

24 ottobre 2019
Attilio Castellarin

Cambiamenti climatici e mappatura speditiva della pericolosità di allagamento

METTIAMOCI IN RIGA



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



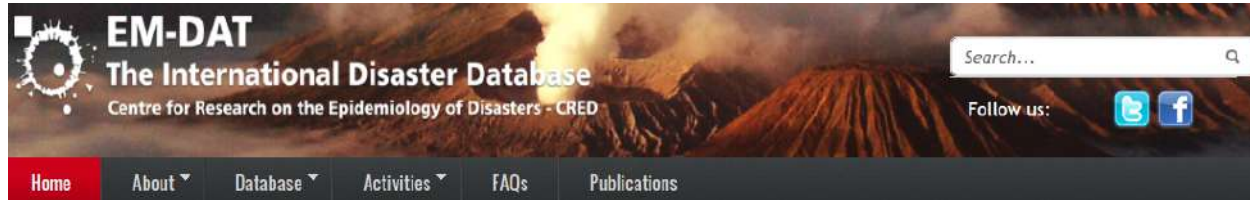
*Agenzia per la
Coesione Territoriale*



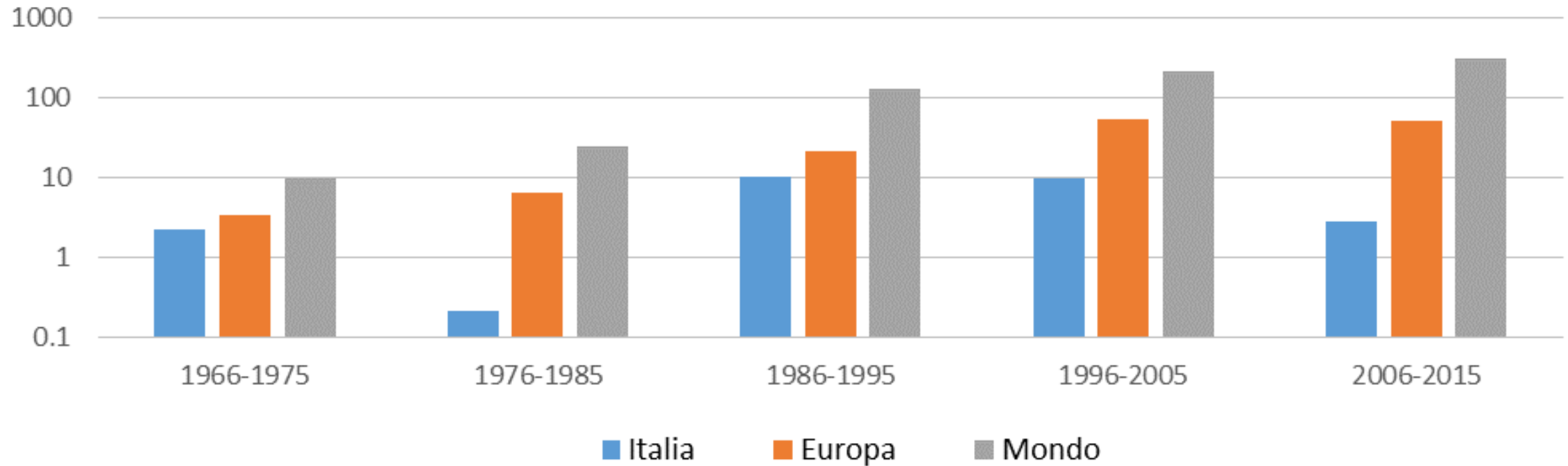
**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**

SOGESID SPA
INGEGNERIA TERRITORIO AMBIENTE

Danni da alluvione a scala Italiana, Europea e Globale (miliardi di dollari attualizzati al 2016)

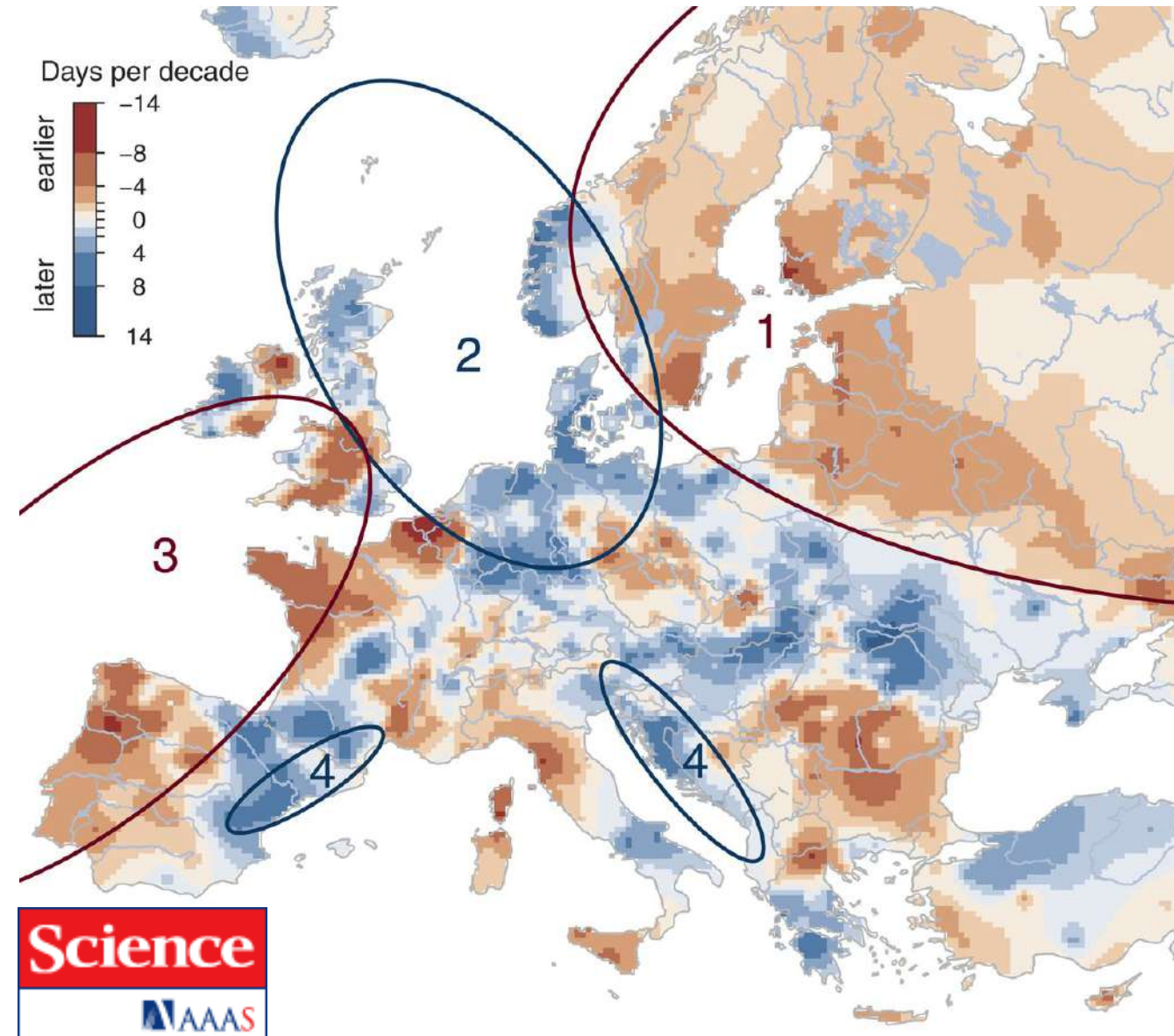


Fonte dei dati: <http://www.emdat.be/>



Le portate fluviali stanno cambiando?

Una prospettiva europea: 1) Regime stagionale



Alterazioni del regime stagionale (giorni per decennio) delle piene massime annuali.
Trend valutati sul periodo 1960-2010

UniboMagazine @UniboMagazine · 23 ago

[Innovazione e ricerca] Il riscaldamento globale altera il regime stagionale delle alluvioni in Europa dlvr.it/Ph5rhP

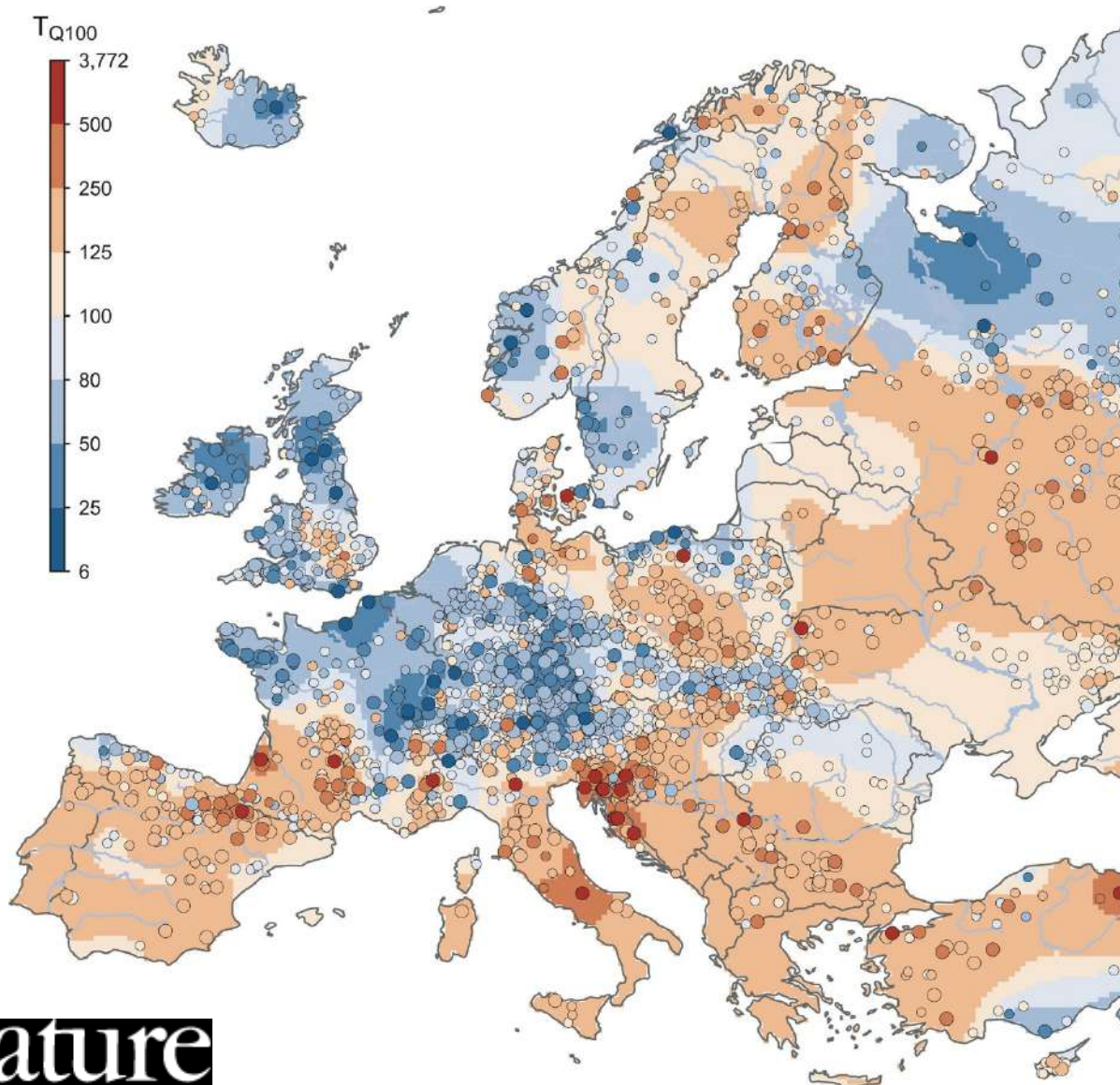


Günter Blöschl et al. (2017) Changing climate shifts timing of European floods, *Science*, vol. 357(6351), pp. 588-590
DOI: [10.1126/science.aan2506](https://doi.org/10.1126/science.aan2506)

METTIAMOCI
IN RIGA

Le portate fluviali stanno cambiando?

Una prospettiva europea: 2) Portata di piena secolare



Tempo di ritorno valutato nel 2010 per la portata di piena secolare stimata nel 1960.

«*This figure provides a **continental overview and does not replace national-scale and local studies, for which more detailed information may be available***»

ANSA.it - Ambiente/Energia - Clima - Cambiamento del clima ridisegna la mappa delle alluvioni in Europa

Cambiamento del clima ridisegna la mappa delle alluvioni in Europa

Più frequenti a nord-ovest, in calo a sud



Redazione ANSA - ROMA - 29 agosto 2019 - 10:45



DALLA HOME AMBIENTE/ENERGIA

Manovra:
Assambiente, le
misure "green"
sono insufficienti
[ritua e Pirella](#)

Greenpeace, rifiuti
italiani
abbandonati in
Polonia
[ritua e Pirella](#)

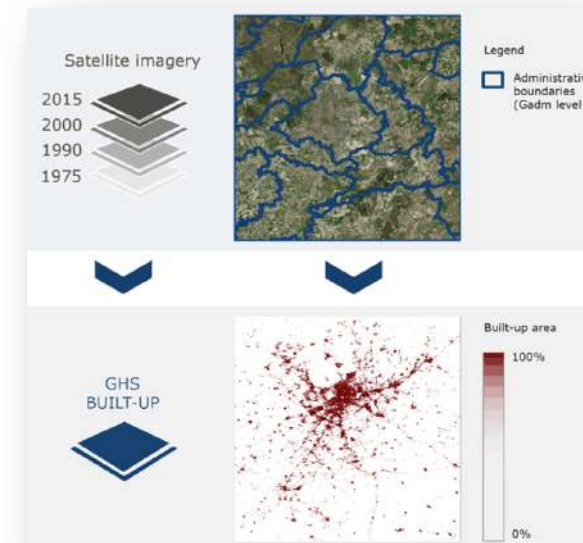
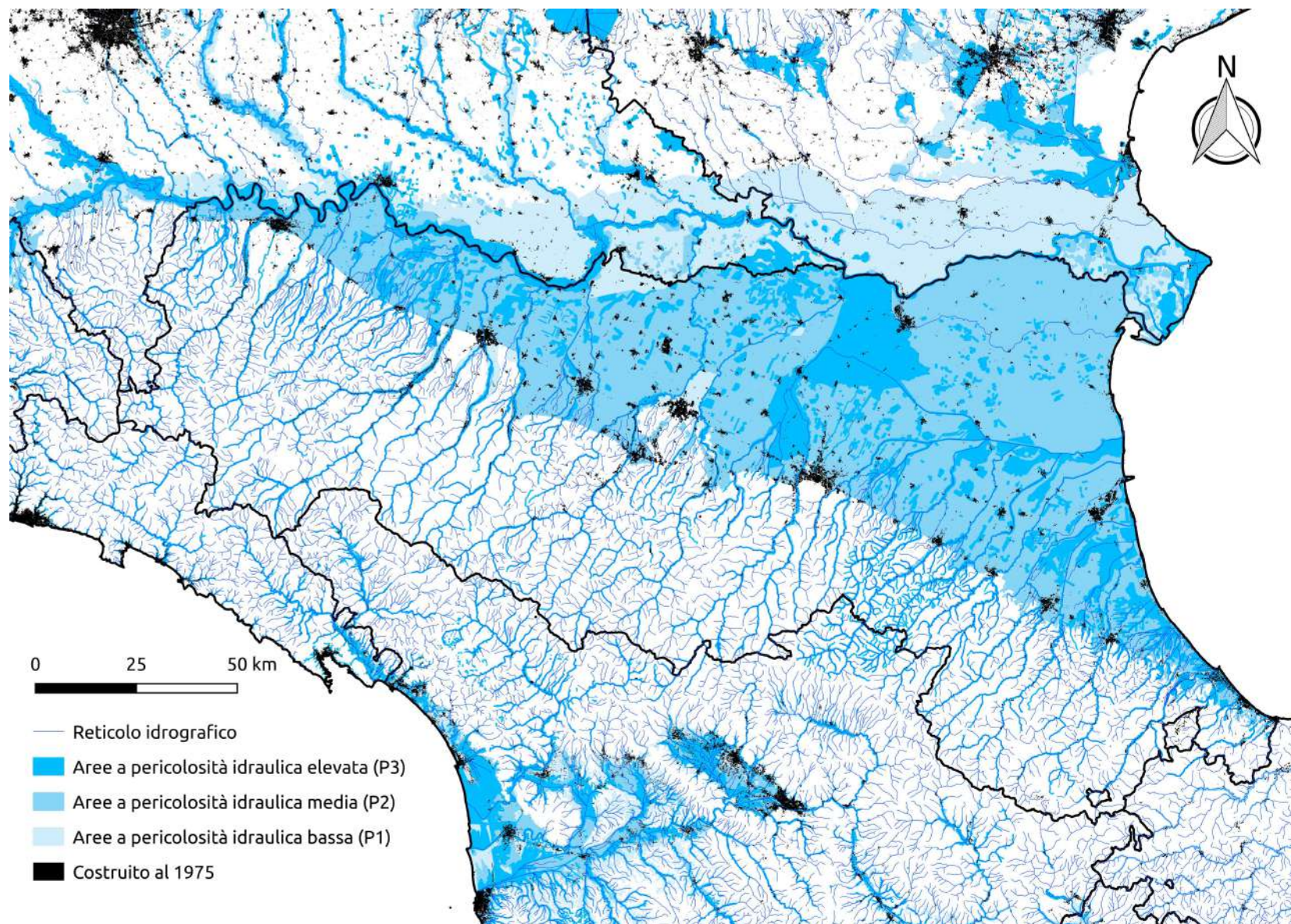
Smog: Costa, dati
drammatici, serve
velocizzare la
misura
[Inquadratura](#)

A Milano
attenzione a
plastica e
abbigliamento
[Inquadratura](#)

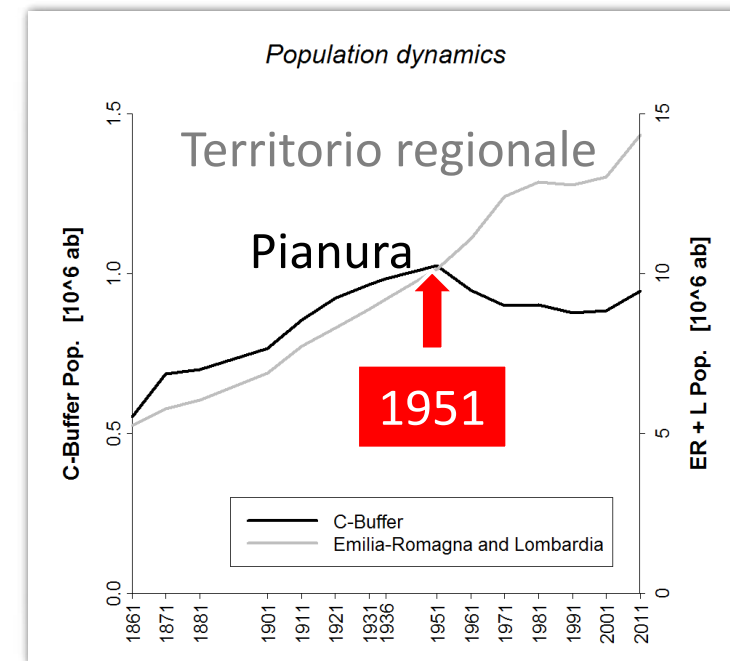
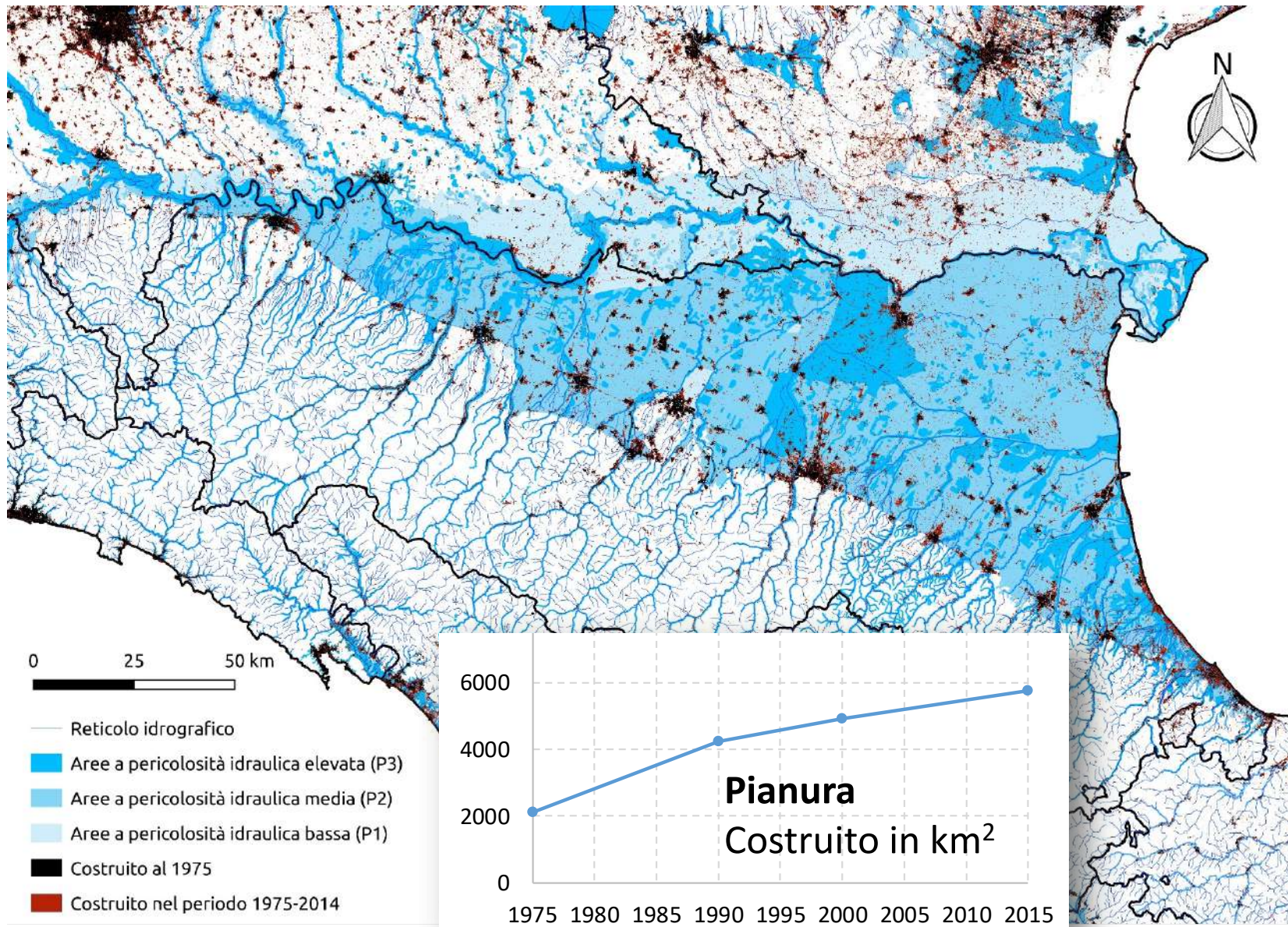
Günter Blöschl et al. (2019) Changing climate both increases and decreases European river floods, *Nature*, vol. 573, pp. 108-111
DOI: [10.1126/science.aan2506](https://doi.org/10.1126/science.aan2506)

METTIAMOCI
IN RIGA

Esposizione e vulnerabilità del territorio stanno cambiando?



Esposizione e vulnerabilità del territorio stanno cambiando?



Dati ISTAT
(1861 – 2011)
Emilia-Romagna e
Lombardia

METTIAMOCI
IN RIGA

Direttiva Alluvioni – «*EU Floods Directive*» 2007/60/CE

D.Lgs. N. 49 del 23/2/2010



Sfide e temi di ricerca scientifica dalla Direttiva Alluvioni

1. Valutazione di pericolosità e rischio su vasta scala geografica (Nazionale, Europea)
2. Approccio olistico (Principio di solidarietà)
3. Stime oggettive e quantitative (Valutazione del rischio)
4. Interpretazione dinamica (Revisioni cicliche, 6 anni)

Approccio sistemico alla
valutazione ed alla
mitigazione del rischio
alluvionale

La Direttiva Alluvioni
pone problemi scientifici
che devono essere
affrontati da attività di
ricerca ad-hoc

Directive 2007/60/CE: Planning Cycle



Chapter VIII: reviews,
reports and final
provisions



SAFERPLACES



Climate-KIC

Improved assessment of **pluvial, fluvial** and **coastal** flood hazards and risks in European cities as a means for building safer and more resilient communities



CONSORZIO DI SAFERPLACES

Centri di Ricerca

GFZ

Helmholtz Centre
POTSDAM



cmcc
Centro Euro-Mediterraneo
sui Cambiamenti Climatici

Università



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



POLITÉCNICA

SME's

MEEO
Meteorological Environmental
Earth Observation



Climate-Kic
Flagship Initiative

OASIS | HUB



Climate-KIC is supported by the
EIT, a body of the European Union



SAFERPLACES



Improved assessment of **pluvial, fluvial** and **coastal** flood hazards and risks in European cities as a means for building safer and more resilient communities



OBIETTIVO RELATIVO ALLA CARATTERIZZAZIONE DEL PERICOLO D'INONDAZIONE:

Valutare il potenziale che la scalabilità di **algoritmi *DEM-based* ad elaborazione rapida** per una **caratterizzazione coerente del rischio di inondazione** sia a scala locale, che su aree di grande estensione (ad es. grandi pianure alluvionali, grandi aree metropolitane, valutazioni regionali).

Sorgenti di rischio considerate: **fluviale, pluviale, costiera**

Focus odierno:

Prima parte: **Inondazioni da fiume**

Seconda parte: **Allagamenti urbani da nubifragio**



Follow us!

Twitter: @SaferPlacesCKIC

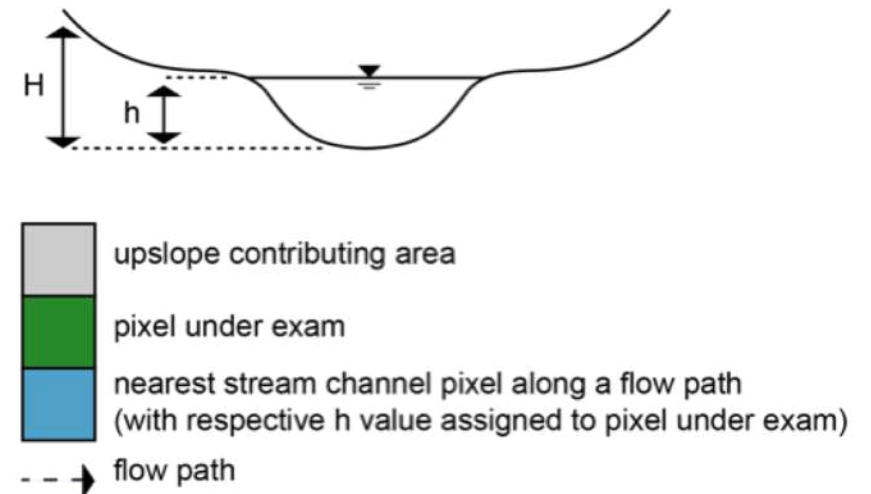
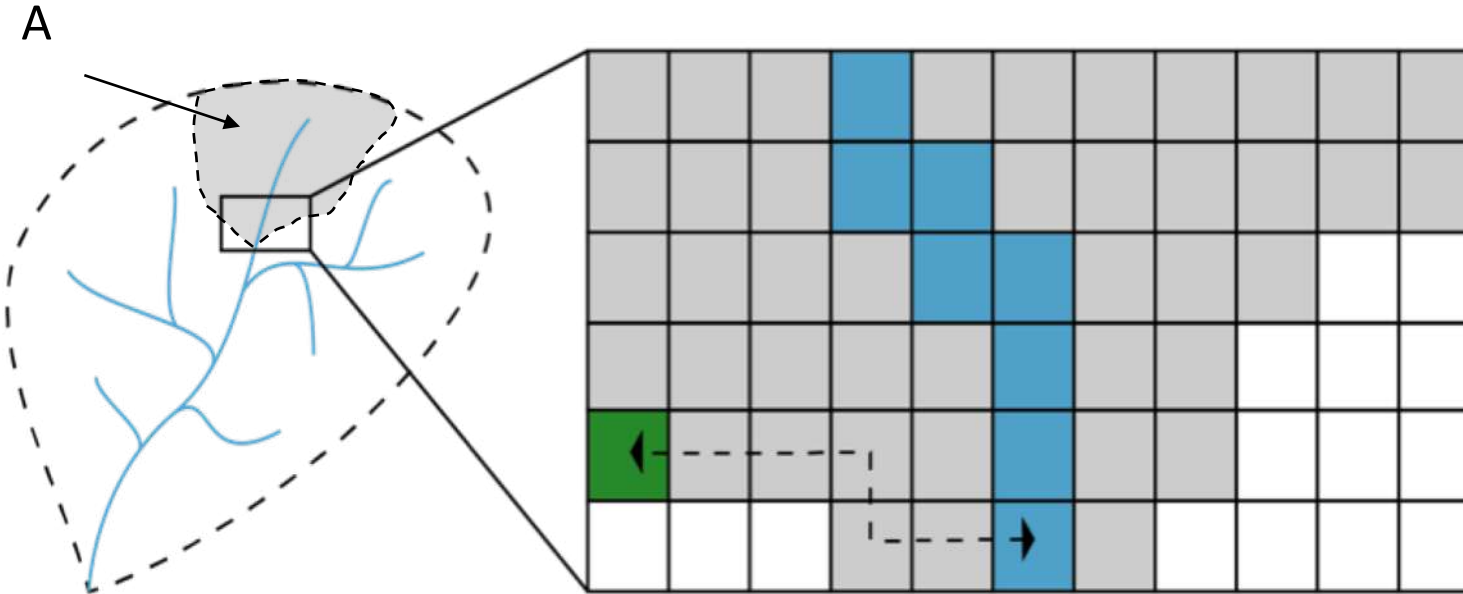
Hashtag: #SAFERPLACES_CKIC

Prima parte - Inondazioni da fiume:

Mappatura *DEM-based* della pericolosità di allagamento *Geomorphic Flood Index* (GFI)

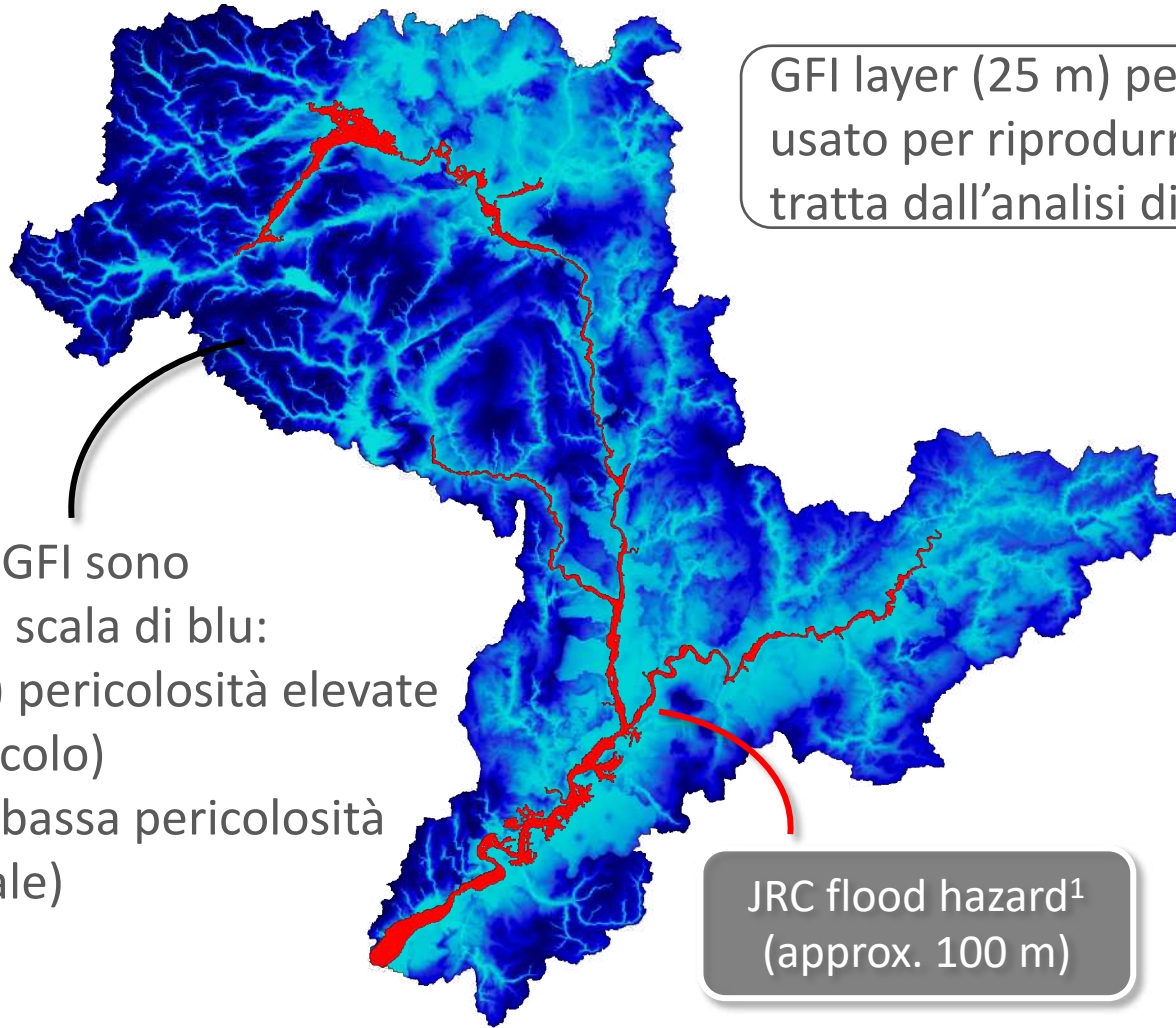
$$GFI^1 = \ln \left(\frac{h}{H} \right)$$

- $h = bA^n$, legge di scala empirica [m]
- H , dislivello tra i pixel² [m]
- A , area contribuyente [km²]



Prima parte - Inondazioni da fiume:

Mappatura *DEM-based* della pericolosità di allagamento



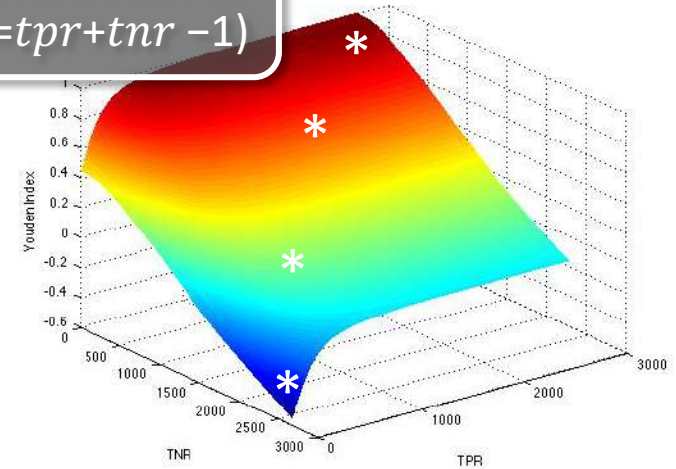
GFI layer (25 m) per il bacino del fiume Severn (UK) usato per riprodurre la mappatura di pericolosità tratta dall'analisi di Dottori et al. (2016)

Diversi valori di GFI sono rappresentati in scala di blu:

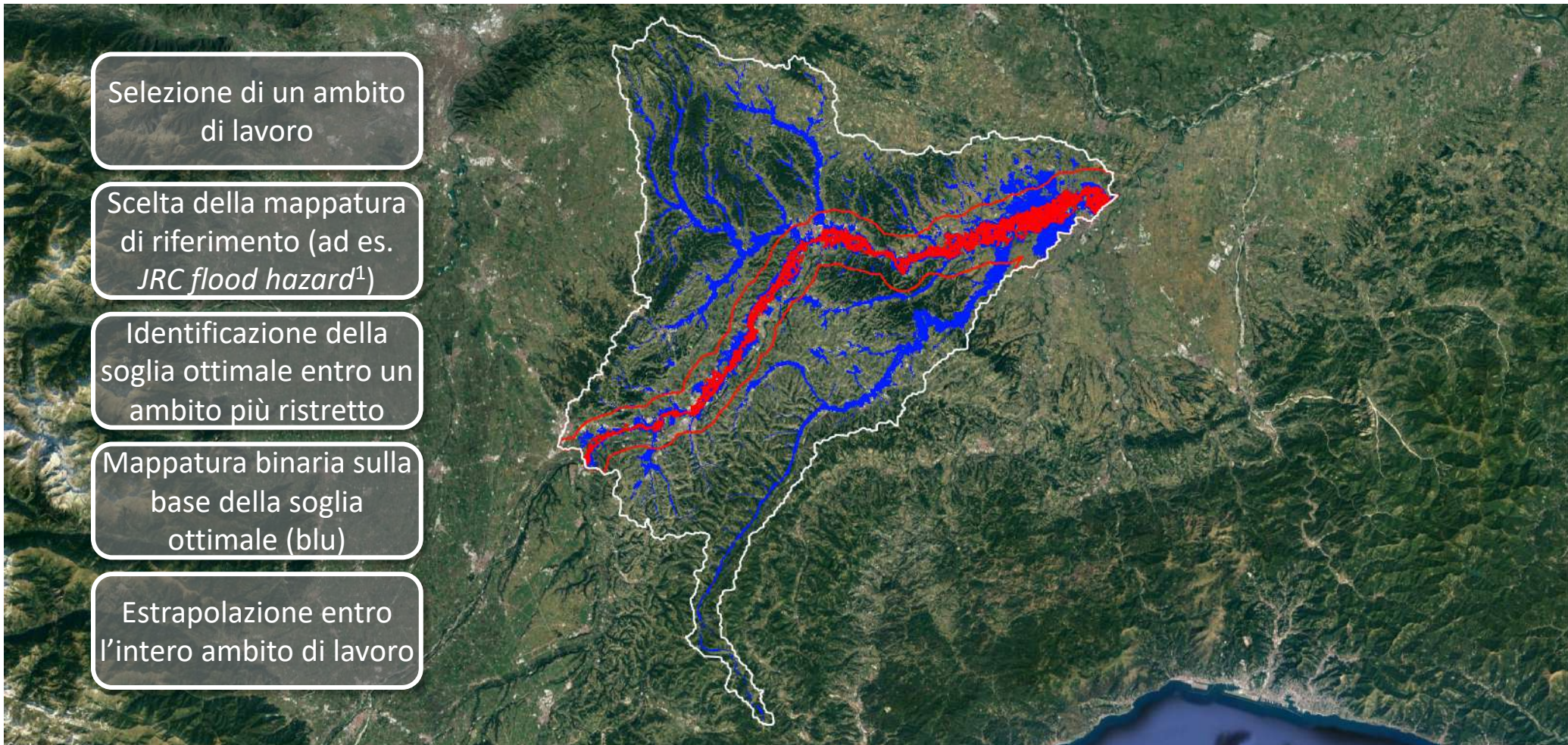
- 1 (blu chiaro) pericolosità elevate (vicino al reticolo)
- 0 (blu scuro) bassa pericolosità (zone di crinale)

Identificazione della soglia ottimale per i valori del GFI

Funzione obiettivo
 $\max(J = tpr + tnr - 1)$



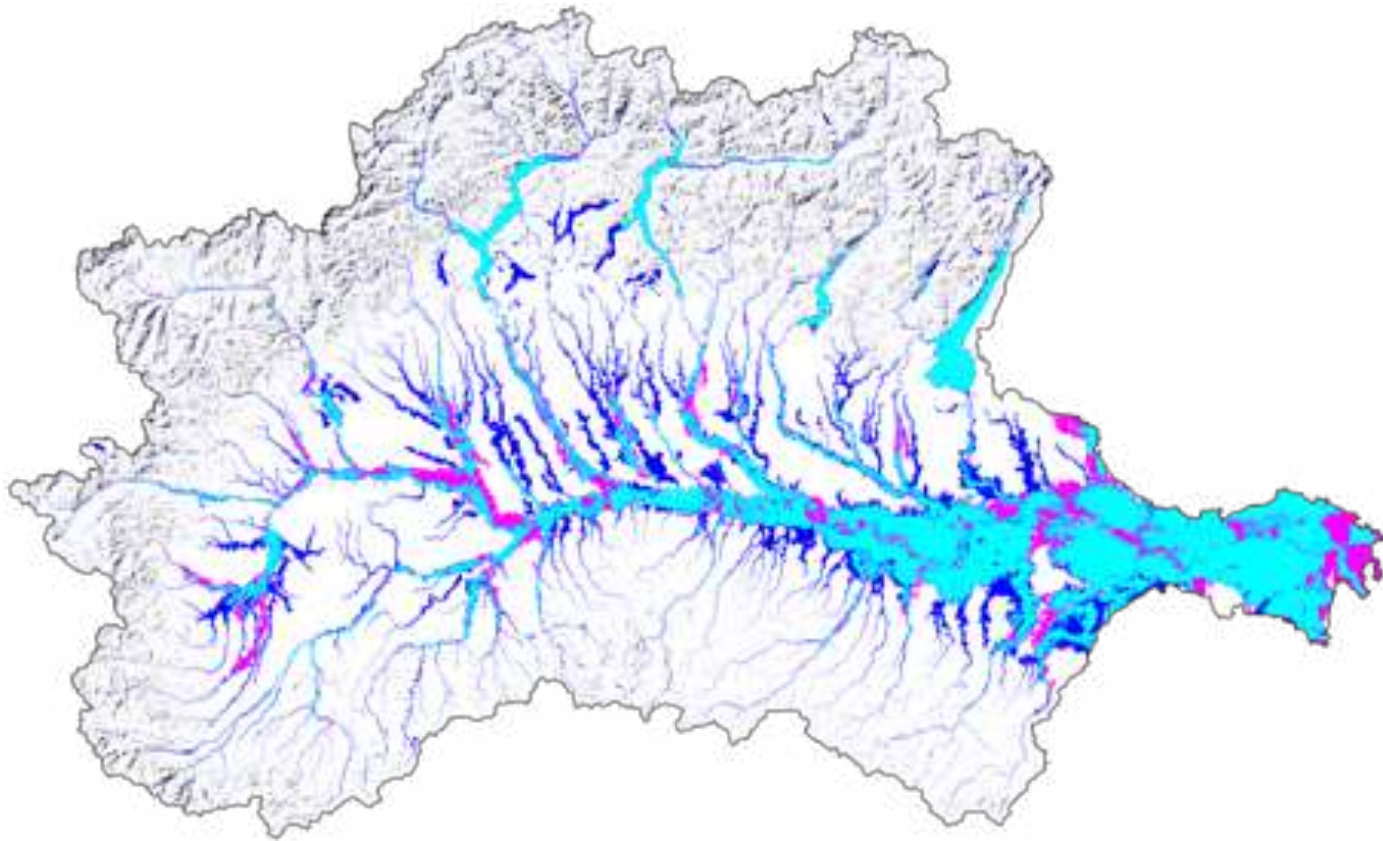
Prima parte - Inondazioni da fiume: Esempio di mappatura basata sul GFI



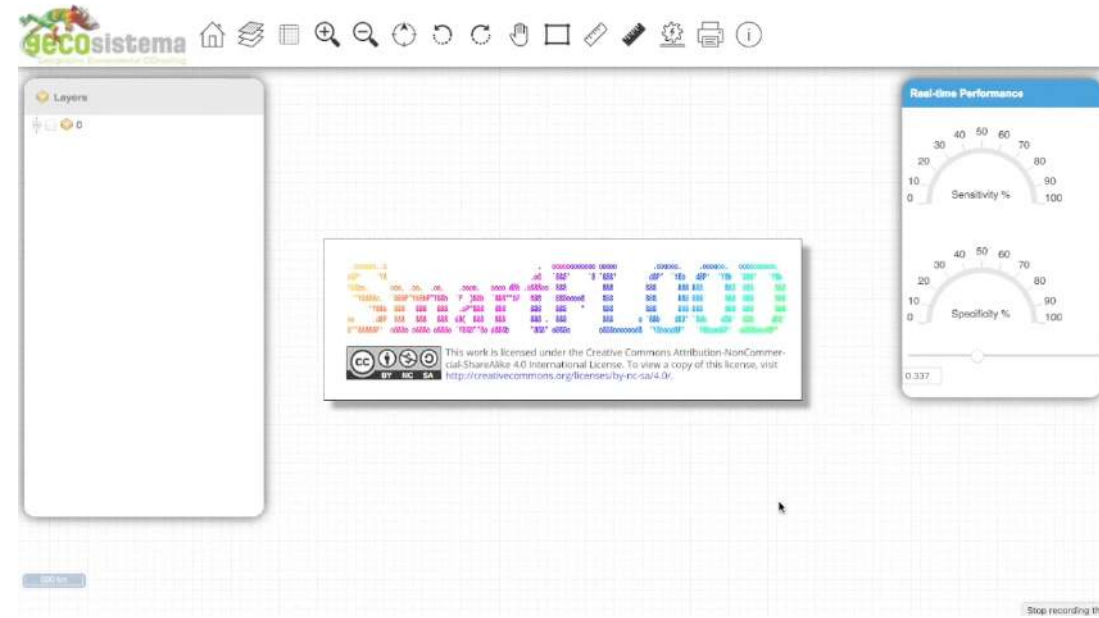
SaferPlaces



Prima parte - Inondazioni da fiume: Esempio di applicazione a larga scala spaziale



Bacino del Po: **ciano** – accordo; **blu scuro** – sovrastima;
magenta – sottostima (rispetto alla mappatura di riferimento dello studio del JRC¹)



SmartFLOOD²

<http://gecosistema.com/smartflood>

GFI-based web service applied to
EU fluvial flooding

**SYSTEM RISK
ETN**

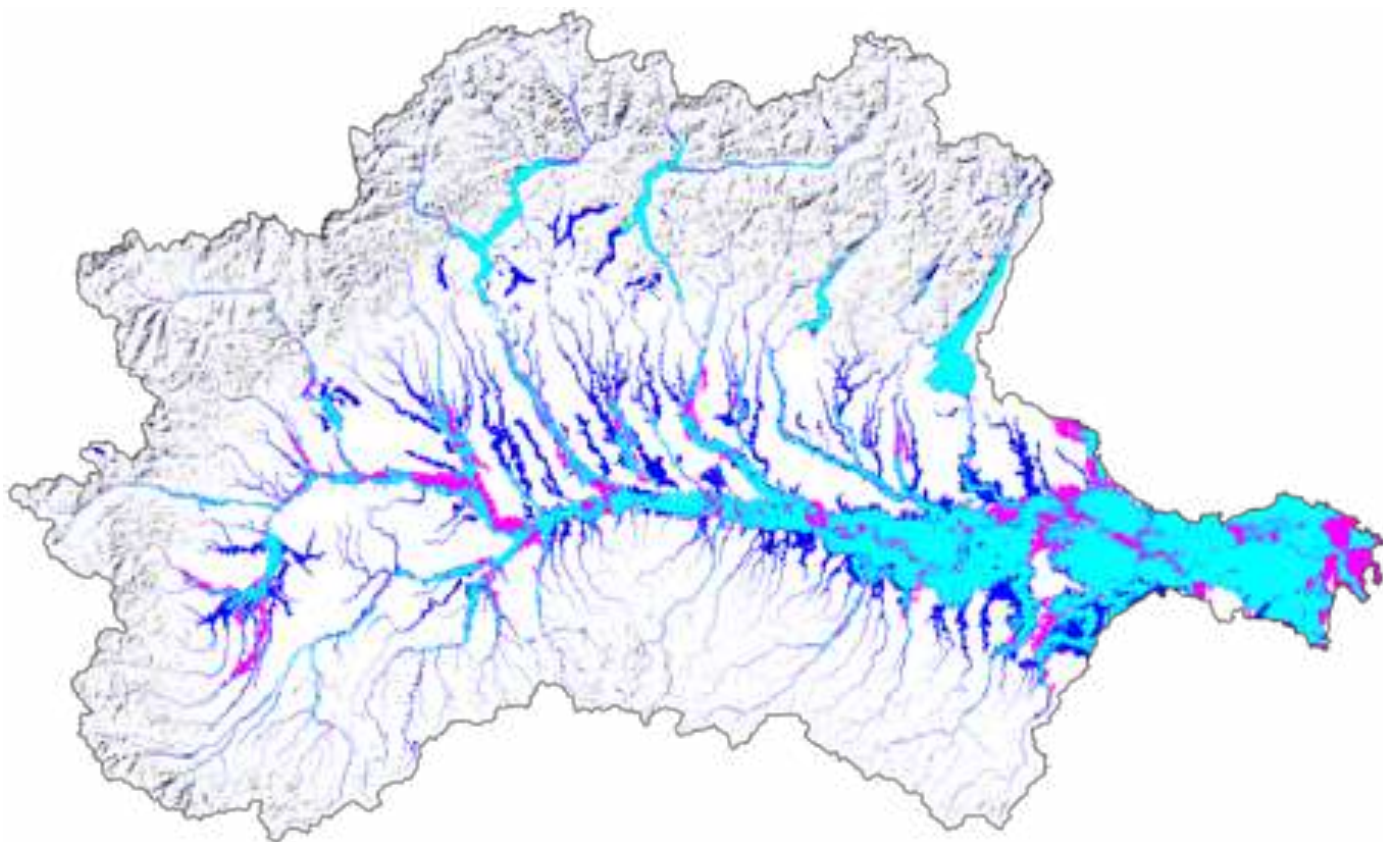
SaferPlaces

eit Climate-KIC
Climate-KIC is supported by the
ETN, a body of the European Union

¹ Dottori et al., European Commission, Joint Research Centre, 2016

² Tavares da Costa et al., Env. Software & Mod., 2019

Prima parte - Inondazioni da fiume: Conclusioni



Bacino del Po: **ciano** – accordo; **blu scuro** – sovrastima;
magenta – sottostima (rispetto alla mappatura di riferimento
dello studio del JRC¹)

Limiti principali

- Manca una rappresentazione dinamica:
inidoneo per **ricostruzioni di evento**, e per
valutare **tempistiche o velocità della corrente**

Principali vantaggi e ambiti applicativi di interesse

- Efficienza computazionale
- Idoneo per applicazioni a grande scala
spaziale
- Caratterizzazione omogenea della pericolosità
- Identificazione speditiva di aree ad elevata
propensione all'allagamento, per le quali
sviluppare una **modellazione idrodinamica di
dettaglio**

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio



"*Bomba d'acqua*" è un modo moderno per definire un **fenomeno antico**, ma in aumento a causa del riscaldamento globale: il **nubifragio** (in inglese *cloudburst*, letteralmente "esplosione di nuvola"). Evento di precipitazione con intensità **superiore a 30 millimetri all'ora**, particolarmente intenso e localizzato che può dar vita a *flash-flood* (alluvioni lampo) urbani, o ad allagamenti delle aree residenziali.



Livorno, 9-10/09/2017

Pioggia cumulata a Valle Benedetta: 235 mm in 3 ore



UDINETODAY Sezioni Cronaca

Cronaca / Lignano Sabbiadoro / Corso degli Alisei

Maltempo in Friuli, Lignano Pineta finisce sott'acqua

Forti disagi nella località balneare friulana. All'opera i Vigili del fuoco

Redazione 12 SETTEMBRE 2017 09:41 666 Condivisioni

Lignano (UD), 10-12/09/2017
Altezza di pioggia cumulata 280 mm,
120 mm in 4 ore, 55 mm in 1 ora

**METTIAMOCI
IN RIGA**

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio



"*Bomba d'acqua*" è un modo moderno per definire un **fenomeno antico**, ma in aumento a causa del riscaldamento globale: il **nubifragio** (in inglese *cloudburst*, letteralmente "esplosione di nuvola"). Evento di precipitazione con intensità **superiore a 30 millimetri all'ora**, particolarmente intenso e localizzato che può dar vita a *flash-flood* (alluvioni lampo) urbani, o ad allagamenti delle aree residenziali.



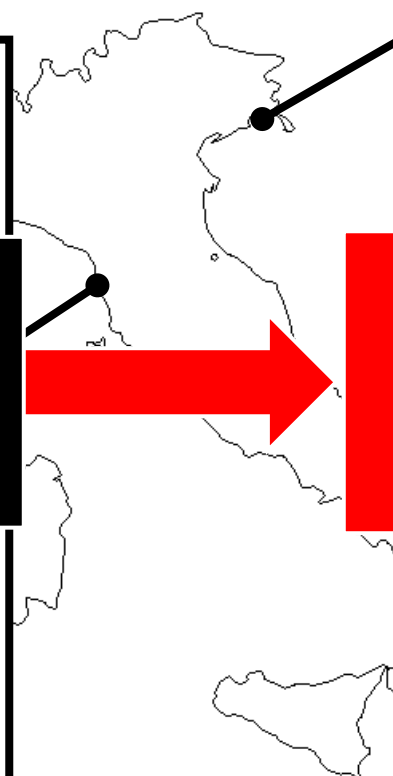
Rispetto alle inondazioni fluviali:

- **Danni localizzati, ma**
- **Frequenza elevata**



Livorno, 9-10/09/2017

Pioggia cumulata a Valle Benedetta: 235 mm in 3 ore



Impatto non trascurabile a lungo termine



Lignano (UD), 10-12/09/2017

Altezza di pioggia cumulata 280 mm,
120 mm in 4 ore, 55 mm in 1 ora

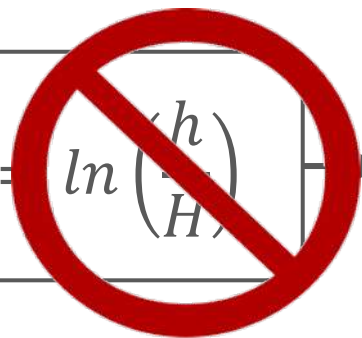
**METTIAMOCI
IN RIGA**

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

Obiettivi, motivazioni e limiti delle procedure esistenti



$$GFI = \ln \left(\frac{h}{H} \right)$$



- $h = bA^n$, legge di scala empirica [m]
- H, dislivello tra i pixel² [m]
- A, area contribuyente [km²]

GFI inidoneo a rappresentare la pericolosità da allagamento da nubifragio in ambito urbano

Ragioni principali:

- La superficie topografica è profondamente alterata (impatto antropico)
- Abbondanza di zone pianeggianti e sub-orizzontali
- Presenza diffusa di depressioni superficiali
- Estensione ed entità degli **allagamenti** controllate dal **volume di pioggia netta e dalla sua distribuzione spaziale**

OBIETTIVO DI SAFERPLACES:

Sviluppo di algoritmi GIS *DEM-based* per la caratterizzazione speditiva della pericolosità di allagamento da nubifragio su estese aree urbanizzate

MOTIVAZIONI:

La disponibilità di DEM LiDAR ad alta risoluzione orizzontale ($\approx 1m$) è in costante aumento.

L'identificazione di aree urbane ad alta pericolosità (*pluvial-hazard hotspots*) è un tema molto importante (espansione urbana)

SaferPlaces



**METTIAMOCI
IN RIGA**

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

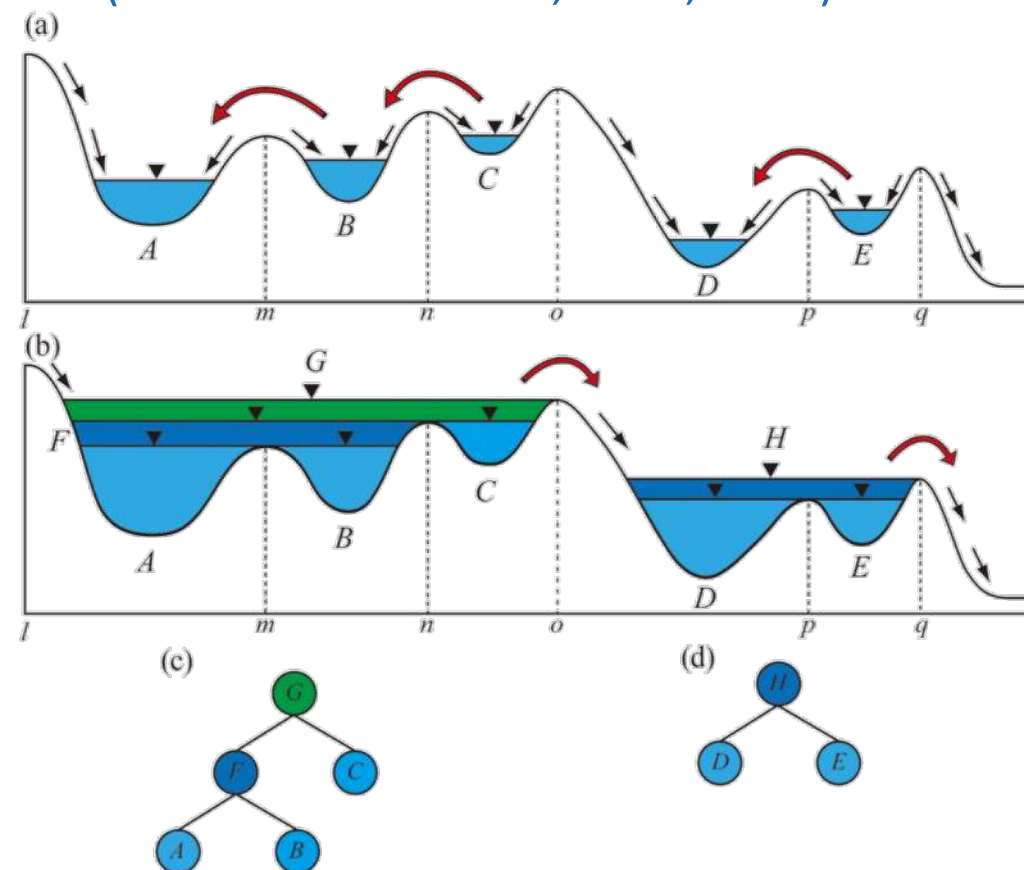
Hierarchical Filling & Spilling (Modulo SAFER_Rain)



(Fonte: Wu and Lane, HESS, 2017)

Passi principali dell'algoritmo sviluppato:

- 1) Definizione della **gerarchia idrologica orizzontale** delle depressioni: identificazione dei *blue-spots* (depressioni di primo livello, **G** e **H** in figura) attraverso l'analisi del DEM disponibile (**DEM pit-filling**) ed identificazione delle corrispondenti soglie di trabocco e bacini contribuenti;
- 2) Definizione della **gerarchia idrologica verticale** all'interno di ciascun *blue-spot*: identificazione delle depressioni di 2°, 3°, ecc. livello (**A**, **B**, **C**, **D**, **E**, e **F** in figura) delle loro relazioni e curve di invaso (**Top-down level-set method**, Wu et al., JAWRA, 2018)
- 3) Identificazione delle **aree allagate** per un dato volume di pioggia netta (**Bottom-up level-set method**)



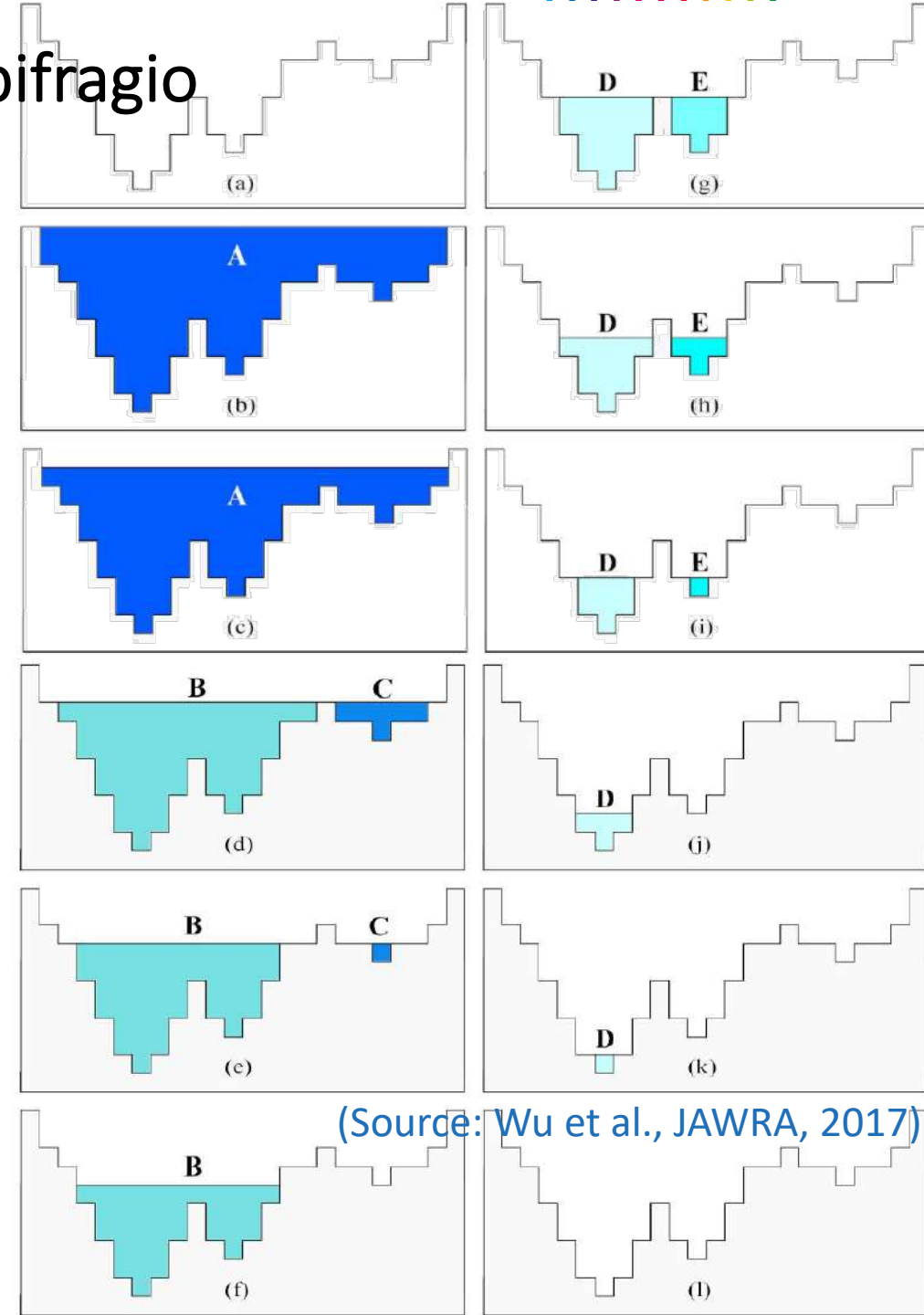
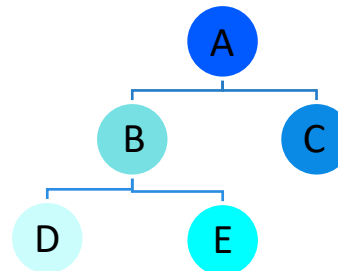
Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

Hierarchical Filling & Spilling

(Modulo SAFER_Rain)

Secondo passo: definizione della gerarchia idrologica verticale (***Top-down level-set method***) (da (a) a (l) in figura):

1. Si parte da una condizione di completo riempimento (il *blue-spot* **A** è completamente allagato)
2. Il **livello decresce gradualmente**, caratterizzando le curve di invaso di ogni singola depressione
3. Vengono **identificate gradualmente** le depressioni di 2° livello (**B** e **C**), prima, e di 3° livello (**D** ed **E**), successivamente
4. A fine analisi il dominio è completamente vuoto e la gerarchia idrologica delle depressioni è completamente identificata, unitamente alle diverse curve di invaso



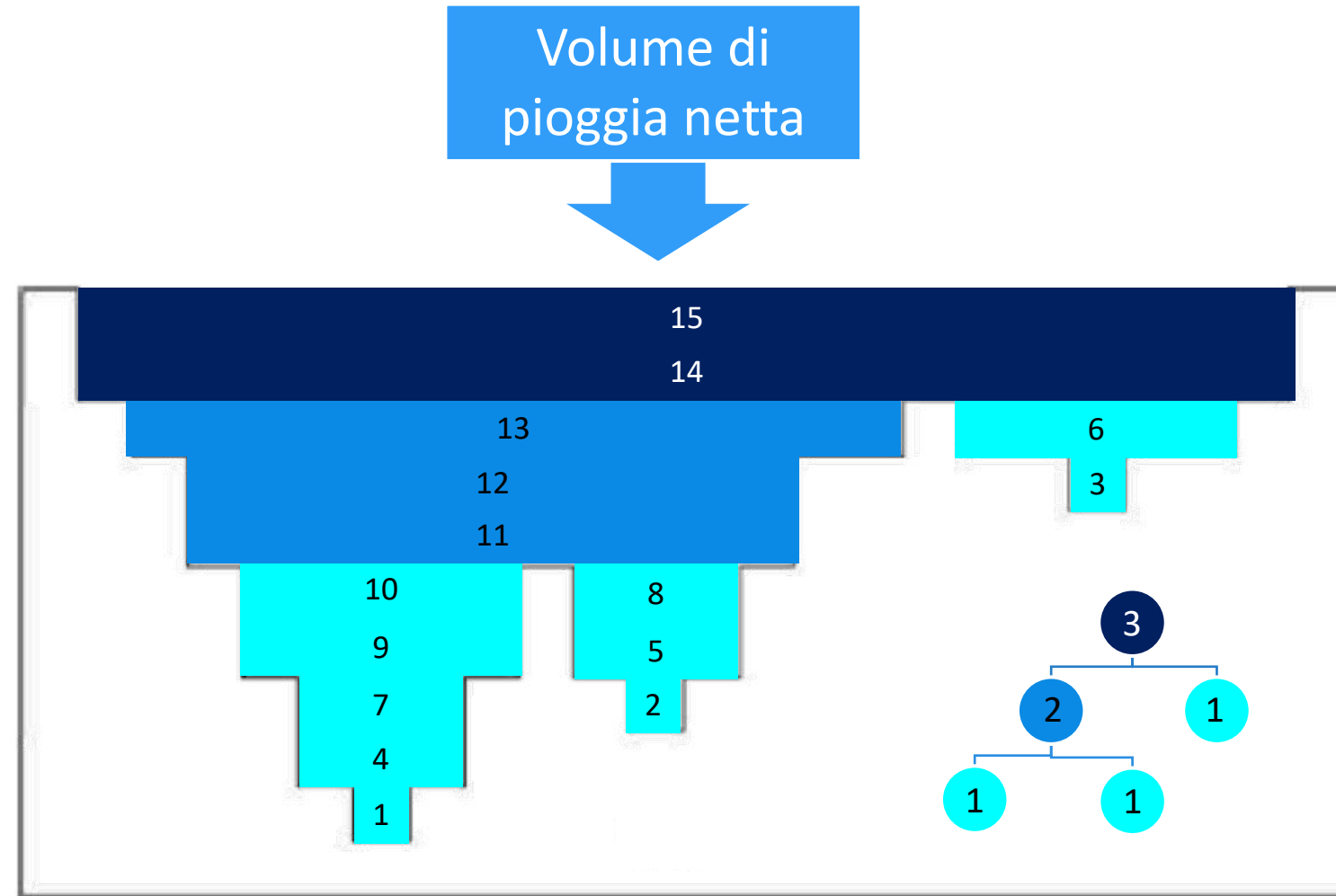
Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

Hierarchical Filling & Spilling (Modulo SAFER_Rain)



Terzo passo: allagamento parziale
delle depressioni (***Bottom-up level-set method***):

1. All'inizio il dominio è **vuoto** (il *blue-spot* è completamente asciutto)
2. Le **depressioni annidate vengono gradualmente riempite** secondo la gerarchia verticale e le curve di invaso (riempimento dal basso)
3. Il riempimento avviene passo-passo, considerando **depressioni col medesimo livello gerarchico**



Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

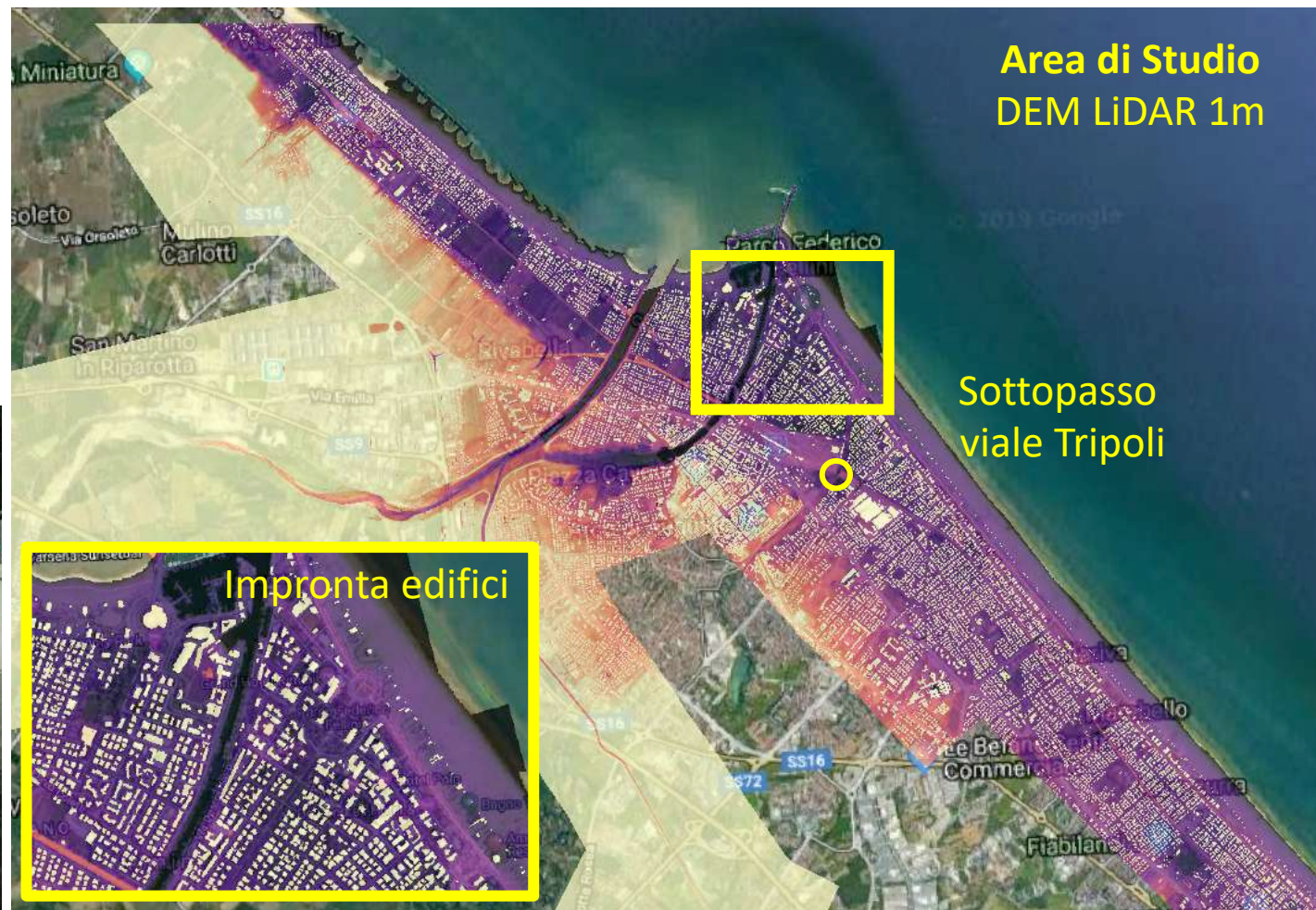
SaferPlaces Pilot Case Study – Rimini



Nubifragio del 24 giugno 2013
(123.6 mm in 1 ora a Rimini-Ausa)



Sottopasso viale Tripoli



Area di Studio
DEM LiDAR 1m

Sottopasso
viale Tripoli

Impronta edifici

SaferPlaces

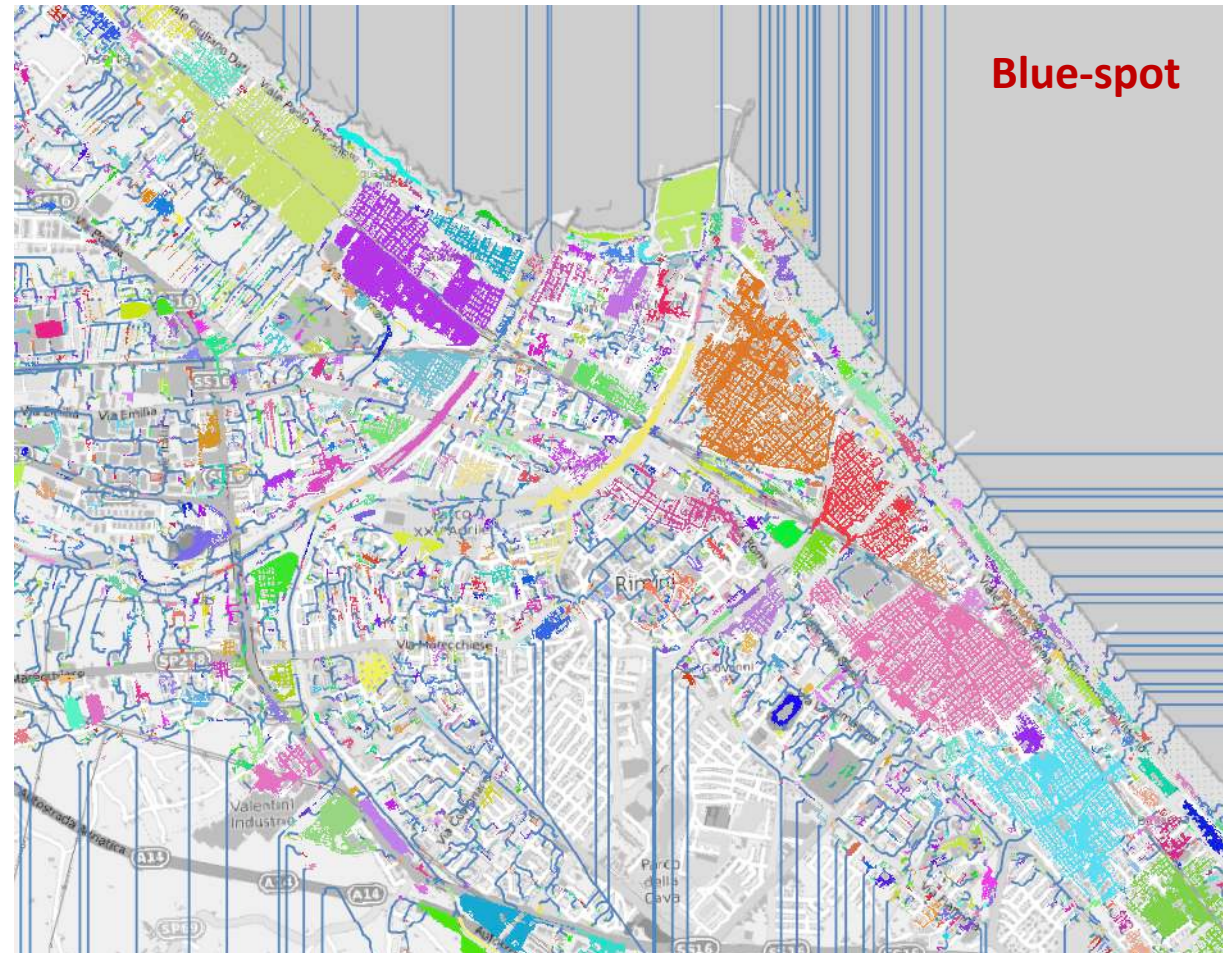


Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

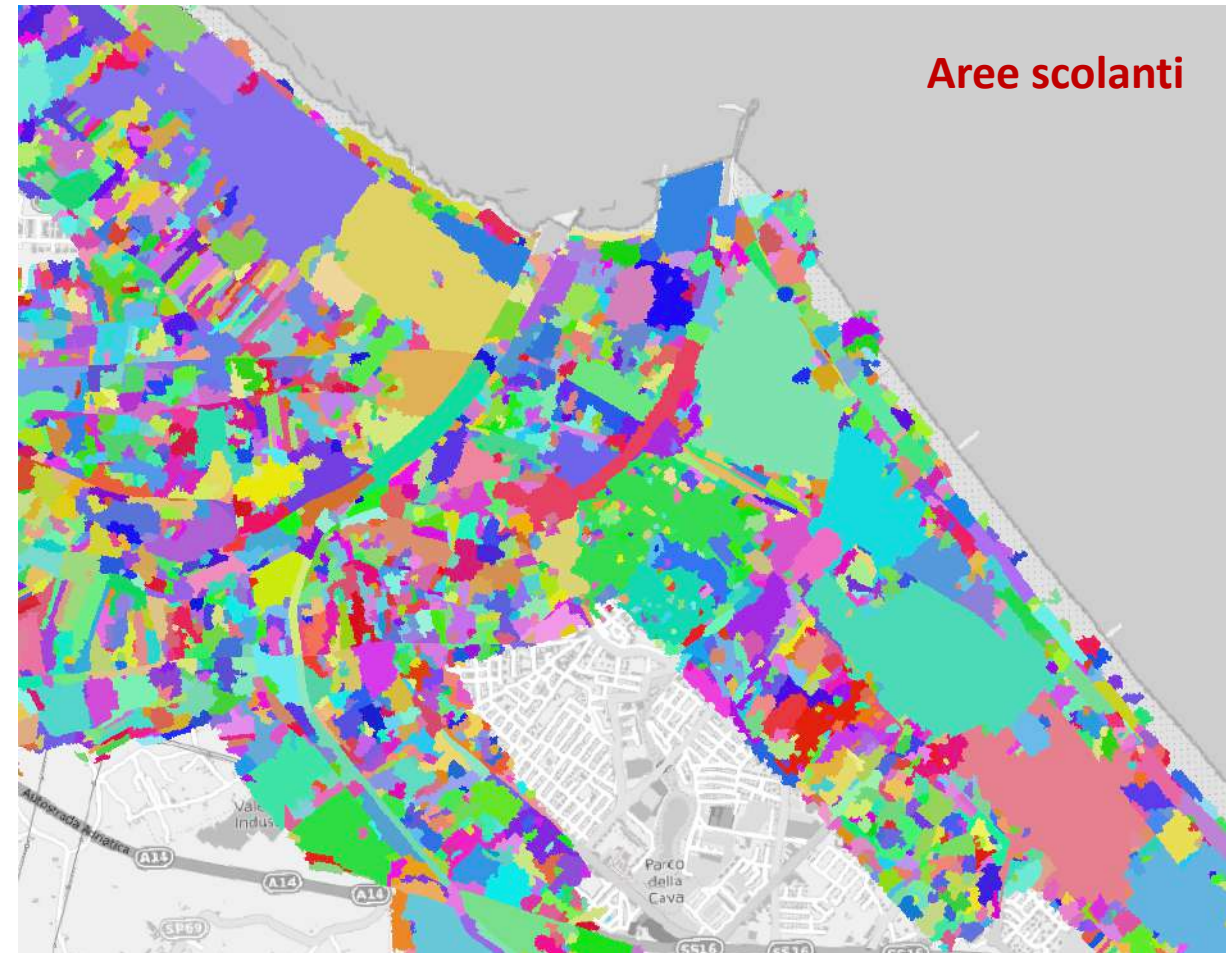
SaferPlaces Pilot Case Study – Rimini (DEM Pre-processing)



Blue-spot



Aree scolanti



Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

SaferPlaces Pilot Study – Rimini, confronto con modello 2D

Ipotesi: **superficie impermeabile e pioggia uniforme** (altezza cumulata di pioggia di **130 mm in 1 ora**);

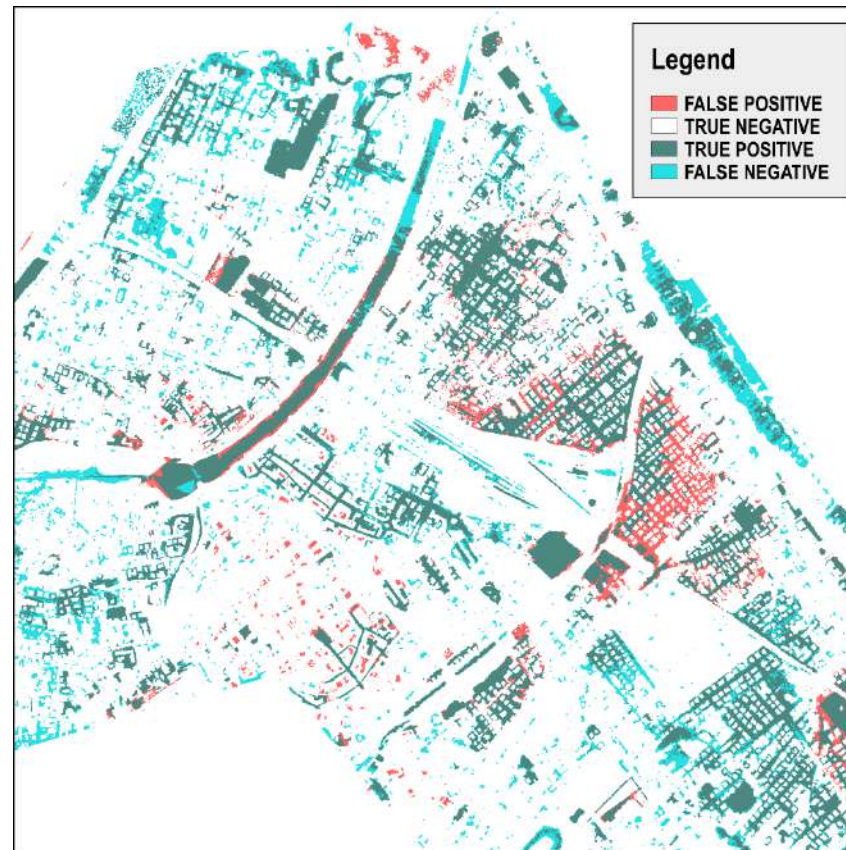
Confronto con i tiranti simulati da un modello idrodinamico bidimensionale

(benchmark model, sviluppato dalla IBH, <https://ib-humer.at>)

- **True positive rate:** $R_{TP} = TP / (TP + FN)$ → Sensitivity
- **False negative rate:** $R_{FN} = 1 - R_{TP}$ → Underestimation
- **True negative rate:** $R_{TN} = TN / (TN + FP)$ → Specificity
- **False positive rate:** $R_{FP} = 1 - R_{TN}$ → Overestimation

		PREDICTION (Simplified method)	
		EVENT	NO EVENT
		TRUE POSITIVE	FALSE NEGATIVE
GOLD STANDARD TRUTH (Standard map)	EVENT		
	NO EVENT	FALSE POSITIVE	TRUE NEGATIVE

Sensitivity	Underestimation	Specificity	Overestimation
0.626	0.374	0.987	0.013



SaferPlaces



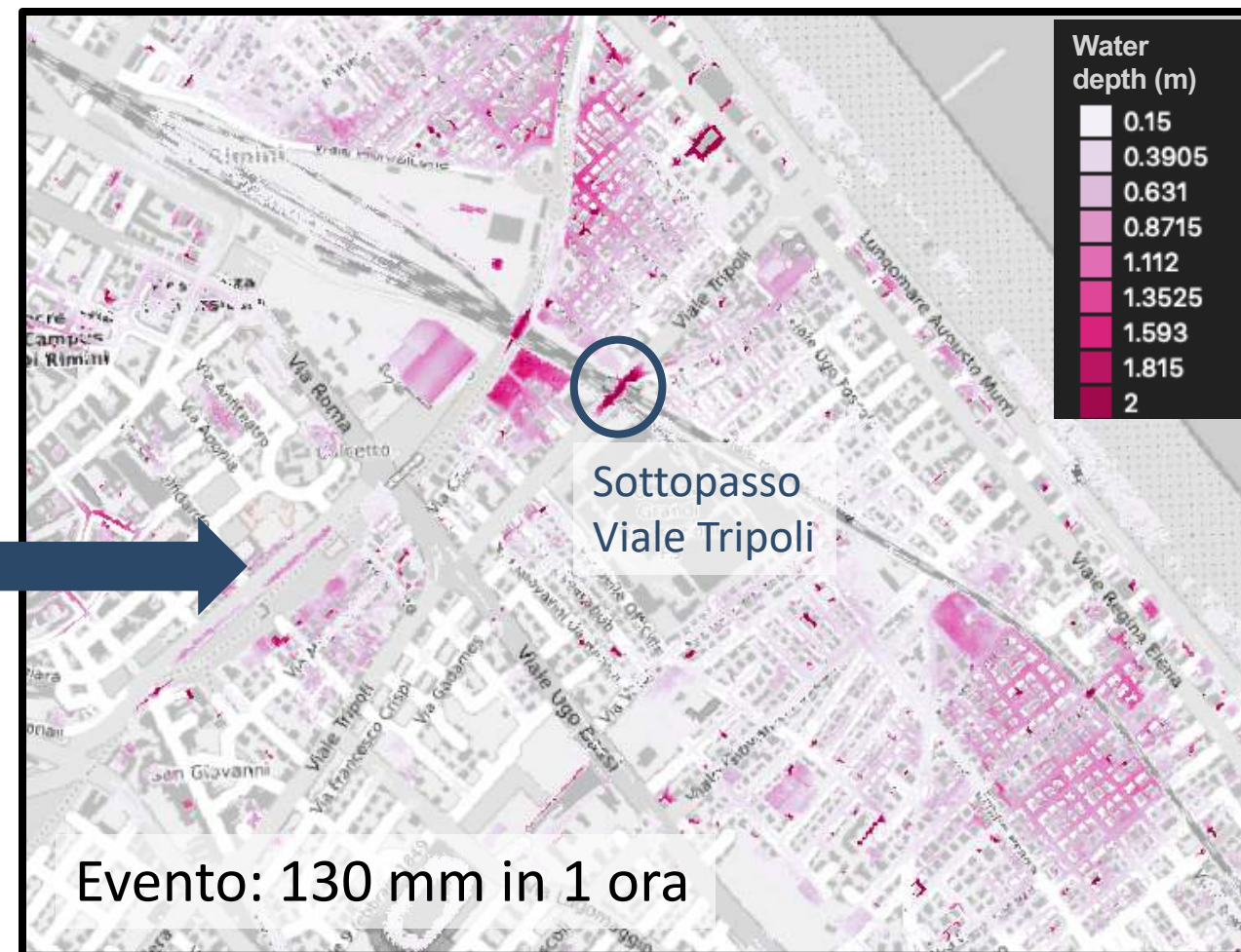
**METTIAMOCI
IN RIGA**

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

SaferPlaces Pilot Study – Rimini, pioggia netta spazialmente distribuita



Modello di infiltrazione di Green-Ampt



Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

Hierarchical Filling & Spilling



Limiti principali

- La dinamica del processo non è rappresentata:
sottostima dei massimi tiranti attesi
mancono indicazioni su tempistiche e velocità

Principali vantaggi ed ambiti applicativi di interesse

- Il *pre-processing* viene svolto una volta sola, caratterizzando pienamente la struttura delle depressioni
la simulazione dell'evento e del conseguente allagamento parziale è molto veloce
- Idoneo per trattare pioggia netta spazialmente distribuita
- Identificazione speditiva di aree ad alta pericolosità (***pluvial-hazard hotspots***) per definire strategie di mitigazione (sistemi di laminazione, definizione di piani di evacuazione, confronto di diverse configurazioni di progetto, ecc.)



Example for a **982 by 1068** grid on a 2 CPU's,
Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.30GHz, cache: 46080 KB
Preprocessing time: 89,6 s with 0.05m set-level
Computation of flooded areas time:

- 10.9s** for a cumulated rainfall of 9mm
- 9.2s** for a cumulated rainfall of 125mm



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Ringraziamenti:

Simone Persiano¹, Caterina Samela^{1,2}, Valerio Luzzi³,
Ricardo Tavares da Costa^{1,3}, Paolo Mazzoli³, Günter
Humer⁴, Andreas Reithofer⁴, Jaroslav Mysiak⁵, Stefano
Bagli³

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, Bologna, Italy; (2) Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo (DiCEM), Università degli Studi della Basilicata, Matera, Italy; (3) GECOSistema Srl, Cesena, Italy; (4) Dipl.-Ing. Günter Humer GmbH, Geboltskirchen/Gmunden, Austria; (5) Risk Assessment and Adaptation Strategies, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), Venezia, Italy





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Attilio Castellarin

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali
DICAM

Università di Bologna
Bologna, ITALIA

attilio.castellarin@unibo.it

www.unibo.it