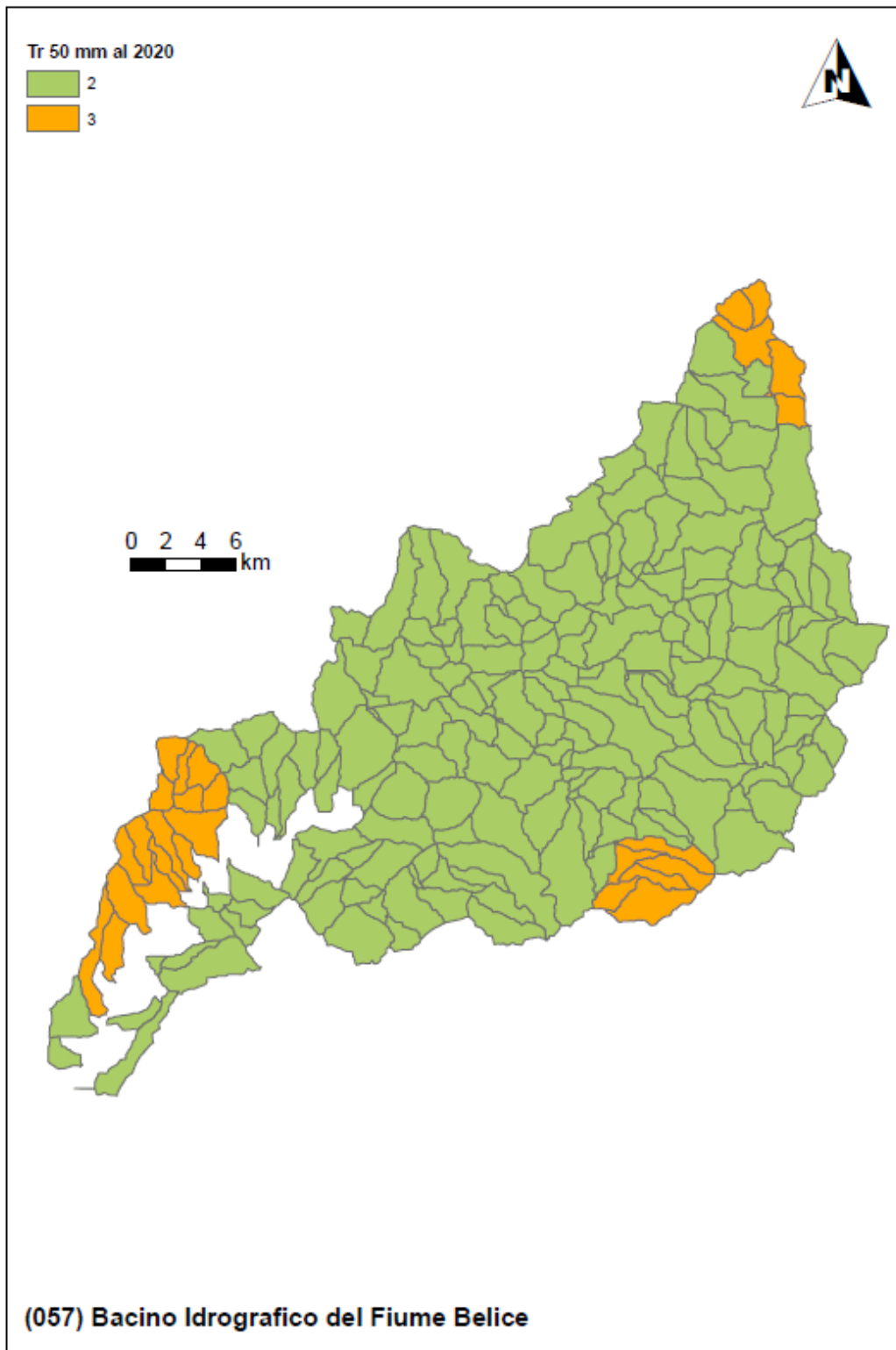


Figura 18 Fattore predisponente legato al tempo di ritorno della pioggia indice (Scenario Attuale)

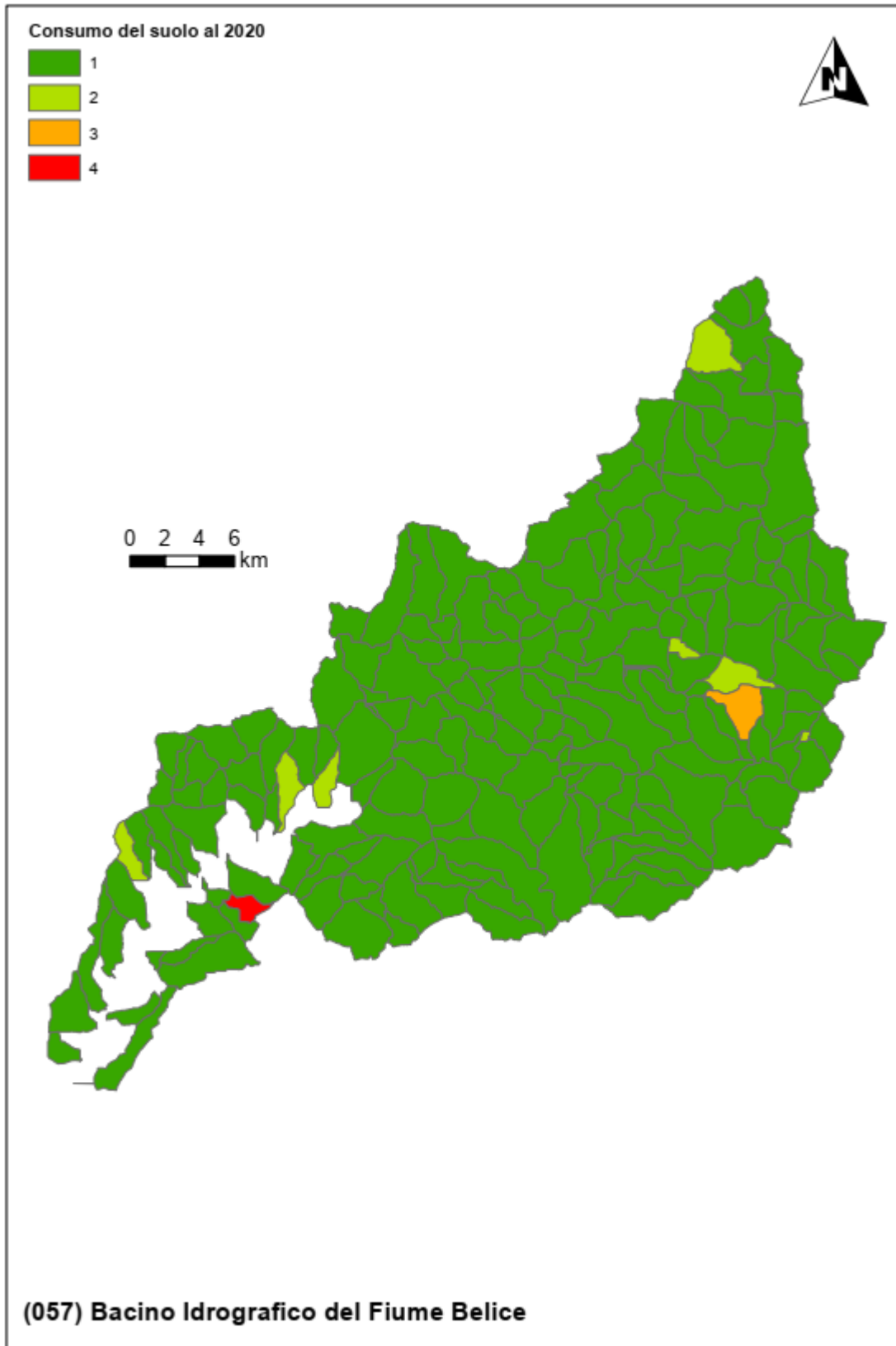


Figura 19 Fattore predisponente legato al consumo di suolo (Scenario Attuale)

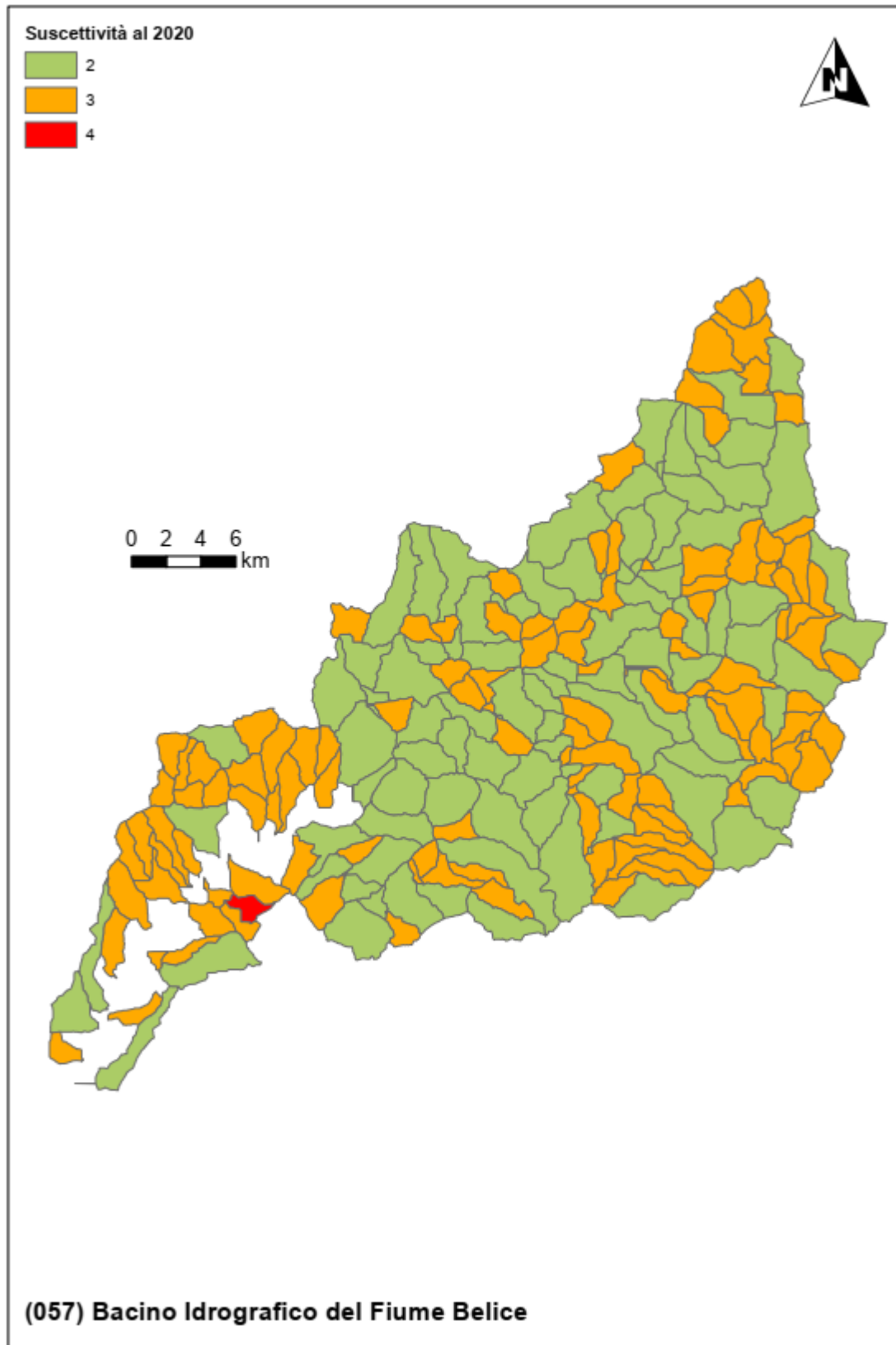


Figura 20 Sintesi della suscettibilità alle piene lampo (Scenario Attuale)

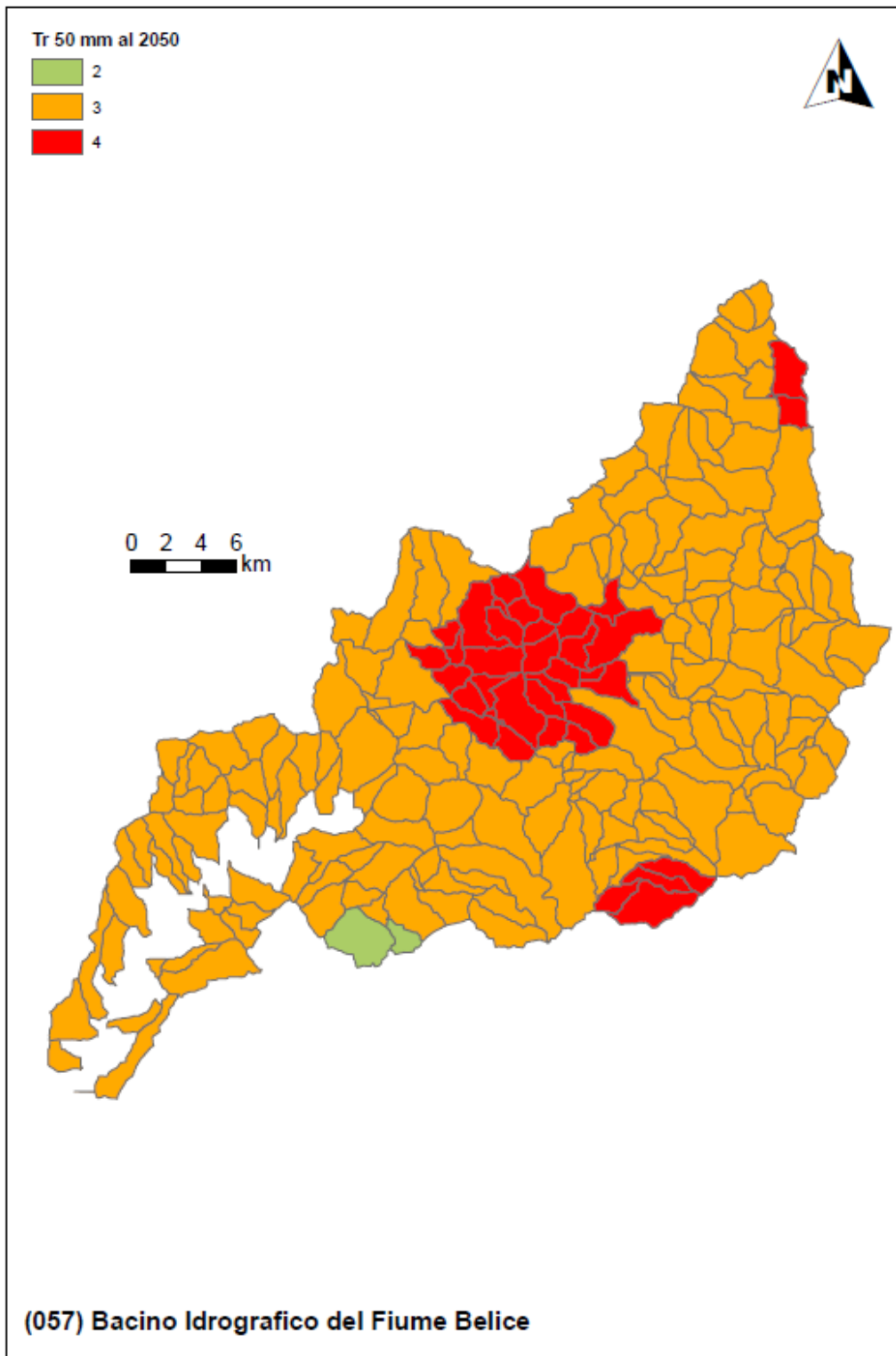


Figura 21 Fattore predisponente legato al tempo di ritorno della pioggia indice (Scenario al 2050)

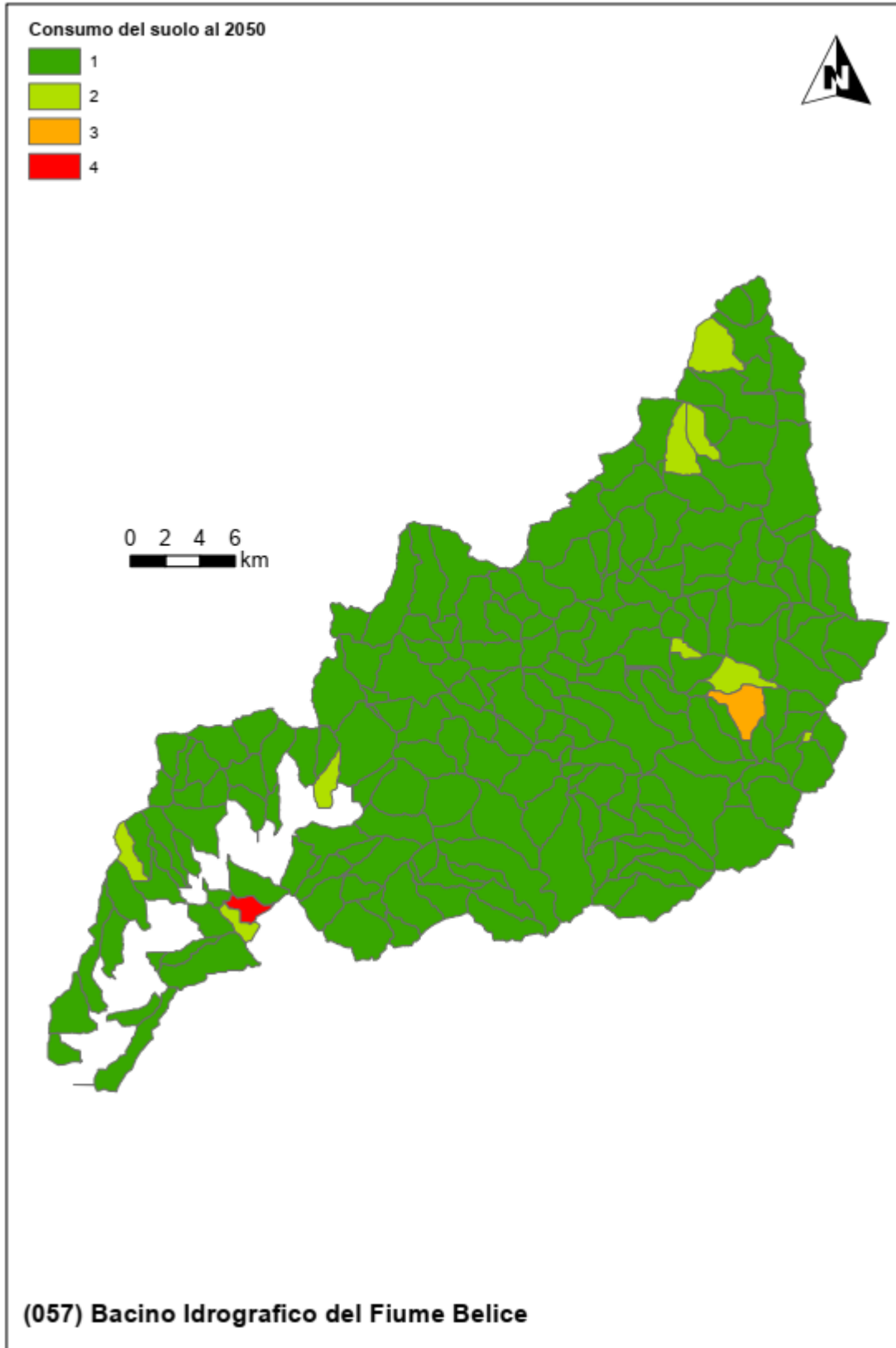


Figura 22 Fattore predisponente legato al consumo di suolo (Scenario al 2050)

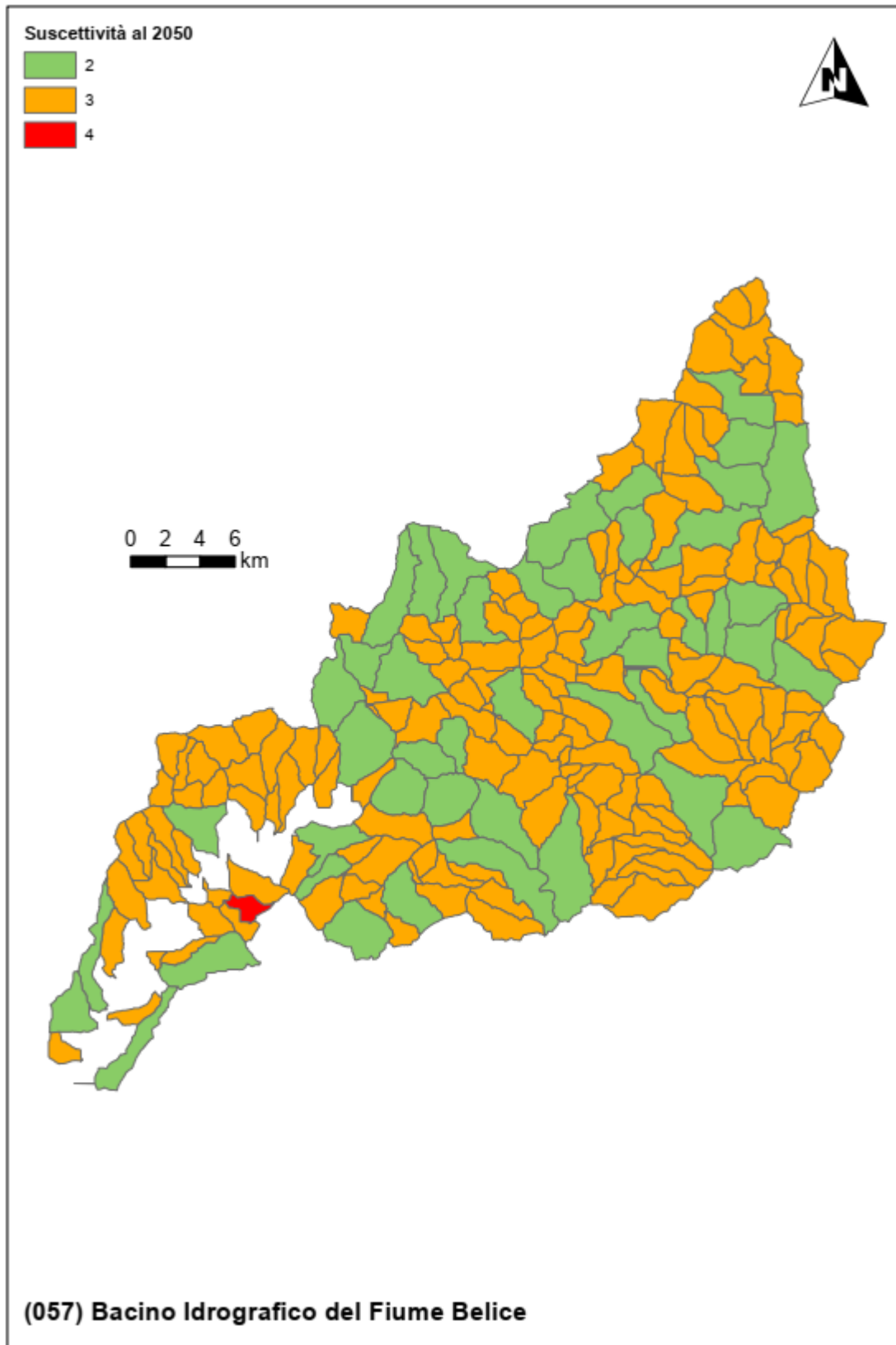


Figura 23 Sintesi della suscettibilità alle piene lampo (Scenario al 2050)

Tabella 1 Indicatori numerici relativi ai criteri di valutazione della suscettibilità alle piene lampo (Brugioni et al., 2010)

(057) Bacino Idrografico del Fiume Belice

Valori, rispettivamente, dell'area, lag time, tempo di ritorno corrispondente alla pioggia di 50mm in 1 ora al 2020 e con proiezione al 2050 e consumo del suolo al 2020 e 2050 per ciascuno dei sottobacini.

IDs	Area [kmq]	Lag time [h]	Tempo di ritorno 50mm/1h al 2020 [anni]	Tempo di ritorno 50mm/1h al 2050 [anni]	Consumo del suolo 2020 [%]	Consumo del suolo 2050 [%]
1	2.58	0.87	22.60	21.78	2.51	2.51
2	3.17	0.82	23.05	21.62	1.15	1.25
3	5.60	1.12	22.84	20.74	5.87	5.87
4	6.71	0.84	25.96	21.51	14.88	14.88
5	5.16	1.22	22.83	19.28	7.37	7.44
6	2.90	1.94	352.66	301.13	6.06	6.21
7	3.94	0.81	24.84	21.29	1.94	1.94
8	0.15	2.49	23.31	19.70	3.40	3.40
9	7.33	1.53	24.21	20.59	2.57	2.68
10	2.79	0.79	23.46	19.67	1.11	1.13
11	2.73	1.35	24.18	20.95	3.63	4.93
12	6.65	0.85	48.86	42.94	0.84	0.84
13	7.19	0.93	23.81	20.49	2.64	5.41
14	3.40	1.31	24.14	20.96	6.42	12.10
15	14.38	1.41	23.96	20.41	3.06	4.97
16	5.11	1.54	24.10	21.01	3.71	10.57
17	4.48	1.07	24.86	21.87	3.20	4.42
18	0.30	2.89	24.09	21.05	0.10	0.10
19	6.15	2.69	121.97	106.39	1.91	1.92
20	8.18	1.05	23.88	20.59	1.30	1.30
21	11.96	3.88	25.09	21.48	1.27	1.54
22	5.26	1.04	23.97	20.82	1.55	1.55
25	7.87	1.25	24.90	21.03	3.61	3.78
26	8.85	1.29	25.00	21.01	8.72	8.91
27	9.25	1.37	49.63	42.03	2.66	2.66
28	3.59	1.04	25.05	21.19	1.46	1.46
29	1.66	1.33	24.46	19.73	2.38	2.38
30	2.58	0.87	24.65	20.29	0.42	0.42
31	6.53	4.42	24.40	19.46	4.36	4.37
32	0.01	20.58	24.48	19.62	0.00	0.00
33	2.46	4.88	24.53	19.96	1.27	1.27
34	1.27	5.00	24.42	19.45	1.45	1.45
35	5.13	1.77	24.55	20.77	1.70	2.08
36	5.14	1.00	24.17	18.64	8.04	8.53
37	9.31	5.62	24.50	20.25	1.46	1.46
38	2.56	0.85	24.29	19.41	0.13	0.13
39	8.81	1.21	24.62	20.98	2.47	2.49
40	0.96	9.05	24.48	20.64	2.65	2.65
41	0.24	7.03	24.30	20.67	2.24	2.24

42	2.83	0.92	24.31	20.48	2.39	2.39
43	11.31	5.16	24.48	21.17	2.89	2.93
44	5.14	0.93	73.51	61.37	1.15	1.15
45	3.92	4.26	24.57	20.40	0.39	0.39
46	4.24	0.86	23.95	20.98	3.40	3.63
47	5.13	3.88	24.84	21.05	1.31	1.31
48	5.18	0.96	23.71	21.13	5.17	7.17
49	3.10	0.80	46.34	42.22	2.60	2.60
50	4.42	0.94	24.18	21.23	6.80	6.80
51	3.79	1.18	23.84	21.30	2.64	2.74
52	2.57	0.79	24.59	21.34	6.89	7.37
53	4.12	0.84	24.53	21.44	4.96	5.07
54	3.11	0.78	23.31	21.18	1.33	1.33
55	7.48	4.27	25.00	21.78	0.75	0.78
56	2.87	0.96	24.83	21.75	13.40	13.68
57	1.75	0.82	115.27	105.77	1.17	1.17
58	2.19	0.76	22.44	21.21	2.62	2.62
59	2.01	1.02	45.65	42.56	0.68	0.72
60	1.57	1.63	97.60	87.41	2.39	2.80
61	3.96	1.03	367.85	325.91	11.59	12.41
62	2.60	4.13	24.92	21.87	1.81	1.81
63	2.53	7.04	24.90	22.11	12.01	13.12
64	2.50	0.75	23.30	21.29	1.31	1.35
65	6.31	1.37	22.79	21.37	2.49	2.58
66	4.71	7.43	24.79	22.03	8.43	8.79
67	3.01	0.93	23.93	21.60	1.64	1.77
68	7.66	1.47	25.00	21.53	0.62	0.62
69	2.47	0.86	25.11	21.91	0.36	0.36
70	6.28	0.96	25.18	22.20	0.49	0.49
71	0.14	20.03	24.69	22.04	1.12	1.12
72	0.05	3.31	24.51	22.01	5.89	5.89
73	2.97	6.28	24.71	22.19	1.17	1.17
74	2.33	6.43	24.42	22.04	2.15	2.88
75	6.21	6.88	23.86	21.78	2.18	3.18
76	13.05	1.37	24.76	21.77	1.46	1.46
77	3.61	0.98	22.00	21.23	2.07	2.18
78	3.28	0.92	21.47	21.14	4.90	5.77
79	6.18	1.09	25.49	22.67	0.72	0.72
80	3.66	0.88	24.97	22.51	1.06	1.06
81	5.73	3.21	75.10	67.26	2.26	2.26
87	5.69	1.15	24.15	20.91	1.37	1.37
88	10.30	1.44	24.05	20.76	2.69	2.69
89	2.54	1.72	24.37	20.79	3.05	3.05
90	2.01	0.83	24.22	20.64	0.27	0.27
91	5.62	1.29	24.29	20.92	2.08	2.08
92	4.99	1.19	24.25	20.80	1.89	1.89
93	4.86	0.99	24.20	20.80	1.03	1.03
94	4.13	1.11	24.51	20.81	1.52	1.71
95	6.44	0.95	24.67	20.86	1.58	1.59
96	0.37	1.99	72.89	62.14	0.00	0.00

97	1.43	1.99	24.44	20.90	4.27	4.37
98	0.09	1.79	24.42	20.84	0.00	0.00
99	2.07	0.72	24.62	21.03	1.80	1.80
100	6.06	3.81	24.44	19.55	1.54	1.54
101	0.42	2.17	24.32	20.67	3.38	3.38
102	2.08	0.90	24.58	20.85	1.65	1.65
103	2.25	0.95	24.38	20.80	1.12	1.12
104	0.92	2.30	365.11	307.96	6.58	6.58
105	2.97	0.77	49.50	42.04	0.47	0.56
106	0.13	3.06	24.37	20.34	0.00	0.00
107	7.41	2.20	24.58	20.25	1.65	1.65
108	6.65	1.70	24.82	21.22	1.79	1.80
109	2.54	1.80	24.26	19.90	1.30	1.37
110	3.21	1.66	121.63	103.57	1.55	1.55
111	2.08	0.77	24.35	20.83	1.66	1.66
112	3.81	1.49	24.35	20.45	1.68	1.68
113	2.45	0.77	24.57	19.90	1.92	1.92
114	0.52	5.94	24.39	19.36	0.35	0.35
116	2.19	4.55	24.28	18.94	2.32	2.74
117	3.05	0.89	24.24	18.80	1.49	1.49
118	8.40	1.37	24.32	19.73	1.15	1.21
119	2.06	0.83	24.63	20.92	2.80	2.80
120	1.84	0.95	24.16	18.40	3.14	4.25
121	2.73	0.82	24.16	18.89	0.10	0.10
122	3.96	2.03	24.97	21.23	0.58	0.58
123	3.47	2.51	174.28	147.61	1.86	1.86
124	2.12	0.87	24.82	20.92	1.86	1.86
125	2.06	0.59	24.91	21.25	0.50	0.50
126	7.74	1.40	25.21	21.40	2.15	2.15
127	1.13	0.96	24.96	21.25	0.67	0.67
128	1.30	2.55	25.03	21.14	12.21	12.21
129	3.46	0.90	24.13	18.20	5.48	5.83
130	6.93	0.85	24.93	21.28	0.25	0.25
131	5.85	3.39	24.73	20.55	1.55	1.57
132	4.57	0.95	24.96	21.24	1.42	1.42
133	2.50	0.82	24.98	21.30	0.08	0.08
134	3.14	1.08	24.19	18.70	1.95	1.95
136	0.87	1.53	24.29	19.08	0.02	0.02
137	4.15	3.97	73.28	59.04	0.95	0.95
138	0.86	1.20	24.83	20.73	1.53	1.53
139	2.32	3.82	24.19	18.46	1.52	1.52
140	7.87	1.02	25.15	21.37	0.97	0.97
141	4.56	0.93	25.45	21.53	11.18	11.25
142	4.50	1.96	25.17	21.26	2.30	2.30
143	2.05	3.27	24.20	18.50	1.63	1.63
144	3.63	1.13	24.91	20.89	1.82	1.82
145	0.95	1.86	25.27	21.36	4.66	5.01
146	0.03	2.55	25.34	21.43	2.12	2.12
147	2.94	3.41	48.46	37.39	2.34	2.34
148	2.11	0.86	48.37	37.71	3.96	3.96

149	2.52	0.86	24.25	19.28	0.51	0.51
150	0.30	1.44	219.45	174.19	0.44	0.44
151	4.26	0.95	24.58	19.79	0.73	0.73
152	7.18	3.83	24.30	19.03	0.79	0.79
153	2.18	0.76	126.15	107.20	2.56	2.63
154	3.36	1.31	25.35	21.49	3.17	3.27
155	2.76	0.83	25.34	21.48	5.70	5.80
156	0.03	10.74	24.40	19.40	0.00	0.00
157	4.01	4.19	48.85	39.48	0.38	0.38
158	5.55	1.35	25.47	21.55	23.16	23.28
159	5.16	1.21	24.79	20.75	1.54	1.60
160	2.43	0.82	25.23	21.46	2.49	2.49
162	3.00	1.09	50.49	42.98	4.34	4.34
163	3.06	0.85	48.96	39.66	0.09	0.09
164	2.03	0.75	24.61	19.94	2.20	2.20
165	2.20	2.22	24.46	19.56	0.57	0.57
166	3.22	0.87	25.07	21.56	4.07	4.16
167	0.29	1.06	352.62	301.31	10.02	10.02
168	6.51	1.04	25.20	21.36	3.67	3.70
169	2.49	0.86	50.27	43.03	0.27	0.27
170	4.86	0.88	25.10	21.74	1.77	1.92
171	11.66	2.57	24.72	20.40	1.54	1.58
172	1.86	2.04	49.06	40.04	0.61	0.69
173	4.78	0.98	24.67	20.48	1.74	1.74
174	6.16	1.04	24.68	20.43	1.08	1.08
175	5.84	1.01	24.97	21.26	2.29	2.29
176	0.54	2.00	49.07	40.45	0.13	0.13
177	0.74	2.42	24.51	20.37	0.26	0.26
178	2.44	0.78	24.99	21.48	1.23	1.23
179	6.90	1.20	24.65	20.57	0.32	0.32
180	0.93	1.97	24.52	20.46	0.56	0.56
181	1.50	1.03	321.15	277.10	2.51	2.51
182	0.27	1.59	24.42	20.56	0.29	0.29
183	6.75	0.90	24.93	21.80	0.57	0.57
184	3.07	0.85	48.99	41.71	1.80	1.80
185	4.33	1.89	98.02	102.94	1.31	1.31
186	0.07	0.87	242.99	207.16	1.69	1.69
187	12.28	1.53	24.46	21.00	3.41	3.43
188	2.85	1.16	24.39	20.68	0.42	0.42
189	3.13	0.94	24.26	20.83	0.63	0.63
190	2.18	0.76	48.13	41.40	2.76	2.77
191	6.58	1.19	24.58	20.98	1.11	1.11
194	3.04	0.88	23.88	20.55	2.79	2.82
195	9.83	1.25	24.83	21.37	1.78	1.78
196	3.08	1.53	24.13	20.76	1.43	1.43
197	0.03	2.37	23.91	20.67	3.47	3.47
198	10.94	0.99	48.71	42.89	0.87	0.87
199	4.24	0.97	23.44	20.34	2.17	3.82
200	3.16	0.84	23.59	20.53	1.61	1.61
202	13.52	1.28	24.03	20.94	3.99	4.24

203	2.64	1.27	23.38	20.29	3.81	3.81
210	5.42	1.34	23.28	21.54	7.94	9.78
211	3.93	1.00	23.05	21.50	2.35	2.39
212	4.87	10.71	23.97	21.86	1.47	1.47
213	0.37	13.35	48.39	43.85	0.60	0.60
214	2.32	0.91	24.36	22.13	1.12	1.26
215	1.06	12.32	24.30	22.00	0.87	0.91
216	5.64	1.25	24.13	21.78	3.04	4.40
217	6.44	13.18	220.43	199.03	2.60	2.66
218	2.21	0.96	24.41	21.96	1.29	1.29
219	2.53	16.98	24.59	22.14	2.49	2.49
220	6.04	1.56	24.70	22.34	3.34	3.68
221	5.00	16.93	24.71	22.24	2.72	3.67
230	1.38	7.17	23.34	21.55	2.22	2.22
233	2.05	0.84	25.31	22.58	0.91	0.91
234	3.12	7.53	23.24	21.62	0.99	1.01
235	2.92	1.69	25.45	22.55	1.94	1.94
236	3.05	0.89	21.29	21.12	16.22	18.77
237	2.46	0.79	25.15	22.21	0.86	0.86
238	3.02	2.44	25.33	22.81	2.84	2.89
239	0.05	4.22	25.52	22.88	5.48	5.48
240	2.18	0.84	22.43	21.34	1.80	2.20
241	2.12	0.75	25.43	22.48	0.44	0.44
242	0.25	11.72	22.94	21.52	2.39	2.39
243	0.37	10.87	22.75	21.46	1.26	1.26
244	0.51	1.74	25.60	22.73	0.70	0.70
245	3.73	1.19	154.81	149.08	3.04	3.43
246	7.19	2.03	26.00	23.19	0.65	0.65
247	4.71	0.95	48.90	44.46	5.00	6.09
248	2.10	0.86	21.97	21.25	2.20	2.41
249	0.10	11.75	274.96	258.28	9.93	9.93
250	1.33	8.51	23.01	21.57	3.00	3.00
251	4.10	1.36	25.68	22.87	0.36	0.36
252	5.36	1.00	21.92	21.24	8.42	8.70
253	4.81	0.93	25.78	23.20	4.51	4.51
254	2.43	2.68	25.80	23.11	1.95	2.00
255	1.24	0.87	23.56	21.76	2.96	2.96
256	0.02	11.59	22.98	21.57	1.29	1.29
257	4.31	7.89	22.90	21.55	0.57	0.60
258	2.03	0.97	48.77	44.47	5.80	11.16
259	2.33	0.95	24.51	22.30	39.01	39.01
260	1.59	2.42	26.11	23.35	1.64	1.64
261	3.43	0.81	166.18	153.37	1.40	2.50
262	2.30	0.84	53.20	47.54	1.82	1.91
263	4.38	7.98	23.29	21.69	1.71	1.73
264	8.45	1.14	26.62	23.83	4.43	8.89
266	8.85	1.35	24.47	22.35	6.93	6.99
267	6.09	9.90	23.65	21.79	2.21	4.71
268	2.05	0.83	23.92	22.00	9.07	9.44
269	0.71	1.43	23.62	21.81	1.08	1.08

276	3.86	0.90	45.49	39.51	1.45	1.45
278	2.80	1.02	22.55	19.55	3.58	4.47
279	2.75	0.90	22.72	19.81	2.14	2.14
283	3.79	0.89	24.97	22.16	1.45	1.45
284	7.30	1.06	43.24	37.38	6.81	6.84
285	5.79	0.96	25.09	22.37	0.62	0.62

5 Valutazione della suscettibilità delle piene ai trend climatici

Per quanto riguarda i tratti fluviali i cui bacini sono caratterizzati da tempi di corrivazione superiore all'ora si è proceduto ad un'ulteriore analisi dell'impatto dei trend climatici sul rischio. Per questi casi, l'utilizzo della variabile idrologica proposta dal metodo Arno (Brugioni et al., 2010) non risulta congrua rispetto ai tempi di corrivazione del bacino e, di conseguenza, in questi casi si è preferito stimare il trend climatico medio per durate prossime al tempo di corrivazione. Quest'ultimo è stato stimato attraverso le formulazioni proposte dal metodo Arno calcolando il valore medio delle sole formule empiriche che risultano compatibili con le caratteristiche morfologiche del bacino.

Nel caso in cui il tempo di corrivazione del bacino sia intermedio rispetto a due durate di cui si dispone dell'analisi idrologica, il trend è stato valutato tramite interpolazione tramite legge di potenza.

La seguente figura mostra, nello scenario climatico di medio termine (2050), e per ciascuna sezione di chiusura (individuata con inter-distanza minima pari a 10 m) la variazione percentuale media delle piogge intense per durate assimilabili al tempo di corrivazione dell'area drenata.

L'analisi mostra un trend globalmente positivo sulle piogge intense e, di conseguenza, è prevedibile che le portate di piena debbano crescere seguendo il possibile sviluppo dell'attuale trend climatico. In termini quantitativi, l'impatto può definirsi moderato nel tratto terminale del reticolo idrografico, soprattutto in relazione agli affluenti del corso d'acqua principale; il trend risulta elevato e molto elevato nei bacini montani e ciò è chiaramente spiegabile con l'evidenza di trend positivi e più significativi per le durate più basse mentre risultano progressivamente meno rilevanti per le durate maggiori che sollecitano le aste fluviali principali.

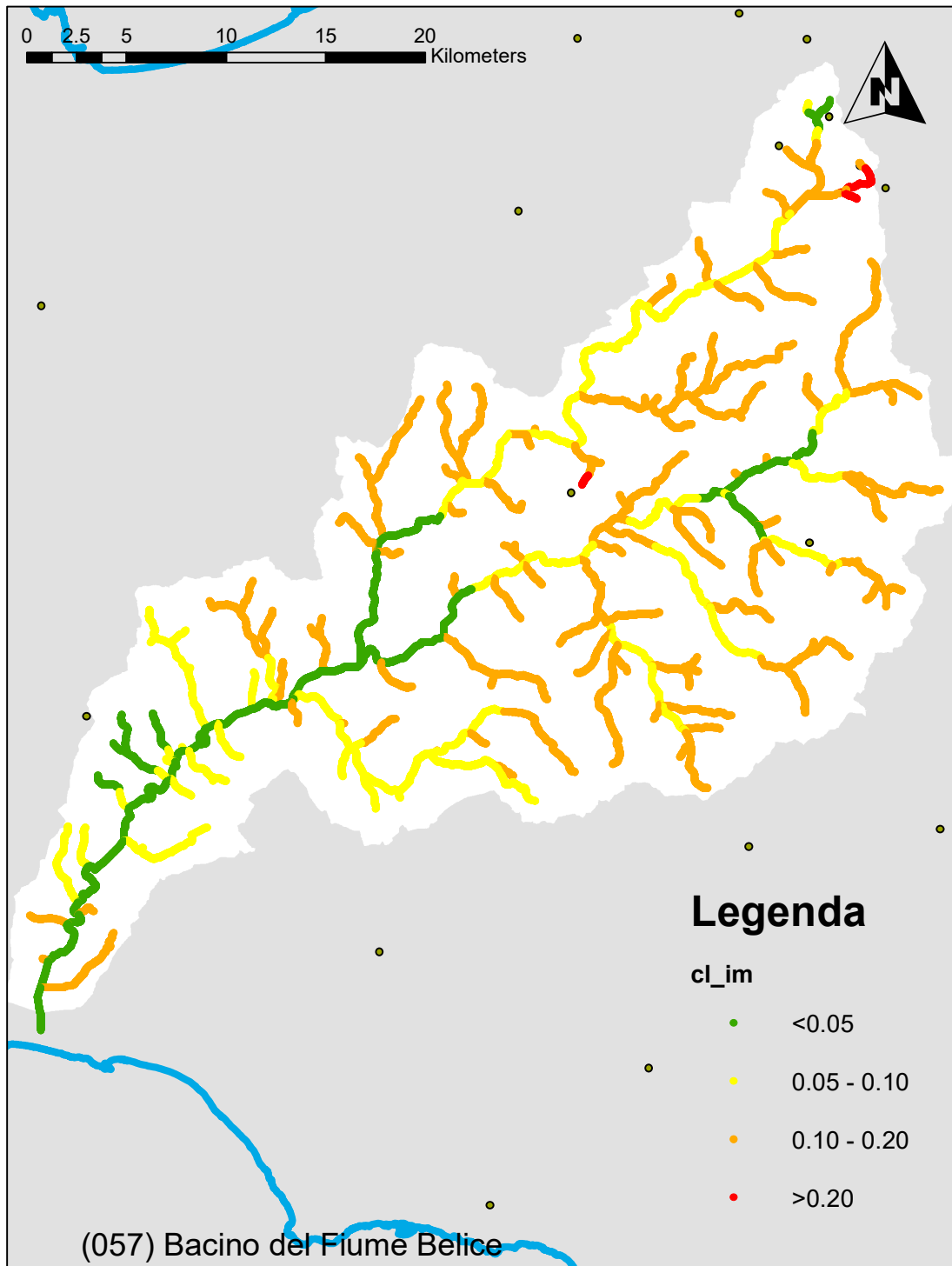


Figura 24 Variazione climatica nel periodo 2020 – 2050 per i picchi annuali di pioggia di massima intensità e durata pari al tempo di corrivazione dell'area drenata

6 Modifiche alle misure di piano

6.1 Aggiornamento della valutazione dei punteggi tecnici alle misure inserite nel piano in relazione alla valutazione del cambiamento climatico

L'analisi della suscettibilità del bacino alle piene lampo evidenzia già allo stato attuale un rischio elevato in diversi sottobacini e molto elevato in un bacino urbano. Tale condizione, sebbene l'analisi evidenzi trend climatici statisticamente significativi ed una progressiva crescita del consumo di suolo, sembra soggetta a modeste variazioni che non portano ad un ulteriore aggravamento dei rischi.

Il quadro d'impatto del cambiamento climatico sui bacini a maggiore tempo di corrivazione evidenzia trend climatici significativi e positivi con una elevata crescita della media delle piogge di massima intensità e durate paragonabili con i tempi di corrivazione più bassi e progressivamente meno rilevabile per i tempi più alti.

Le misure previste dal piano già prevedono interventi non strutturali per la prevenzione del rischio alluvioni e misure di preparazione e protezione tra cui il monitoraggio delle variabili climatiche, i sistemi di allerta e la segnalazione delle aree fluviali a maggiore rischio.

Alla luce dell'analisi svolta e dell'aggiornamento dei punteggi tecnici previsti dal Piano, si ritiene in questa sede di confermare il quadro delle misure adottate.

6.2 Proposta di nuove misure per la mitigazione delle piene lampo e dell'impatto del cambiamento climatico

L'analisi della suscettibilità del bacino alle piene lampo suggerisce di **concentrare lo sviluppo di sistemi di monitoraggio, allertamento e segnalazione del pericolo nei bacini ad alta suscettibilità** evidenziati dallo scenario attuale e sostanzialmente confermati dallo scenario a medio termine. Tale soluzione deve essere prioritariamente implementata nelle aree che già, nella condizione odierna, evidenziano maggiore suscettibilità ed in particolare nelle aree prossime all'abitato di Montevago (Figura 25).

Tali interventi andranno tarati sulla previsione di eventi di breve e brevissima durata che maggiormente influiscono sul rischio di piene lampo.

In considerazione del fatto che la variazione climatica sulle piogge intense risulta talvolta molto elevata nello scenario 2050 **si ritiene di proporre in questa sede l'applicazione di norme specifiche per la rivalutazione della pericolosità e del rischio idraulico e per la progettazione delle opere di mitigazione e salvaguardia**. In particolar modo si suggerisce di **vincolare il parere sulla rimodulazione delle aree a pericolosità idraulica all'esame di specifiche analisi idrologiche-idrauliche che prevedano esplicitamente scenari di cambiamento climatico**. Si propone di estendere tale vincolo ai tratti fluviali che manifestano la massima variazione climatica (in arancione e in rosso in figura 24) e nei bacini drenati (Figura 26).

Tali analisi possono essere svolte con metodi analoghi a quelli discussi e/o applicati nel presente studio ovvero con approcci di letteratura che prevedano espressamente la valutazione statistica dei trend climatici sulle variabili idrologiche di interesse.

Si rimanda comunque al successivo ciclo di aggiornamento del Piano per la rivalutazione dei trend climatici, alla luce dei nuovi dati che saranno disponibili, e l'eventuale imposizione di specifici vincoli.

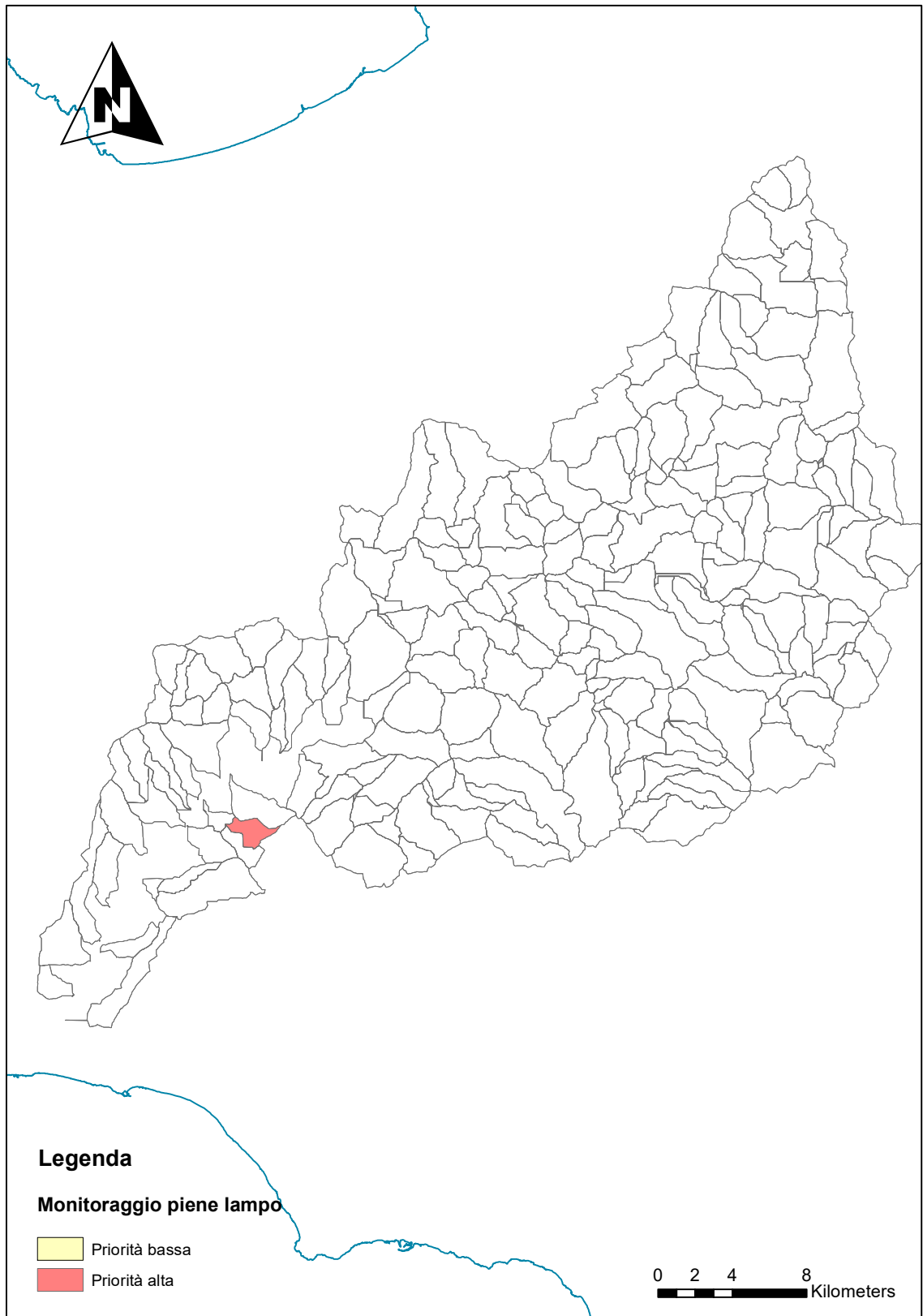


Figura 25 Aree su cui applicare le misure di monitoraggio delle piene lampo

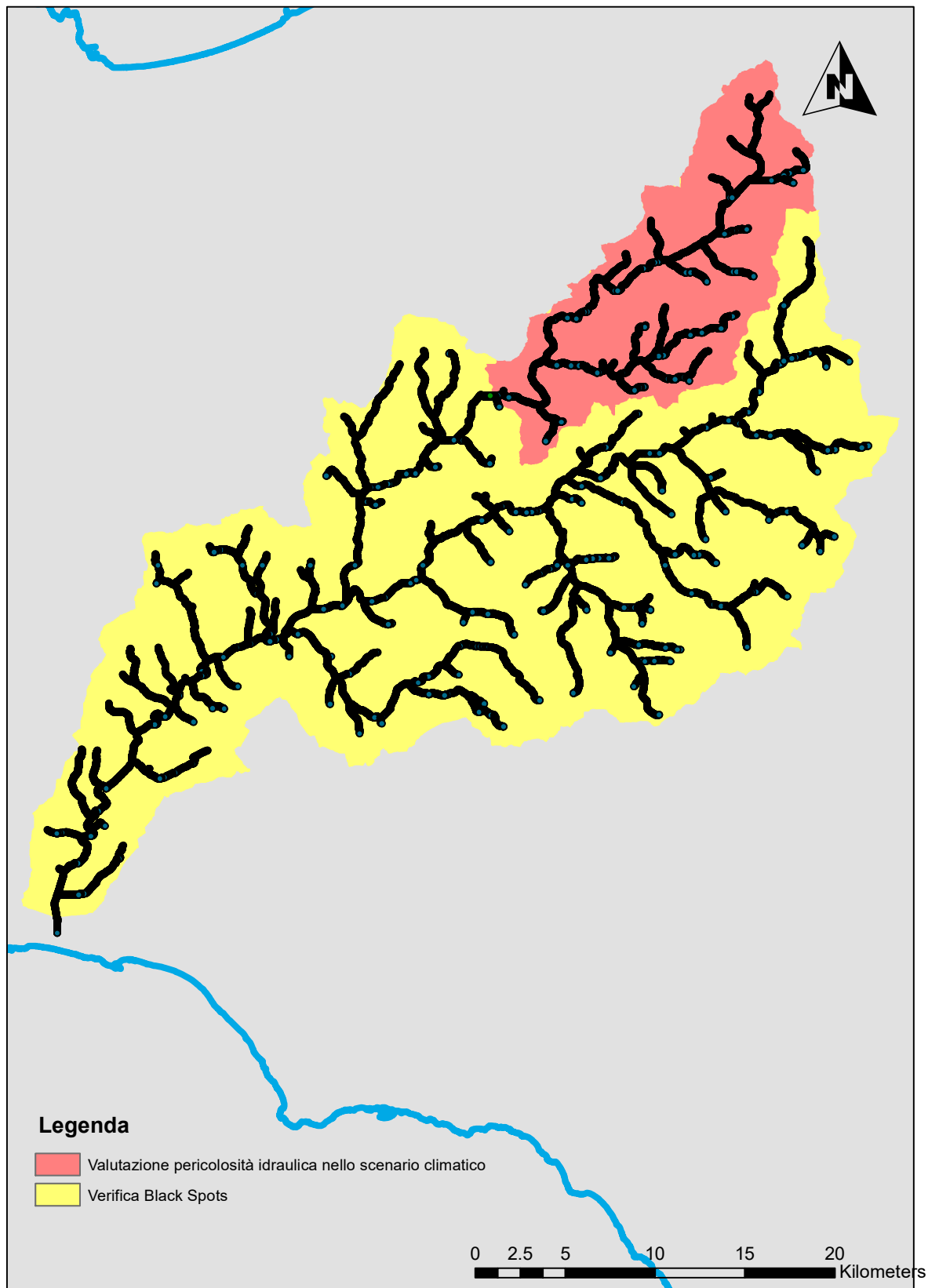


Figura 26 Aree su cui applicare le misure di integrazione degli scenari climatici nelle analisi di compatibilità idraulica

