

2.3 La valutazione del rischio di piene lampo attraverso l'approccio Arno

L'analisi climatica generale ha evidenziato che le piogge di breve e brevissima intensità manifestano la maggiore tendenza alla crescita nello scenario di medio termine. Tale processo, evidenziato con una significatività statistica pari a 0.05, potrebbe condurre ad un aumento della frequenza delle piene nei bacini di piccole dimensioni e con tempi di corrivazione inferiori all'ora. Si è quindi ritenuto opportuno effettuare un'analisi della suscettibilità dei bacini alle piene lampo attraverso l'applicazione del metodo proposto da Brugioni et al. (2010) modificato per tenere conto di parametri connessi con il consumo di suolo e per tenere conto del trend climatico.

Il metodo Arno consiste in un approccio utile alla verifica della propensione di un determinato bacino idrografico al verificarsi di eventi di piena improvvisi. La metodologia fu presentata per la prima volta nel 2010 nell'ambito del Workshop "*Flash Floods and Pluvial Flooding*" che si tenne a Cagliari (Brugioni et al., 2010) dal Distretto dell'Appennino Settentrionale ed è stata successivamente inserita nelle mappe del primo ciclo del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

L'approccio prevede la valutazione di alcuni parametri che indica come predisponenti alle piene lampo e una successiva classificazione del bacino idrografico.

In particolare, i tre parametri predisponenti sono i seguenti:

1. Area del bacino idrografico: a parità di altre condizioni, minore è la superficie di un bacino idrografico e maggiore è il rischio che eventi pluviometrici brevi e intensi originino fenomeni di piena improvvisa. In tal senso, tale criterio è valido per bacini sotto i 500 kmq (rappresenta una soglia oltre la quale le problematiche di rischio idraulico non sono più connesse più a fenomeni flash-flood ma piuttosto ad alluvioni "classiche"). Per quest'ultima ragione, nei bacini che superano tale soglia di superficie, i sottobacini vallivi non saranno considerati.
2. Lag Time: il Lag Time, rappresentando il tempo di ritardo dell'onda di piena rispetto al baricentro della precipitazione, risulta un utile elemento per la valutazione della propensione al verificarsi di eventi di piena improvvisa in un bacino di piccole dimensioni. Ovviamente, minore è questo valore e maggiore è la predisposizione del bacino verso eventi di questo tipo.
3. Distribuzione del tempo di ritorno della precipitazione indice: oltre alla naturale predisposizione del bacino idrografico in funzione delle sue caratteristiche geometriche e idrauliche, un ulteriore parametro è il tempo di ritorno della precipitazione minima in grado di innescare fenomeni di piena improvvisa.

Successivamente, al fine di effettuare una valutazione della predisposizione dei bacini considerati al verificarsi di fenomeni tipo Flash Flood, per ognuno di precedenti parametri viene assegnata una classe attraverso un valore numerico crescente (1, 2, 3, 4) in funzione della rispettiva corrispondenza al criterio o meno; la combinazione di queste tre informazioni fornisce a sua volta un'ulteriore classificazione (1, 2, 3, e 4) che descrive l'attitudine dell'area in esame ad essere soggetta ad eventi di flash flood e quindi alla suscettività al fenomeno.

Entrando nel dettaglio sull'applicazione del metodo, il primo passo è la definizione dei dati di input. Tali dati sono:

- il modello digitale del terreno (DEM) con maglia a 10 m, reso disponibile per tutto il territorio dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e disponibile su http://tinality.pi.ingv.it/Download_Area2.html (Tarquini e Nannipieri, 2017)¹
- il reticolo idrografico di interesse derivato dagli strati informativi del Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Siciliana;
- le statistiche pluviometriche degli eventi estremi.

Successivamente per procedere al calcolo dei tre parametri richiesti dalla metodologia, ovvero l'area, il tempo di lag ed il tempo di ritorno associato ad una soglia pluviometrica tipica di eventi intensi e concentrati, pari a 50mm in 1h (come in accordo con la metodologia originaria), occorre definire i sottobacini del bacino idrografico di riferimento che per l'appunto, vengono delineati in riferimento ad ogni asta del reticolo idrografico dello stesso.

In merito al calcolo del tempo di lag, il parametro è calcolato in funzione del tempo di corrivazione ($Lag\ time = 0.6 \cdot tempo\ di\ corrivazione$) a sua volta calcolato confrontando 10 formulazioni differenti da letteratura e che di seguito sono riportate (Giandotti, Kirpick, Johnstone, California, Pezzoli, Puglisi, Ventura, Tournon, Pasini e Viparelli). Per ciascun sottobacino, è stata effettuata la media di tutte le formulazioni applicabili sulla base delle dimensioni dell'area analizzata, avendo cura di eliminare la formulazione che determina il valore massimo e quella che determina il valore minimo (media con taglio degli estremi).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Viparelli = L / (3.5 \cdot 1.5)$$

Dove:

A [Km²], Area del bacino idrografico.

L [Km], Lunghezza dell'asta principale.

¹ Tarquini S., Nannipieri L., (2017) The 10 m-resolution TINITALY DEM as a trans-disciplinary basis for the analysis of the Italian territory: Current trends and new perspectives. *Geomorphology*, 281, 108-115.

Q_{max} [m], Quota massima del bacino idrografico.

Q_{med} [m], Quota media del bacino idrografico.

Q_{min} [m], Quota minima del bacino idrografico.

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.

Il parametro climatico (il tempo di ritorno della pioggia indice) è stato stimato sulla base dell'analisi statistica, presentata nel precedente paragrafo, e svolta attraverso l'applicazione della distribuzione GEV avendo verificato l'ipotesi dell'invarianza di scala. Per omogeneità, la valutazione del tempo di ritorno a livello regionale è stata effettuata sulla base del database di 96 pluviometri utilizzato per le analisi sui trend climatici.

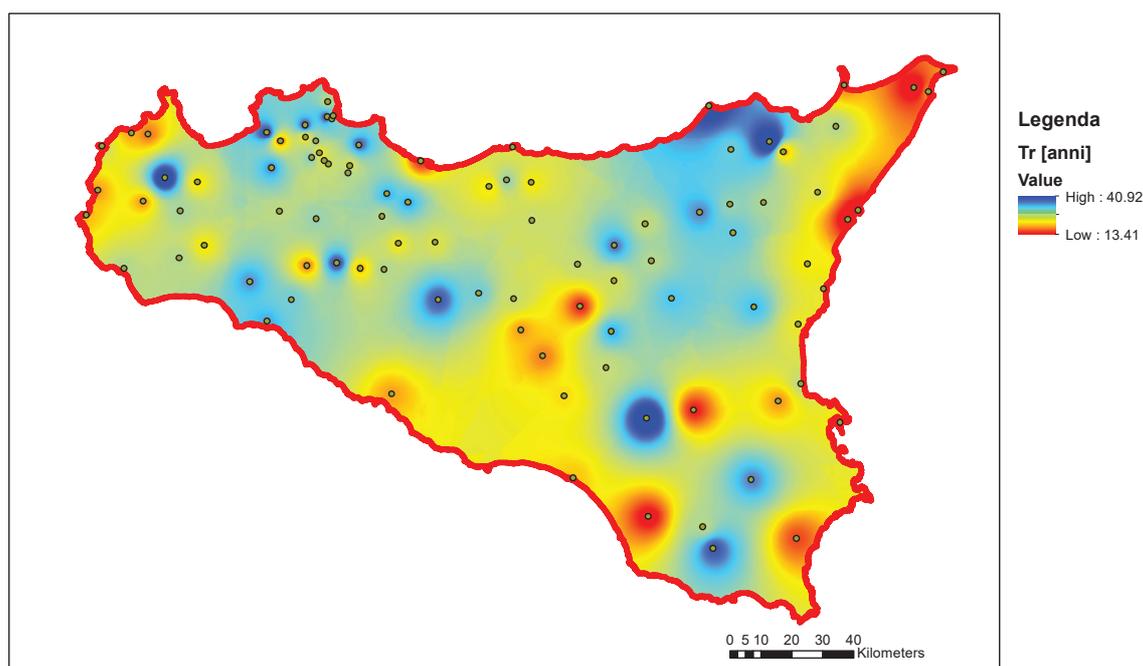


Figura 2.19 Andamento del tempo di ritorno a scala regionale della pioggia indice di altezza pari a 50mm e durata pari ad 1 ora.

Calcolati i 3 parametri occorre poi assegnare un valore numerico ad ognuno dei sottobacini delineati al fine di ottenere una classificazione e quindi un punteggio che ne determinerà il livello di suscettività finale.

Come detto in precedenza, riguardo al criterio funzione delle aree dei sottobacini, minore è l'area e maggiore è il suo punteggio e viceversa; lo stesso vale per gli altri due criteri basati sul tempo di lag e quello di ritorno.

Alla fine, ogni sottobacino avrà un punteggio differente e la classe finale verrà individuata in base alla sommatoria dei tre indici precedenti, determinando quindi la definizione di quattro classi finali a cui corrisponde il valore 1 per una suscettività di livello basso, 2 di livello moderato, 3 elevato e 4 molto elevato.

2.4 Introduzione di parametri aggiunti per la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico e del consumo di suolo sul rischio di piene lampo

Il metodo proposto da Brugioni et al. (2010) ha il vantaggio di fornire una stima indiretta (geomorfologica e climatica) della suscettibilità del territorio alle piene lampo senza richiedere la disponibilità di dati su eventi storici (spesso poco documentati) che limiterebbero enormemente l'applicabilità sul territorio nazionale.

Nel corso degli anni altre Autorità di Distretto hanno sperimentato l'applicazione di questo metodo implementandolo sui rispettivi territori e proponendo alcune varianti che tengono anche conto dell'incremento del consumo di suolo e con indicatori di variabilità climatica.

Nella presente applicazione, sulla base del metodo proposto nel paragrafo 2.2, si è proceduto ad una stima aggiornata del tempo di ritorno della pioggia indice nello scenario climatico di medio termine 2050. Tale analisi ha consentito di stimare il parametro idrologico del metodo anche nello scenario di futuro cambiamento climatico. La seguente figura, in analogia a quella riportata nel precedente paragrafo, mostra l'andamento dei tempi di ritorno della pioggia indice di altezza pari a 50 mm e durata pari ad 1 ora.

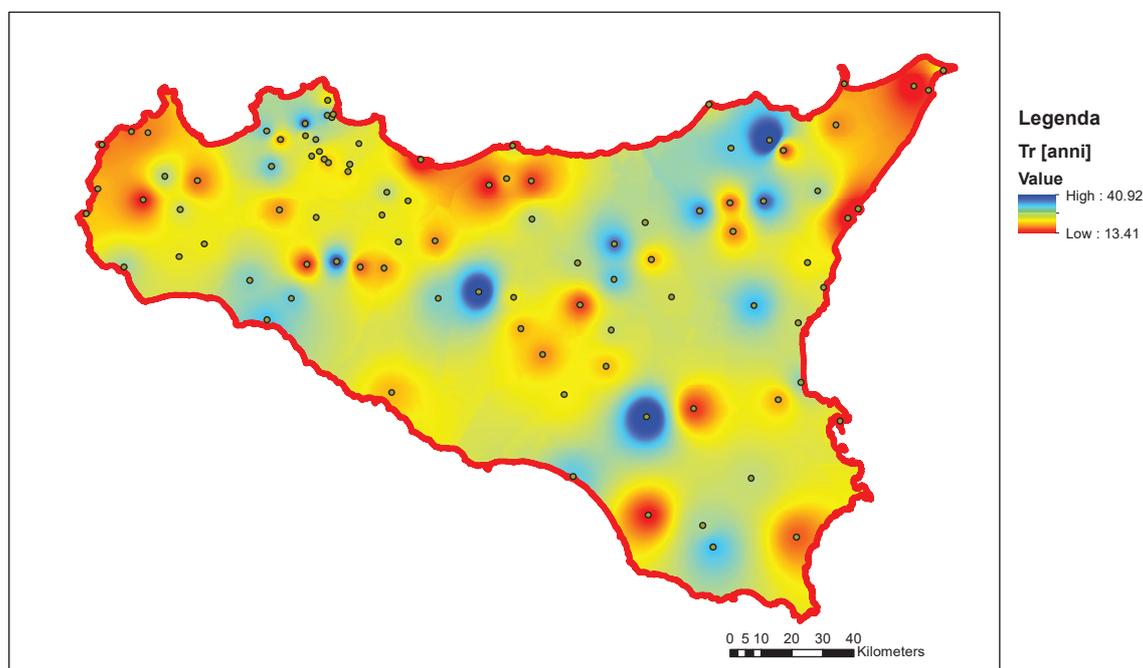


Figura 2.20 Andamento del tempo di ritorno a scala regionale della pioggia indice di altezza pari a 50mm e durata pari ad 1 ora nello scenario di cambiamento climatico di medio termine (2050)

Tale analisi consente di valutare il parametro climatico nella condizione attuale e nella condizione di medio termine fornendo sia una mappa della suscettibilità attuale alle piene lampo sia un'evoluzione futura. Tali valutazioni saranno effettuate sui singoli bacini nell'ambito delle monografie allegate alla presente relazione.

Anche nel presente studio si è scelto di integrare la metodologia Arno con la valutazione del consumo del suolo, classificando anche quest'ultima attraverso dei valori numerici (1, 2, 3 e 4) a cui corrisponde un valore più basso ad un consumo di suolo minore e un valore più alto nel caso opposto.

L'analisi è stata fatta a scala di ciascun sottobacino in cui è stato diviso ciascun bacino idrografico incluso nel PGRA a partire dai dati di consumo di suolo disponibili presso il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (Report 15/2020 del 22 luglio 2020)². Il dato disponibile su tutto il territorio regionale con dettaglio spaziale pari a 10m è aggiornato al 2019 e consente di effettuare confronti con le edizioni precedenti (2012, 2015, 2016, 2017, 2018). Le seguenti figure mostrano il dettaglio del suolo consumato nelle due maggiori aree urbane della Sicilia (Palermo e Catania) a titolo di esempio per comprendere il livello di dettaglio fornito dai dati.

Il confronto con le precedenti valutazioni consente anche di valutare una tendenza futura al consumo di suolo come interpolazione dei dati ottenuti dalle 6 edizioni dello studio sviluppato da ISPRA. Le figure 2.23 e 2.24 mostrano la variazione del consumo di suolo tra il 2012 ed il 2019. Il dato di tendenza al consumo di suolo è stato utilizzato per stimare la variazione dell'indicatore nel tempo e, in particolare, nello scenario di medio termine (2050).

Tale aggiornamento ha consentito di effettuare l'analisi di suscettibilità alle piene lampo anche nello scenario di medio termine (2050) lasciando, ovviamente invariati, i parametri geomorfologici e idrologici (area del bacino e lag time) e variando i parametri climatici (Tr della pioggia indice) e di consumo del suolo (% di bacino consumato).

² Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2020. Report SNPA n. 15/2020

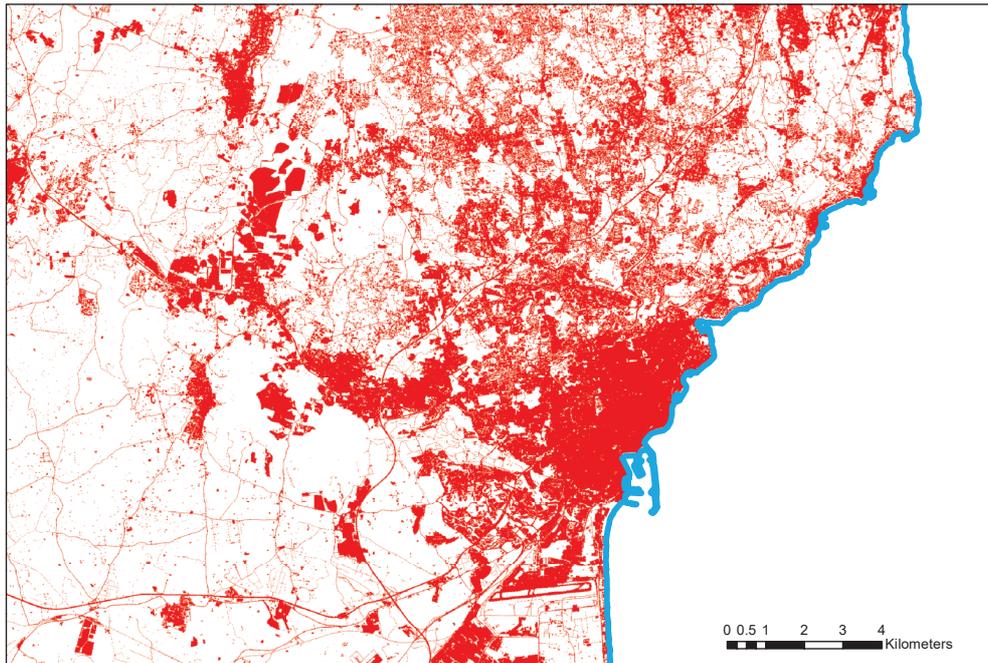


Figura 2.21 Suolo consumato nell'area metropolitana di Catania al 2019

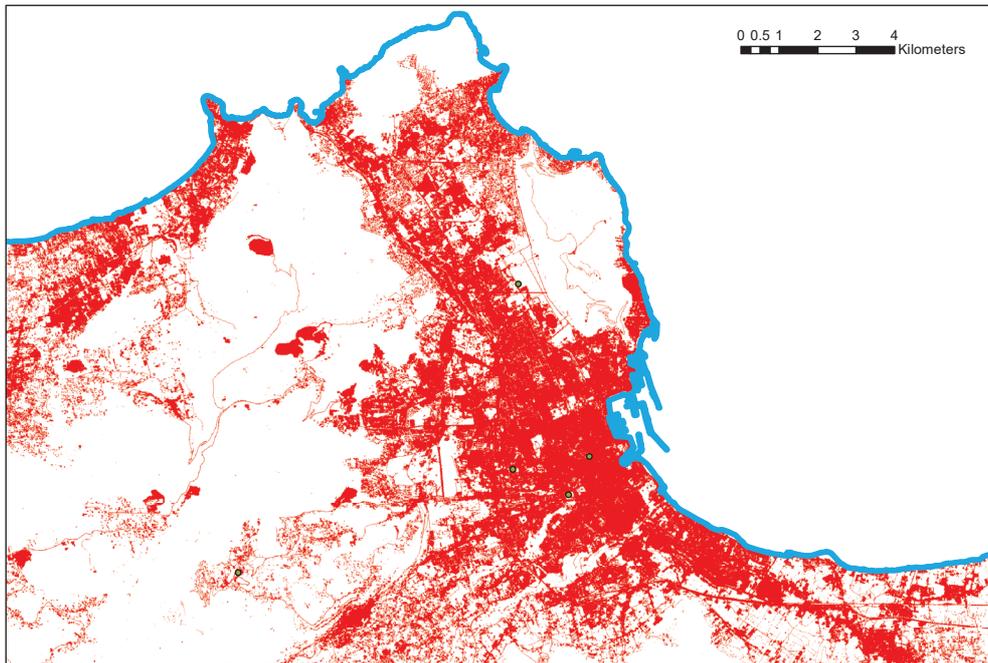


Figura 2.22 Suolo consumato nell'area metropolitana di Palermo al 2019

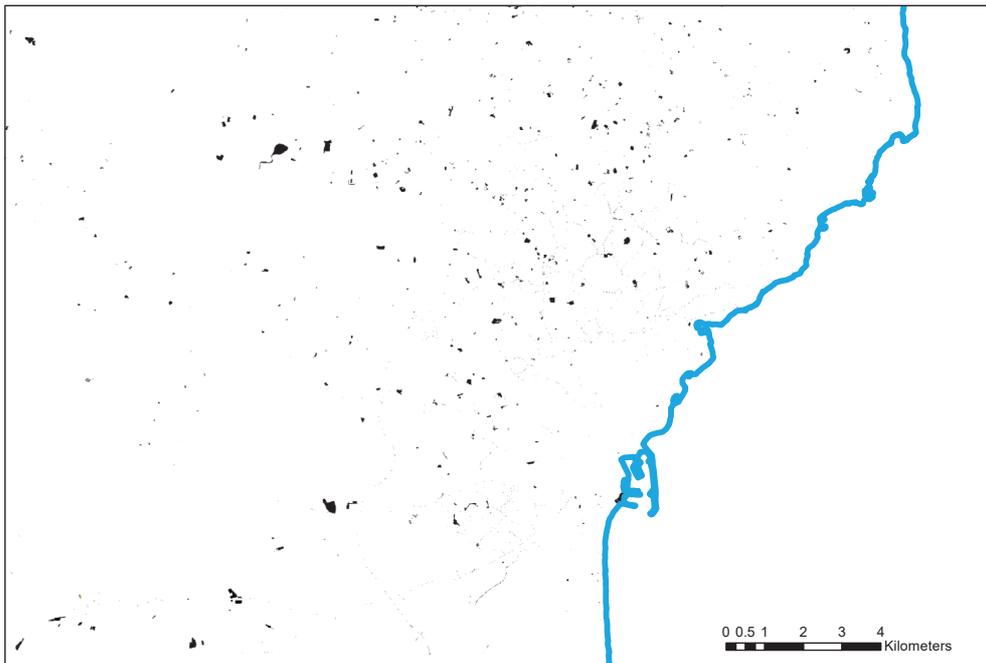


Figura 2.23 Variazione del consumo di suolo tra il 2012 ed il 2019 nell'area metropolitana di Catania: in nero le aree consumate nel periodo; in verde le aree ripristinate nel periodo

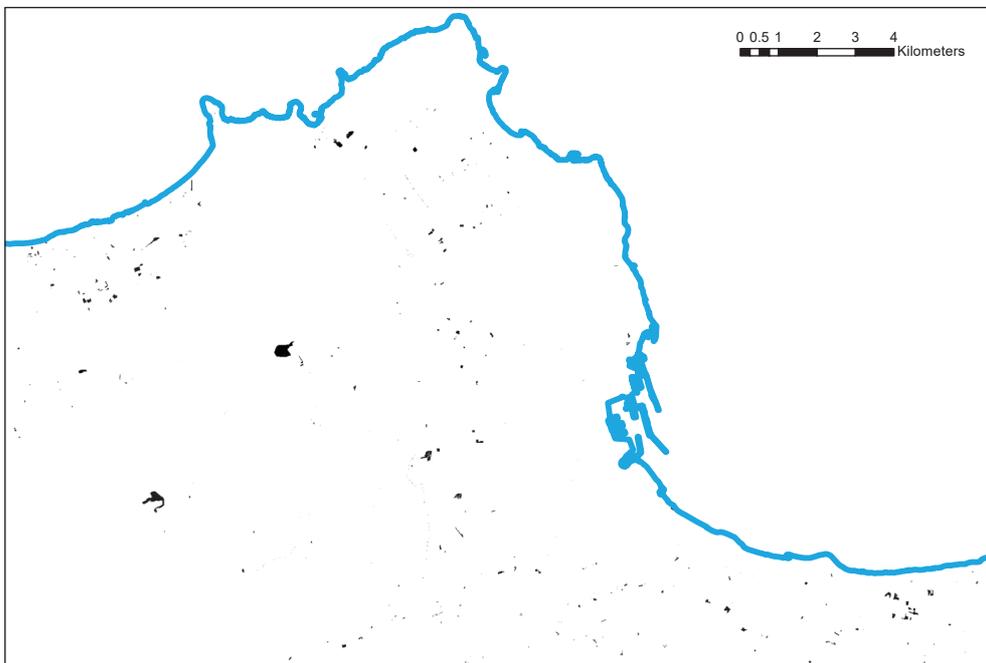


Figura 2.24 Variazione del consumo di suolo tra il 2012 ed il 2019 nell'area metropolitana di Palermo: in nero le aree consumate nel periodo; in verde le aree ripristinate nel periodo

2.5 Gli allegati alla relazione

Per rendere la relazione più gestibile, si è preferito rimandare l'analisi di dettaglio di ciascun bacino a specifiche monografie allegate alla presente relazione metodologica e di seguito elencate:

- 004 Bacino Niceto
- 009 Bacino Termini
- 018 Bacino Inganno
- 019 Bacino Furiano
- 024 Bacino Tusa
- 026 028 029 Bacino Pollina e Aree intermedie
- 030 Bacino Imera Settentrionale
- 031 Bacino Torto
- 033 Bacino San Leonardo
- 035 Bacino Milicia
- 037 Bacino Eleuterio
- 039 Bacino Oreto
- 042 Bacino Nocella
- 043 Bacino Jato
- 044 045 046 Bacino San Bartolomeo e Aree intermedie
- 051 Bacino Birgi
- 054 Bacino Arena
- 057 Bacino Belice
- 058 Bacino Carboj
- 061 Bacino Verdura
- 062 Bacino Magazzolo
- 063 Bacino Platani
- 067 Bacino San Leone
- 068 Bacino Naro
- 073 Area Territoriale tra il Bacino del T.te Rizzuto e il bacino del F. Imera Meridionale
- 074 Bacino Rizzuto
- 075 Bacino Comunelli
- 076 Area Territoriale tra il Bacino del F. Gela e il Bacino del T.te Comunelli
- 077 Bacino Gela
- 087 Bacino Asinaro
- 091 Bacino Anapo
- 093 Bacino San Leonardo Irminio
- 094 Bacino Simeto
- 101 Bacino Fiumedinisi

A corredo di ciascuna monografia, sono presenti le tavole richiamate nel testo e predisposte in ambiente GIS.

3 Modifiche alle misure di piano

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

3.1.1 Sintesi del metodo per l'attribuzione delle priorità alle misure del piano

Si riporta una breve sintesi del metodo adottato nel PGRA per l'individuazione delle priorità di intervento e le relative aree di impatto nella mitigazione del rischio.

In accordo con quanto presente nelle indicazioni stabilite dalla Direttiva 2007/60 e dal Decreto Legislativo 49/2010, nel presente documento sono riportate per ciascun bacino idrografico le misure previste e il livello di priorità (distinti in basso, medio, critico, alto e molto alto, secondo le indicazioni del documento comunitario "Guidance for Reporting under the Floods Directive (2007/60/EC)").

La metodologia utilizzata per l'individuazione dei livelli di priorità di ciascuna misura assume un approccio di tipo multi-criteriale.

Vengono definiti una serie di Obiettivi che consistono nella riduzione del rischio per le 4 tipologie di elementi esposti: salute umana, attività economiche, patrimonio culturale, ambiente e di 12 Sub-Obiettivi, che costituiscono un'ulteriore specificazione degli Obiettivi stessi, così suddivisi: 2 per la salute umana, 5 per le attività economiche, 2 per il patrimonio culturale e 3 per l'ambiente.

Considerando che gli obiettivi non sono tutti di uguale importanza, il metodo prevede di assegnare ad essi dei pesi in funzione del loro valore sociale e possono essere distinti in due tipologie: Global Weight (GW) e Local Weight (LW). Il GW fornisce la rilevanza assoluta attribuita agli elementi a rischio (maggiore per il sub-obiettivo "salute umana"); tale rilevanza è stabilita a livello nazionale. Il LW consente di tener conto dell'applicabilità degli obiettivi al contesto locale, in funzione della presenza degli elementi a rischio sull'area a cui è applicata la misura. Ciò implica che a differenza del GW, il LW può essere 0 se un dato obiettivo non è applicabile all'area di studio. Ciascuna misura viene valutata in relazione alla propria capacità di ridurre o meno il rischio sulle varie tipologie di beni esposti presenti nell'area di efficacia della misura stessa.

Il primo passo per l'applicazione della metodologia è quello di individuare quale sia l'area su cui la misura avrà incidenza e quindi calcolare i LW su tutti i sub-obiettivi. Si procede quindi al calcolo dei prodotti $GW \cdot LW$.

Analisi del trend climatico ed impatto sulle misure del PGRA

OBBIETTIVI	SUB-OBBIETTIVI	GLOBAL WEIGHT (GW)	LOCAL WEIGHT (LW) valori	LOCAL WEIGHT (LW) Descrizione	GW*LW
Riduzione del rischio sociale	Riduzione del rischio per la salute umana	50	5	oltre 2000 abitanti	
			4	meno di 2000 abitanti meno di 1000 abitanti	
			3		
			2	meno di 200 abitanti meno di 50 abitanti	
			1 0	assenza di abitanti	
	Riduzione del rischio per l'operatività di strutture di interesse sociale (scuole, università, ospedali, case di cura, di accoglienza, municipi, prefetture, caserme, carceri, ecc.)	25	5	più di una infrastruttura	
			2	almeno una infrastruttura	
0			nessuna infrastruttura		
Riduzione del rischio per Attività Economiche	Riduzione del rischio per infrastrutture di servizio (centrali e reti elettriche, reti idropotabili, impianti di trattamento delle acque, impianti di depurazione, ecc.)	15	5	più di 15000 ab serviti	
			4	meno di 15000 ab serviti	
			3	meno di 10000 ab serviti	
			2	meno di 5000 ab serviti	
			1	meno di 2000 ab serviti	
			0	nessuna infrastruttura	
	Riduzione del rischio per infrastrutture di trasporto (strade, autostrade, ferrovie, aeroporti, ecc.)	10	5	ferrovie, aeroporti, autostrade	
			4	strade statali	
			3	strade regionali	
			2	strade comunali	
			1 0	altre tipologie di collegamenti di importanza locale nessuna infrastruttura	
	Riduzione del rischio per le attività commerciali e industriali	20	5	più di 1000 addetti	
			3	meno di 1000 addetti	
			1	meno di 200 addetti	
			0	nessuna attività presente	
	Riduzione del rischio per attività agricole	5	5	estensione > di 2000 ha	
			4	estensione < di 2000 ha	
3			estensione < di 500 ha		
2			estensione < di 200 ha		
1			estensione < di 20 ha		
0			nessuna attività presente		

Analisi del trend climatico ed impatto sulle misure del PGRA

	Riduzione del rischio per proprietà immobiliari (stimato in base al n. di abitanti)	15	5 4 3 2 1 0	oltre 2000 abitanti meno di 2000 abitanti meno di 1000 abitanti meno di 200 abitanti meno di 50 abitanti assenza di abitanti	
Riduzione del rischio per Beni Culturali	Riduzione del rischio per i beni architettonici, storici, culturali	35	5 3 0	beni di rilevanza nazionale e internazionale beni di rilevanza locale nessun bene presente	
	Riduzione del rischio per il paesaggio	15	5 2 0	beni di rilevanza nazionale beni di rilevanza locale nessun bene presente	
Riduzione del rischio per l'Ambiente	Riduzione del rischio per lo stato ecologico dei corpi idrici ai sensi della WFD	10	5 4 3 0	corpi idrici WFD in stato elevato corpi idrici WFD in stato buono corpi idrici WFD in stato inferiore al buono nessun corpo idrico WFD	
	Riduzione da fonti di inquinamento	20	5 0	presenza di fonti di inquinamento nessuna fonte di inquinamento	
	Riduzione del rischio per le aree protette ai sensi della WFD	10	5 0	presenza di aree protette danneggiabili nessuna area protetta danneggiabile	

Nel caso in cui non fosse possibile reperire dati sul numero di abitanti serviti per la valutazione delle infrastrutture di servizio, in alternativa si può utilizzare in alternativa il seguente schema di punteggi:

Riduzione del rischio per Attività Economiche	Riduzione del rischio per infrastrutture di servizio (centrali e reti elettriche, reti idropotabili, impianti di trattamento delle acque, impianti di depurazione, ecc.)	15	3 1 0	più di una infrastruttura di servizio almeno una infrastruttura di servizio nessuna infrastruttura di servizio
---	--	----	-------------	--

Il livello di performance della misura rispetto agli obiettivi viene valutato in termini di "Score" (S), ossia un punteggio impostato in modo tale da essere uguale a 0 nel caso in cui la misura non produca alcun effetto rispetto ad un determinato

obiettivo. Punteggi positivi e simmetricamente negativi sono attribuiti a seconda che la misura produca una riduzione o un incremento del rischio.

SCORE = efficacia rispetto alla riduzione/incremento di rischio						SCORE*(GW*LW)
riduzione significativa	riduzione limitata	solo in caso di misure che consistono in studi, indagini conoscitive	nessuna variazione	incremento limitato	Incremento significativo	
5	3	1		-3	-5	

Una volta identificato il valore dello Score per ciascun sub-obiettivo, si calcola il prodotto GW*LW*S che fornisce una quantificazione, per sub-obiettivo dell'efficacia che la misura può avere in termini di riduzione/incremento del rischio nell'area di interesse (come riportato nella tabella precedente). L'efficacia complessiva della misura si ottiene dalla somma di tali prodotti che è denominata MCA (Multi-Criteria Assesment) Score e si determina come di seguito:

$$MCA = \sum_{t=1}^{t=12} (GW \cdot LW \cdot S)$$

Infine, il metodo prevede un'ulteriore valutazione rispetto ad alcuni aspetti che ne caratterizzano la "Fattibilità e sostenibilità tecnica" mediante un Technical Weight (TW) che va a moltiplicare lo MCA score. Questa operazione permette di verificare che la misura soddisfi alcuni dei criteri preferenziali specificati all'art. 7 comma 2 della Direttiva Floods ([omissis] nonstructural initiatives and/or the reduction of the likelihood of flooding), in modo che essa sia adattabile a variazioni del rischio indotte dai cambiamenti climatici e di uso del suolo, sia efficace rispetto a più tipologie di alluvioni e richieda meno interventi manutentivi possibili. Il valore di TW dovrà risultare >= 1, in quanto se TW = 1 la misura non ottempera a nessuno dei criteri tecnici suddetti.

Fattibilità e Sostenibilità tecnica della misura	Si=1; No=0
Adattabilità della misura a futuri cambiamenti del livello di rischio (cambiamenti climatici e di uso del suolo)	
Efficacia rispetto a diversi TYPE of FLOOD	
Misura non strutturale	
Riduzione della probabilità di inondazione	
Scarsa manutenzione richiesta	
TOTALE	
Technical Weight (TW)= 1+ TOTALE	
Total MCA Score = TW*MCA Score	

Di seguito sono riportati i valori di efficacia (Score) di ciascuna misure in relazione agli obiettivi da perseguire (Tabella 3.1), e il grado di fattibilità e sostenibilità tecnica (technical weight) (Tabella 3.2).

Tabella 3.1 Valutazione dell'efficacia delle misure in relazione agli obiettivi

Obiettivi	Regolamentazione	Riduzione vulnerabilità	Sorveglianza	Manutenzione	Programmi conoscenza	Gestione naturalistica	Piani laminazione	SUDS	Centro funzionale	Presidio territoriale	Piani di emergenza
Agricolo	0	0	0	3	1	5	5	5	0	0	0
Vita umana	3	3	3	3	1	5	5	5	5	5	5
Immobili	3	3	3	3	1	5	5	5	5	3	5
Vie trasporto	0	3	0	3	1	5	5	5	0	3	0

Tabella 3.2 Valori di Technical Weight (TW)

	Regolamentazione	Riduzione vulnerabilità	Sorveglianza	Manutenzione	Programmi conoscenza	Gestione naturalistica	Piani laminazione	SUDS	Centro funzionale	Presidio territoriale	Piani di emergenza
Adattabilità	1		1	1	1				1	1	1
Efficacia rispetto a diversi tipi	1		1	1	1				1	1	1
Misura non strutturale	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
Riduzione probabilità						1	1	1	1	1	1
Scarsa manutenzione	1			1	1	1	1				
Totale	4	1	3	4	4	3	3	1	4	4	4
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Technical weight (TW)	5	2	4	5	5	4	4	2	5	5	5

Alla luce del fatto che il Piano è stato recentemente approvato nella sua prima stesura e che, da allora, pochi interventi sono stati effettivamente attuati, non si ritiene, in questa sede, di intervenire sui punteggi inizialmente attribuiti (che necessiterebbero principalmente di verifiche ex-post in seguito alla valutazione della reale efficacia delle misure di mitigazione) ma si propongono alcune misure integrative per la mitigazione del cambiamento climatico. Le misure si inseriscono negli ambiti già previsti della “regolamentazione” e del “preparazione degli interventi di protezione civile” e potrebbero essere adottate dall’Autorità di Bacino in relazione alla specifica valutazione dell’impatto climatico sui territori.

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

3.2.1 Introduzione del cambiamento climatico nelle valutazioni per la riclassificazione delle aree a pericolosità idraulica

Questa misura non strutturale si inquadra tra le misure di regolamentazione del territorio ed è indirizzata all’integrazione delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico. In particolar modo si propone di integrare **le verifiche idrauliche necessarie per il giudizio di compatibilità idraulica nel caso di realizzazione di nuove opere, di interventi su opere esistenti, di interventi che modificano il quadro attuale di pericolosità idraulica identificato dal Piano di Assetto Idrogeologico.**

L'analisi proposta nel paragrafo 2.2 individua 4 classi di impatto climatico:

- Livello Modesto (variazione della pioggia indice inferiore a +5%)
- Livello Moderato (variazione compresa tra il +5% ed il +10%)
- Livello Elevato (variazione compresa tra il +10% ed il +20%)
- Livello Molto Elevato (variazione superiore al +20%)

Il trend minimo riscontrato a livello regionale è pari a -8% (registrato nel bacino del Fiume San Leone) ed il massimo pari al +29.7% (registrato nel bacino del Fiume Birgi).

Si propone una misura graduale da applicare ai tratti fluviali (ed ai relativi bacini) in cui l'impatto climatico è stato valutato elevato o molto elevato.

Nelle monografie allegate alla presente relazione, tali tratti fluviali sono stati indicati in arancione e in rosso e, per essi, gli attuali metodi di stima delle portate di piena, basati sul principio di stazionarietà del dato pluviometrico o idrometrico, potrebbero condurre ad una sostanziale sottostima delle portate di piena con un conseguente sottodimensionamento degli interventi di mitigazione.

Nei bacini con Livello Elevato di impatto climatico, la misura dovrebbe riguardare i soli interventi nei punti critici (*black spots*) del reticolo idrografico che possono essere soggetti a sovraccarico (attraversamenti, tratti tombati, ecc.). Per tali punti, **sarà necessario effettuare una verifica idraulica aggiuntiva, tenendo conto delle forzanti idrologiche previste dallo scenario di cambiamento climatico a medio termine (2050).**

Nei bacini con Livello Molto Elevato di impatto climatico si applicano le verifiche ai punti critici del reticolo idrografico come descritto nei precedenti capoversi e, **ove necessario, le analisi di rivalutazione della pericolosità idraulica dovranno espressamente considerare l'impatto climatico nello scenario di medio termine.**

Tale impatto potrà essere stimato applicando il metodo proposto nel presente studio o altri equivalenti presenti in letteratura, tra cui quelli discussi nei precedenti paragrafi.

In assenza di tali studi di dettaglio, in forma semplificata ma in favore di sicurezza, si potranno utilizzare i seguenti coefficienti amplificativi (derivati dalle massime variazioni riscontrate nel presente studio per ciascuna classe d'impatto):

- **nelle aree con livello molto elevato** di impatto climatico potrà essere applicata **una maggiorazione pari al 30%** delle piogge di massima intensità e fissata durata e tempo di ritorno
- **nelle aree con livello elevato** di impatto climatico potrà essere applicata **una maggiorazione pari al 20%** delle piogge di massima intensità e fissata durata e tempo di ritorno

Come sintesi delle monografie allegate alla presente relazione, la misura è stata proposta in 13 bacini o aree intermedie caratterizzati da impatto molto elevato e in 11 bacini o aree intermedie caratterizzati da impatto elevato (colorati nella seguente figura) sui 39 complessivamente analizzati.

Le singole monografie riportano nel dettaglio le aree di ciascun bacino in cui si applica la misura proposta con la relativa gradazione.

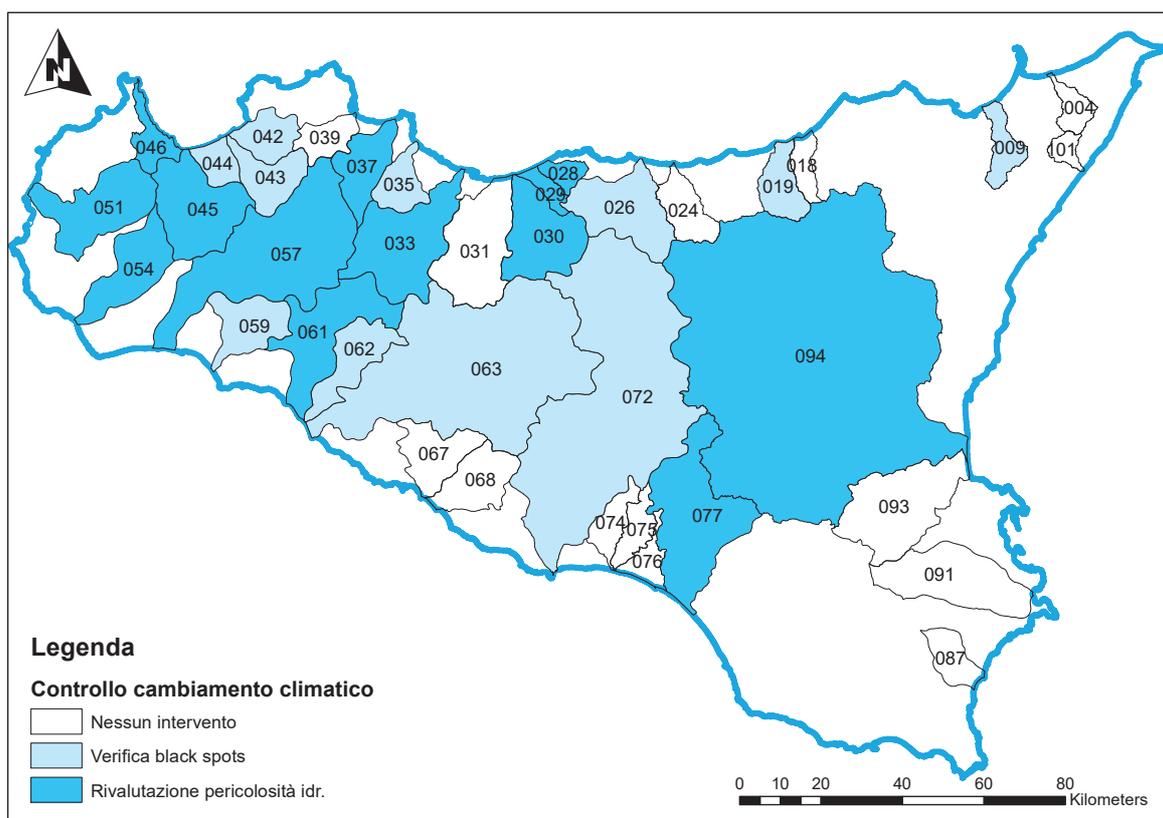


Figura 3.1 Bacini o aree intermedie in cui è proposta l'introduzione dell'obbligatorietà dell'analisi di scenari climatici nelle rivalutazioni di pericolosità idraulica

3.2.2 Sistemi di allertamento e segnalazione

Questa misura non strutturale si inquadra tra le misure di preparazione ed allerta ed è finalizzata alla specializzazione dei sistemi di allertamento, segnalazione e gestione dell'emergenza previsti nel piano.

L'ambito di applicazione della misura dovrebbe essere limitato alle aree a maggiore suscettibilità alle piene lampo (parametro pari a 4 nella scala proposta da Brugioni et al., 2010) nello scenario attuale o nello scenario futuro di medio termine (2050), dando maggiore priorità alle aree che raggiungono tale livello già nello scenario attuale.

La misura prevede una serie di interventi da integrare nei piani territoriali di protezione civile indirizzati ai seguenti obiettivi, con la collaborazione degli enti locali:

- Identificazione degli elementi critici del reticolo fluviale naturale o artificiale nel caso di piene improvvise;
- In caso di allerta gialla, l'avvio di procedure di verifica degli elementi critici volte a scongiurare fenomeni di occlusione o intasamento del reticolo idrografico nei punti critici;
- In caso di allerta arancione, l'avvio di procedure di monitoraggio continuo dei punti critici fino alla cessazione delle condizioni di rischio.

- la pianificazione e realizzazione di specifici sistemi di allertamento e di segnalazione del pericolo di piene lampo nelle aree a maggiore suscettibilità.

Come sintesi delle monografie allegate alla presente relazione, la misura è stata proposta in 29 bacini o aree intermedie (colorati nella seguente figura) sui 37 complessivamente analizzati: 20 con priorità alta perché l'intervento è legato allo scenario attuale di analisi e 9 con priorità bassa perché l'intervento è legato allo scenario futuro di medio termine (2050). Ovviamente le singole monografie specificano con maggiore dettaglio le aree in cui tale misura è suggerita e, in 3 soli casi, per bacini di modeste dimensioni, l'intervento è esteso all'intero bacino.

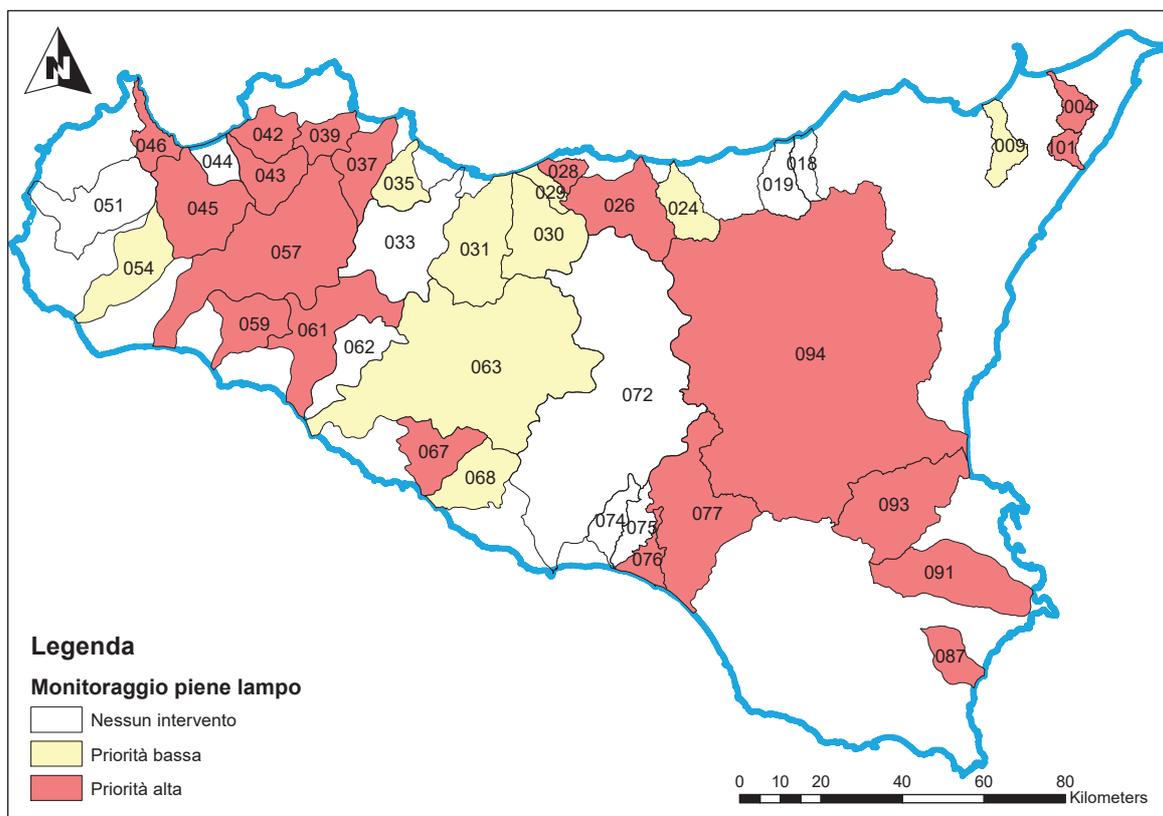


Figura 3.2 Bacini o aree intermedie in cui è proposta la predisposizione di specifici sistemi per il monitoraggio, l'allertamento e la segnalazione di piene lampo

Bibliografia

- Liuzzo, L., & Freni, G. (2015). Analysis of Extreme Rainfall Trends in Sicily for the Evaluation of Depth-Duration-Frequency Curves in Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrologic Engineering*, 04015036(12). doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001230
- Karl, T., Knight, R., & Baker, B. (2000). The record breaking global temperatures of 1997 and 1998: Evidence for an increase in the rate of global warming? *Geophys. Res. Lett.*, 27(5), 719-722.
- Alexander, R., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., . . . Vazquez-Aguirre, J. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, D05109. doi:10.1029/2005JD006290
- Kunkel, K., Karl, T., Brooks, H., Kossin, J., Lawrimore, J., Arndt, D., . . . Wuebbles, D. (2013). Monitoring and understanding trends in extreme storms: State of knowledge. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(4), 499-514. doi:10.1175/BAMS-D-11-00262.1
- Iwashima, T., & Yamamoto, R. (1993). A statistical analysis of the extreme events: Long-term trend of heavy daily precipitation. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 71(5), 637-640.
- Fujibe, F., Yamazaki, N., Katsuyama, M., & Kobayashi, K. (2005). The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *Sola*, 1, 41-44.
- Wang, Y., & Zhou, L. (2005). Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961–2001 and the associated changes in largescale circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 32(9), L09707.
- Zolina, O., Simmer, C., Belyaev, K., Kapala, A., & Gulev, S. (2009). Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges. *J. Hydrometeorol*, 10(3), 701-716.
- Gallant, A., Karoly, D., & Gleason, K. (2014). Consistent trends in a modified climate extremes index in the United States, Europe, and Australia. *J. Clim.*, 27(4), 1379-1394.
- Brunetti, M., Maugeri, M., & Nanni, T. (2000). Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995. *Theor. Appl. Climatol.*, 65(3-4), 165-174.
- Frei, C., & Schär, C. (2001). Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. *J. Clim.*, 14(7), 1568-1584.
- Gregersen, I., Sorup, H., Madsen, H., Rosbjerg, D., Mikkelsen, P., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). Assessing future climatic changes of rainfall extremes at small spatio-temporal scales. *Clim. Change*, 118(3-4), 783-797.
- Roth, M., Buishand, T., Jongbloed, G., Klein Tank, A., & Van Zanten, J. (2012). A regional peaks-over-threshold model in a nonstationary climate. *Water Resour. Res.*, 48(11), W11533.

- Gregersen, I., Madsen, H., Rosbjerg, D., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2014). Long term variations of extreme rainfall in Denmark and southern Sweden. *Clim. Dyn.*, 44(11-12), 3155-3169. doi:10.1007/s00382-014-2276-4
- Willems, P. (2013). Adjustment of extreme rainfall statistics accounting for multidecadal climate oscillations. *J. Hydrol.*, 490, 126-133.
- Bonaccorso, B., Cancelliere, A., & Rossi, G. (2005). Detecting trends of extreme rainfall series in Sicily. *Adv. Geosci.*, 2, 7-11.
- Dessai, S., Hulme, M., Lempert, R., & Pielke, R. (2009). Climate prediction: A limit to adaptation. *Adapting to climate change: Thresholds, values, governance*, 64-78.
- Arnbjerg-Nielsen, K. (2006). Significant climate change of extreme rainfall in Denmark. *Water Sci. Technol.*, 54(6-7), 1-8.
- Burlando, P., & Rosso, R. (1991). Extreme storm rainfall and climatic change. *Atmos. Res.*, 27(1), 169-189.
- Mailhot, A., & Duchesne, S. (2009). Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 136(2), 201-208.
- Mann, H. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: J. Econ. Soc.*, 13(3), 245-259.
- Kendall, M. (1962). *Rank correlation methods* (3rd ed.). New York: Hafner Publishing Company.
- Helsel, D., & Hirsch, R. (1992). *Statistical methods in water resources*. Amsterdam: Elsevier.
- Hirsch, R., Slack, J., & Smith, R. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.*, 18(1), 107-121.
- Ngongondo, C., Xu, C., Tallaksen, L., Alemaw, B., & Chirwa, T. (2011). Regional frequency analysis of rainfall extremes in southern Malawi using the index rainfall and L-moments approaches. *Stochastic Environ. Res. Risk Assess.*, 25(7), 939-955.
- Fowler, H., & Kilsby, C. (2003). A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000. *Int. J. Climatol.*, 23(11), 1313-1334.
- Koutsoyiannis, D. (2004). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation/statistiques de valeurs extrêmes et estimation de précipitations extrêmes: I. Recherche théorique. *Hydrol. Sci. J.*, 49(4), 575-590. doi:10.1623/hysj.49.4.575.54430
- Gilleland, E., & Katz, R. (2006). Analyzing seasonal to interannual extreme weather and climate variability with the extremes toolkit. *18th Conf. on Climate Variability and Change, 86th American Meteorological Society (AMS) Annual Meeting*, 29.
- Jenkinson, A. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 81(348), 158-171.
- Hosking, J. (1990). L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. R. Stat. Soc.*, 52(2), 105-124.

- Hosking, J., & Wallis, J. (1997). *Regional frequency analysis*. New York: Cambridge University Press.
- Hosking, J., & Wallis, J. (1993). Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resour. Res.*, 29(2), 271-281.
- Burlando, P., & Rosso, R. (1996). Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation. *J. Hydrol.*, 187(1-2), 45-66.
- Ranzi, R., Mariani, M., Rossini, E., Armanelli, B., & Bacchi, B. (1999). Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano. *Technical Rep. No 12*.
- Gupta, V., & Waymire, E. (1990). Multiscaling properties of spatial rainfall and river flow distributions. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 95(D3), 1999-2009.
- Forestieri, A., Arnone, E., Blenkinsop, S., Candela, A., Fowler, H., & Noto, L. (2018). The impact of climate change on extreme precipitation in Sicily, Italy. *Hydrological Processes*, 32(3), 332-348. doi:10.1002/hyp.11421
- Libertino, A., Ganora, D., & Claps, P. (2019). Evidence for increasing rainfall extremes remains elusive at large spatial scales: The case of Italy. *Geophysical Research Letters*, 46, 7437-7446. doi:10.1029/2019GL083371
- Libertino, A., Ganora, D., & Claps, P. (2018). Technical note: Space-time analysis of rainfall extremes in Italy: Clues from a reconciled dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(5), 2705–2715.
- Helsel, D., & Frans, L. (2006). Regional Kendall test for trend. *Environmental Science & Technology*, 40(13), 4066–4073.
- Brugioni, M., Mazzanti, B., & Franceschini, F. (2010). How meaningful is flash flood risk mapping? Cagliari.
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R., Parajka, J., Merz, B., . . . Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, 108-123.
- Boé, J., Terray, L., Habets, F., & Martin, E. (2007). Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro-meteorological studies. *International Journal of Climatology*, 27(12), 1643-1655.
- Piani, C., Weedon, G., Best, M., Gomes, S., Viterbo, P., Hagemann, S., & Haerter, J. (2010b). Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*, 395(3), 199-215.
- Brugioni, M., Mazzanti, B., & Franceschini, F. (2010). How meaningful is flash flood risk mapping? Cagliari: Authority, Arno River Basin. WG F Thematic Workshop on Implementation of the Floods Directive 2007/60/EC "FLASH FLOODS AND PLUVIAL FLOODING". Tratto il giorno May 26th-28th, 2010
- Tarquini, S., & Nannipieri, L. (2017). The 10 m-resolution TINITALY DEM as a trans-disciplinary basis for the analysis of the Italian territory: Current trends and new perspectives. *Geomorphology*, 281, 108-115.