

2020

# 033 – Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo

PROF. ING.  
GABRIELE FRENI

[COMPANY NAME] | [Company address]

Indice

<b>1</b>	<b><i>Premessa .....</i></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><i>Sintesi dell'inquadramento morfologico e territoriale.....</i></b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b><i>Valutazione delle variabili climatiche e di consumo di suolo .....</i></b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b><i>Valutazione della suscettibilità dei bacini alle piene lampo.....</i></b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b><i>Valutazione della suscettibilità delle piene ai trend climatici .....</i></b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b><i>Modifiche alle misure di piano .....</i></b>	<b>37</b>
	<b>6.1 Aggiornamento della valutazione dei punteggi tecnici alle misure inserite nel piano in relazione alla valutazione del cambiamento climatico .....</b>	<b>37</b>
	<b>6.2 Proposta di nuove misure per la mitigazione delle piene lampo e dell'impatto del cambiamento climatico.....</b>	<b>37</b>

## 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)<sup>1</sup>. 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. E' 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. E' 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.

---

<sup>1</sup> 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 Fiume San Leonardo è il corso d'acqua principale della costa settentrionale della Sicilia.

L'attuale condizione geomorfologica del bacino del S. Leonardo è la conseguenza di processi tettonici (tettonica compressiva miocenica e tettonica distensiva plio-quadernaria) cui ha fatto seguito l'azione geomorfologica degli agenti esogeni che hanno modellato la superficie topografica generando le attuali morfostrutture.

La natura piuttosto accidentata del territorio, con frequenti e rapide variazioni di quota, è imputabile al contrapporsi di colline argillose, dai pendii dolci e poco acclivi, e di rilievi lapidei, dai pendii acclivi e scoscesi.

La morfologia tipica delle zone dove affiorano i terreni lapidei è materializzata da rilievi notevoli, versanti molto acclivi associati ad ampie fasce detritiche e valli strette e profonde; i processi geomorfologici principali sono caratterizzati da disgregazione fisica ed erosione delle masse litoidi, con conseguenti frane di crollo e ribaltamento. Nelle zone collinari e pedemontane, dove prevalgono i litotipi plastici, i versanti sono meno acclivi e mostrano morfosculture generate principalmente da processi franosi e di erosione accelerata.

Uno dei principali processi morfodinamici è quello legato allo scorrimento delle acque libere e all'erosione e al trasporto solido delle acque incanalate. A causa della morfologia accidentata del bacino i segmenti fluviali di ordine minore, corrispondenti ai tratti iniziali dei singoli corsi d'acqua, hanno un elevato gradiente di pendio e un reticolato idrografico di tipo sub-dendritico, mentre i segmenti di ordine maggiore che scorrono nei fondivalle hanno spesso percorso meandriforme, denunciando, quindi, bassi gradienti di pendio.

Nel complesso il bacino del San Leonardo si è evoluto fino ad uno stadio di erosione fluviale "mediamente senile" con un reticolo idrografico discretamente gerarchizzato.

La presenza di un reticolato idrografico sviluppato contribuisce fortemente alla genesi di processi di dissesto idrogeologico, molto diffusi in tutto il bacino: frane, ruscellamento, calanchi. Il ruscellamento superficiale delle acque piovane è causa della denudazione dei versanti e della formazione di rivoli e solchi, specie laddove affiorano litologie a prevalente frazione argillosa.

L'erosione, invece, determina la disgregazione e la degradazione dei suoli agrari e delle porzioni affioranti delle formazioni geologiche.

I processi franosi nel bacino sono molto diffusi; essi hanno condizionato e condizionano consistentemente l'evoluzione morfologica dei versanti. Alcune zone, infatti, sono caratterizzate da movimenti franosi di notevoli dimensioni che periodicamente si rimobilizzano; tali movimenti sono molto complessi in dipendenza dell'estrema eterogeneità geologica della zona.

Il Fiume S. Leonardo presenta un andamento planimetrico dell'alveo. Nasce alle pendici di Pizzo Cangialoso (m. 1.456), ricadente nel territorio comunale di Corleone, e nel suo tratto iniziale, ad andamento NE-SO, prende il nome di "Vallone Margi".

Successivamente, il corso d'acqua attraversa i territori comunali appartenenti al Dipartimento di Prizzi e, nuovamente, al comune di Corleone, dove assume il nome di "F. della Mendola".

Quest'ultimo segna con il suo percorso il confine tra i territori comunali di Campofelice di Fitalia e Prizzi e, prende il nome di "F. Centosalme", che si snoda con andamento all'incirca ENE-OSO fino a quando cambia il suo nome in "F. Trinità". Numerosi sono i rilievi che raggiungono modeste altitudini. Tra di essi ricordiamo: ad ovest Rocca Busambra (m. 1.614), a sud ovest M. Cardellia (m. 1.266) e M. Barracù (m. 1.420), a sud M. Carcaci (m. 1.196), ad est La Montagnola (m. 833) e all'interno del bacino Pizzo Colobria (m. 949), Pizzo Condreo (m. 1.004) e Pizzo di Casa (m. 1.211).

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 inferiori a 15 km<sup>2</sup>. Complessivamente sono stati individuati 147 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.

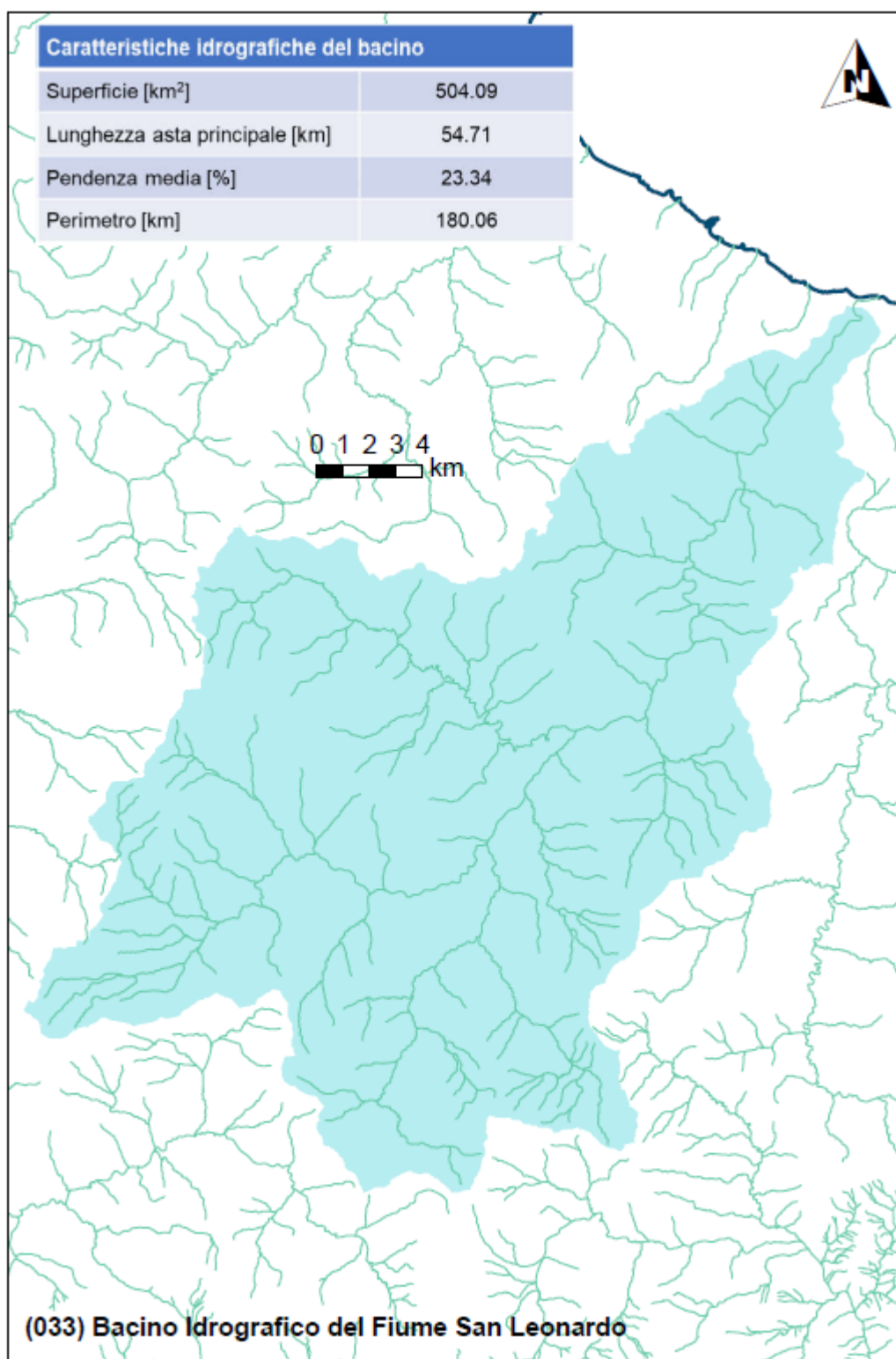


Figura 1 Inquadramento Territoriale del bacino

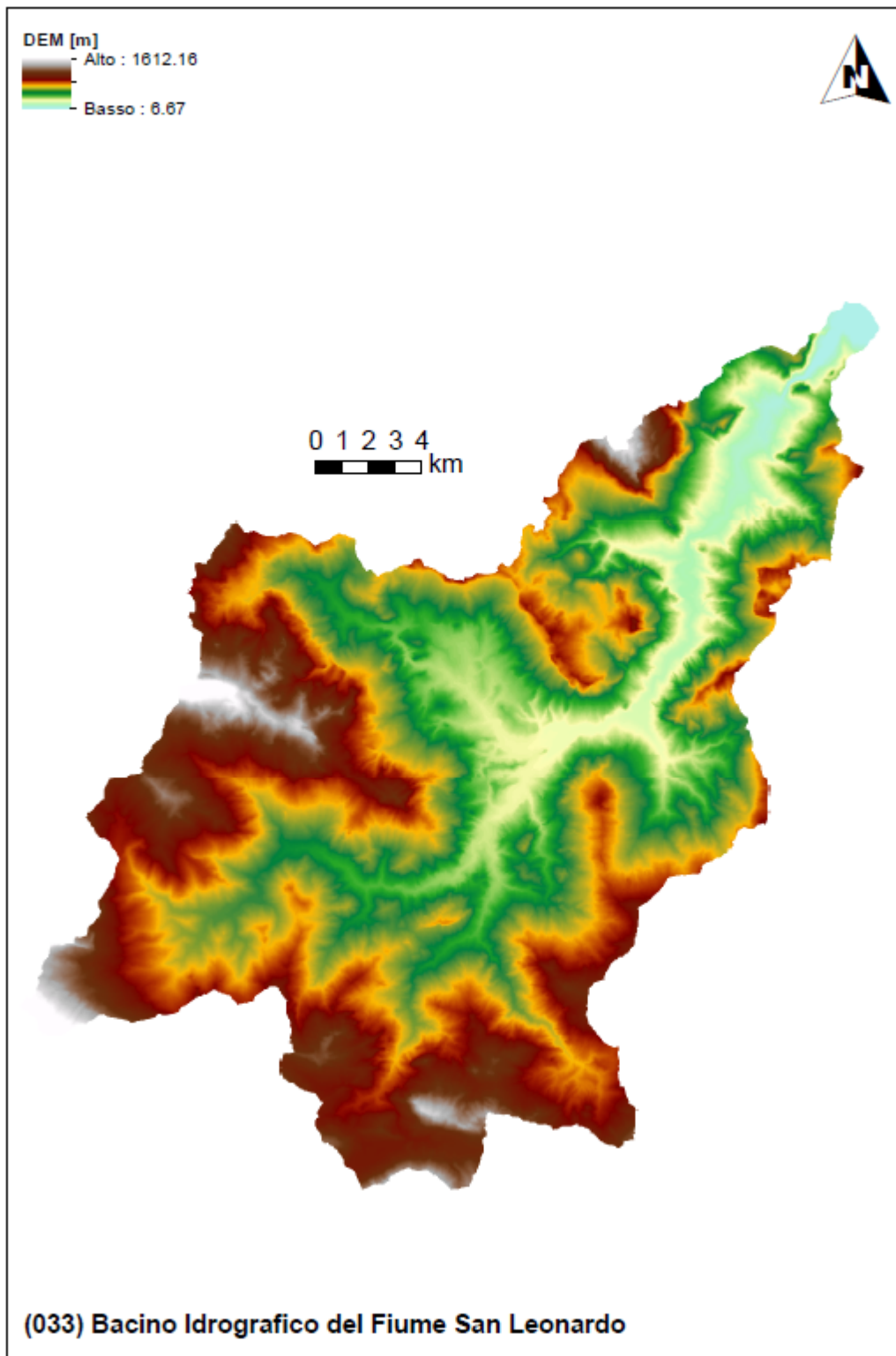


Figura 2 Modello digitale delle elevazioni con risoluzione spaziale pari a 10 m



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



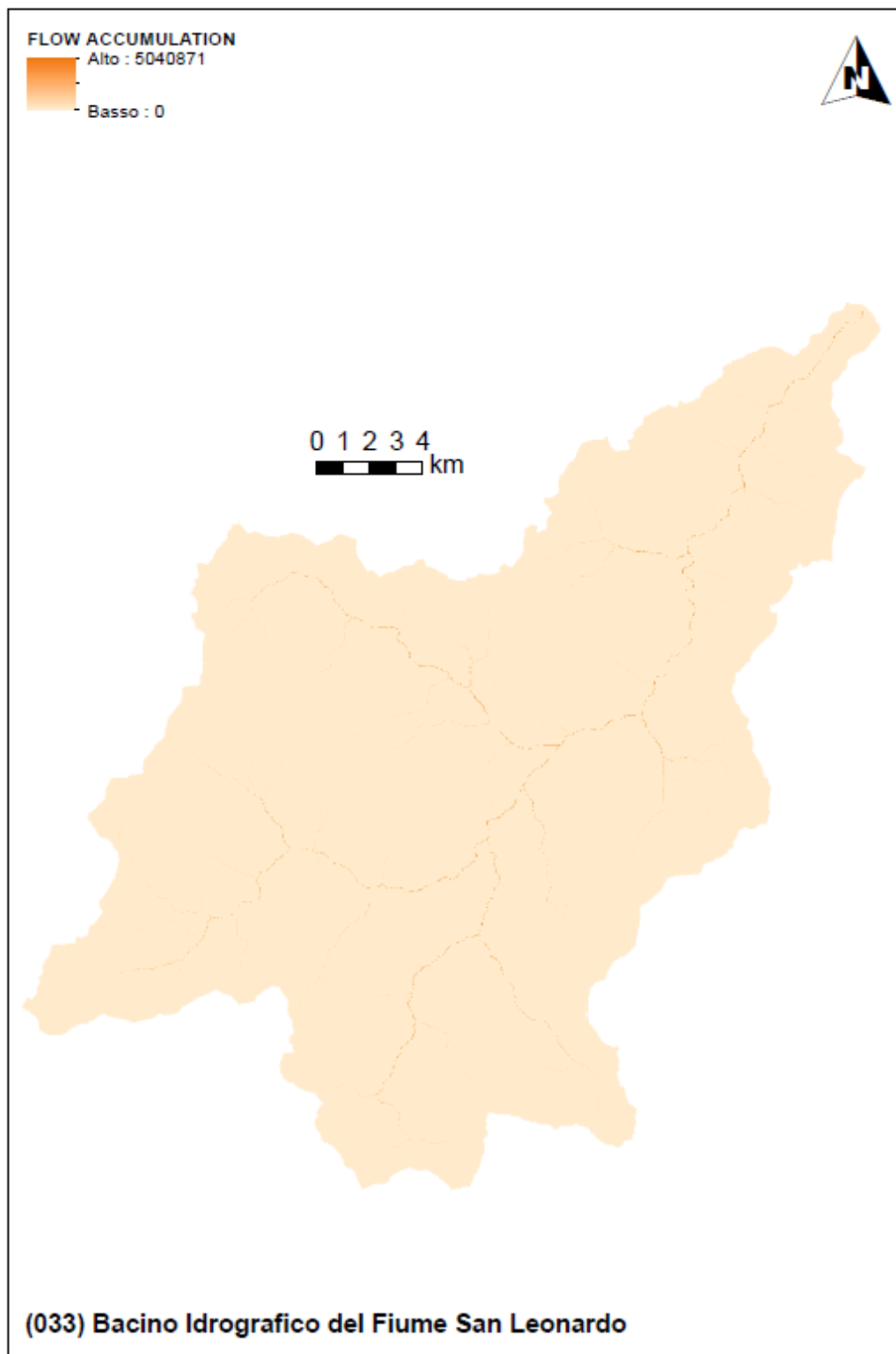


Figura 4 Funzione Flow Accumulation del bacino

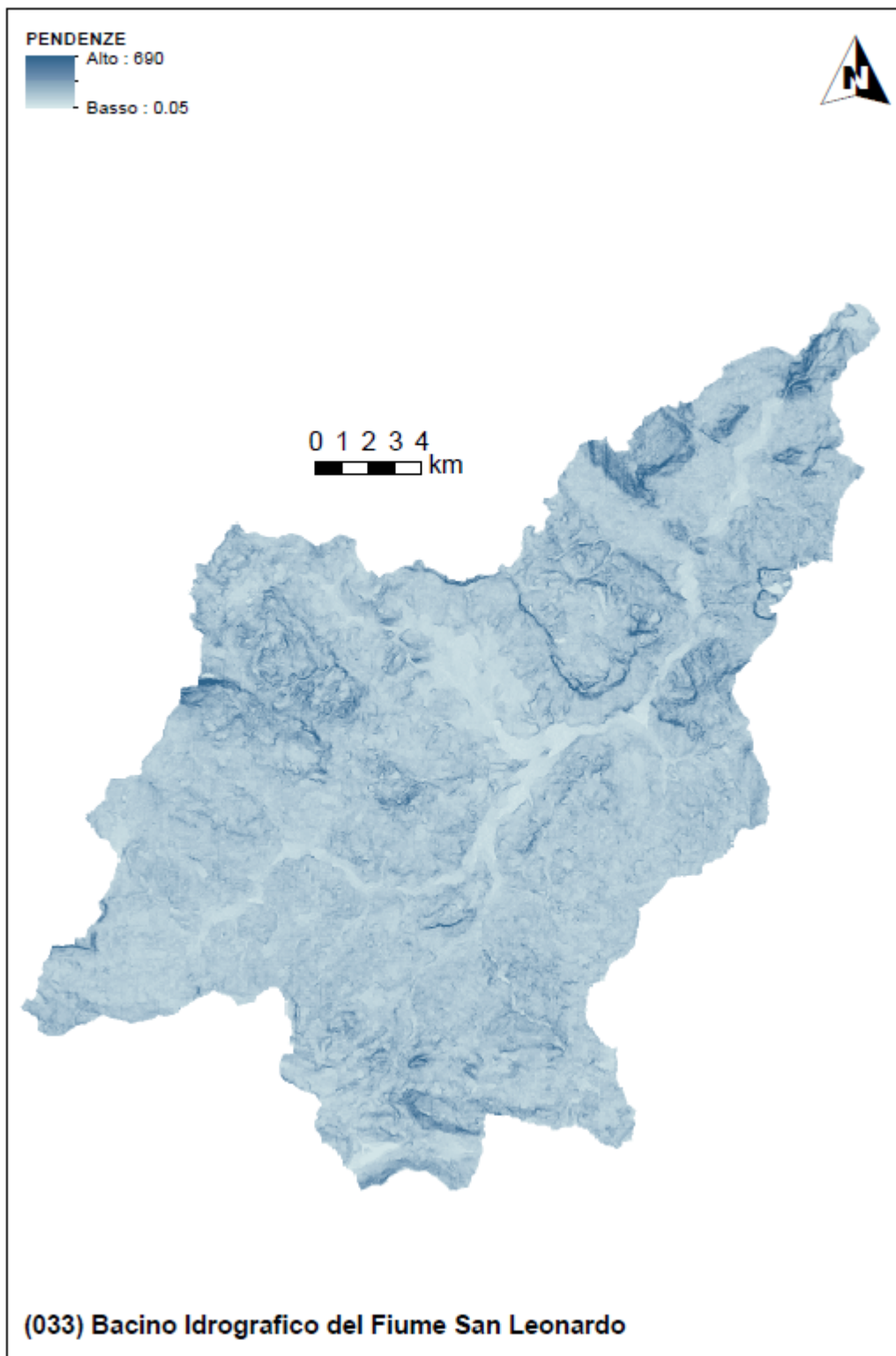


Figura 5 Carta delle pendenze [%] sulla base del modello digitale delle elevazioni con risoluzione spaziale pari a 10 m

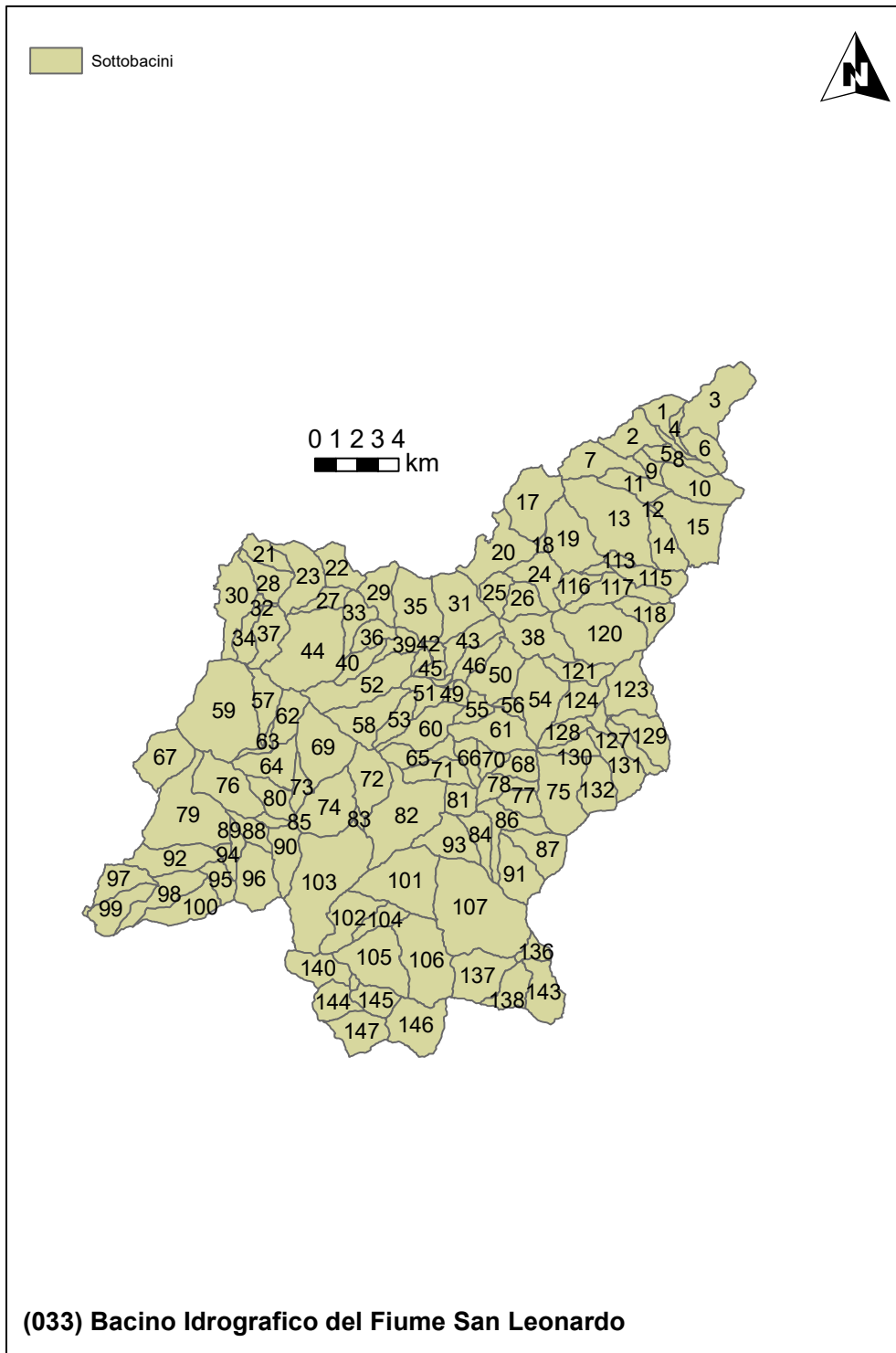


Figura 6 Delimitazione dei sottobacini sulla base delle caratteristiche morfologiche e della densità di drenaggio

### 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 caratterizzati da grande variabilità: intermedi (in generale tra 20 e 30 anni) nel tratto montano e medio del bacino; bassi nel tratto vallivo in prossimità della foce. Tale variabilità incide, anche significativamente, sul rischio di piene lampo nel bacino nello scenario attuale. Sono evidenti significative variazioni nello scenario climatico di medio termine e ciò determina aggravamenti del quadro della suscettibilità del bacino alle piene improvvise sebbene contenuti.

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 km<sup>2</sup>).

I trend riscontrati nei dati evidenziano un trend sempre significativo (con livello di significatività pari a 0.05) e positivo 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.

I dati mostrano un consumo di suolo significativo nei sottobacini più prossimi al mare con circa il 10-20% del suolo del bacino già consumato. Ovviamente i sottobacini montani evidenziano valori assai modesti e legati alla natura montuosa e sostanzialmente rurale delle aree considerate.

Il trend di consumo del suolo mostra sempre un andamento positivo con ratei di crescita annui maggiori nelle aree già maggiormente urbanizzate. Lo scenario al 2050 mostra una crescita massima che, in taluni bacini assume valori ragguardevoli del +10% rispetto al 2020.

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

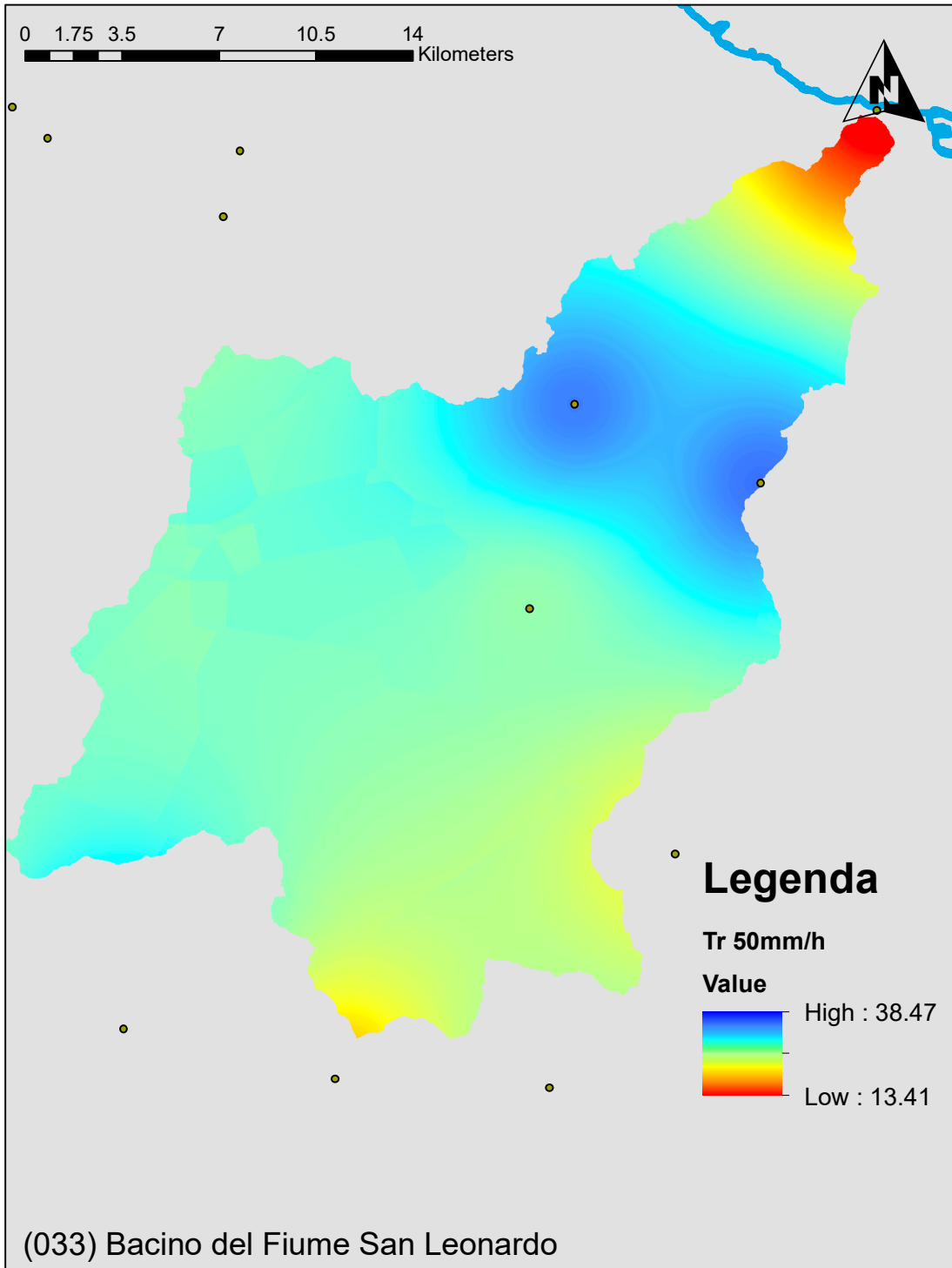


Figura 7 Tempo di ritorno della pioggia indice per il rischio di piene lampo nello scenario attuale (anni)

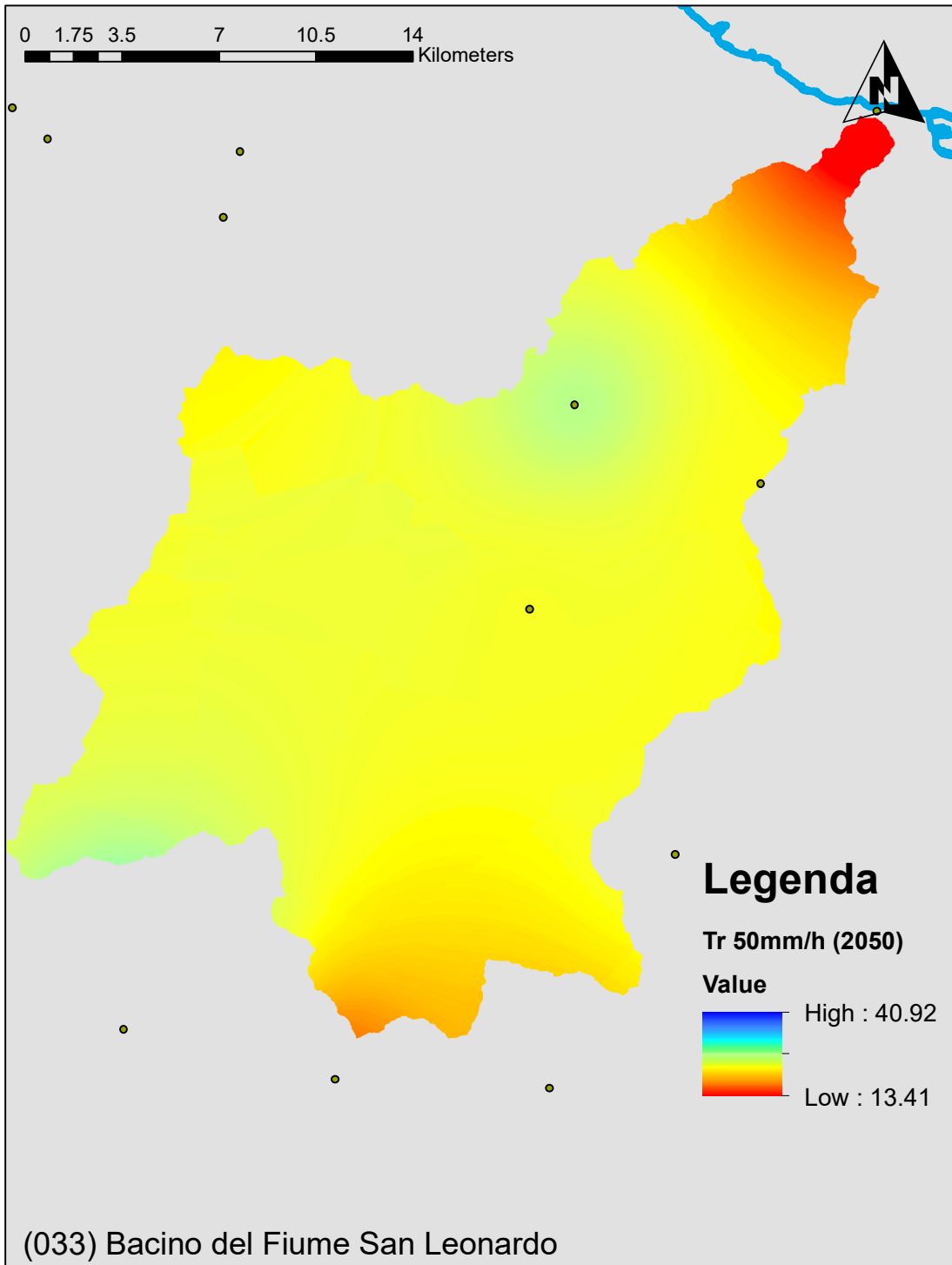


Figura 8 Tempo di ritorno della pioggia indice per il rischio di piene lampo nello scenario di medio termine al 2050 (anni)

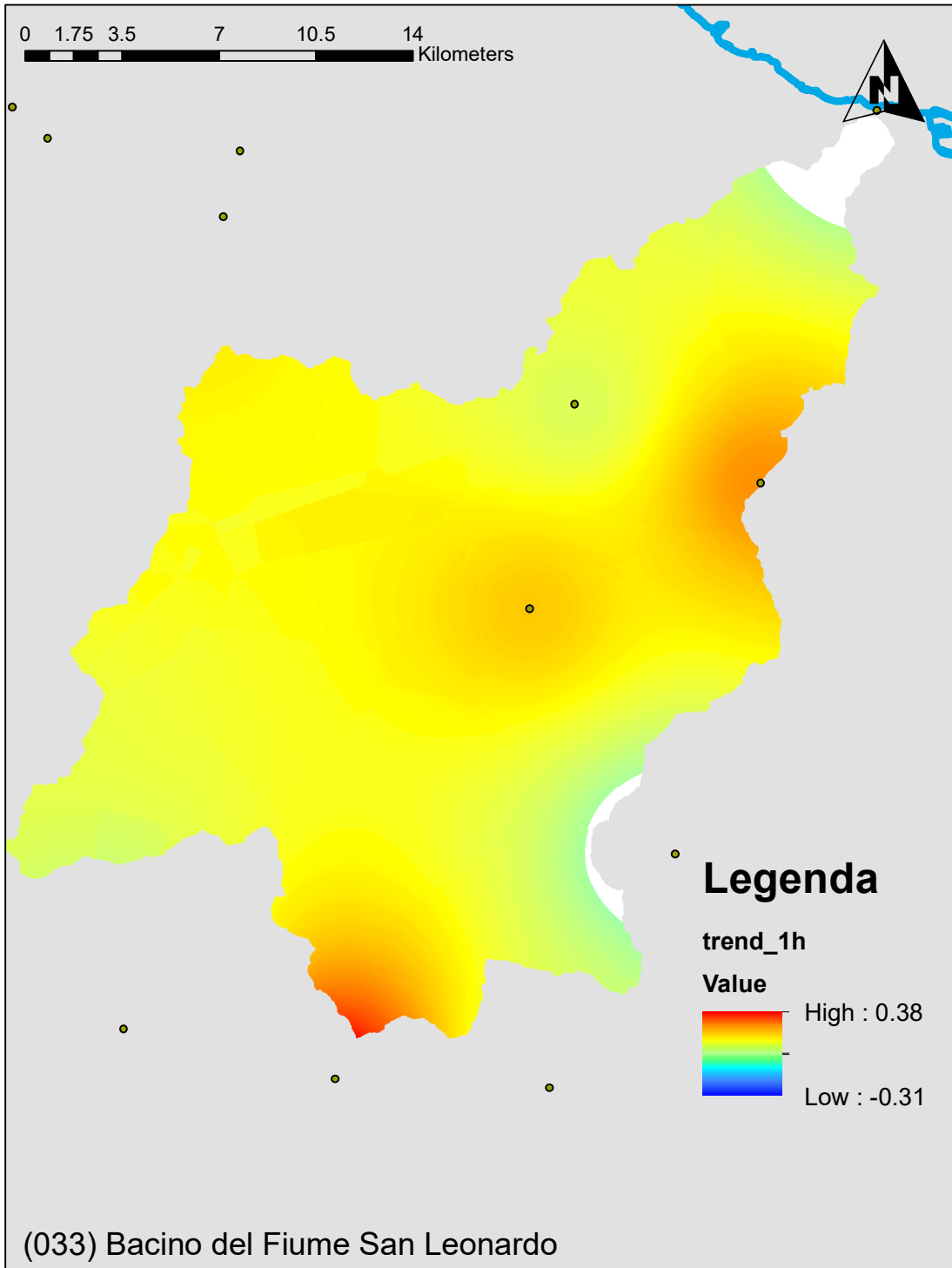


Figura 9 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 1 h (mm/anno)

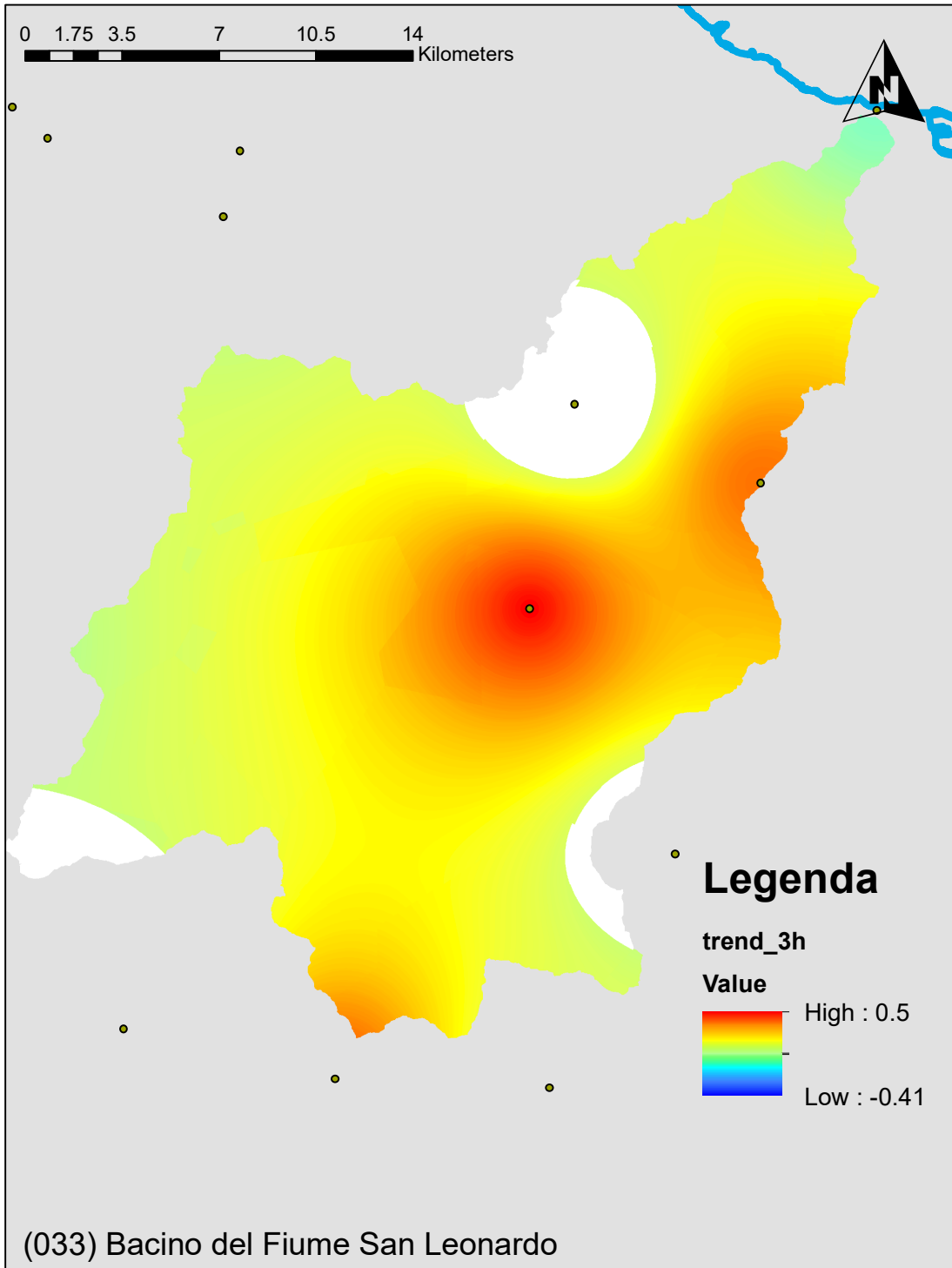


Figura 10 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 3 h (mm/anno)



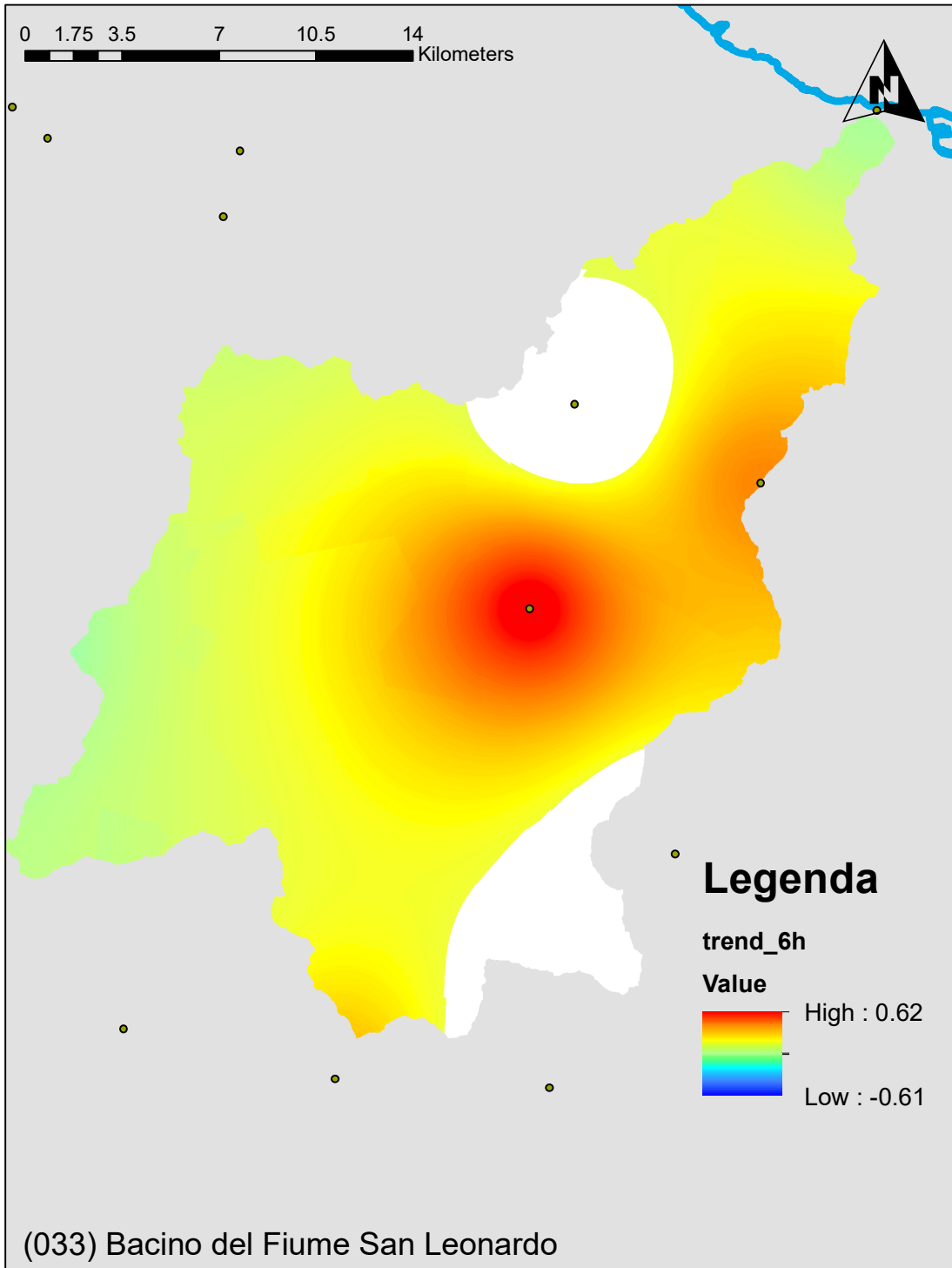


Figura 11 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 6 h (mm/anno)

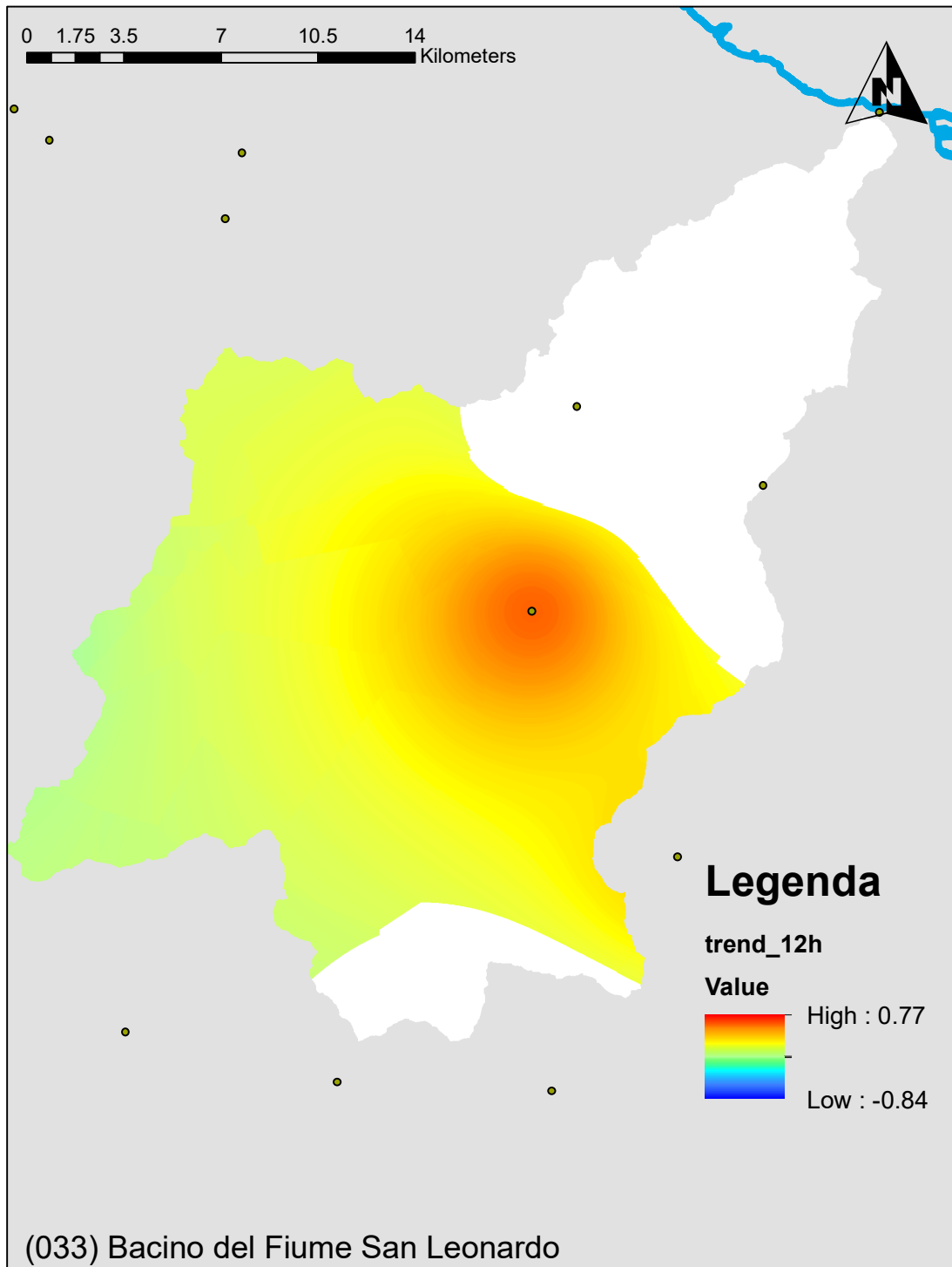


Figura 12 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 12 h (mm/anno)

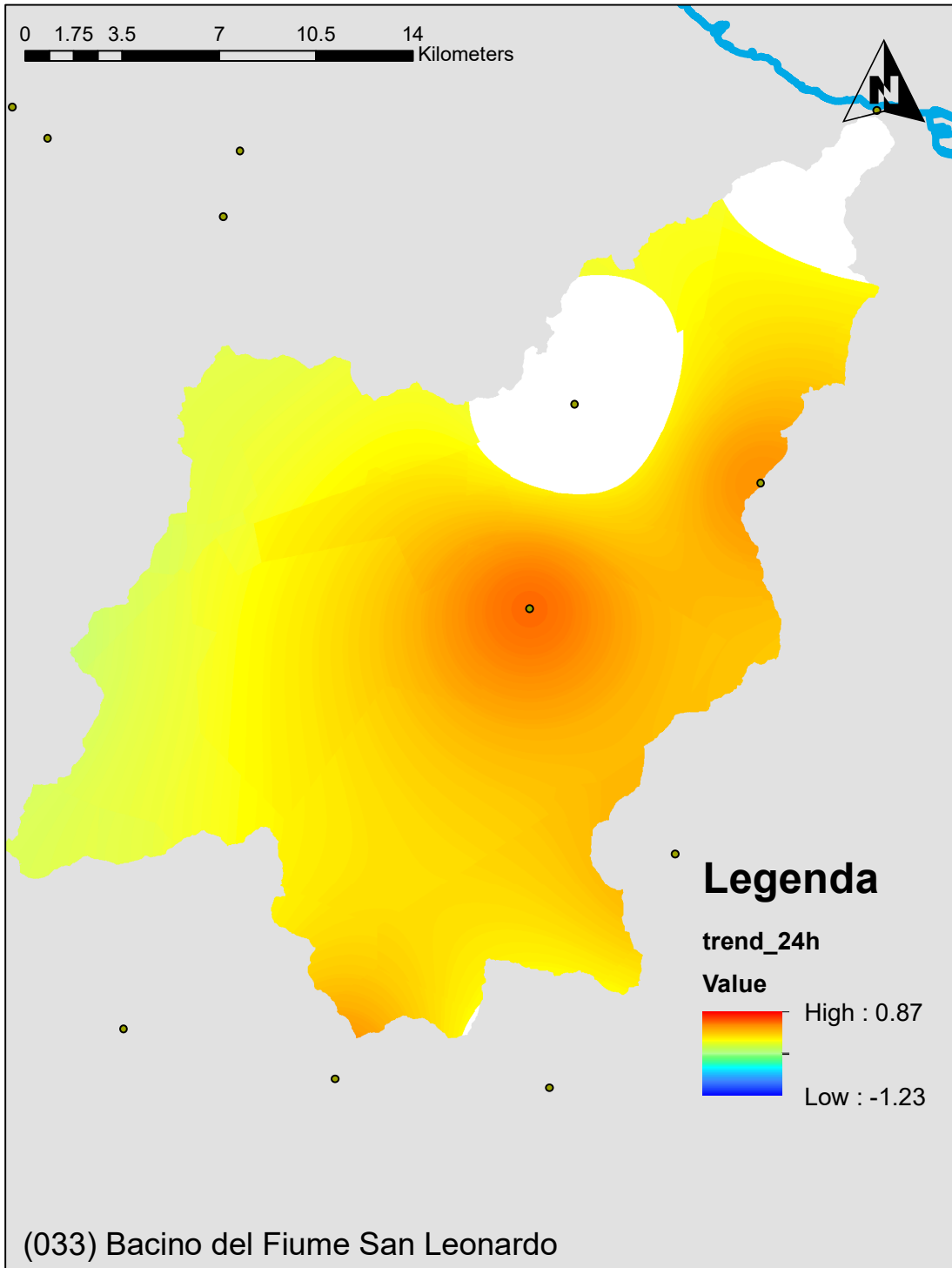


Figura 13 Trend climatico sulle piogge intense di fissata durata pari ad 24 h (mm/anno)

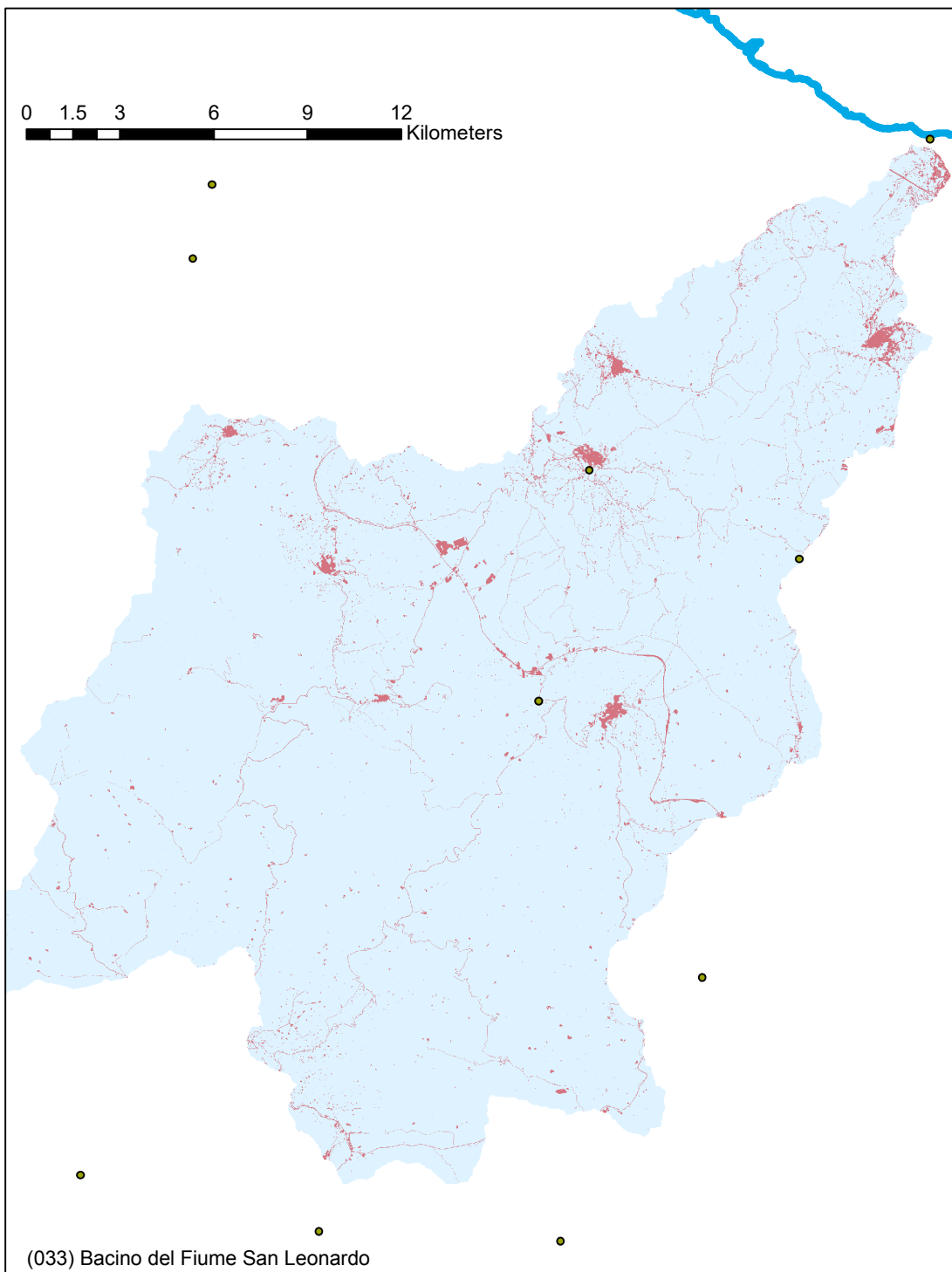
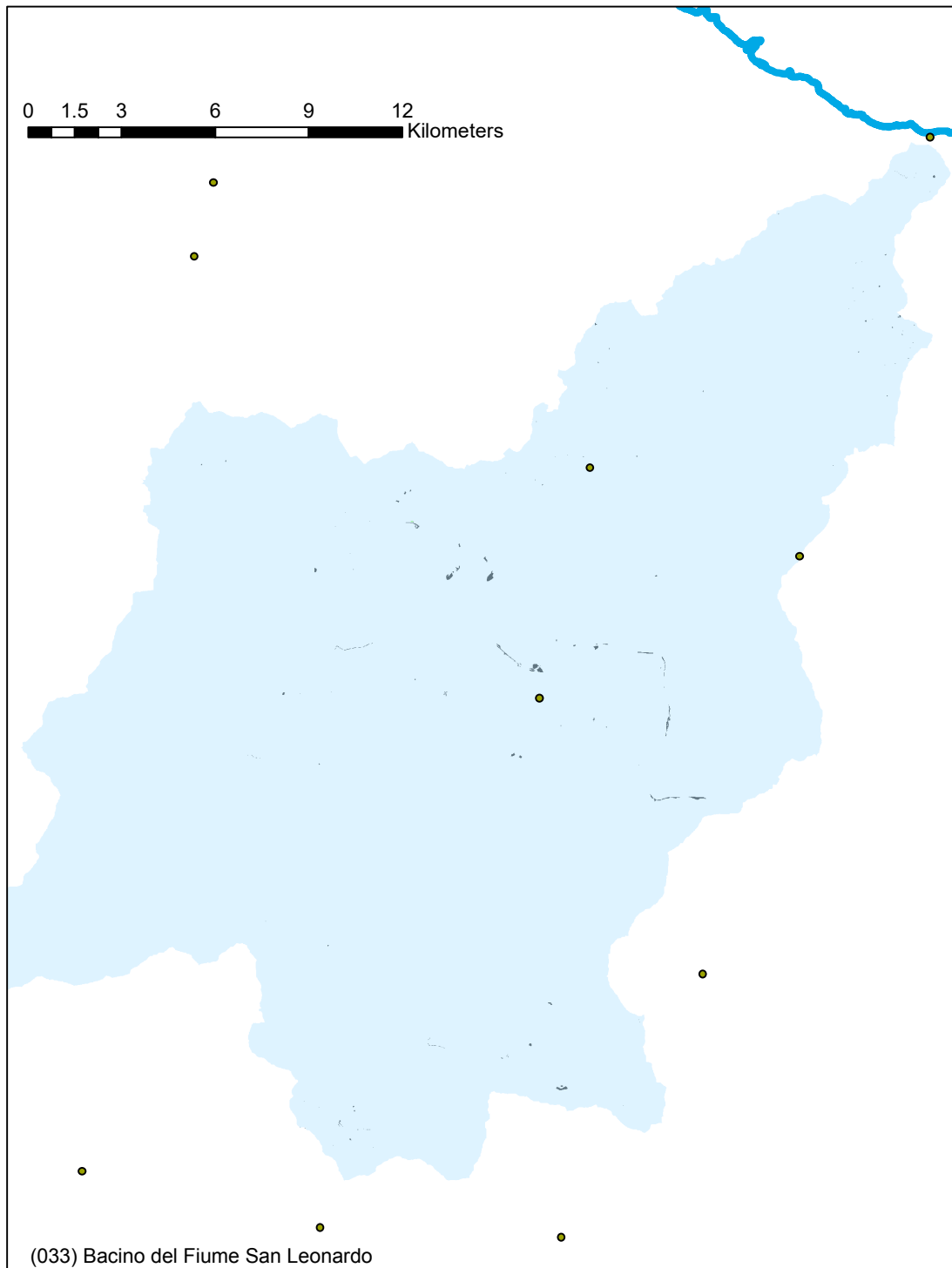


Figura 14 Suolo consumato al 2019 (-)



**Figura 15** Variazione del consumo di suolo nel periodo 2012-2019: in verde le aree in cui è stata effettuata un'attività di rinaturalizzazione; 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.

### L'area dei sottobacini

- Minore di 3 km<sup>2</sup> – Classe 4 (Suscettibilità Molto Elevata)
- Da 3 a 5 km<sup>2</sup> – Classe 3 (Suscettibilità Elevata)
- Da 5 a 7 km<sup>2</sup> – Classe 2 (Suscettibilità Moderata)
- Maggiore di 7 km<sup>2</sup> – 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dove:

- A [Km<sup>2</sup>], Area del bacino idrografico
- L [Km], Lunghezza dell'asta principale
- Q<sub>max</sub> [m], Quota massima del bacino idrografico
- Q<sub>med</sub> [m], Quota media del bacino idrografico
- Q<sub>min</sub> [m], Quota minima del bacino idrografico
- CN [0-100], Curve Number
- D<sub>max</sub> [Km], Distanza massima tra lo spartiacque e la sezione di chiusura
- i<sub>b</sub> [m/m], Pendenza media del bacino idrografico
- i<sub>a</sub> [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 del bacino mostra che i fattori morfologici indirizzano l'attenzione sempre verso bacini di piccole dimensioni con forti pendenze e bassi tempi di corrivazione. Tali bacini sono abbastanza diffusi sul territorio. I fattori climatici sono discriminanti tra i sottobacini e tutte le classi di suscettibilità sono presenti nell'analisi. La situazione si aggrava nello scenario di medio termine con la maggior parte del bacino che si sposta nelle classi 3 e 4 dell'indicatore climatico. Il consumo di suolo nello scenario al 2020 ricade nelle classi 1 e 2 a cui corrispondono, rispettivamente, percentuali minori del 10% e tra il 10 e il 20%, al 2050 invece si aggiunge anche la classe 3 con percentuali comprese tra il 20-30%. Nello scenario di suscettività al 2020, l'analisi complessivamente non individua alcun 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. Nello scenario al 2050, il livello di suscettività aumenta per la gran parte dei sottobacini ma senza raggiungere i livelli massimi previsti dall'analisi.



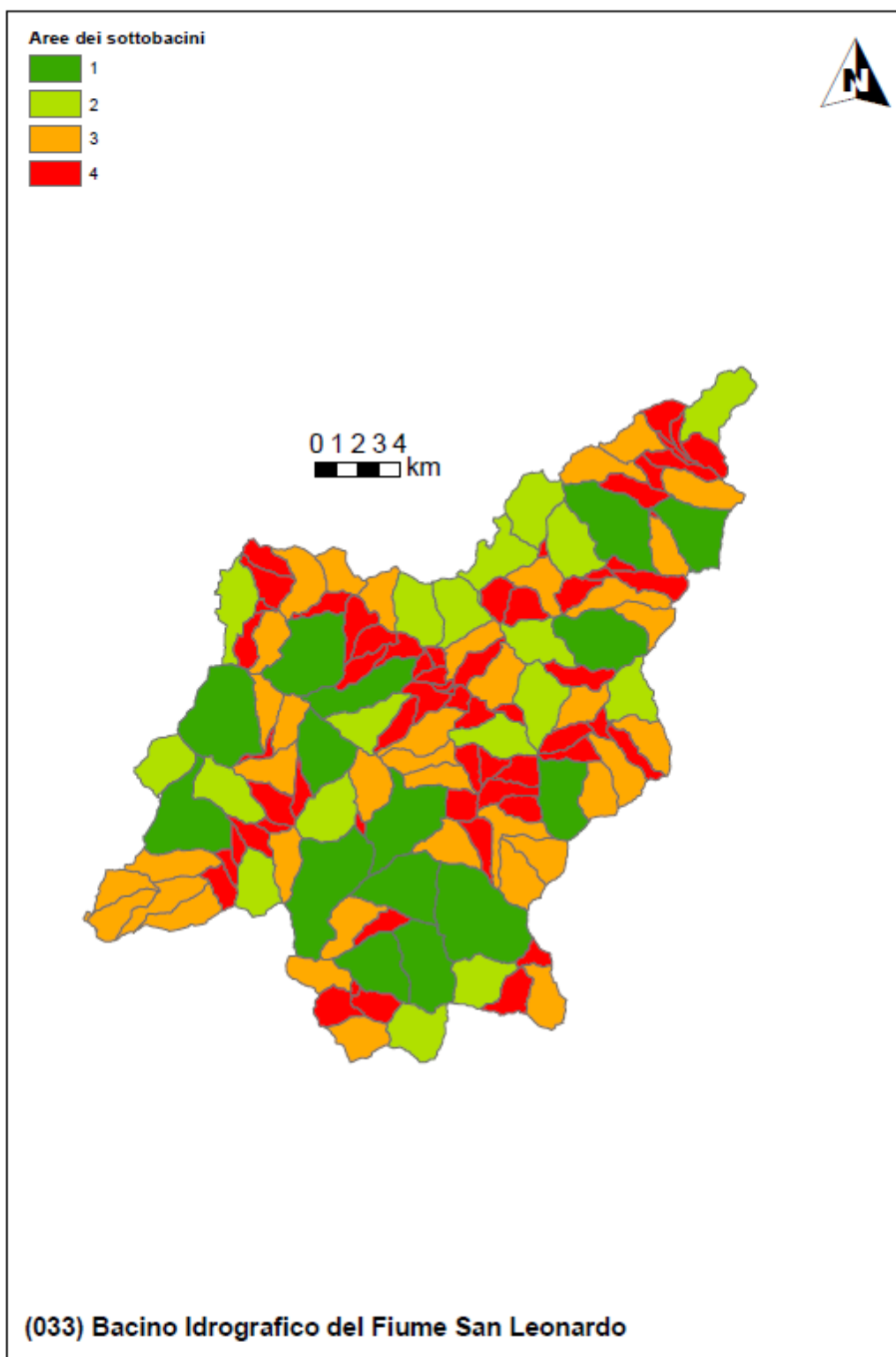


Figura 16 Fattore predisponente alle piene lampo legato all'area del sottobacino drenato

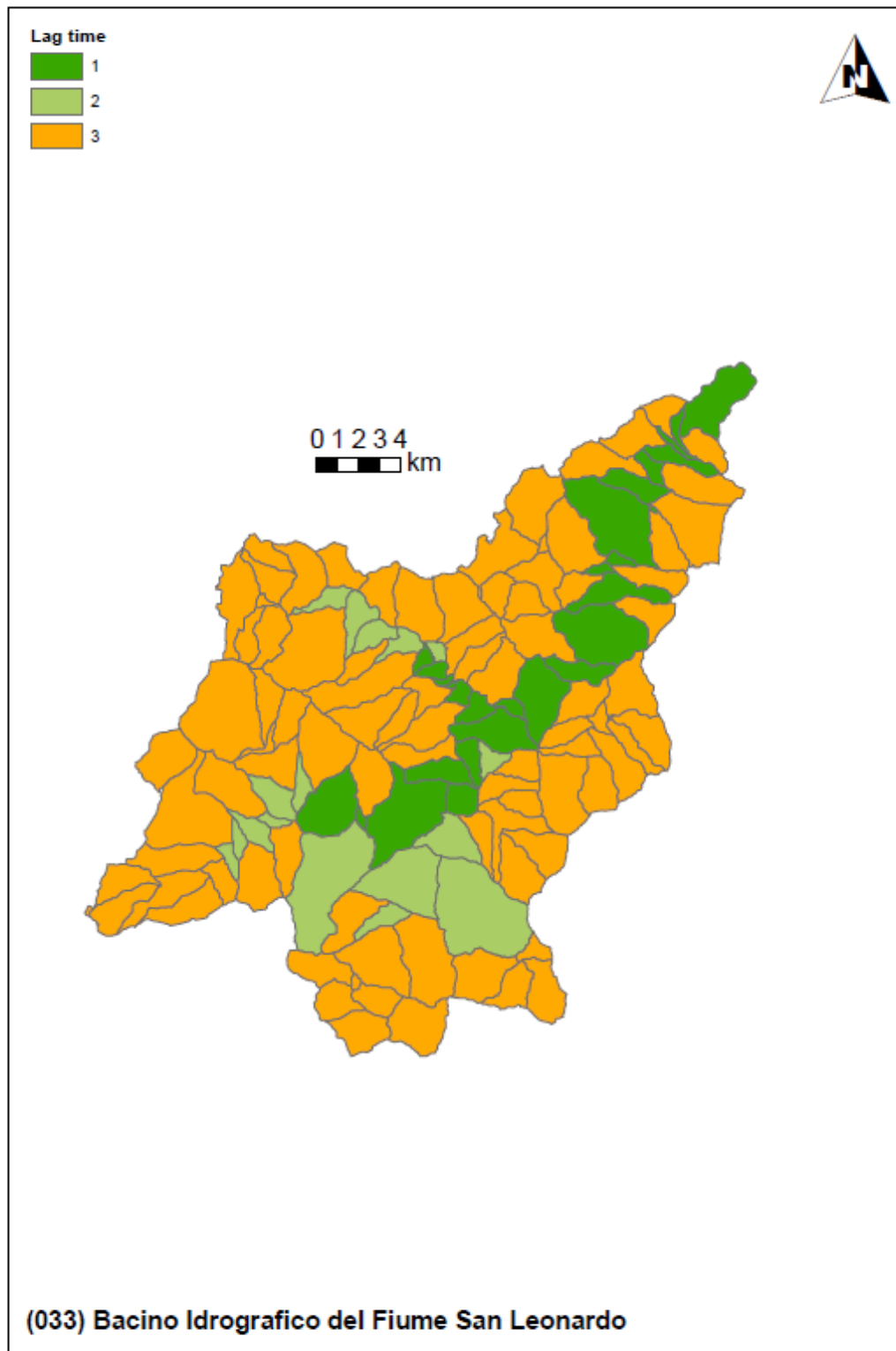


Figura 17 Fattore predisponente legato al tempo di lag del sottobacino drenato

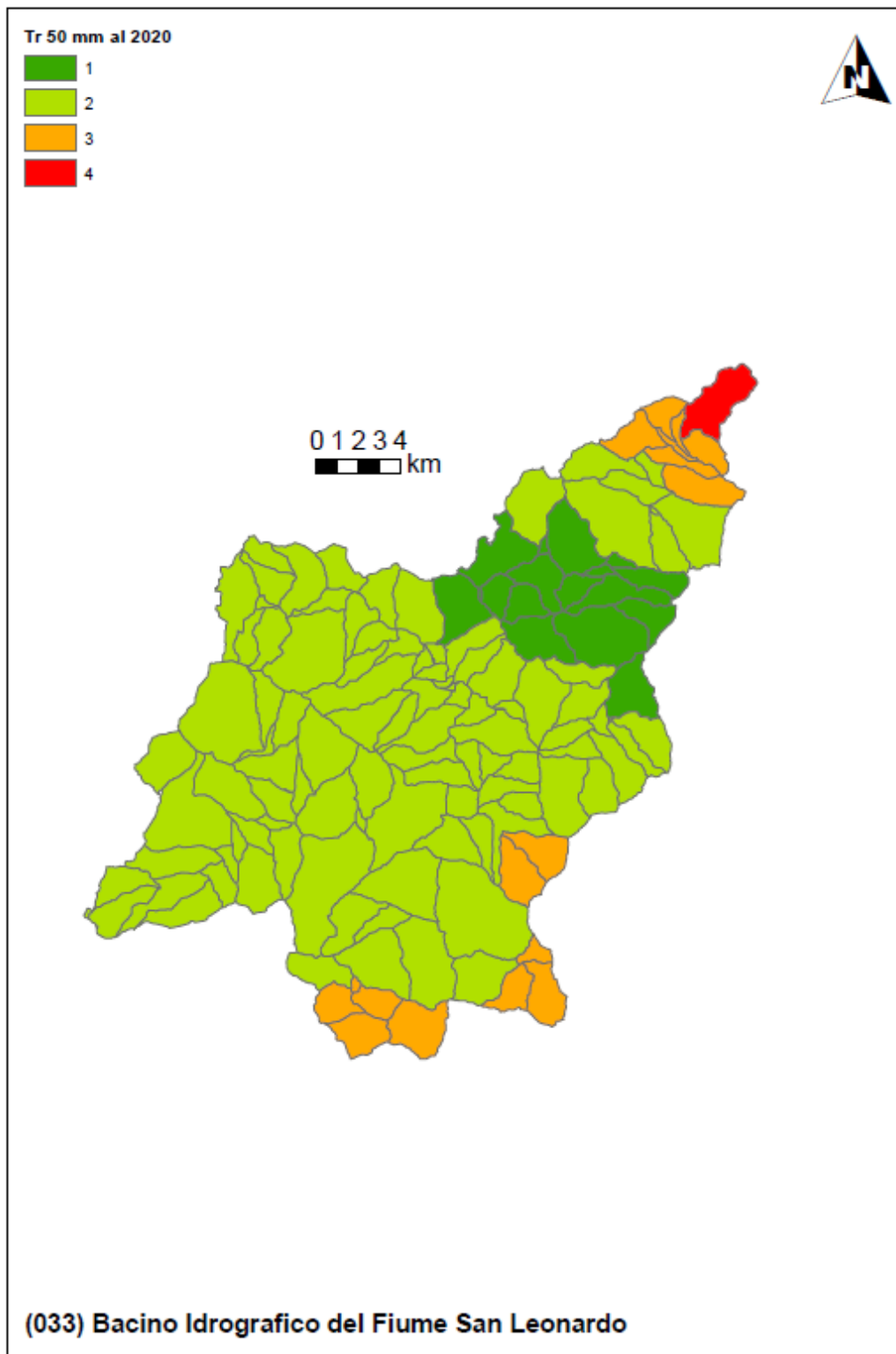


Figura 18 Fattore predisponente legato al tempo di ritorno della pioggia indice (Scenario Attuale)

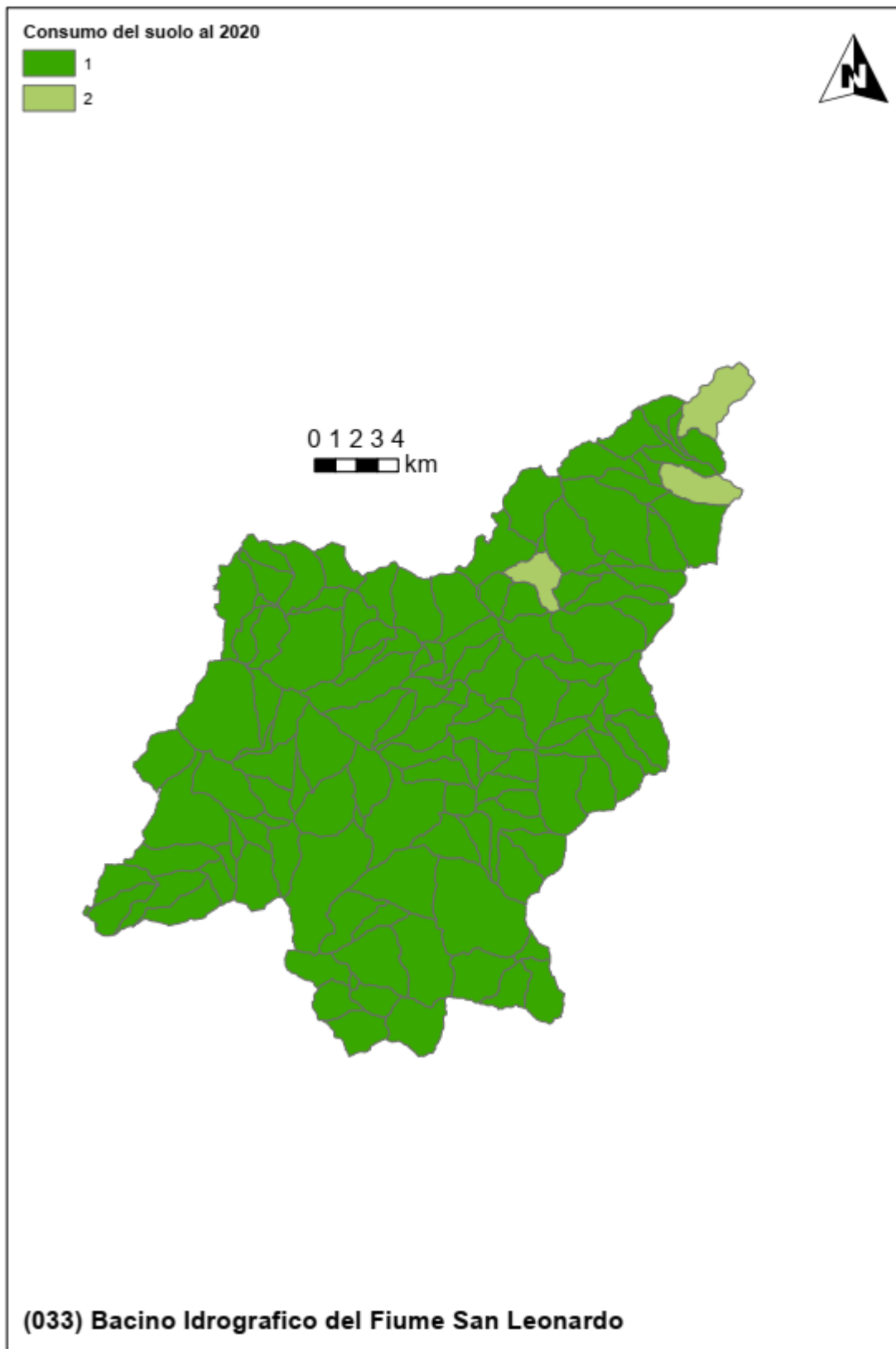


Figura 19 Fattore predisponente legato al consumo di suolo (Scenario Attuale)

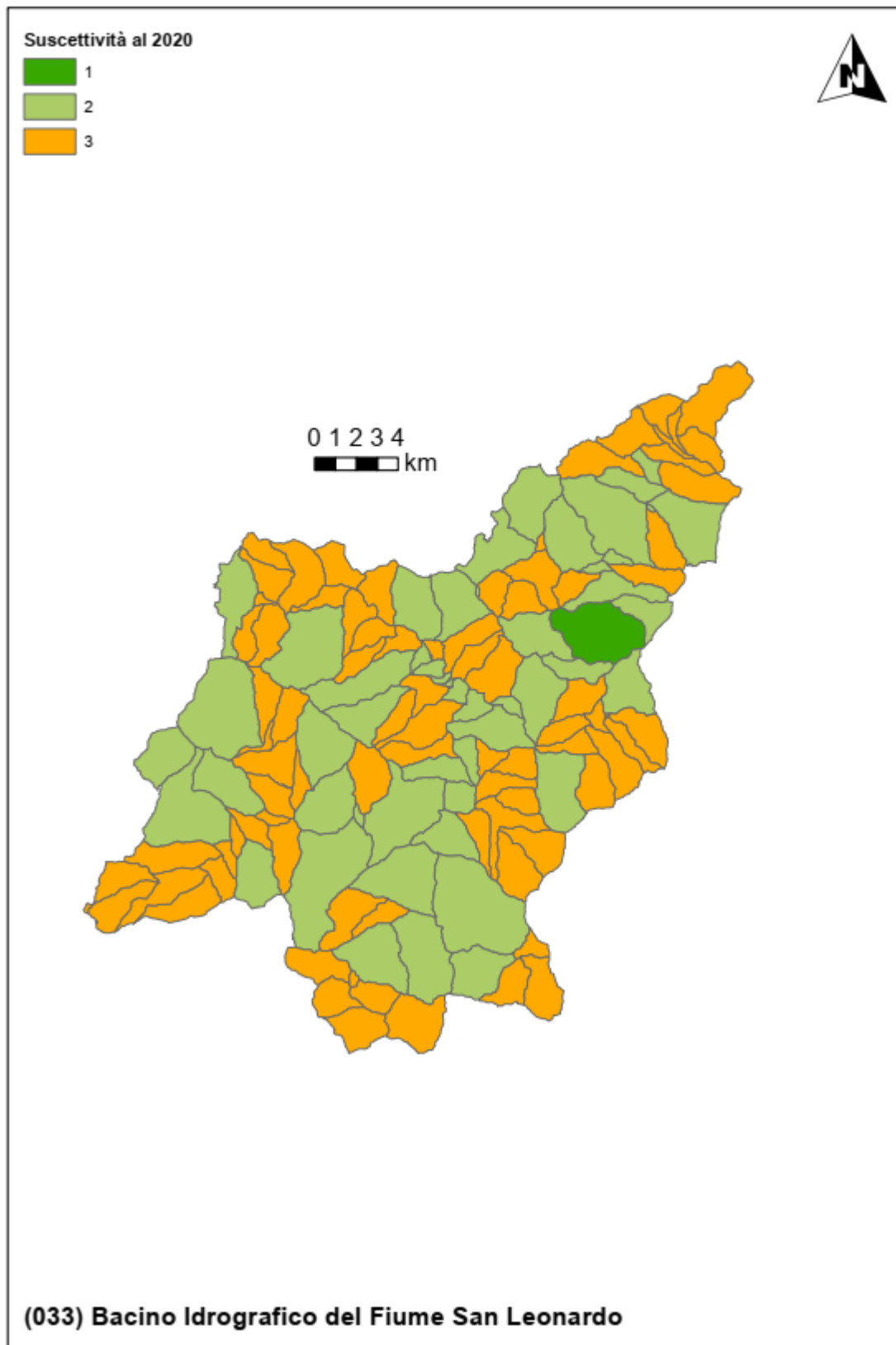


Figura 20 Sintesi della suscettibilità alle piene lampo (Scenario Attuale)

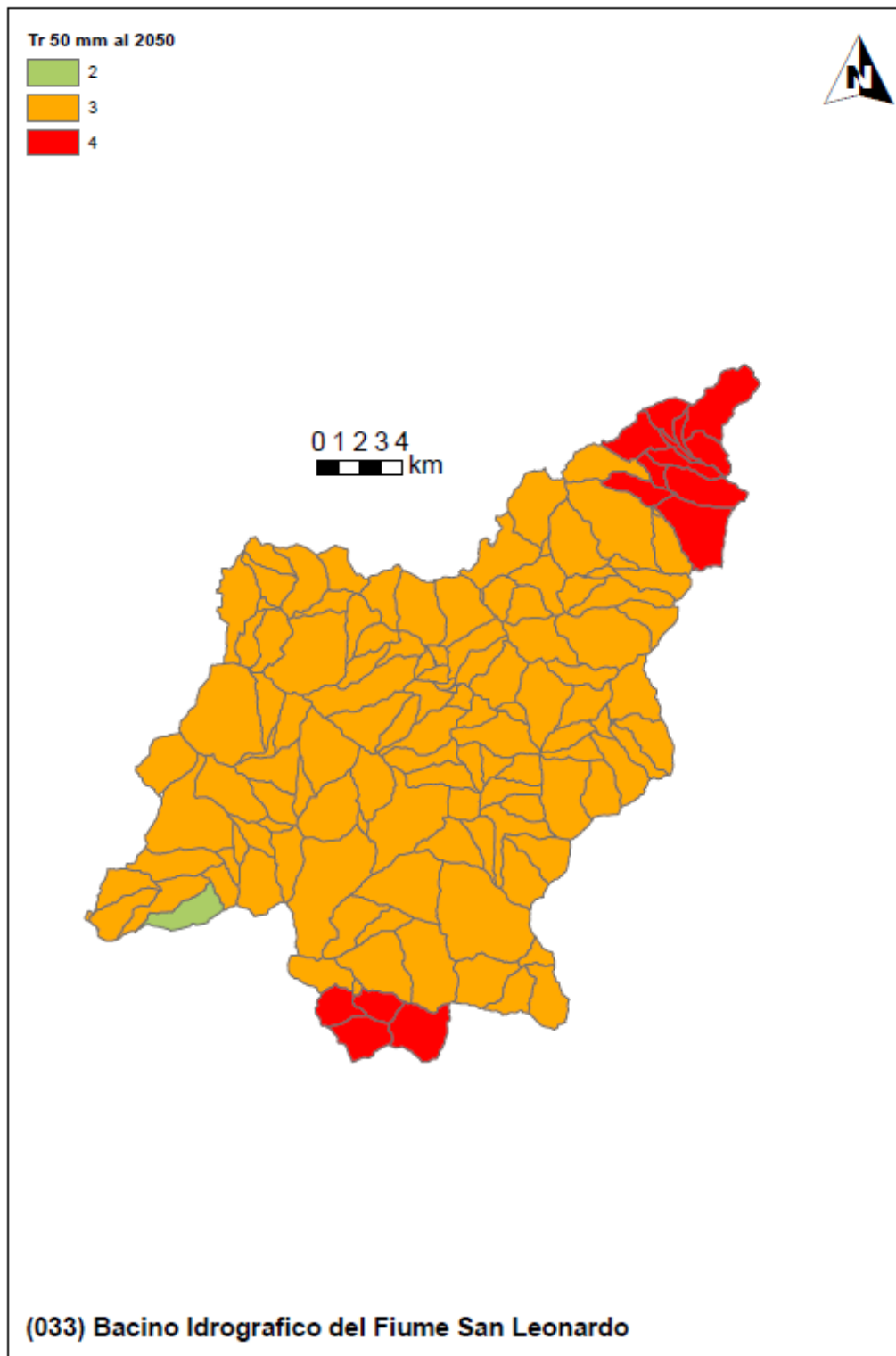


Figura 21 Fattore predisponente legato al tempo di ritorno della pioggia indice (Scenario al 2050)

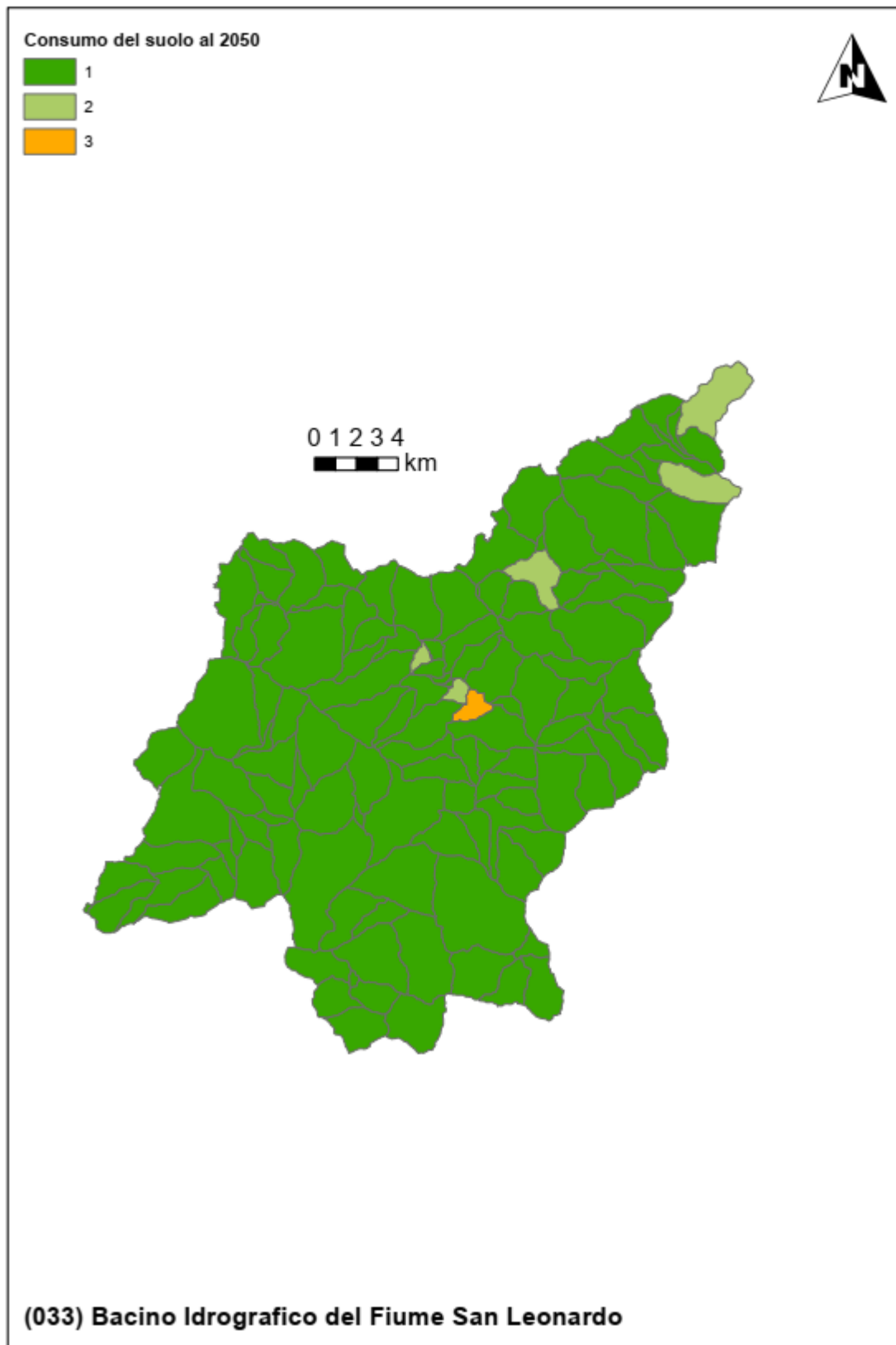


Figura 22 Fattore predisponente legato al consumo di suolo (Scenario al 2050)

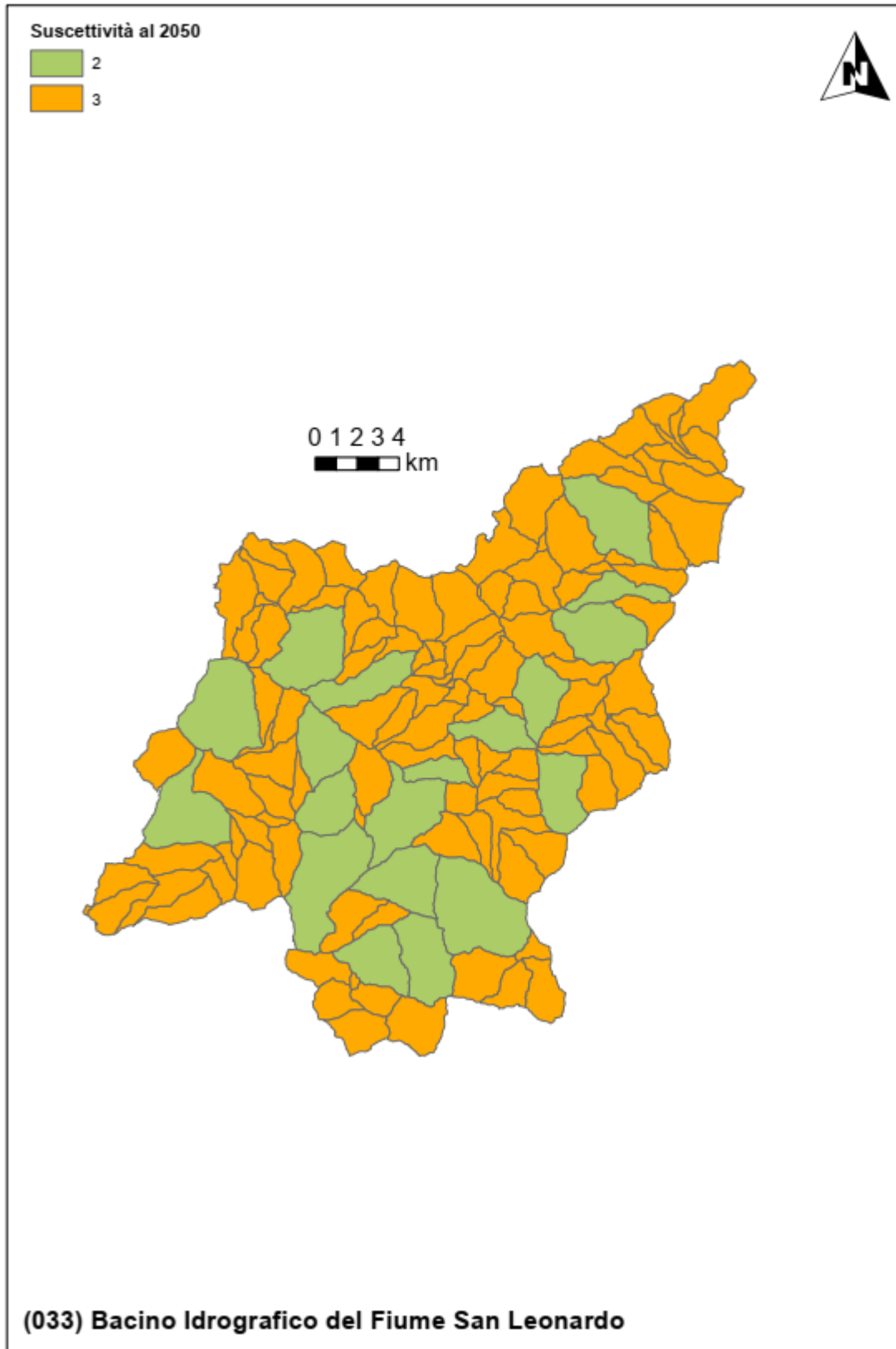


Figura 23 Sintesi della suscettibilità alle piene lampo (Scenario al 2050)



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

(033) Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo

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	2.26	0.63	20.53	16.92	3.80	3.82
2	3.67	0.68	22.92	18.71	4.31	4.37
3	6.63	4.79	17.71	14.88	10.78	11.28
4	0.76	4.57	20.68	17.00	3.23	3.23
5	0.58	5.39	43.47	35.47	2.00	2.33
6	2.55	0.68	20.88	17.08	7.05	7.40
7	4.48	0.71	24.89	20.28	1.18	1.18
8	2.12	3.99	22.42	18.19	3.29	3.46
9	1.21	4.29	47.39	38.27	0.62	0.62
10	4.88	0.77	23.26	18.68	17.49	18.21
11	2.77	3.97	49.69	39.98	1.61	1.61
12	0.11	7.10	25.35	20.14	1.77	1.77
13	11.24	3.34	26.32	21.01	1.36	1.39
14	3.36	0.70	26.53	20.57	1.93	1.93
15	7.58	0.92	25.31	19.87	4.35	4.45
17	6.57	0.73	26.93	22.07	7.52	7.82
18	0.31	0.85	112.04	91.78	0.55	0.55
19	6.46	0.99	27.35	22.17	1.69	1.69
20	6.12	0.85	28.15	23.15	7.51	7.57
21	2.15	0.62	24.83	20.82	9.15	9.15
22	3.09	0.74	25.36	21.23	3.14	3.15
23	5.00	1.16	25.09	21.03	2.29	2.29
24	3.92	0.80	28.37	23.24	11.19	11.35
25	2.28	0.62	28.43	23.39	5.67	5.76
26	2.64	0.66	28.39	23.31	6.38	6.38
27	1.79	1.21	25.33	21.24	4.31	4.31
28	2.83	0.92	24.96	20.95	3.92	4.20
29	3.46	0.74	25.66	21.46	3.43	4.46
30	5.85	0.78	99.92	84.12	1.41	1.41
31	5.83	0.86	54.45	45.03	2.53	3.05
32	0.37	0.79	50.03	42.04	1.00	1.00
33	2.69	1.37	25.59	21.49	6.20	6.29
34	2.14	0.68	25.37	21.42	0.42	0.42
35	6.11	0.93	26.19	21.83	5.96	6.87
36	2.09	1.54	25.60	21.52	1.80	1.86
37	3.57	0.75	25.24	21.30	0.07	0.07
38	5.39	0.79	27.30	22.27	2.64	2.76
39	1.78	1.91	25.69	21.56	3.01	4.51
40	2.05	0.62	25.61	21.69	2.20	2.20

Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (033)

41	0.70	1.45	25.85	21.68	6.31	8.23
42	0.76	2.26	25.62	21.55	5.20	17.34
43	3.17	0.79	26.63	22.16	3.34	7.72
44	11.23	0.95	25.38	21.48	3.54	3.83
45	0.96	2.33	50.91	43.03	2.79	2.79
46	2.39	0.73	26.04	21.83	1.27	1.27
47	0.31	3.00	25.22	21.44	1.55	1.55
48	0.13	3.66	25.08	21.41	1.08	1.37
49	1.00	3.31	24.93	21.41	5.26	11.50
50	4.79	0.81	25.67	21.64	2.42	2.82
51	2.29	1.09	25.24	21.57	0.39	0.39
52	7.15	0.91	25.41	21.60	2.21	2.95
53	2.32	0.66	25.14	21.54	3.46	3.63
54	6.53	2.98	25.68	21.47	5.26	6.87
55	1.71	3.22	24.67	21.35	9.51	21.25
56	0.86	3.20	24.92	21.39	4.54	4.54
57	3.02	0.70	25.05	21.55	0.66	0.66
58	5.12	0.81	25.19	21.56	4.82	4.83
59	13.60	0.93	24.93	21.44	0.40	0.40
60	4.39	0.88	24.84	21.42	1.11	1.79
61	5.18	2.69	24.63	21.32	5.92	6.18
62	3.02	0.65	125.82	107.83	0.85	0.85
63	0.72	0.87	25.04	21.58	0.06	0.06
64	4.19	1.09	149.90	129.45	1.03	1.21
65	3.03	0.73	24.81	21.41	0.55	0.55
66	1.74	3.05	24.57	21.31	1.62	2.05
67	5.18	0.82	24.94	21.43	0.52	0.52
68	2.32	0.63	24.68	21.29	3.85	3.98
69	7.21	0.82	25.07	21.55	2.24	2.50
70	1.44	1.29	24.58	21.30	2.22	2.22
71	3.04	2.55	24.70	21.35	1.42	2.81
72	4.80	0.76	24.88	21.45	0.23	0.23
73	1.48	1.79	24.91	21.56	0.95	0.95
74	6.53	2.11	24.82	21.50	0.66	0.69
75	7.51	0.87	24.43	21.19	2.98	4.53
76	6.00	0.83	24.89	21.63	0.62	0.62
77	2.05	0.64	24.39	21.22	2.31	2.31
78	2.33	1.06	49.14	42.54	0.61	0.61
79	10.80	1.11	24.97	21.80	0.88	0.88
80	2.80	1.56	24.94	21.65	1.24	1.24
81	2.13	2.35	24.54	21.27	0.76	0.76
82	10.55	2.54	49.22	42.60	0.90	0.90
83	0.37	2.52	24.67	21.36	0.00	0.00
84	2.47	0.74	48.32	42.34	0.07	0.07
85	0.68	1.60	24.95	21.75	0.86	0.86
86	3.79	0.92	48.18	42.37	0.94	0.94
87	4.06	0.78	23.35	21.20	1.13	1.13
88	1.91	1.51	75.05	65.67	1.40	1.40
89	0.92	1.46	25.12	22.02	0.90	0.90
90	3.79	0.83	24.90	21.82	0.65	0.65

Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (033)

91	4.56	0.78	23.34	21.22	0.84	0.84
92	4.74	0.85	25.20	22.26	1.47	1.47
93	4.30	1.97	24.30	21.17	0.68	0.68
94	0.94	1.37	50.46	44.49	1.14	1.14
95	2.05	1.14	76.27	67.85	1.29	1.29
96	5.10	0.85	25.16	22.25	0.34	0.34
97	3.23	0.72	101.38	89.83	0.17	0.17
98	4.12	0.88	51.33	46.21	1.80	1.80
99	3.58	0.69	25.62	23.04	0.10	0.10
100	3.95	0.77	233.48	212.05	1.70	1.70
101	8.99	1.79	24.16	21.02	1.52	1.52
102	4.59	0.83	24.14	21.08	1.77	1.87
103	14.81	1.21	24.57	21.51	1.26	1.26
104	1.97	1.30	23.96	20.82	1.08	1.08
105	7.22	1.17	23.57	20.34	0.97	0.97
106	8.79	0.96	23.66	20.25	0.88	1.13
107	16.04	1.42	23.54	20.89	0.45	0.58
113	0.70	4.46	27.25	21.32	1.06	1.06
114	0.60	4.35	27.46	21.72	0.43	0.43
115	3.00	0.71	27.66	21.00	2.39	2.41
116	2.16	0.61	27.77	22.33	1.95	1.95
117	4.18	3.24	83.62	64.27	1.43	1.43
118	3.11	0.66	28.66	21.10	1.92	1.92
120	9.67	3.25	27.99	21.43	1.41	1.41
121	2.72	3.03	53.99	42.82	0.88	0.88
123	5.23	0.85	55.26	42.23	1.24	1.24
124	3.38	1.17	26.40	21.34	2.06	3.22
125	0.92	1.00	26.27	21.23	1.53	1.53
126	0.04	1.05	52.97	42.39	0.98	0.98
127	2.09	0.72	25.84	21.07	2.64	2.64
128	2.16	0.89	25.43	21.30	4.31	5.30
129	3.99	0.78	26.26	21.00	2.69	2.69
130	1.88	0.84	25.28	21.24	3.01	7.05
131	4.14	0.84	25.27	21.10	1.06	1.06
132	3.83	0.74	24.62	21.12	2.32	4.90
136	1.25	0.85	22.71	21.01	3.24	3.30
137	5.45	0.82	23.57	20.21	1.84	3.66
138	2.95	0.77	23.47	20.20	1.33	2.07
140	3.75	0.90	23.99	21.15	4.67	4.68
142	0.28	0.88	23.19	20.09	0.50	0.50
143	4.22	0.84	23.25	20.49	1.96	1.97
144	2.99	0.72	22.78	19.82	4.12	4.56
145	2.55	0.90	22.88	19.56	0.44	0.44
146	5.81	0.85	46.22	38.43	1.32	1.33
147	4.09	0.82	43.45	37.13	5.14	6.25

## 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 e modesto in buona parte della porzione montata del bacino. **Il trend appare elevato o molto elevato in alcune aste secondarie tributarie del corso d'acqua principale con variazioni che possono anche superare il 20%.**

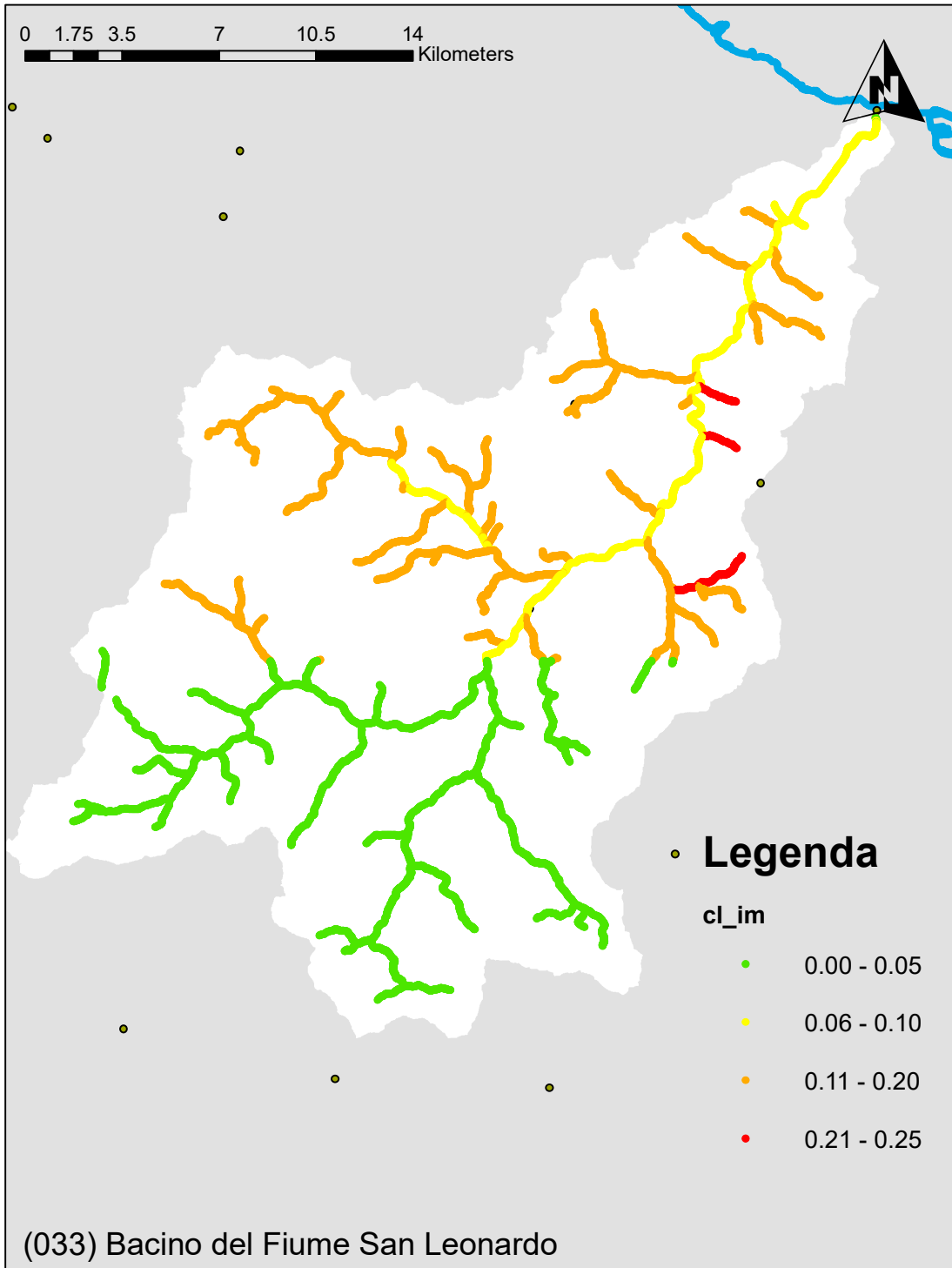


Figura 24 Variazione climatica nel periodo 2020 – 2050 per i picchi annuali di pioggia di massima intensità e durata pari al tempo di corrivazione dell'area drenata

## 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, allo stato attuale, un rischio elevato (ma non molto elevato) in diversi sottobacini posizionati nella parte intermedia del corso d'acqua principale. Tale condizione, sebbene l'analisi evidenzi trend climatici statisticamente significativi ed una progressiva crescita del consumo di suolo, sembra soggetta a modeste variazioni (principalmente geografiche) con un aumento diffuso della suscettività.

Il quadro d'impatto del cambiamento climatico sui bacini a maggiore tempo di corrivazione evidenzia trend climatici significativi e positivi con una moderata crescita delle piogge di massima intensità e durate paragonabili con i tempi di corrivazione nel tratto terminale.

Alcune aree specifiche del bacino presentano invece variazioni elevate o molto elevate delle piogge indice per durate corrispondenti al tempo di corrivazione per le quali è opportuno prevedere specifiche misure di contrasto ai cambiamenti climatici.

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.

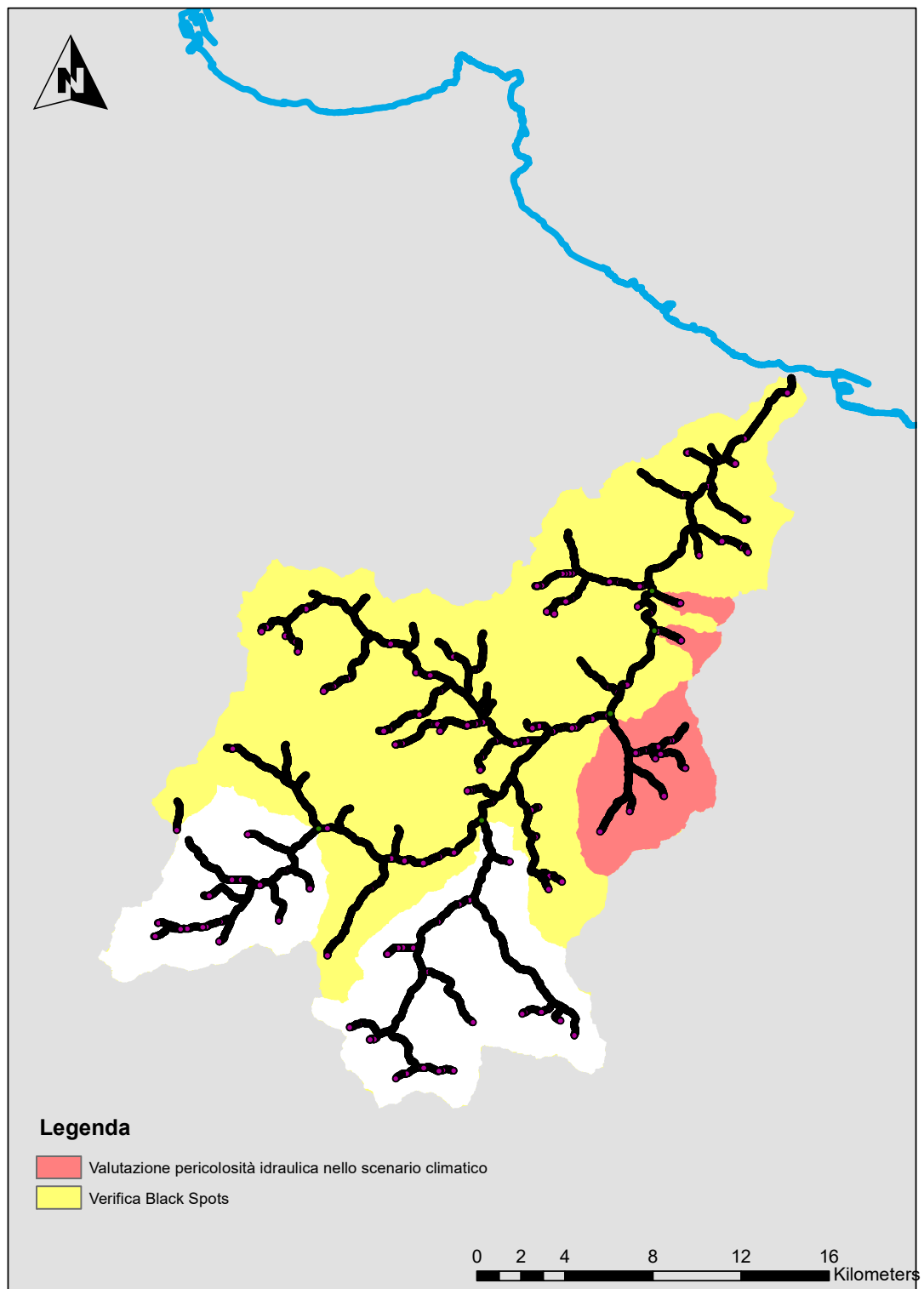
### 6.2 Proposta di nuove misure per la mitigazione delle piene lampo e dell'impatto del cambiamento climatico

L'analisi della suscettibilità del bacino alle piene lampo non suggerisce di interventi specifici di mitigazione delle piene lampo nel bacino.

In considerazione del fatto che la variazione climatica sulle piogge intense risulta elevata e molto elevata per alcuni tratti fluviali 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.** Tale azione andrà applicata alle aste fluviali caratterizzate da maggiore variazione climatica (in arancione ed rosso in figura) e nei bacini da esse drenate secondo le gradazioni indicate nella relazione metodologica (Figura 25).

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 integrazione dello scenario climatico nelle analisi di compatibilità idraulica