



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*



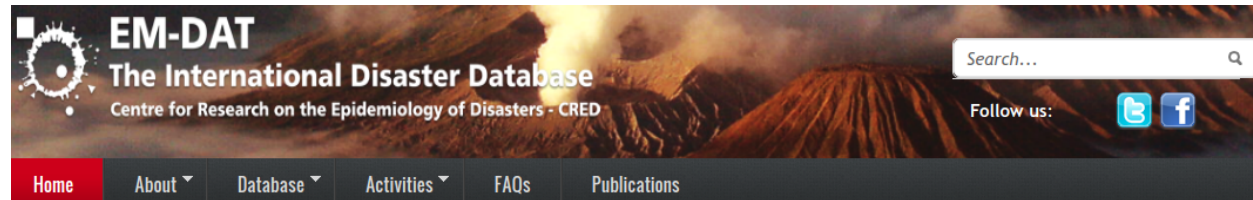
MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



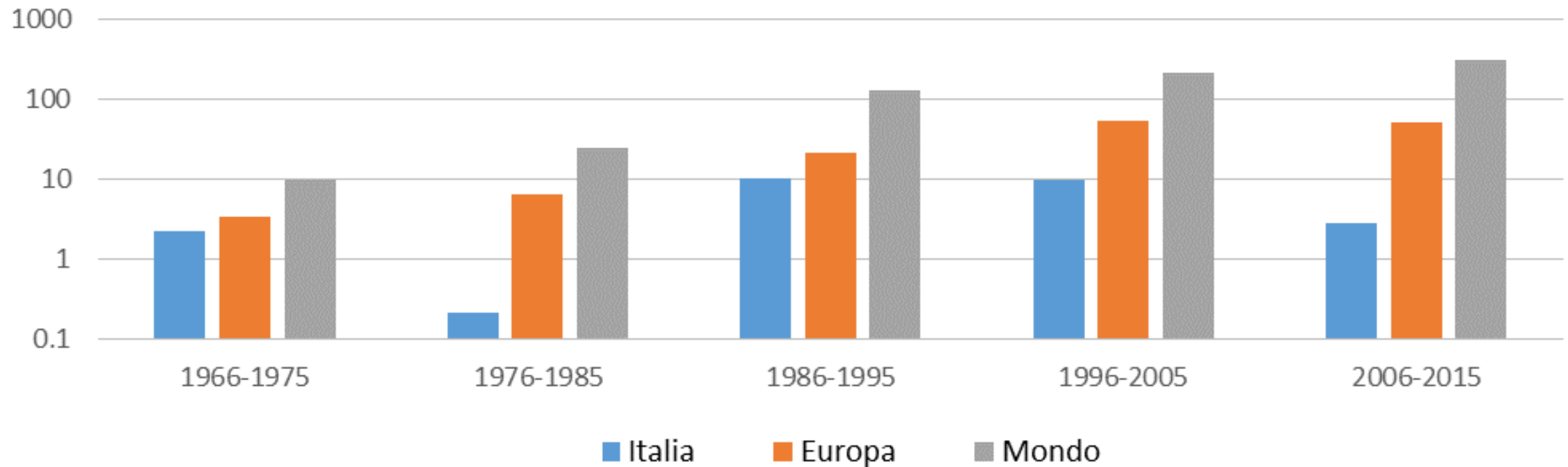
**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**



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

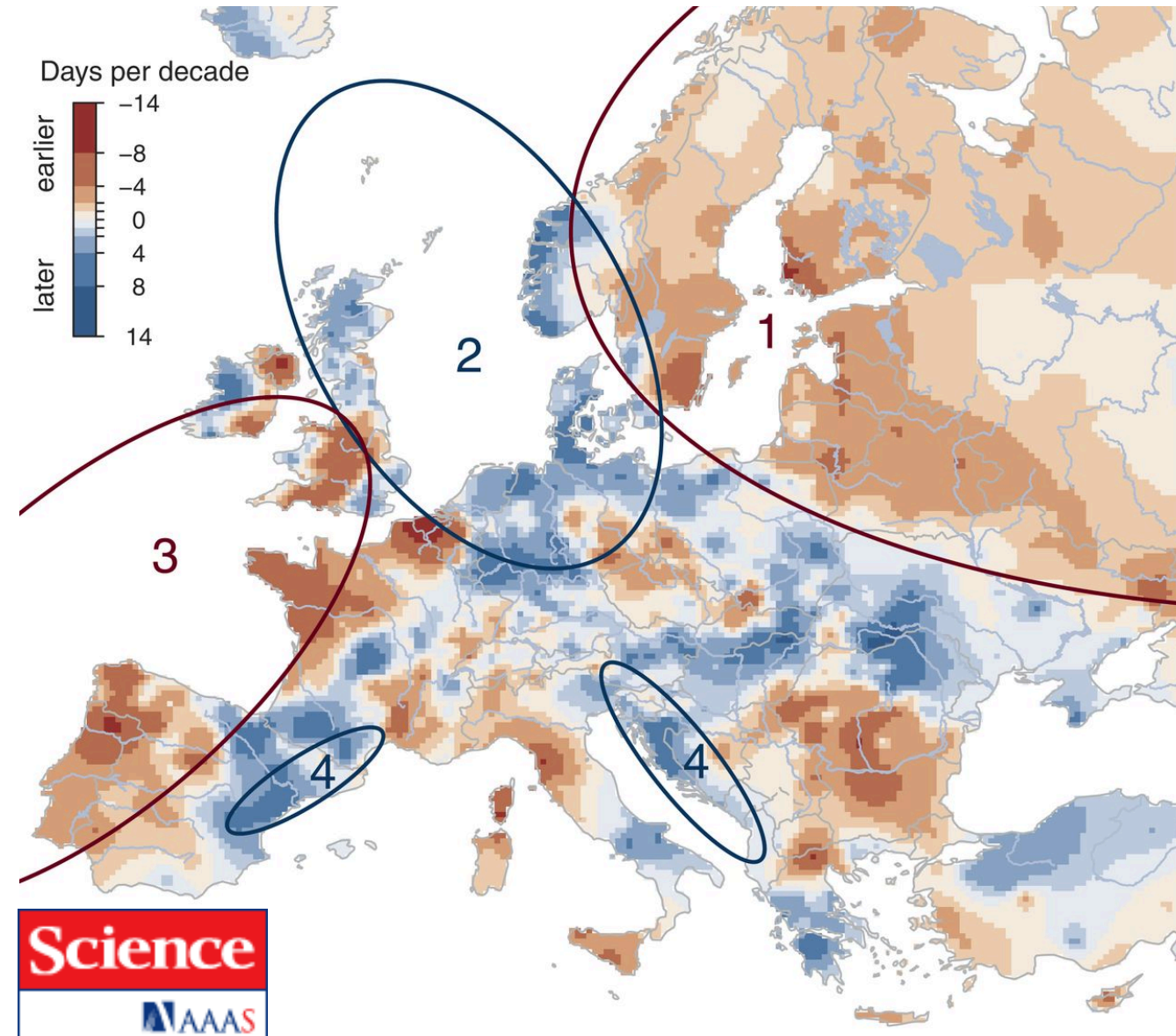


Fonte dei dati: <http://www.emdat.be/>



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

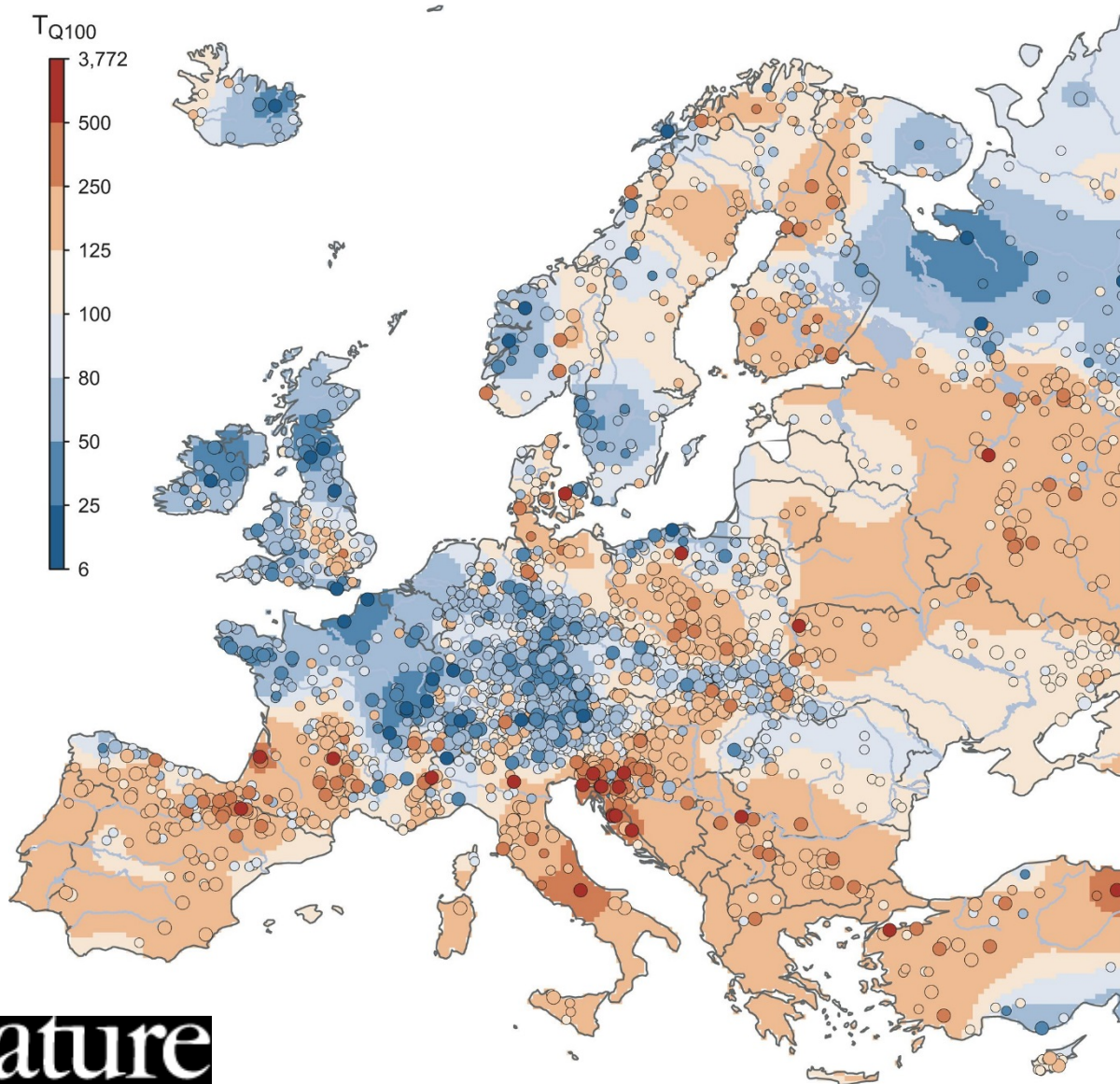


Günter Blöschl et al. (2017) Changing climate shifts timing of European floods, *Science*, vol. 357(6351), pp. 588-590
DOI: 10.1126/science.aan2506

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: Assoambiente, le misure "green" sono insufficienti
Rifiuti e Riciclo

Greenpeace, rifiuti italiani abbandonati in Polonia
Rifiuti e Riciclo

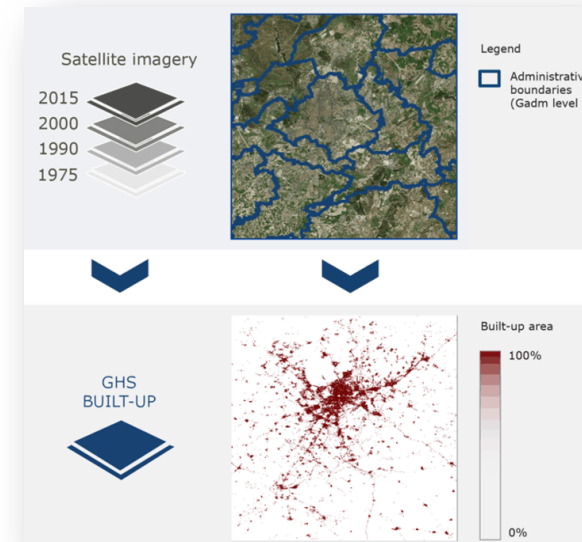
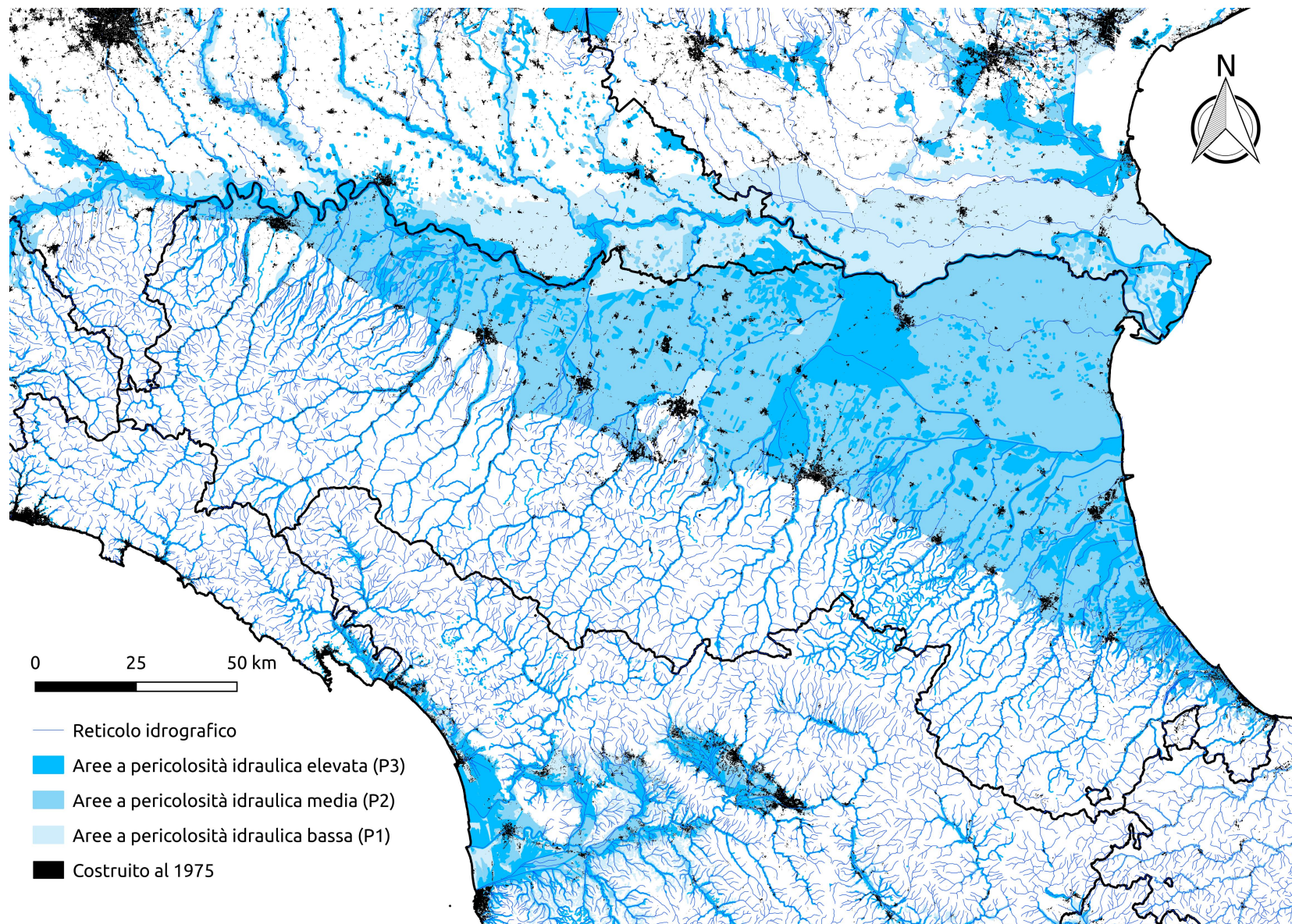
Smog: Costa, dati drammatici, serve velocizzare le misure
Inquinamento

A Milano attenzione a plastica e abbigliamento
Sostenibilità

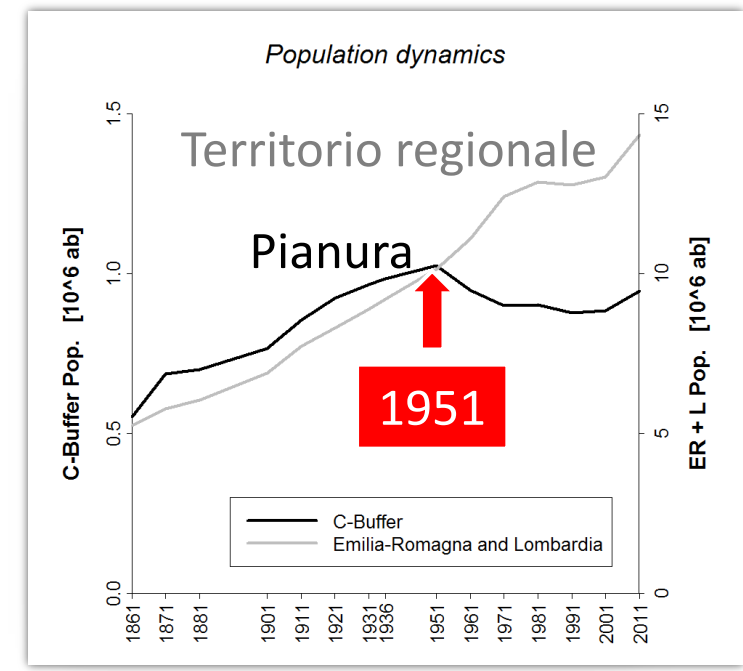
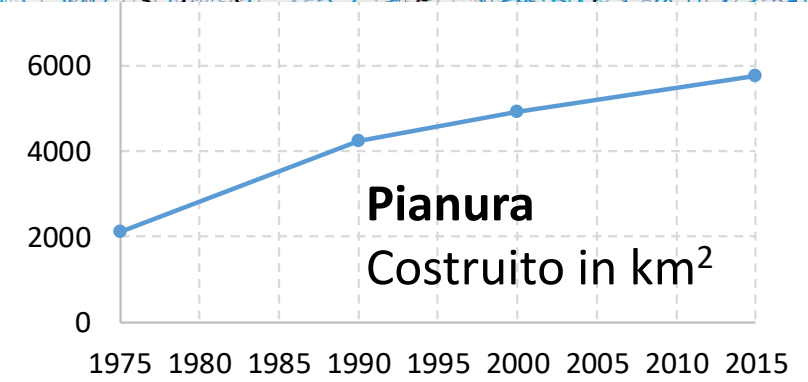
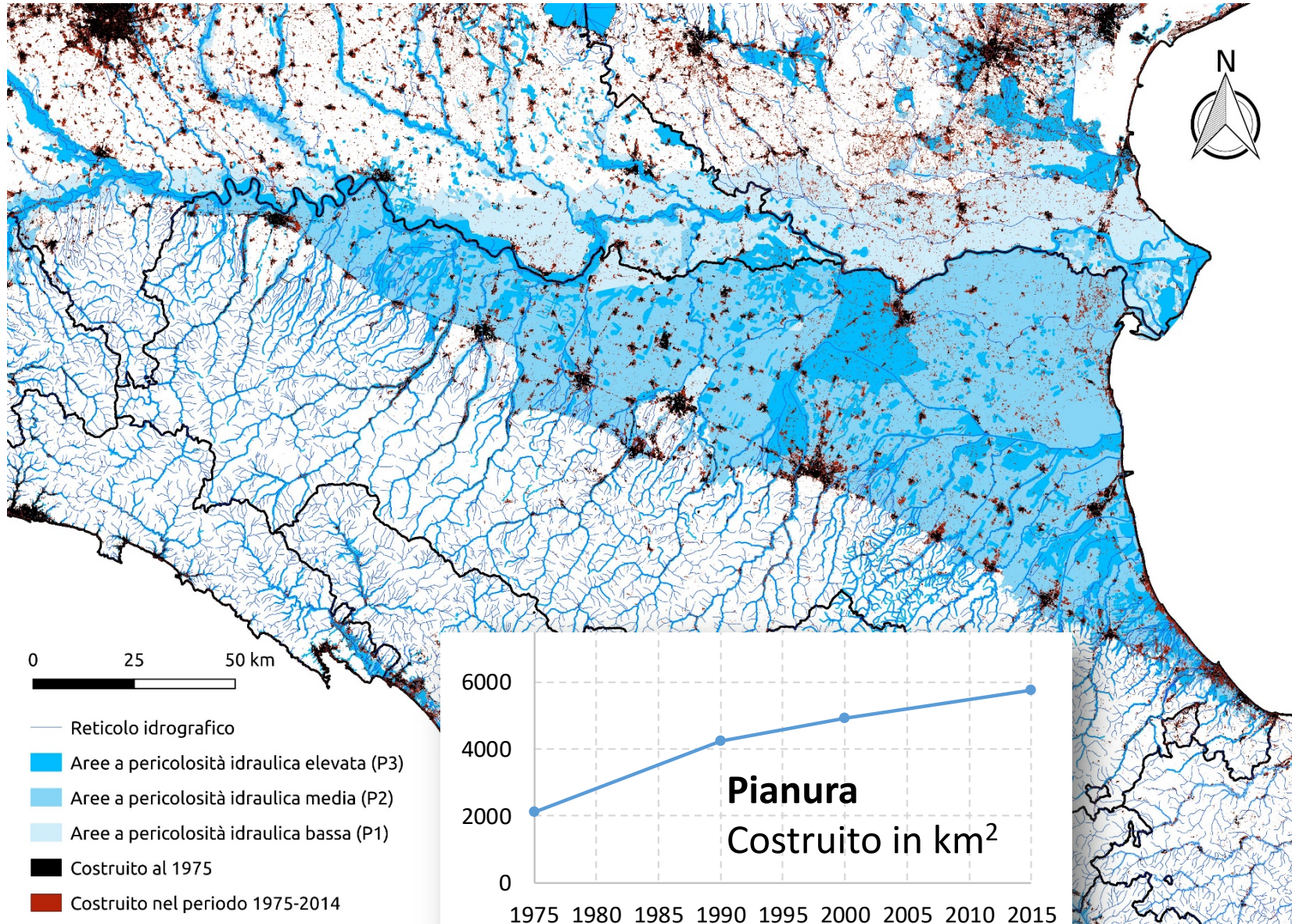
Günter Blöschl et al. (2019) Changing climate both increases and decreases European river floods, *Nature*, vol. 573, pp. 108-111
DOI: [10.1126/science.aan2506](https://doi.org/10.1126/science.aan2506)

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



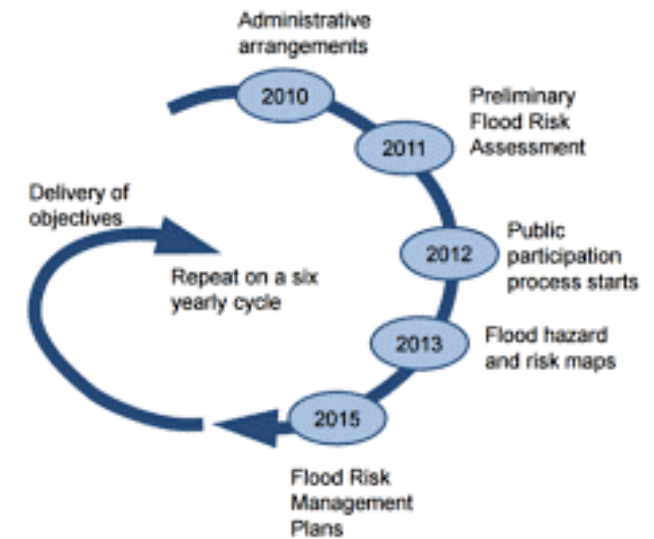
Sfide e temi di ricerca scientifica dalla Direttiva Alluvioni

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

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



Climate-KIC



CONSORZIO DI SAFERPLACES

Centri di Ricerca

GFZ

Helmholtz Centre
POTSDAM



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



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



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**



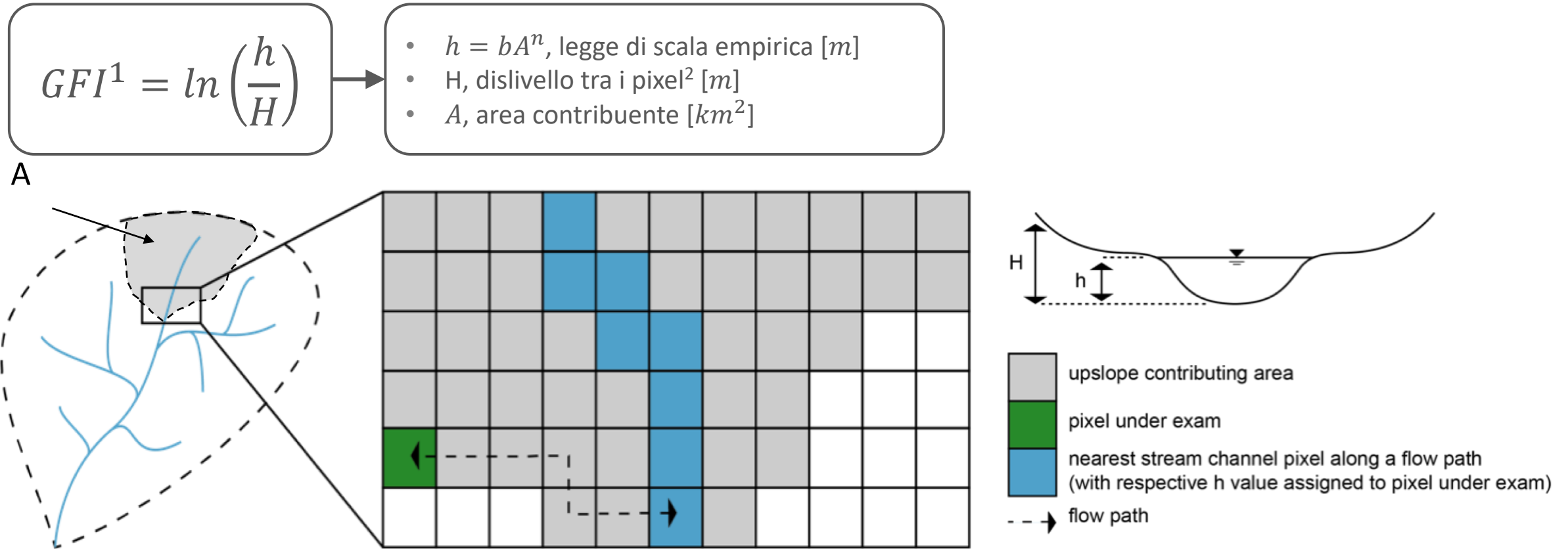
Follow us!

Twitter: [@SaferPlacesCKIC](https://twitter.com/SaferPlacesCKIC)

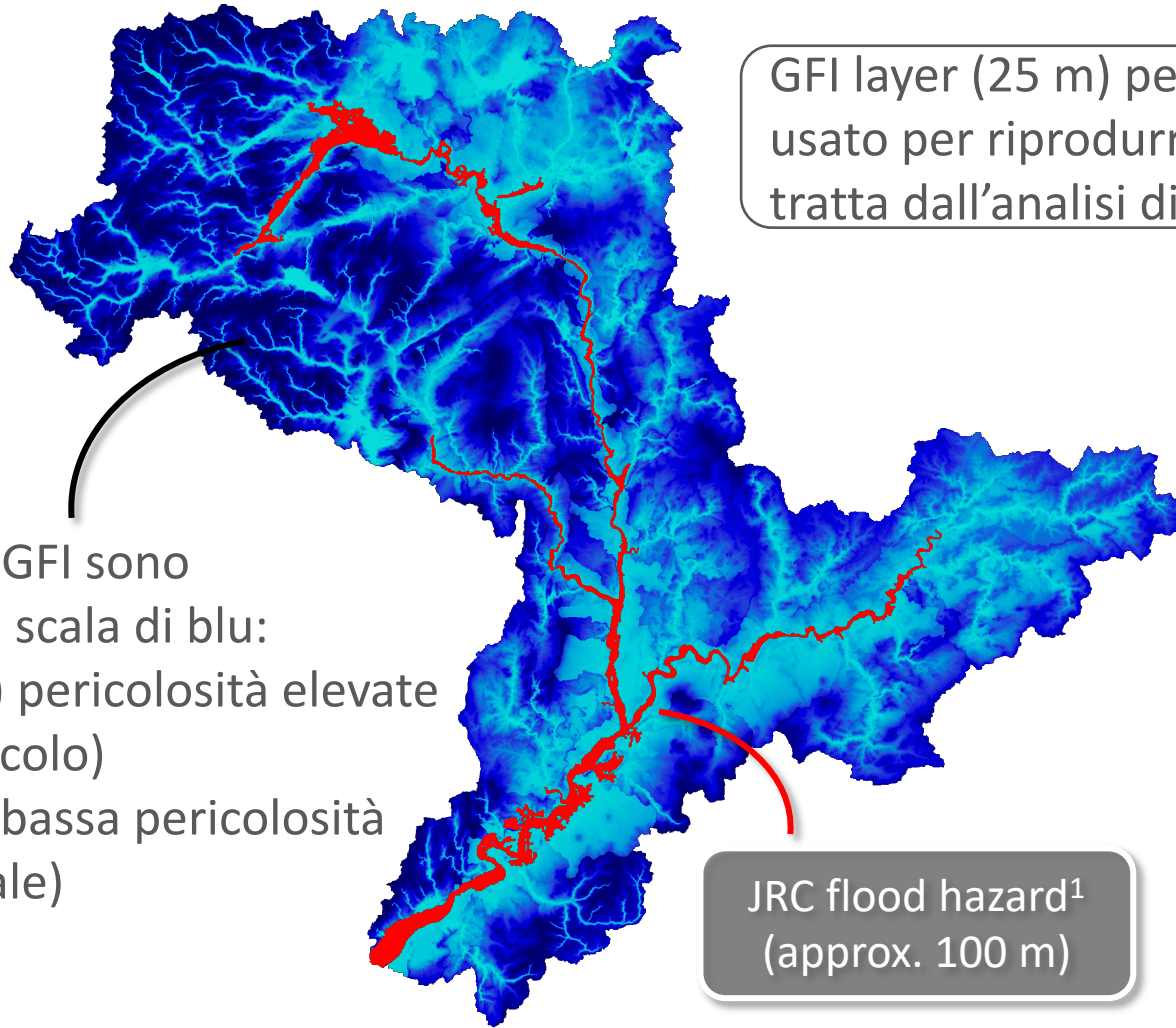
Hashtag: [#SAFERPLACES_CKIC](https://twitter.com/hashtag/SaferPlacesCKIC)

Prima parte - Inondazioni da fiume:

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



Prima parte - Inondazioni da fiume: Mappatura *DEM-based* della pericolosità di allagamento



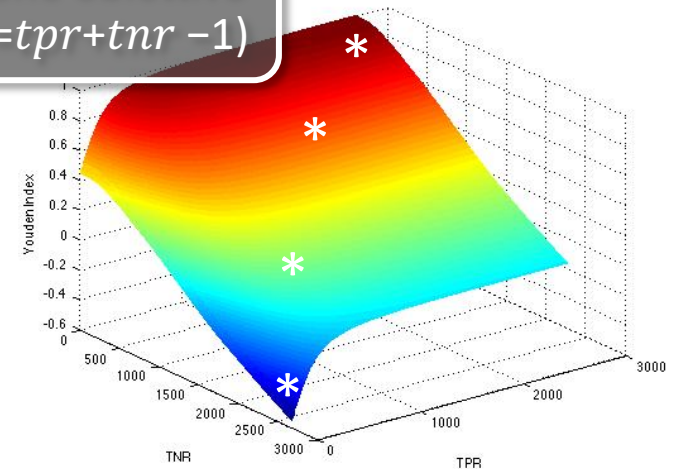
GFI layer (25 m) per il bacino del fiume Severn (UK) usato per riprodurre la mappatura di pericolosità tratta dall'analisi di Dottori et al. (2016)

Diversi valori di GFI sono rappresentati in scala di blu:

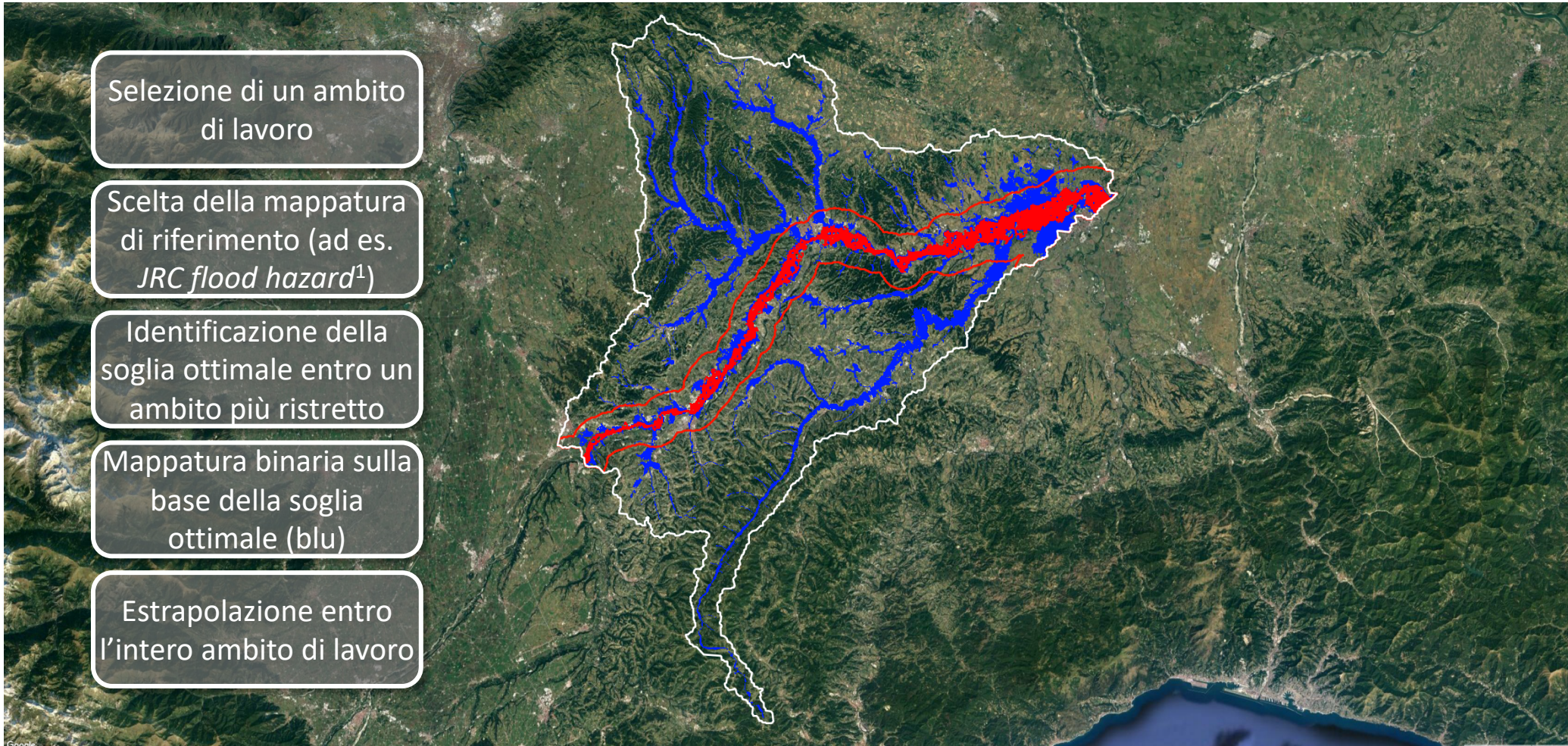
- 1 (blu chiaro) pericolosità elevate (vicino al reticolo)
- 0 (blu scuro) bassa pericolosità (zone di crinale)

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

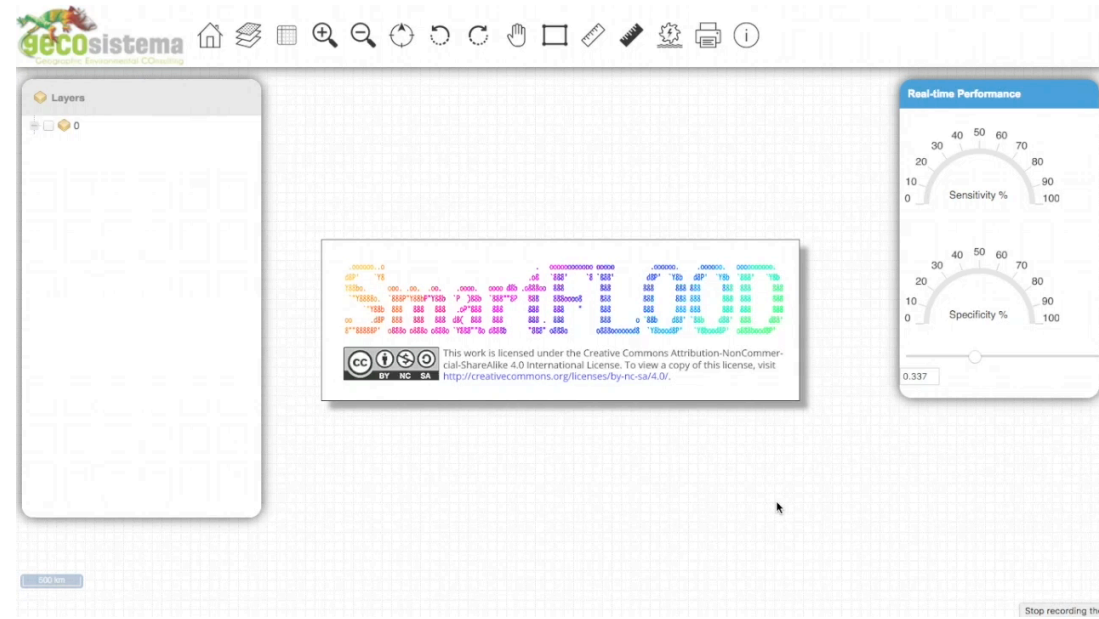
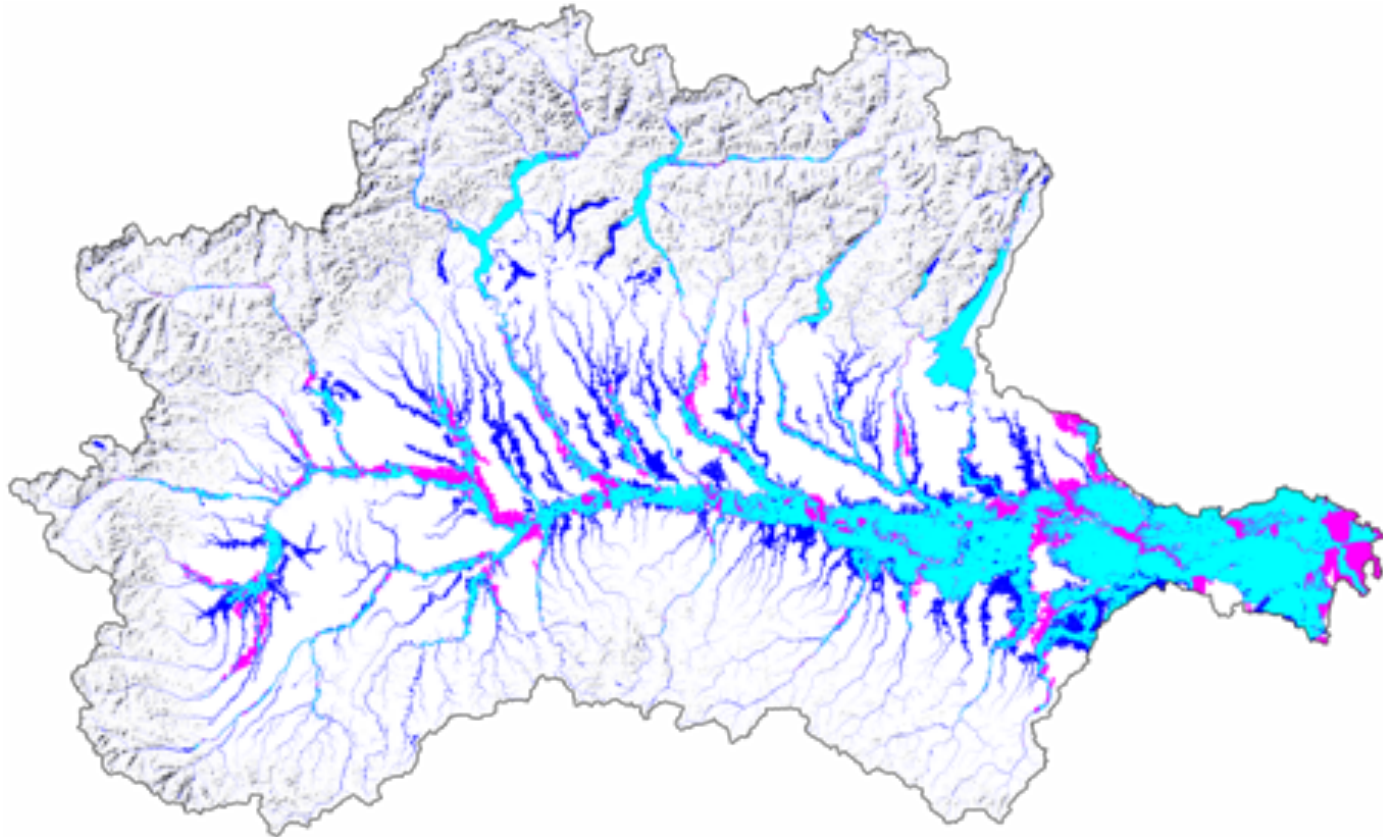


SaferPlaces



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

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



SaferPlaces

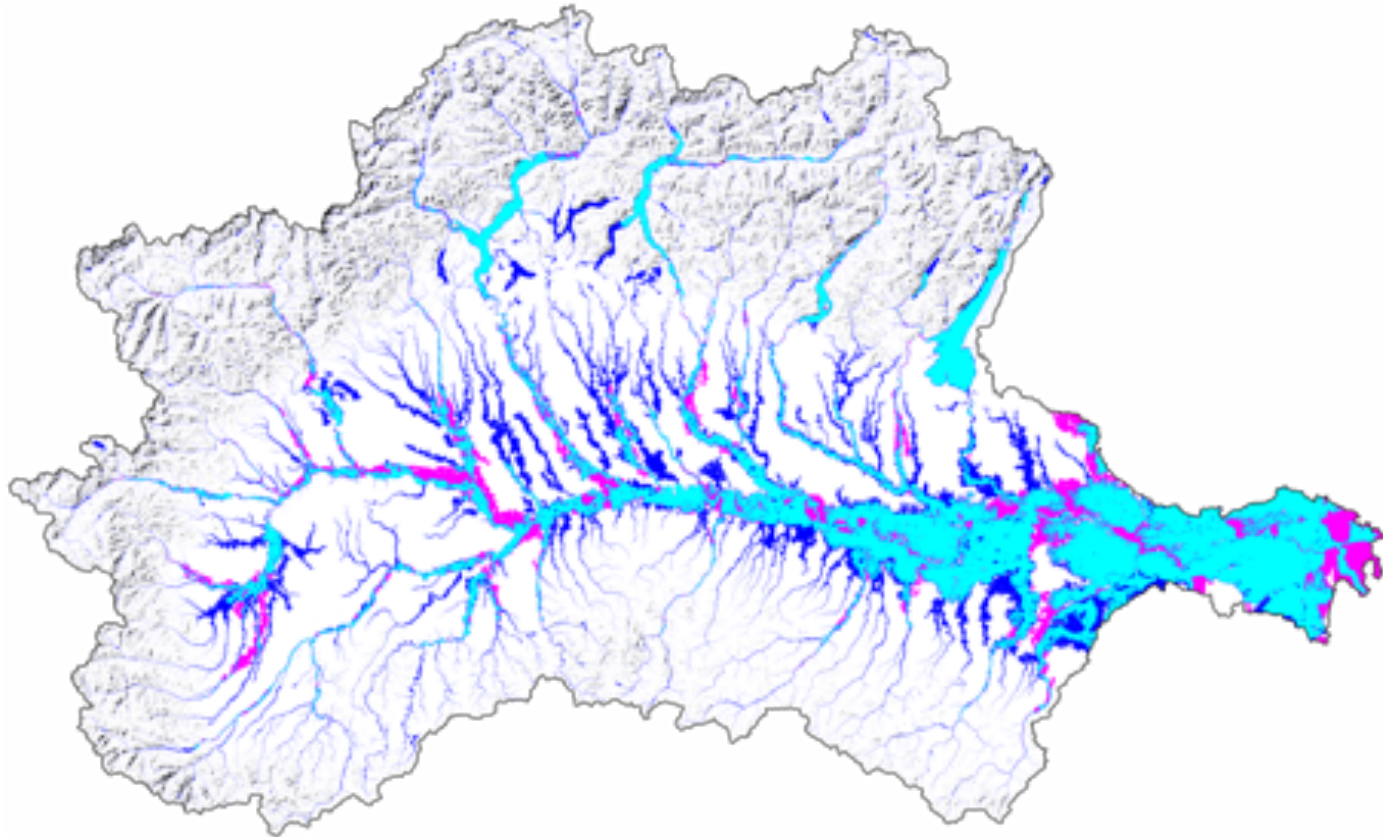


¹ Dottori et al., European Commission, Joint Research Centre, 2016

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

METTIAMOCI
IN RIGA

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

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

Maltempo in Friuli, Lignano Pineta finisce sott'acqua
Forti disagi nella località balneare friulana. All'opera i Vigili del fuoco

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

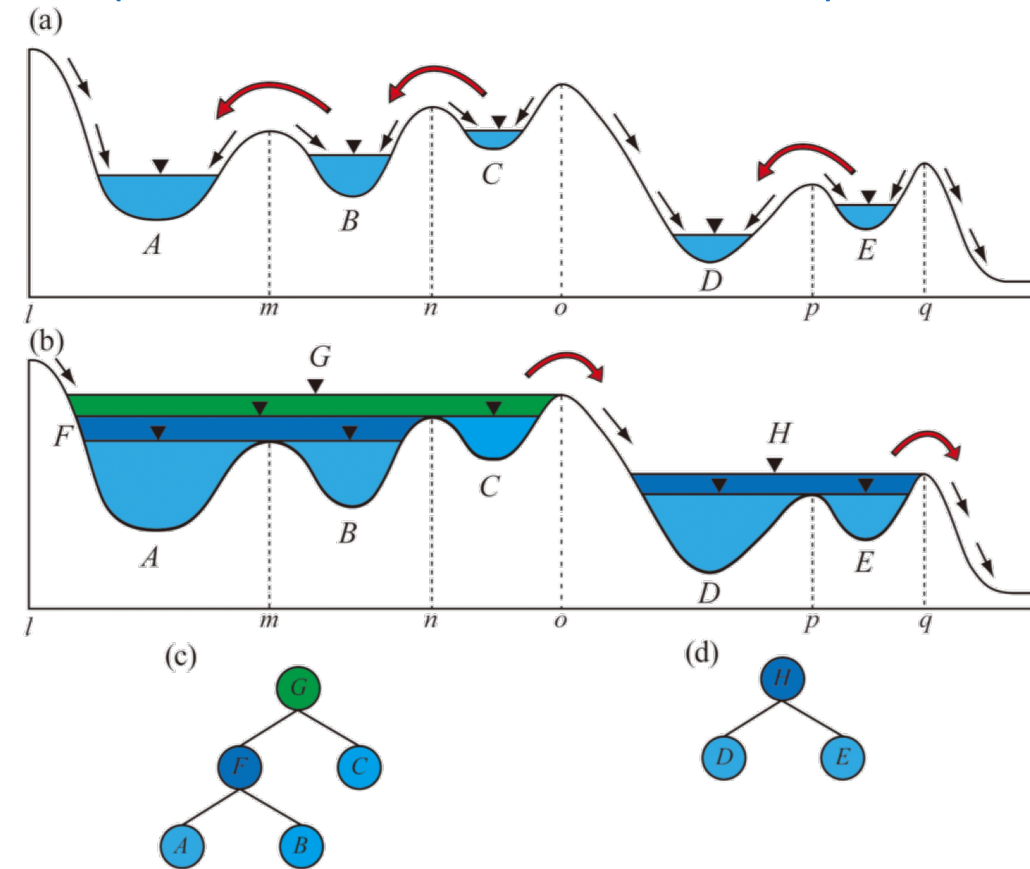
Hierarchical Filling & Spilling (Modulo SAFER_Rain)



(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**)



Pre-processamento
idrologico del DEM

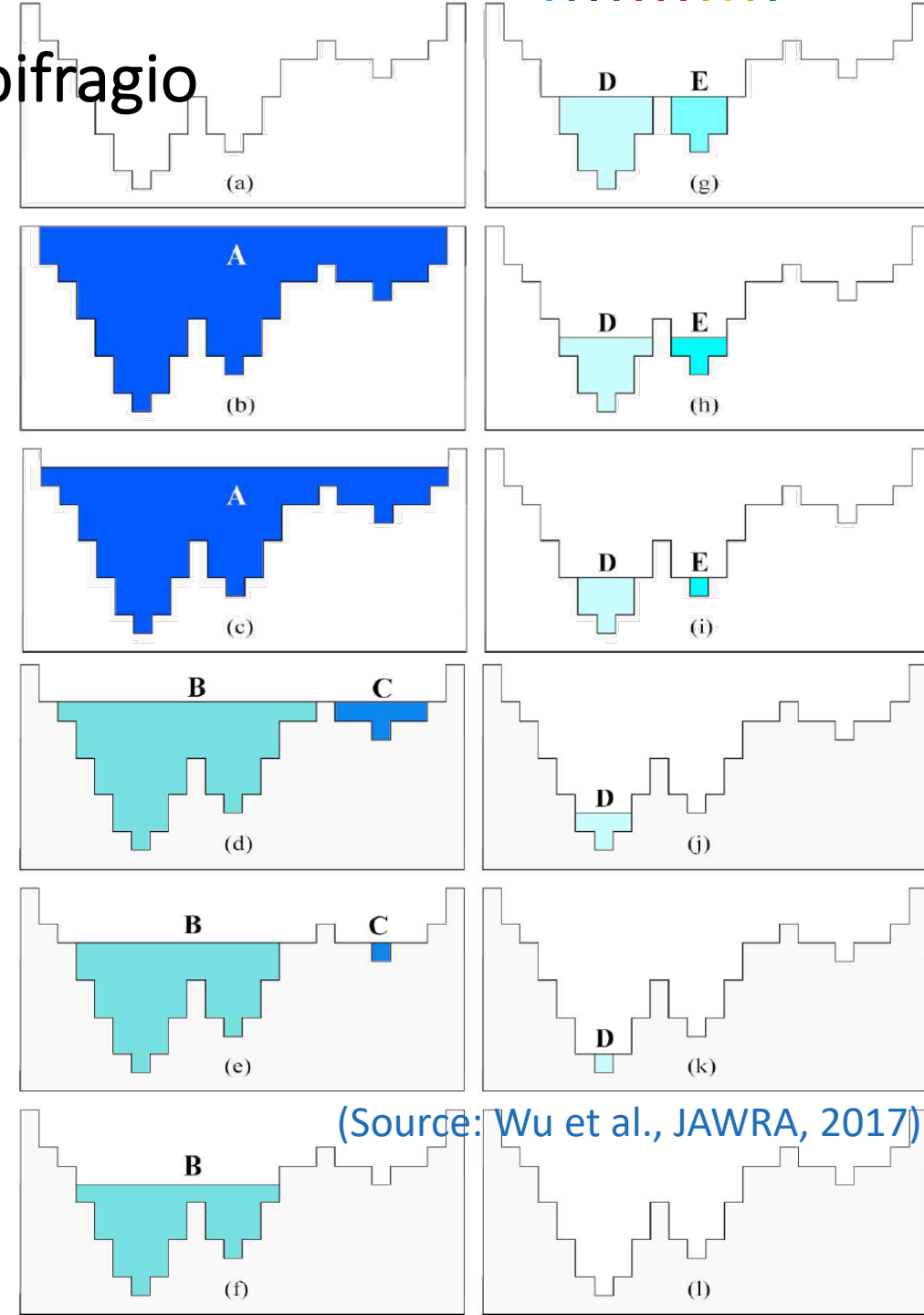
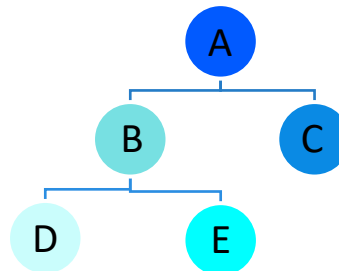
Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

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** **decrece 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



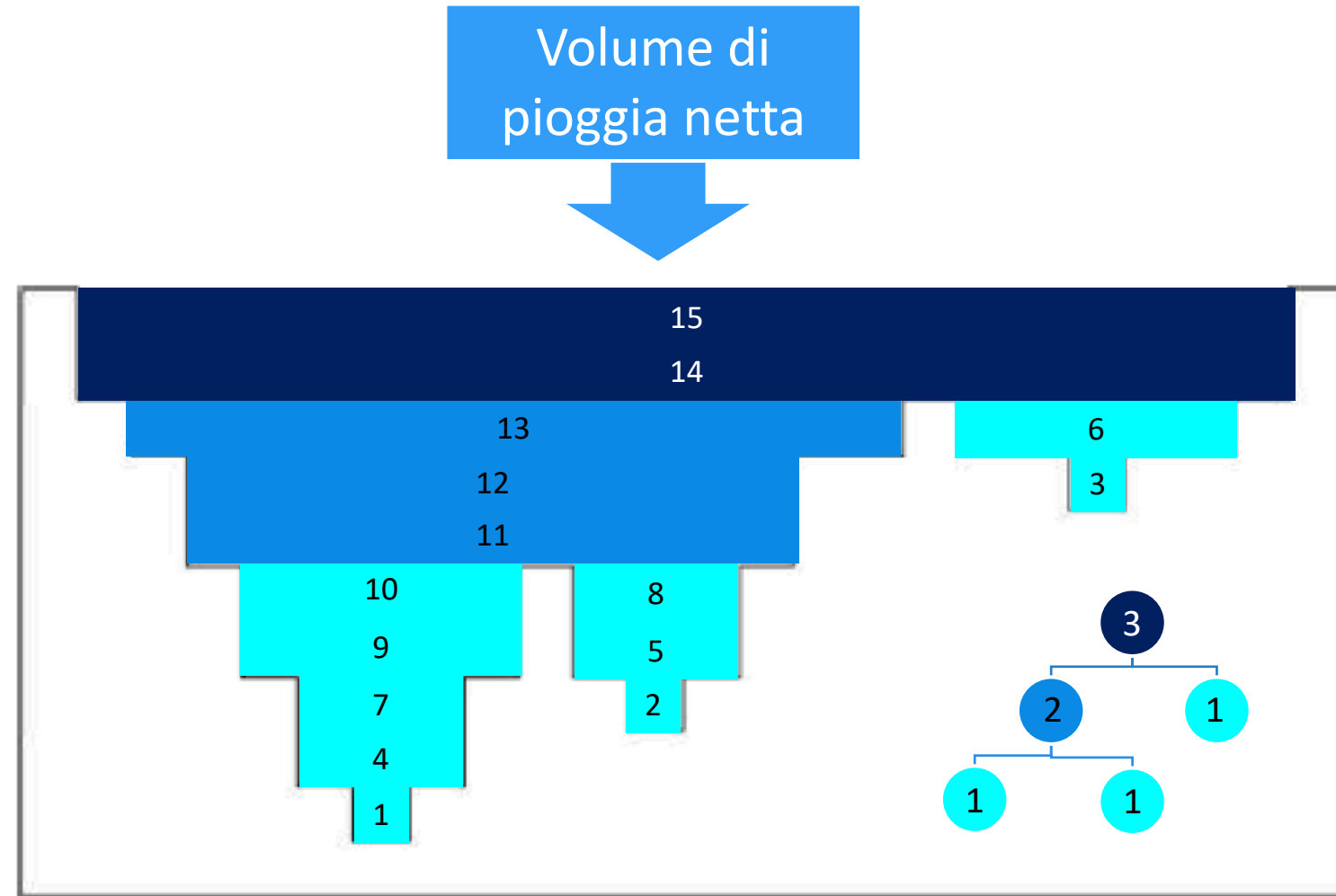
Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

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

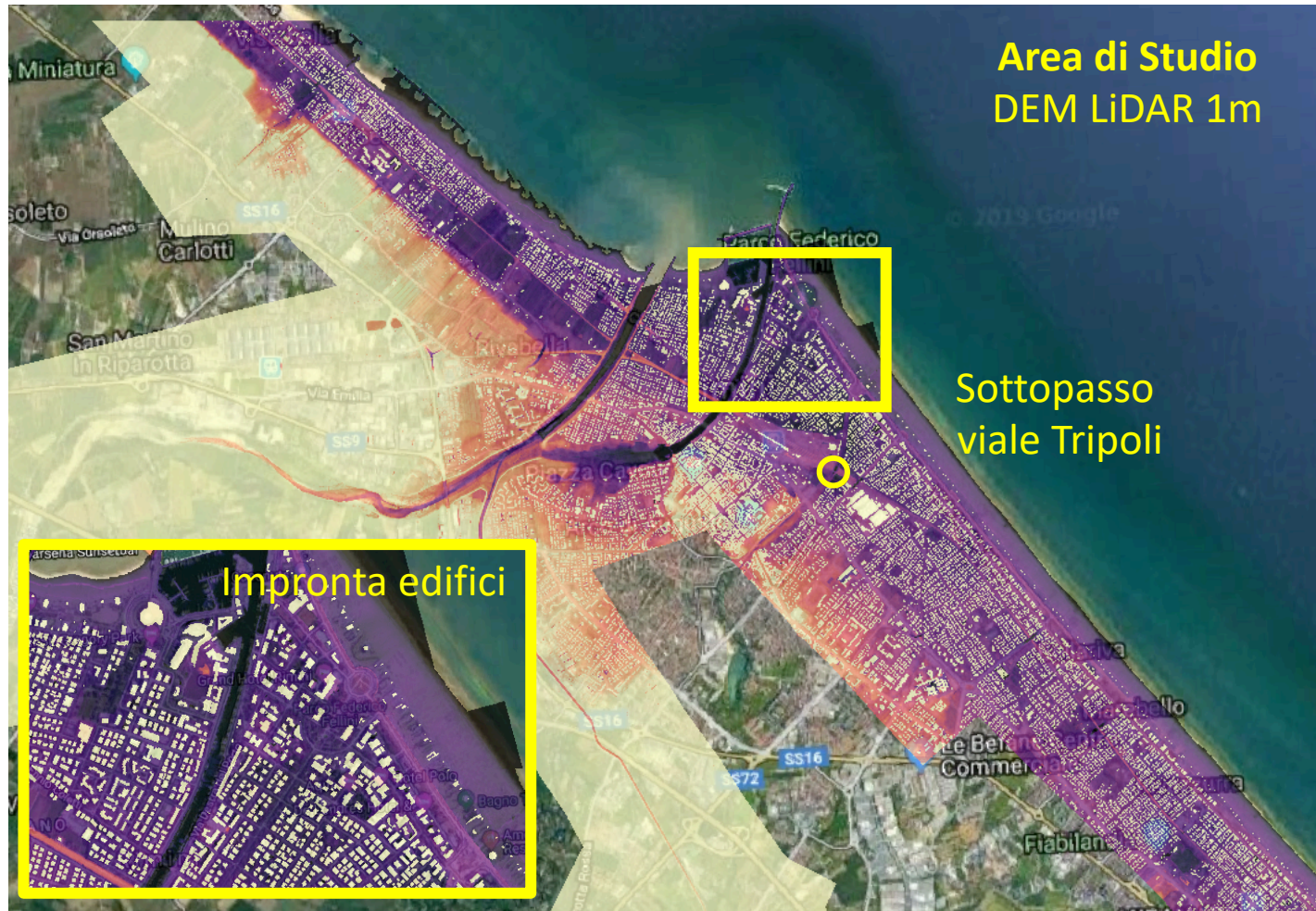
SaferPlaces Pilot Case Study – Rimini



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



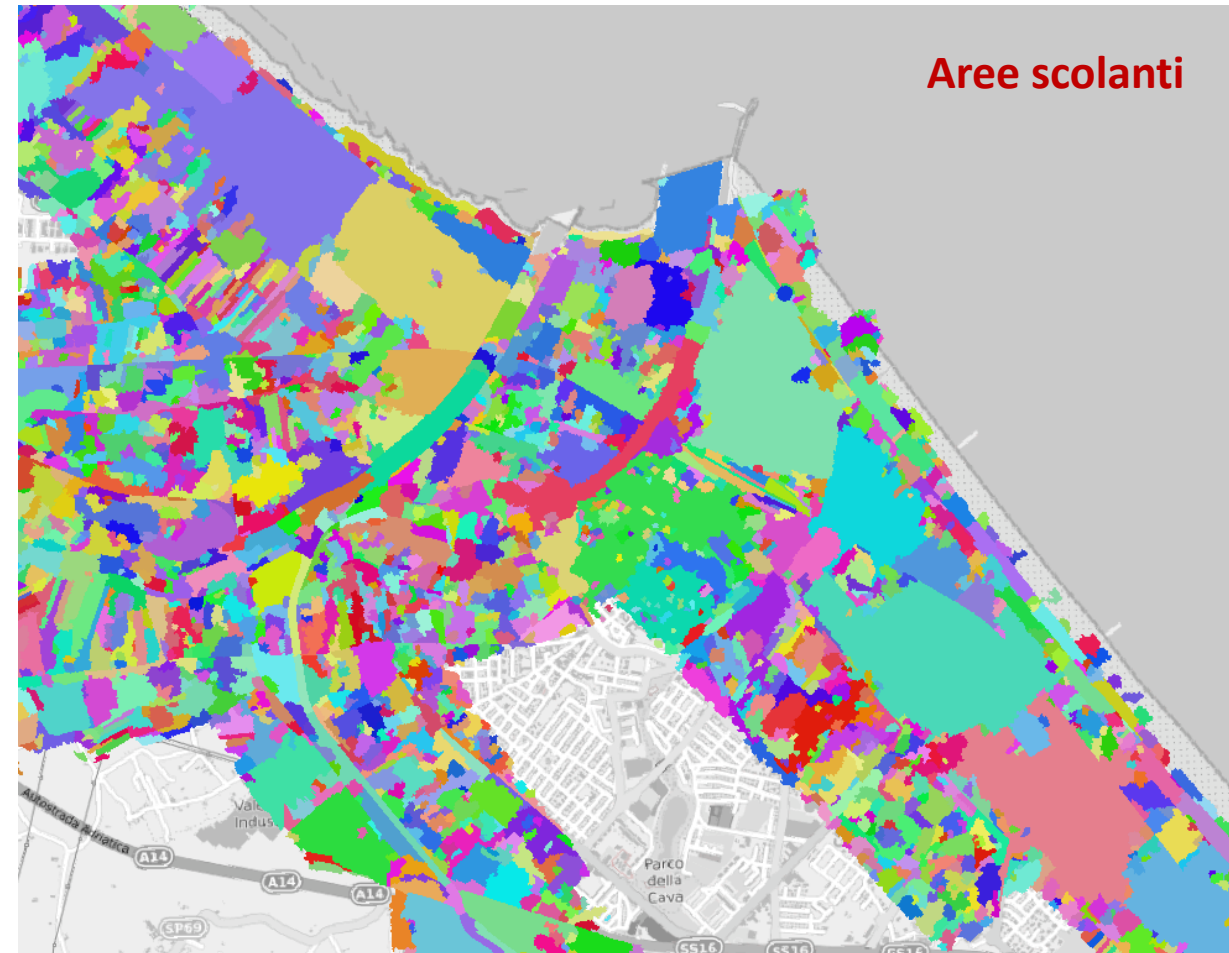
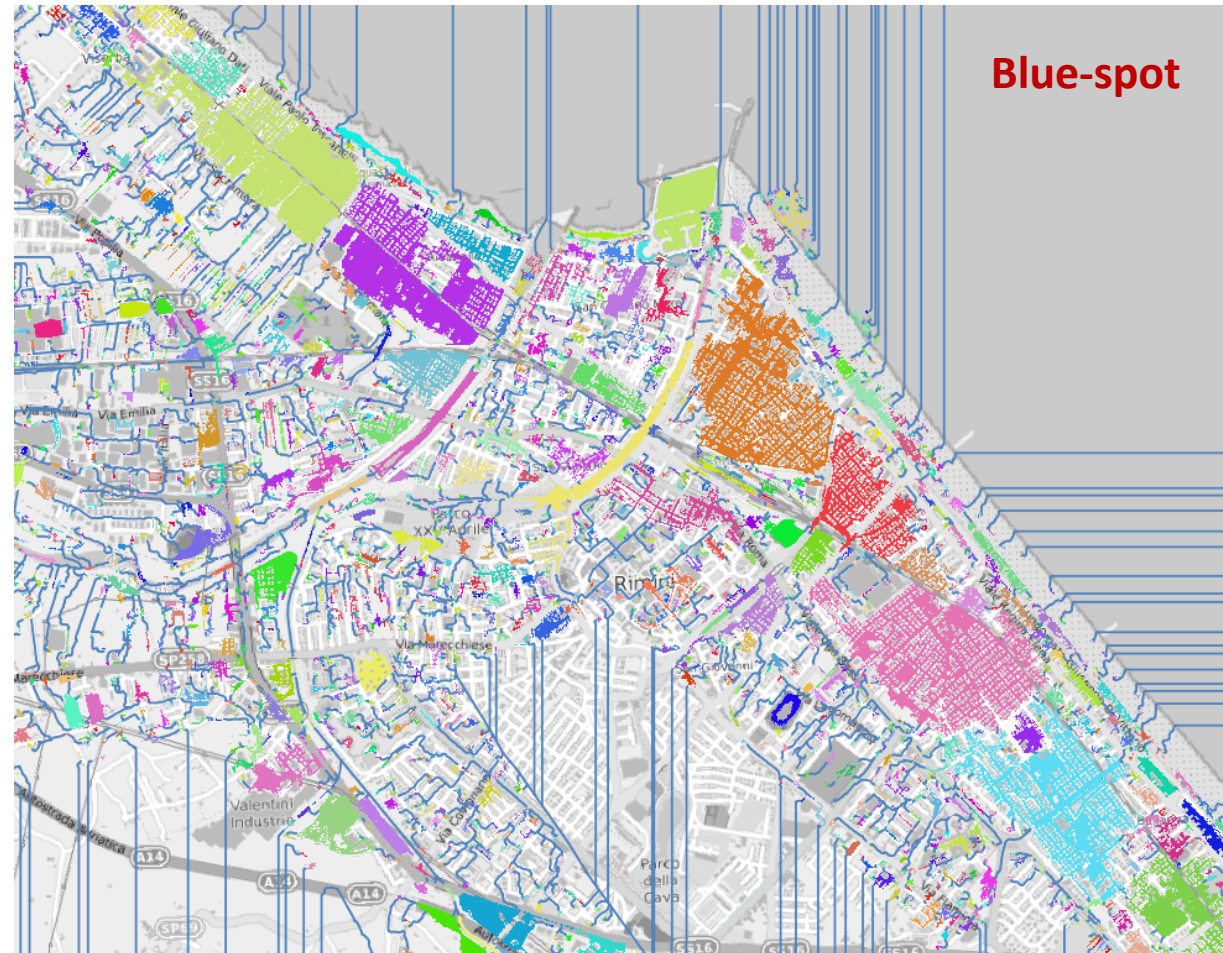
Climate-KIC is supported by the EIT, a body of the European Union



METTIAMOCI
IN RIGA

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

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





Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

SaferPlaces Pilot Study – Rimini, confronto con modello 2D

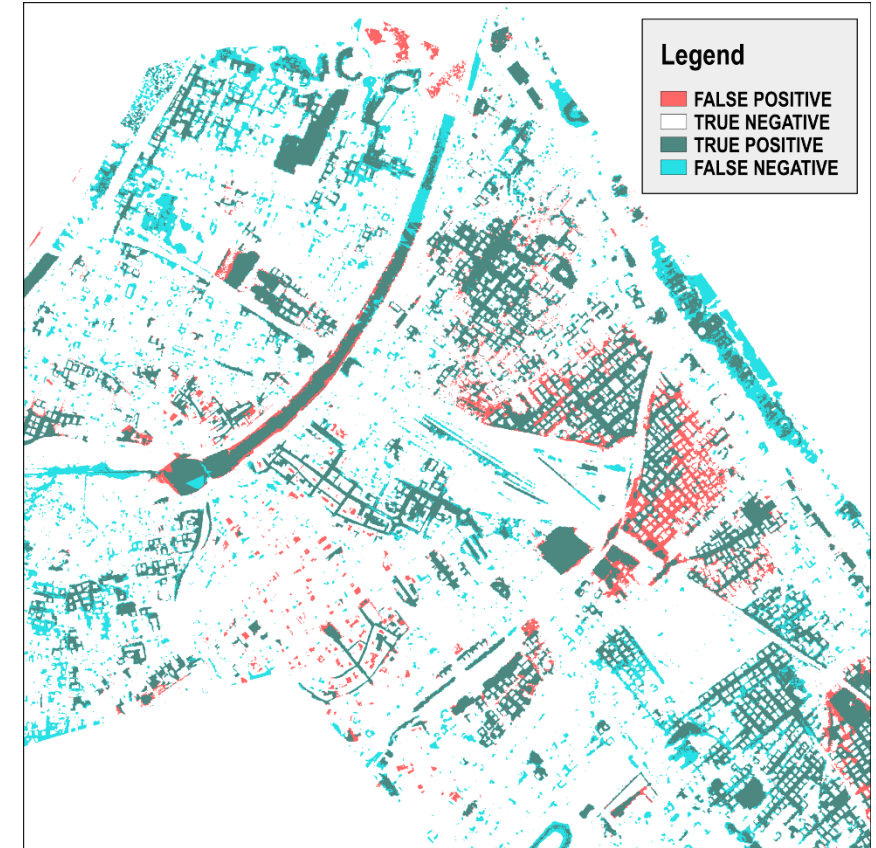
Ipotesi: **superficie impermeabile e pioggia uniforme** (altezza cumulata di pioggia di **130 mm in 1 ora**);

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

<p>Standard flood map Flood-prone areas</p>		PREDICTION (Simplified method)	
		EVENT	NO EVENT
GOLD STANDARD TRUTH (Standard map)	EVENT	TRUE POSITIVE	FALSE NEGATIVE
	NO EVENT	FALSE POSITIVE	TRUE NEGATIVE

Sensitivity	Underestimation	Specificity	Overestimation
0.626	0.374	0.987	0.013



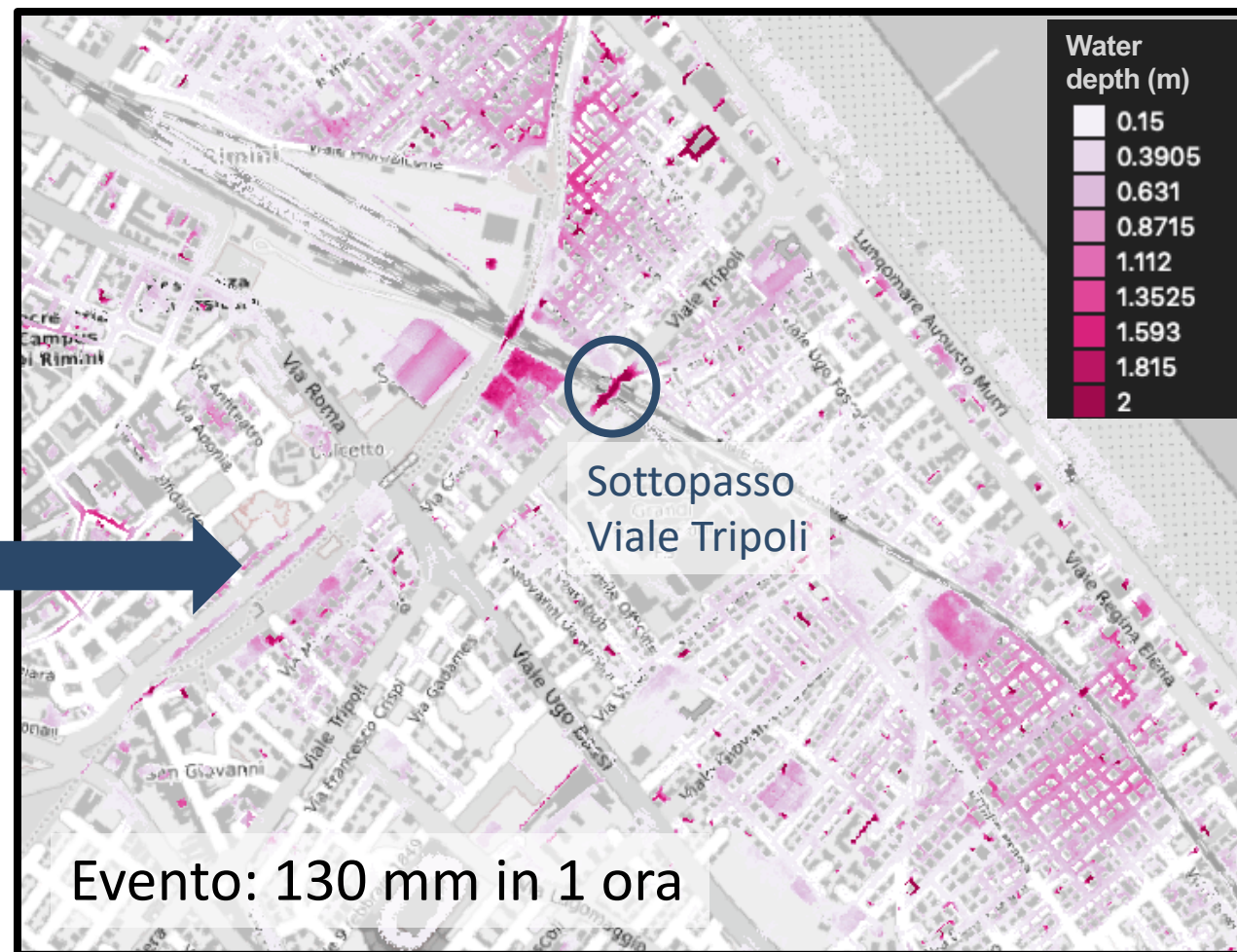
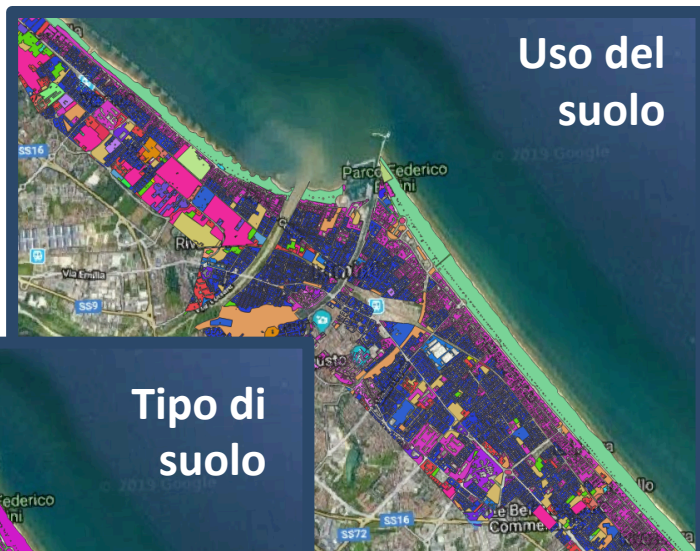
SaferPlaces



**METTIAMOCI
IN RIGA**

Seconda parte - Allagamenti urbani da nubifragio

SaferPlaces Pilot Study – Rimini, pioggia netta spazialmente distribuita



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