

Il rischio idraulico a Roma: Moderni approcci per la valutazione

Aldo Fiori

Università degli Studi Roma Tre



Lo stato dell'arte nel rischio idraulico delle città d'arte
Roma, 18 ottobre 2024

Il rischio idraulico

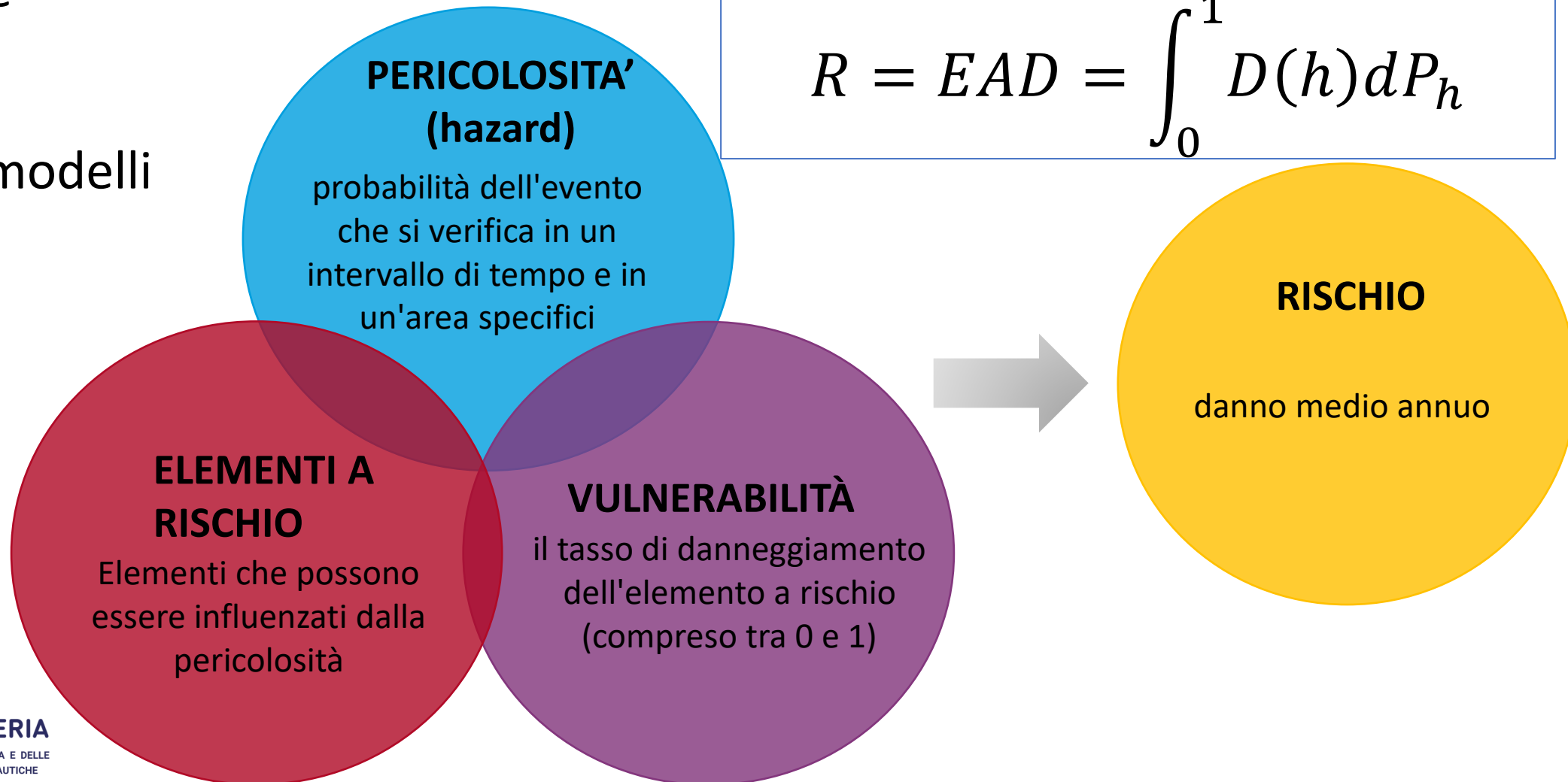
- Il rischio di alluvione è la combinazione della probabilità di accadimento di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per le infrastrutture e i beni civili, la salute umana e degli ecosistemi naturali, i beni culturali e l'ampio spettro di attività economiche e sociali che si sviluppino lungo le pianure alluvionali
- Il rischio, ovvero il danno annuo atteso (EAD), può quantificare la situazione esistente e, in termini comparativi, il beneficio indotto dagli interventi da progettare.
- L'efficacia delle infrastrutture di mitigazione del rischio di alluvioni è valutata mediante analisi costi-benefici, come richiesto dalla direttiva alluvioni dell'UE, che quantificano gli impatti socioeconomici delle alluvioni
- L'analisi del rischio può essere effettuata con diverse procedure, a scale (a volte ampiamente) diverse e livello di dettaglio/accuratezza, in funzione del particolare obiettivo richiesto.

Definizione del rischio (Varnes, 1984)

- La pericolosità è tipicamente derivata attraverso opportuni modelli idrologico-idraulici.

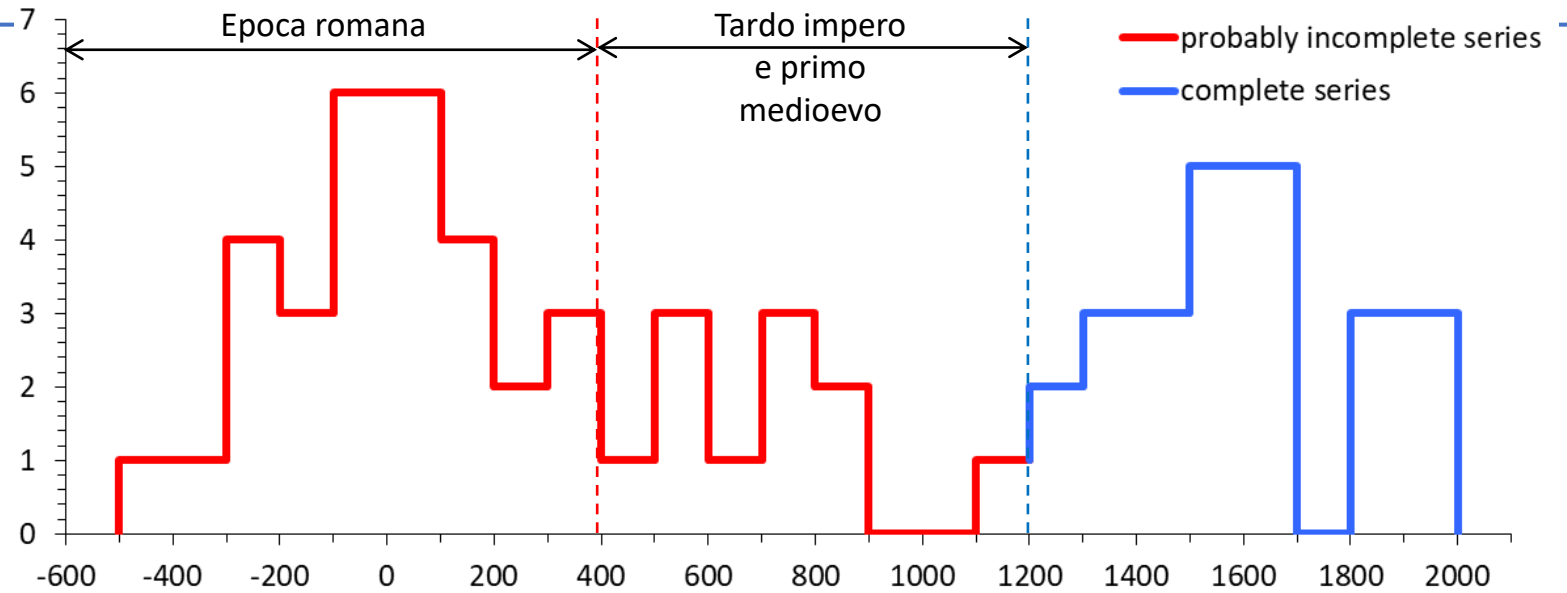
$$\text{RISCHIO} = \text{HAZARD} \cdot \text{ELEMENTI A RISCHIO} \cdot \text{VULNERABILITÀ}$$

$$R = EAD = \int_0^1 D(h) dP_h$$



Le piene a Roma

- Numero di piene estreme a Roma per secolo
(Calenda et al. , *Advances in Water Resources*, 2005)



N.	year	source
BEFORE CHRIST		
1	414	Livy IV, 49, 2
2	363	Livy VII, 3, 2
3	241	Orosius, IV, 11, 6; St. Augustin, De Civitate Dei, III,18
4	215	Livy XXIV, 9, 6 (two floods)
5	203	Livy XXX, 26, 5
6	202	Livy XXX, 38, 10-11
7	193	Livy XXXV, 9, 2-3
8	192	Livy XXXV, 21, 5-6
9	189	Livy XXXVIII, 28, 4 (12 floods)
10	54	Dio Cassius, XXXIX, 61; Cicero, Ad Quintilium, fv. III, 5
11	44	Horatius, Carmen I, 2, 13-20
12	27	Dio Cassius, LIII, 20
13	23	Dio Cassius, LIII, 33
14	22	Dio Cassius, LIV, 1
15	13	Dio Cassius, LIV, 25
ANNO DOMINI		
1	5	Dio Cassius, LV, 22; Cassiodorus, Chronicarum, 604
2	12	Dio Cassius, LVI, 27
3	15	Dio Cassius, LVII, 14; Tacitus, Annales I, 76
4	36	Dio Cassius, LVIII,26; Zonara, XI, 3
5	69	Tacitus, Histories I, 86; Suetonius, Otho 8; Plutarch, Otho IV
6	reign of Nerva	Aurelius Victor, Epistolae 13
7	reign of Trajan	Pliny, Epistolae VIII, 17; Aurelius Victor, Epistolae 13
8	reign of Adrian	Historia Augusta. Hadrian, 20
9	147	Historia Augusta. Antoninus, 9; Fasti Ostienses
10	reign of M. Aurelius	Historia Augusta. Marcus Aurelius, 8
11	217	Dio Cassius, LXXVIII, 25
12	253	Aurelius Victor, De Caesari, 32
13	371	Ammianus Marcellinus, XXIX
14	379	Bedae, Chronicarum, 589
13	398	Claudian, De Bello Gildonico 41-43

N.	year	pontifex	sources reporting the flood					
			Castiglione ¹	Bonini ²	Gregorovius ³	Capogrossi ⁴	Proc. Comm. ⁵	Brioschi ⁶
1	411	Innocent I	yes	yes	-	yes	yes	yes
2	555	Pelagius I	yes	yes	-	yes	yes	-
3	570	Johan III	yes	yes	-	yes	yes	-
4	589	Pelagius II	-	-	yes	-	yes	yes
5	685	Benedict II	-	yes	-	yes	yes	yes
6	725	Gregory II	-	yes	as 715-717	-	as 715-725	as 715-725
7	778	Adrian I	-	yes	-	yes	yes	-
8	791-2	Adrian I	-	-	yes	-	yes	yes
9	856	Benedict III	-	yes	yes	yes	yes	-
10	860	Nicholas I	yes	yes	yes	yes	yes	yes

¹ Iacomo Castiglione, Trattato dell'Inondazione del Tevere, Rome, 1599

² F. M. Bonini, Il Tevere incatenato, 2^a ed., Rome, 1666

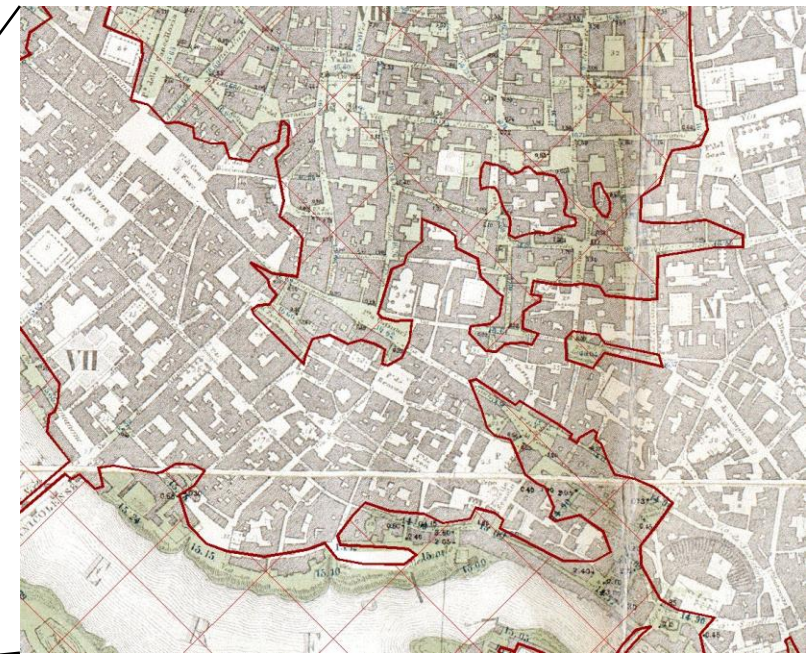
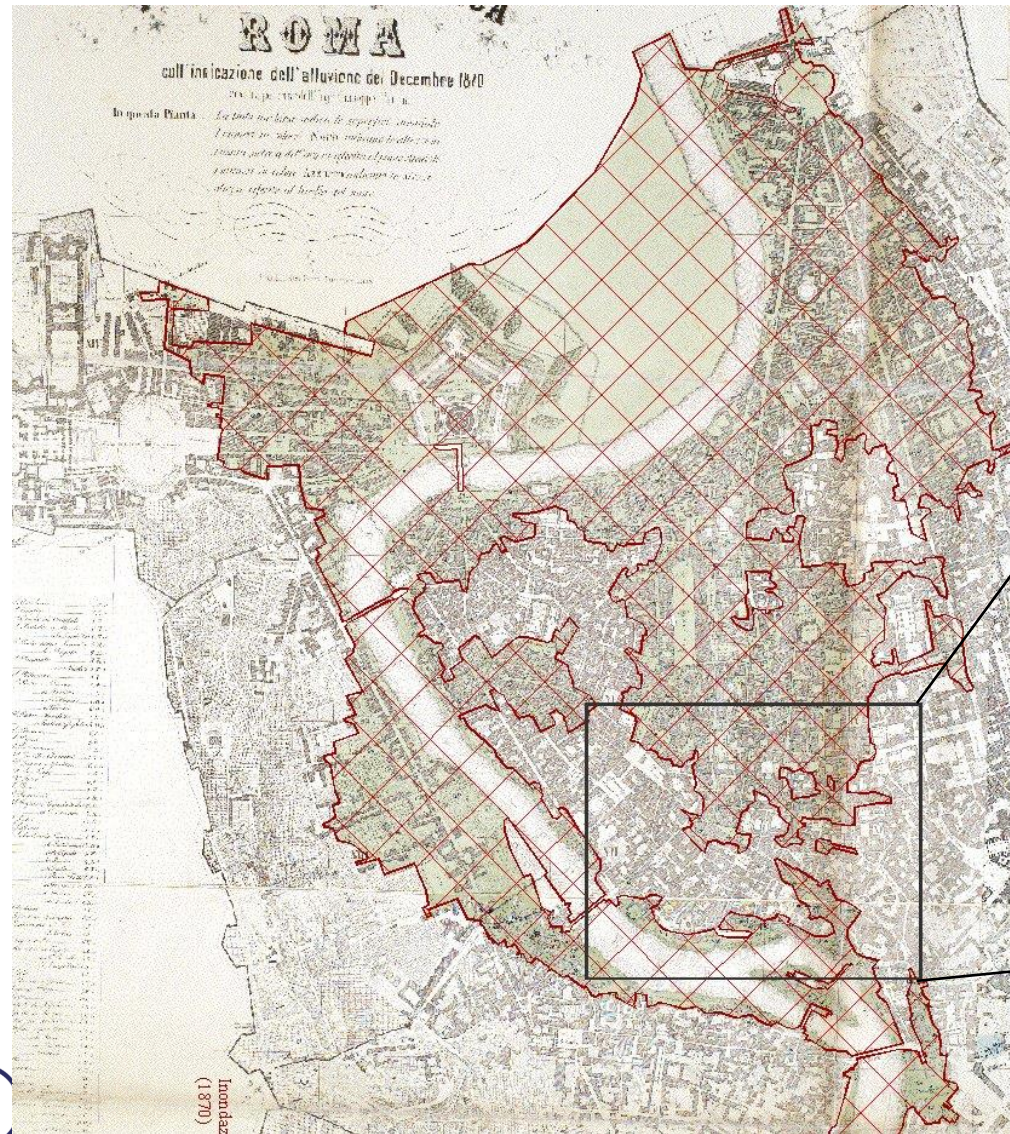
³ F. Gregorovius, Storia della Città di Roma nel Medio Evo, Venice, 1872

⁴ B. Capogrossi-Guarna, Il Tevere e le sue inondazioni, Rome, 1871

⁵ Proceedings of the Committee of 1871, Rome, 1872

⁶ F. Brioschi, Le inondazioni del Tevere in Roma, Rome, 1876

La piena del 1870



La realizzazione dei muraglioni



Tevere a Roma nel 1870



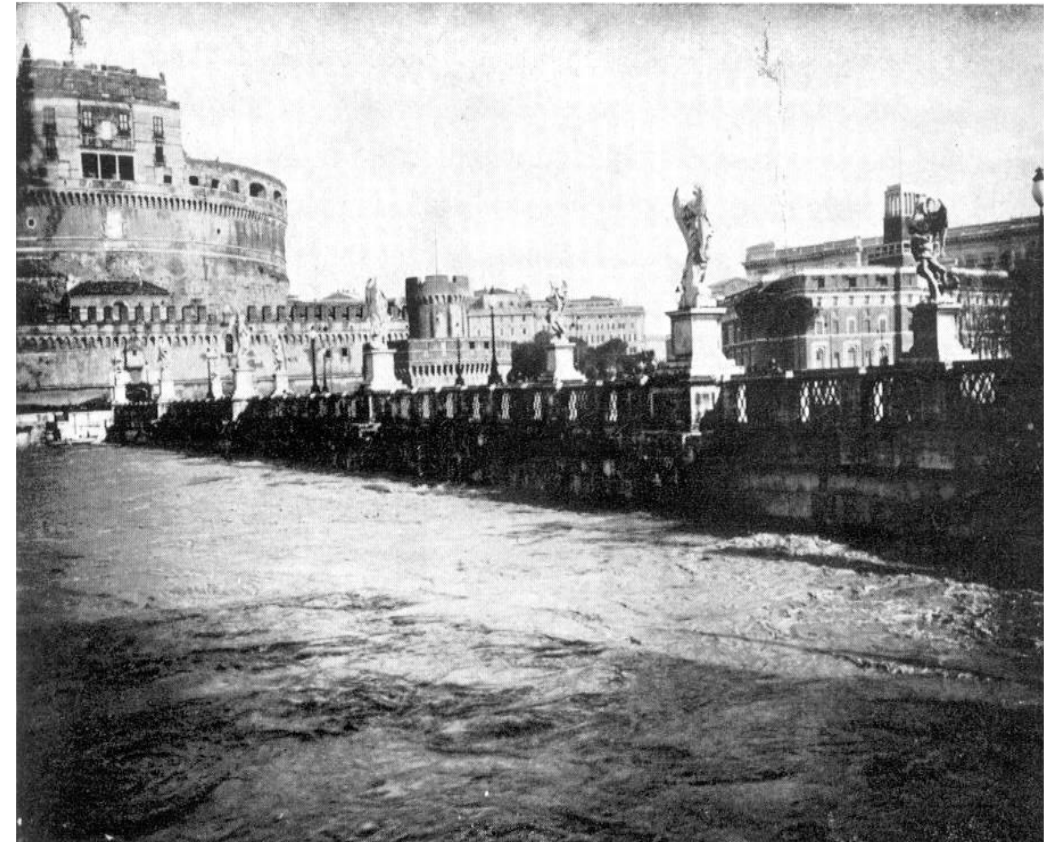
Tevere a Roma oggi

Piene nella Roma moderna

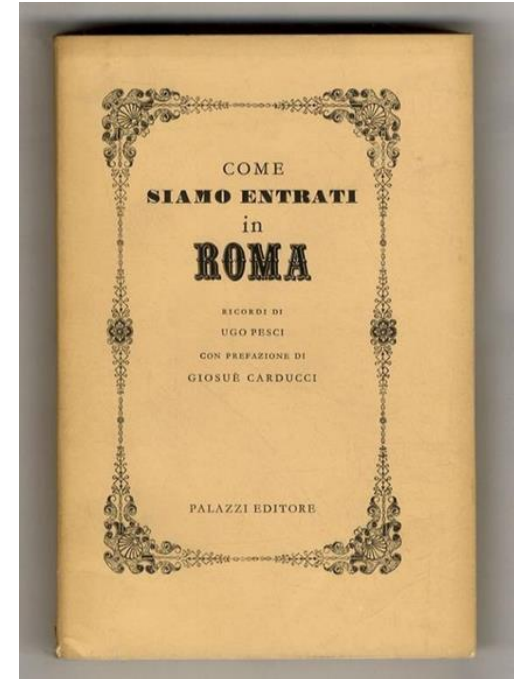
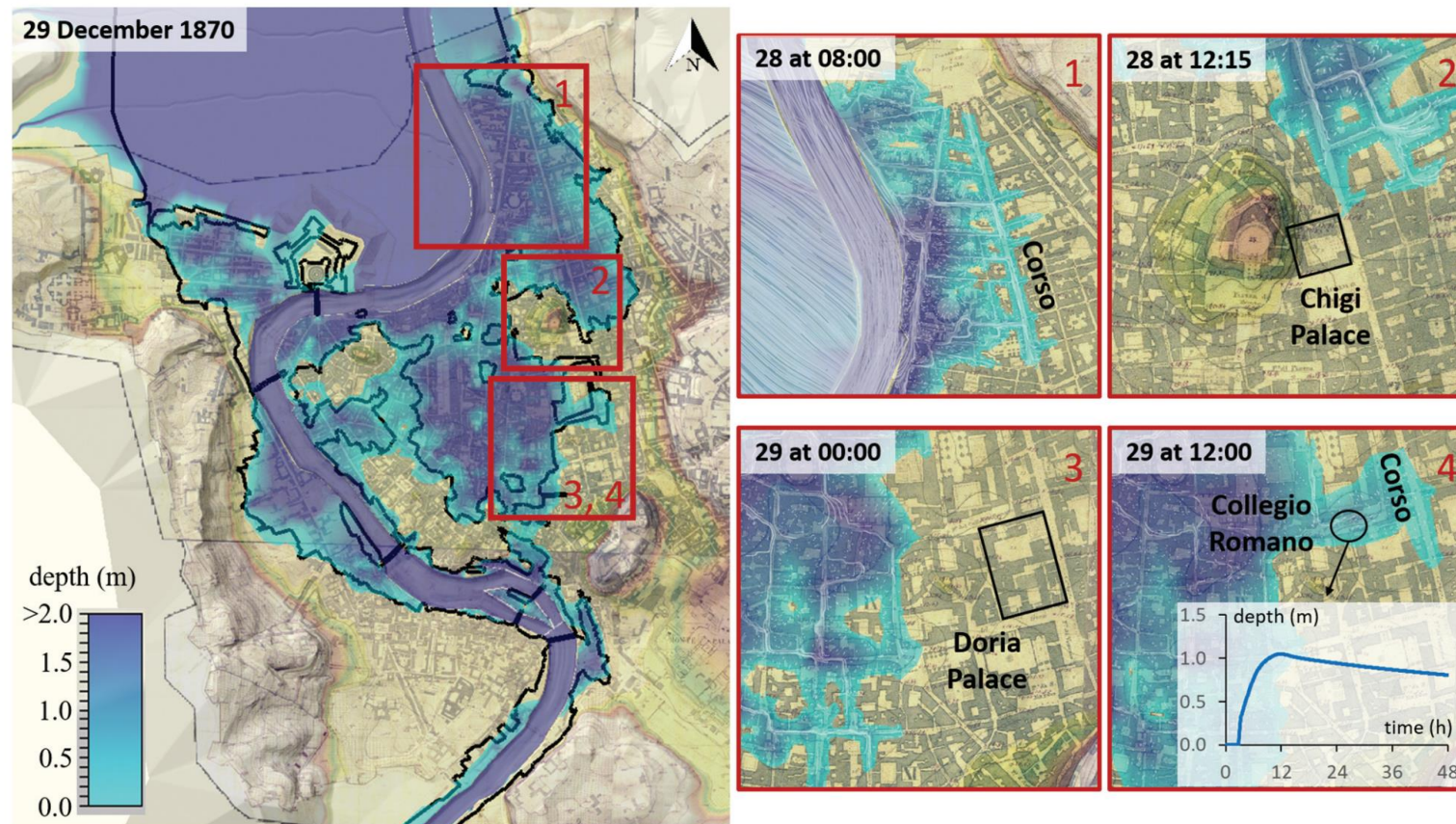
Piena del dicembre 1900:
Crollo del muraglione del Lungotevere degli
Anguillara



Piena del 1937 a ponte S. Angelo



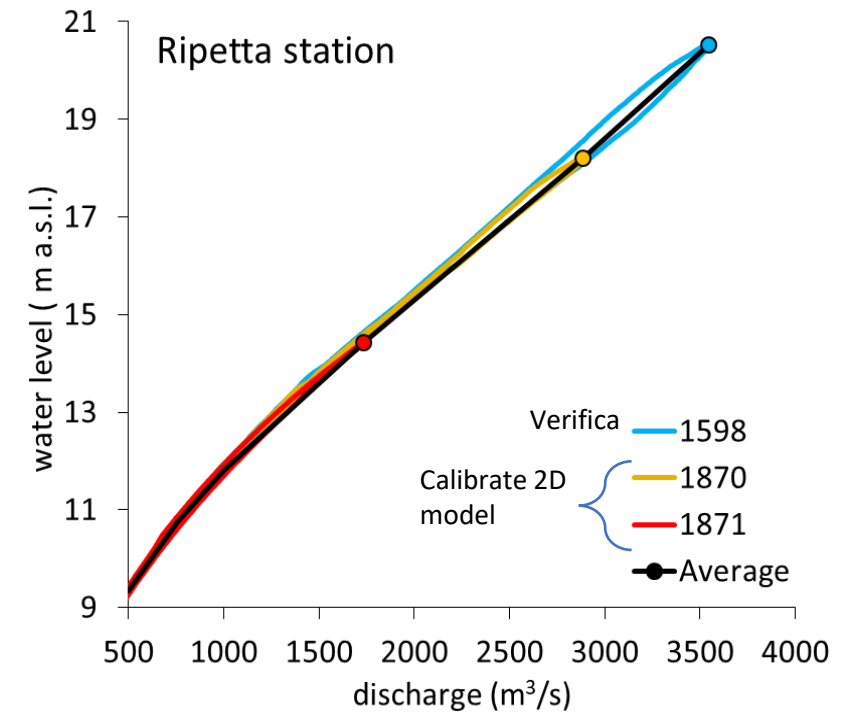
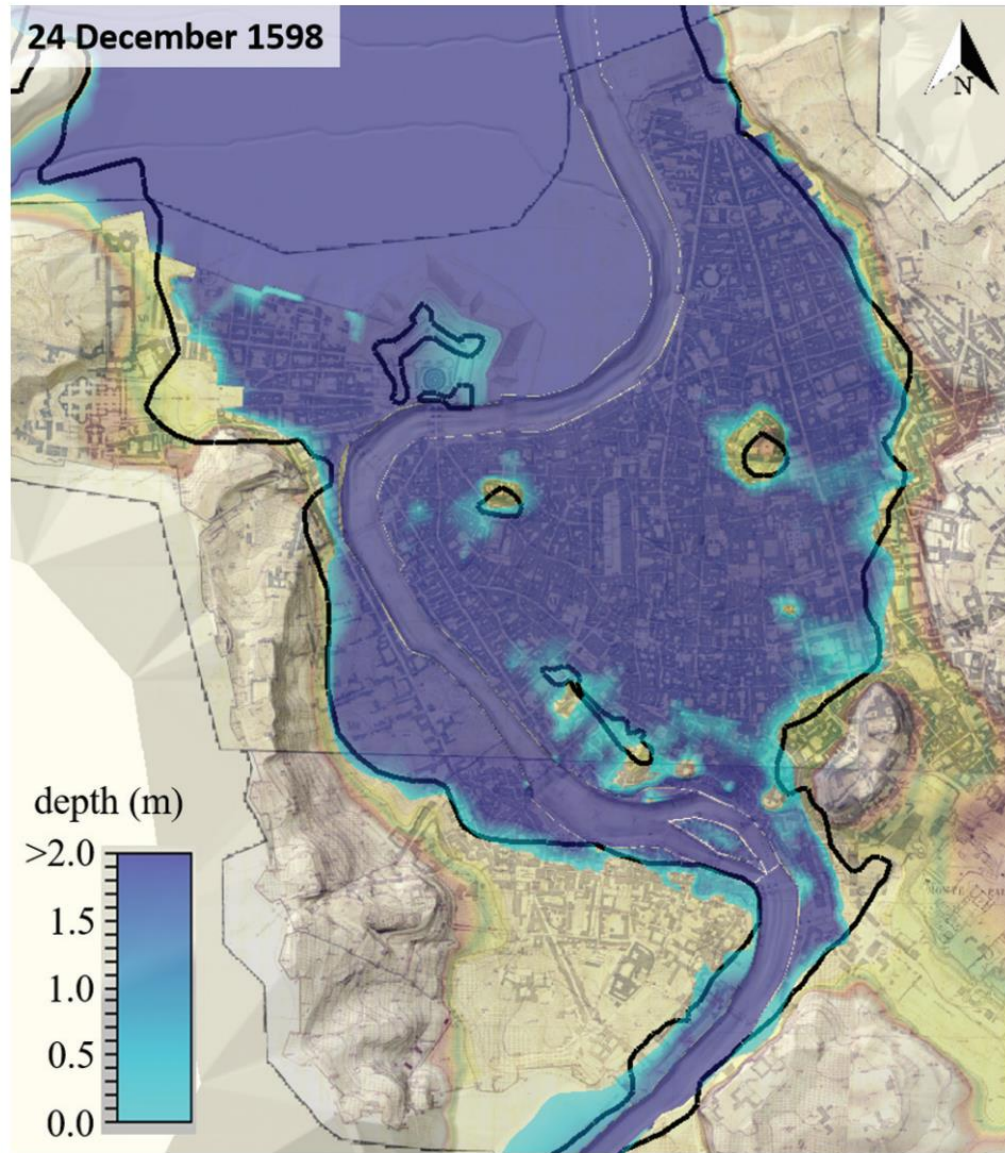
Ricostruzione della piena storica 1870 – Idrologia storica



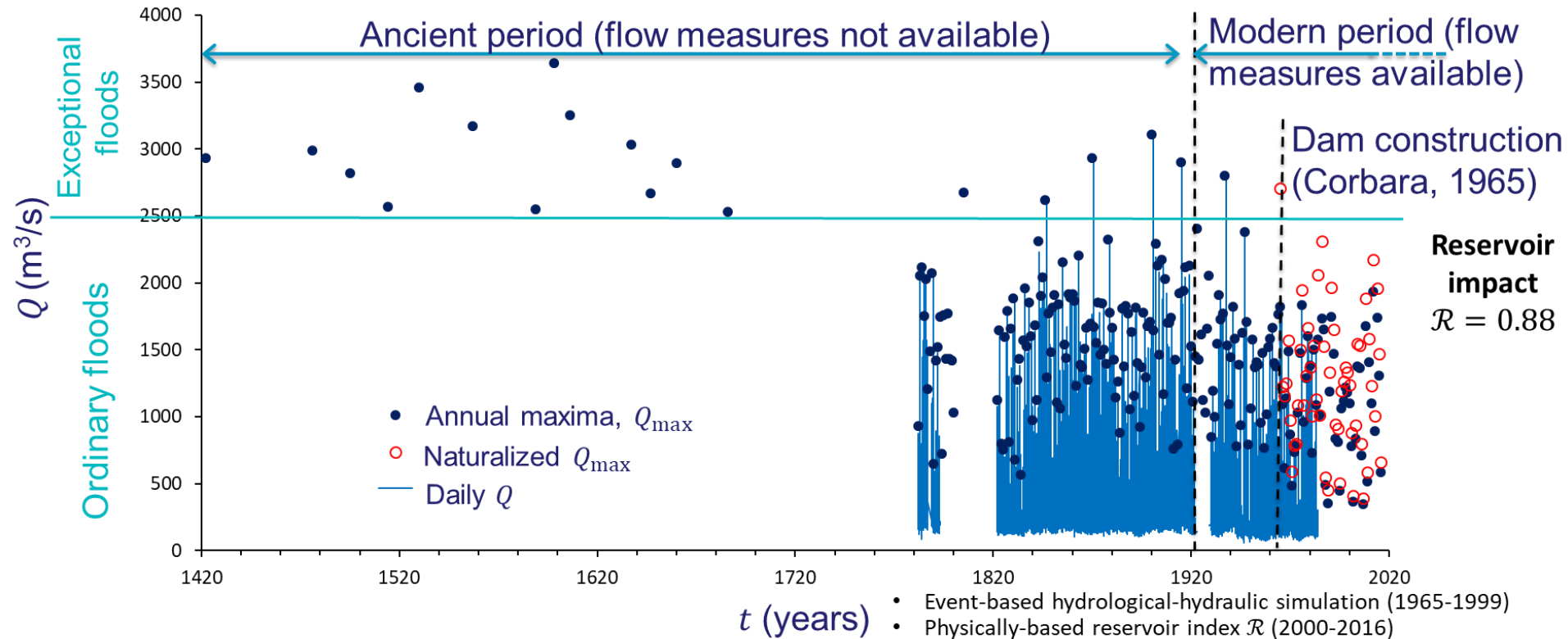
Mancini et al, HSI, 2022

- Prevede l'utilizzo di metodi storico-archivistici e modellistica idrologica-idraulica (Benito et al., 2015 HESS)
- Lo studio delle alluvioni storiche è ostacolato dalla quantità e dalla qualità dei dati passati, privi delle osservazioni strumentali diffuse oggi disponibili
- Scopo: ricostruire le alluvioni storiche, sulla base di varie fonti documentarie per ampliare il dataset delle portate misurate, ad esempio: mappe e rilievi antichi, segni di piena, depositi di piena, registrazioni scritte come verbali (comunali ed ecclesiastici), descrizioni narrative, giornali, ecc.

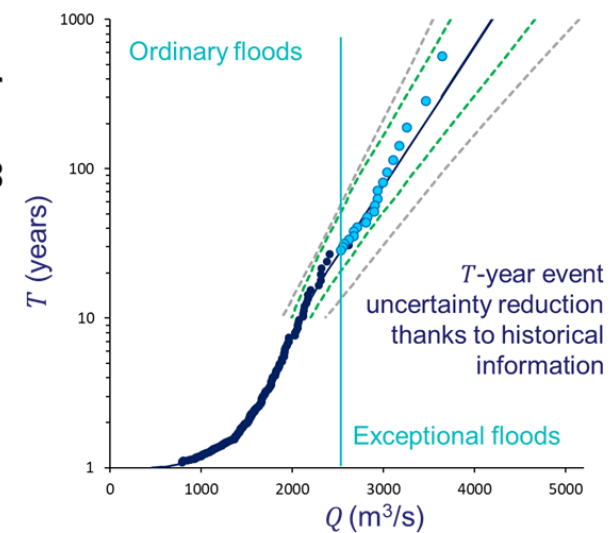
Verifica: piena storica del 1598



Ricostruzione dei colmi di piena a Roma



Probability distribution of extreme events



Volpi et al., WRR, 2018

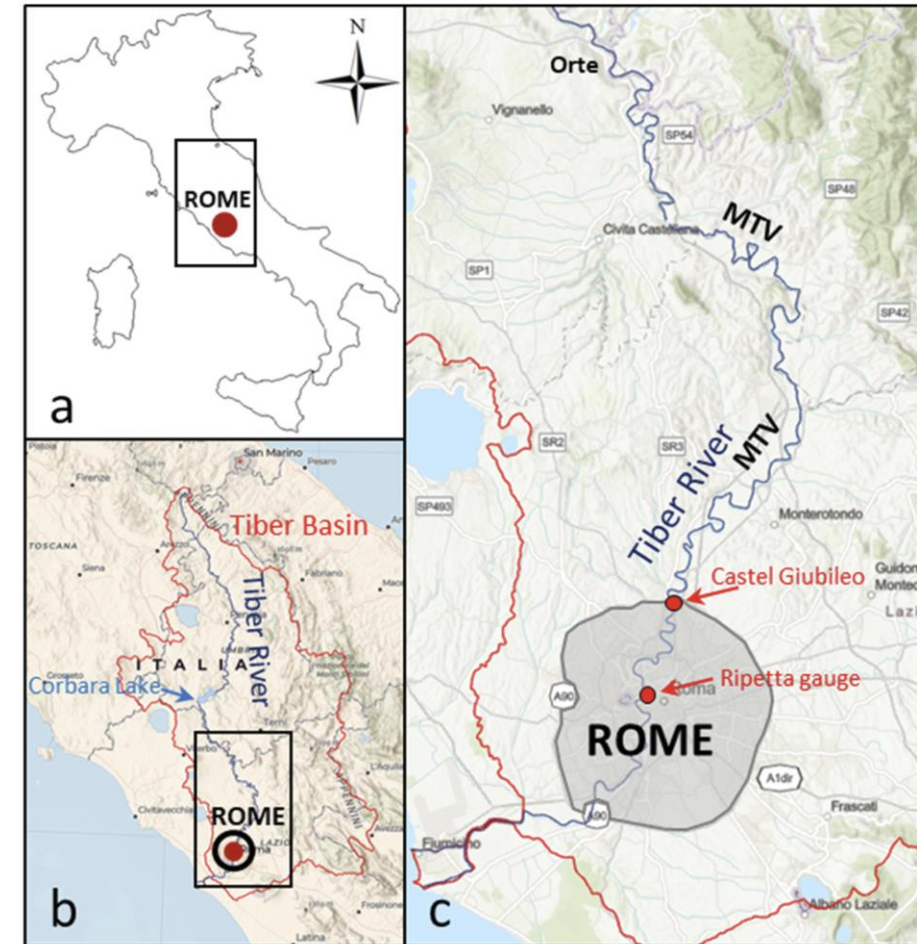
Cipollini et al., WRR, 2020

Calenda et al., Journal of Hydrology 2009

Volpi, Wires Water 2019

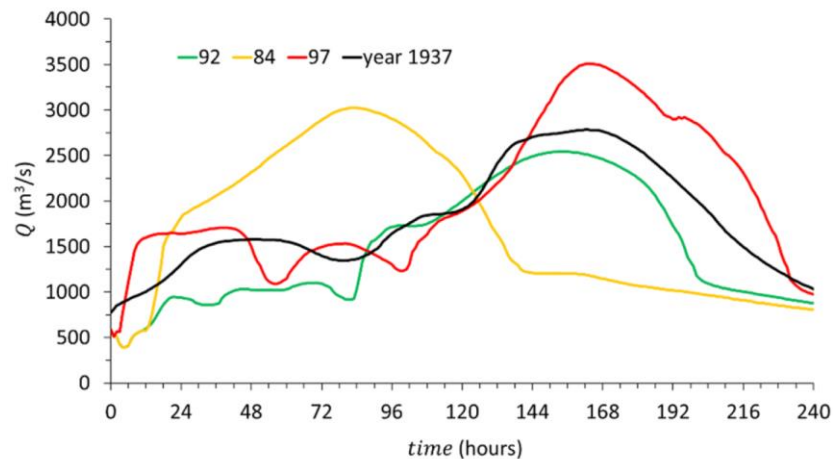
Analisi del rischio della città di Roma

- Idrologia: la portata di picco non è sufficiente, la durata, il volume e la forma dell'idrogramma di piena giocano un ruolo importante
- L'idrogramma di piena standard «ad evento» può essere influenzato da incertezze/ipotesi rilevanti che possono sottostimare i volumi dell'idrogramma
- La simulazione continua consente di superare i principali limiti degli approcci basati sull'evento di progetto, impiegando un ampio insieme di idrogrammi di piena che simulano l'ampia casistica che si riscontra in natura.

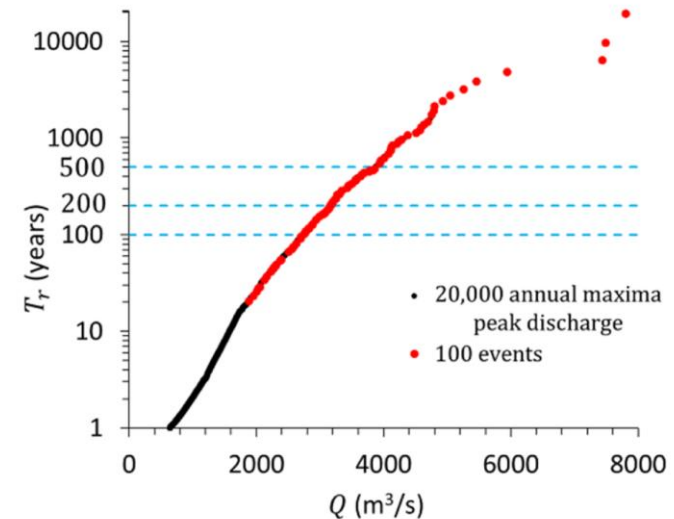


Idrologia delle piene (modello semidistribuito - AUBAC)

- I 100 idrogrammi selezionati (su 20.000) mostrano una gamma piuttosto ampia di forme, in funzione dei modelli di precipitazione simulati.
- Tale varietà di forzanti idrologiche è al centro dell'approccio di modellazione continua, che mira a rappresentare la variabilità idrologica naturale nel modo più realistico possibile, con tutti i possibili scenari di precipitazione e le risposte dei bacini.



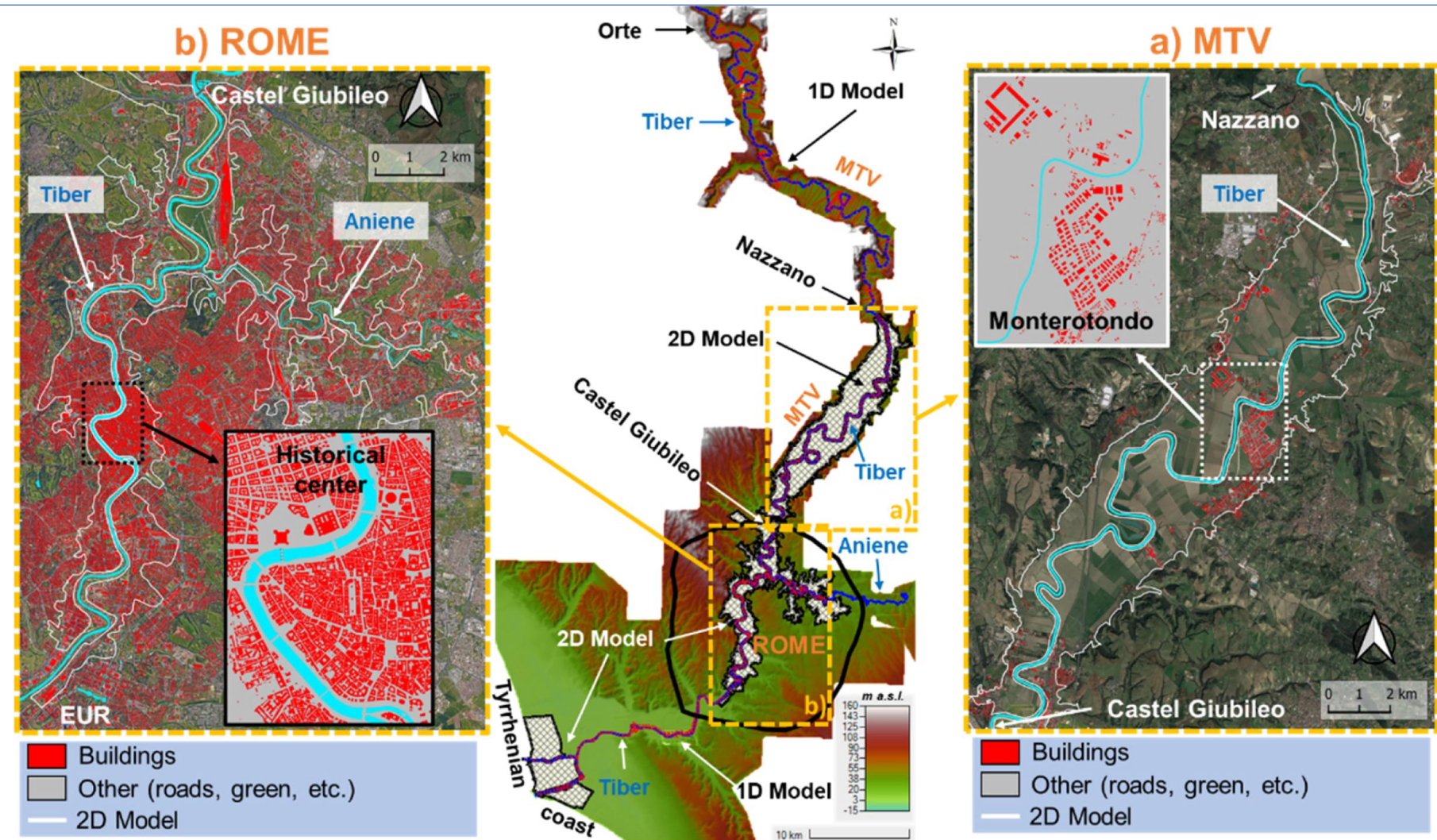
Un evento alluvionale eccezionale si verificò nel 1937 con tre degli idrogrammi sintetici simulati utilizzando il modello idrologico ABDAC, 84, 92 e 97 alluvioni, a Roma-Ripetta



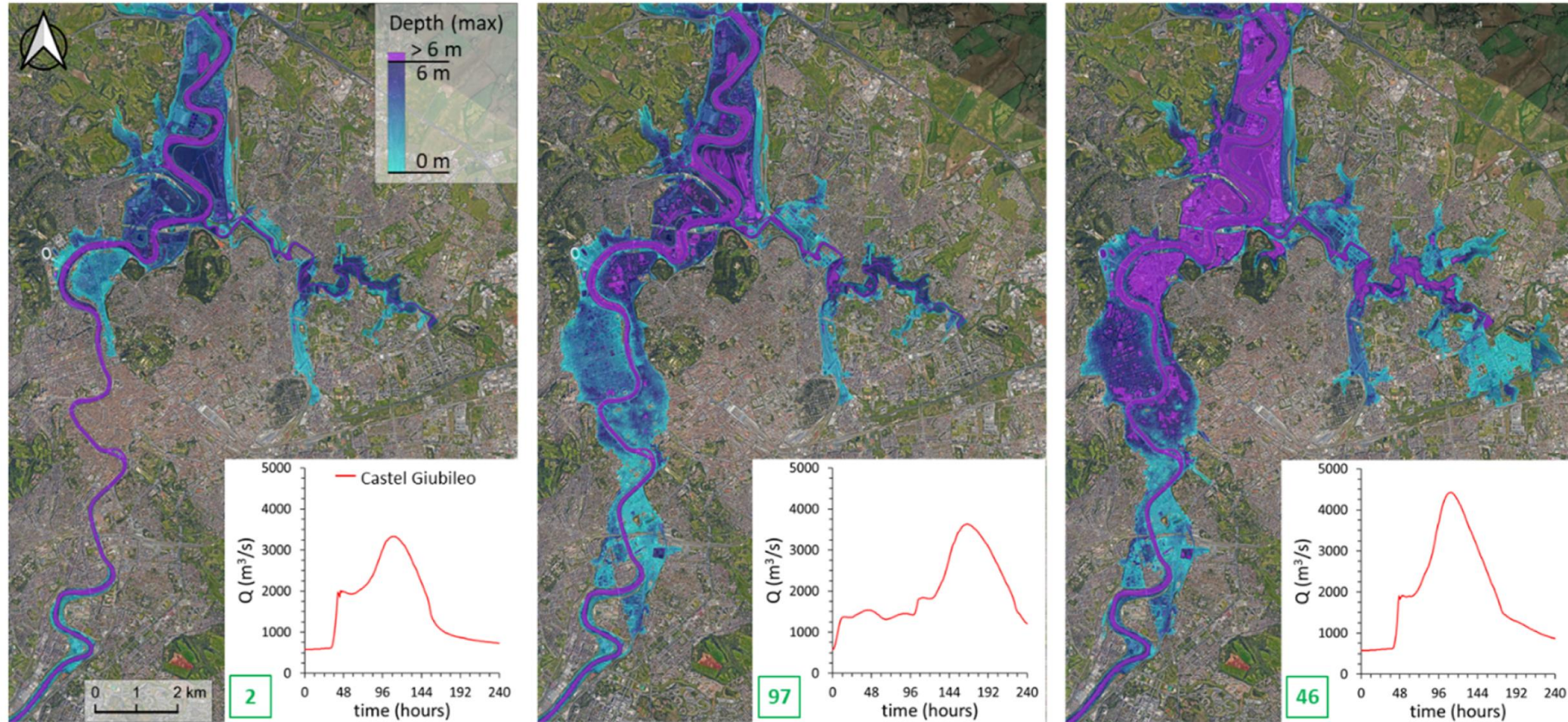
Periodo empirico di ritorno della scarica di picco per tutti i 20.000 eventi sintetici (cerchi neri pieni) simulati utilizzando il modello ADBAC e per i 100 eventi selezionati (cerchi rossi) a Roma-Ripetta.

Idraulica delle piene (2D HEC-RAS)

- Diverse risoluzioni spaziali in funzione del livello di dettaglio richiesto (da 5x5 a 20x20)
- Circa 100 km di lunghezza, 800 sezioni, 3.550.000 celle
- Taratura da parte di pochi eventi significativi



Scenari di inondazione a Roma

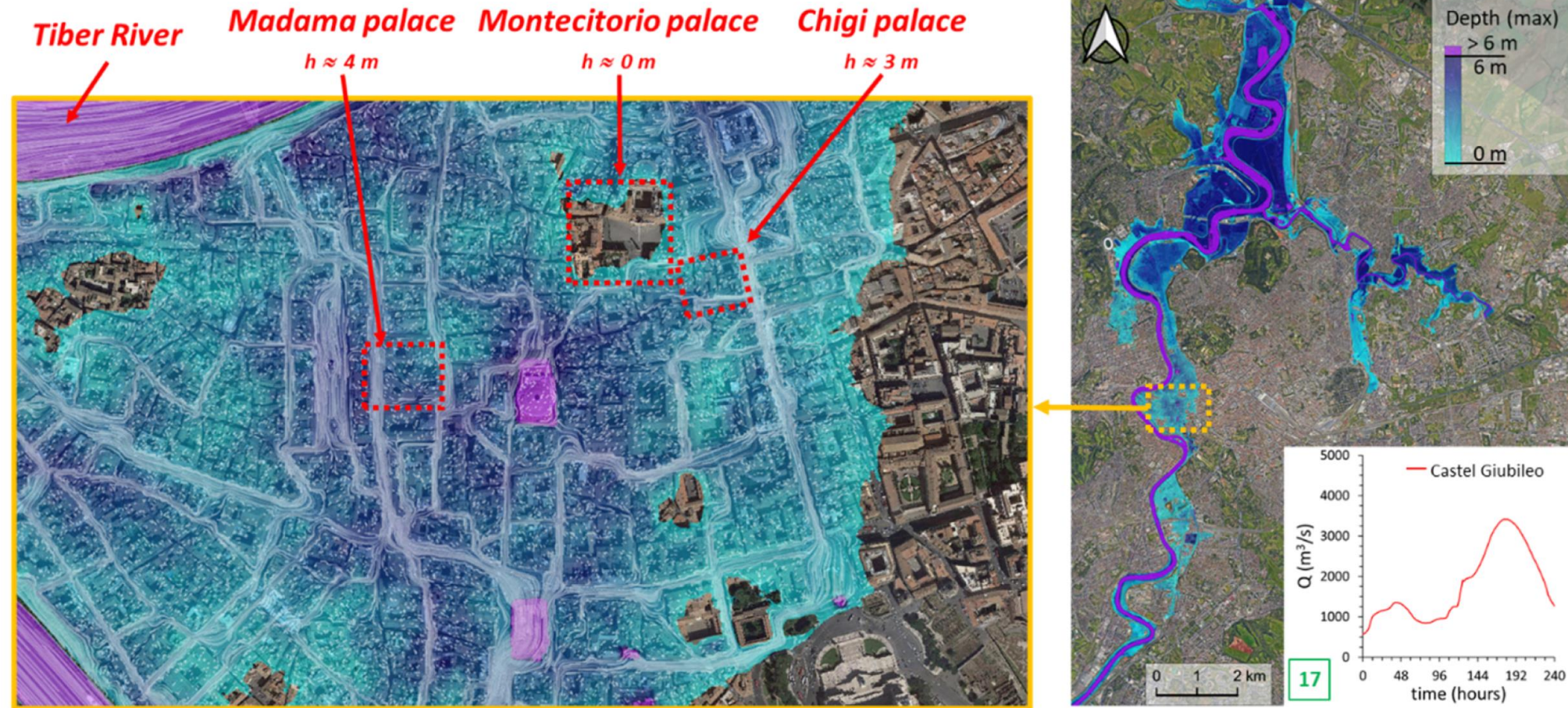


Risultati del modello 2D nella città di Roma per alcuni eventi alluvionali degni di nota: livelli massimi dell'acqua per le piene N. 2, 97 e 46, caratterizzate indicativamente rispettivamente da 300, 500 e 1000 anni di periodo di ritorno; sono raffigurati i corrispondenti scarichi a Castel Giubileo negli inserti.

Scenari di inondazione a Roma

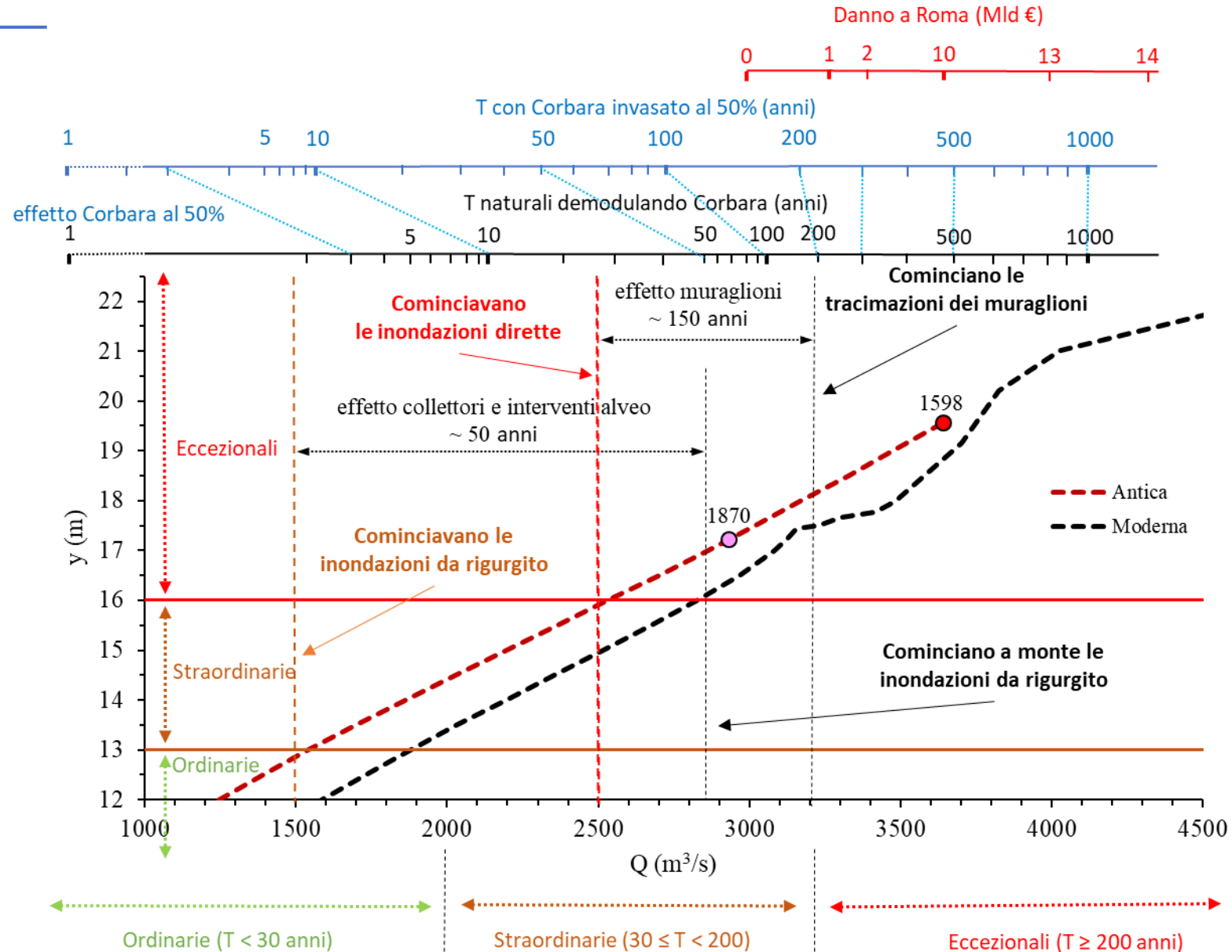


Inondazione del centro storico per $T_r=350$ anni



Livelli massimi d'acqua modellati nel centro storico di Roma per l'alluvione n.17, con circa $T_r=350$ y; l'idrogramma relativo, a Castel Giubileo, è raffigurato nell'inserito (Fiori et al., JoH-RS, 2023)

L'evoluzione della pericolosità idraulica a Roma

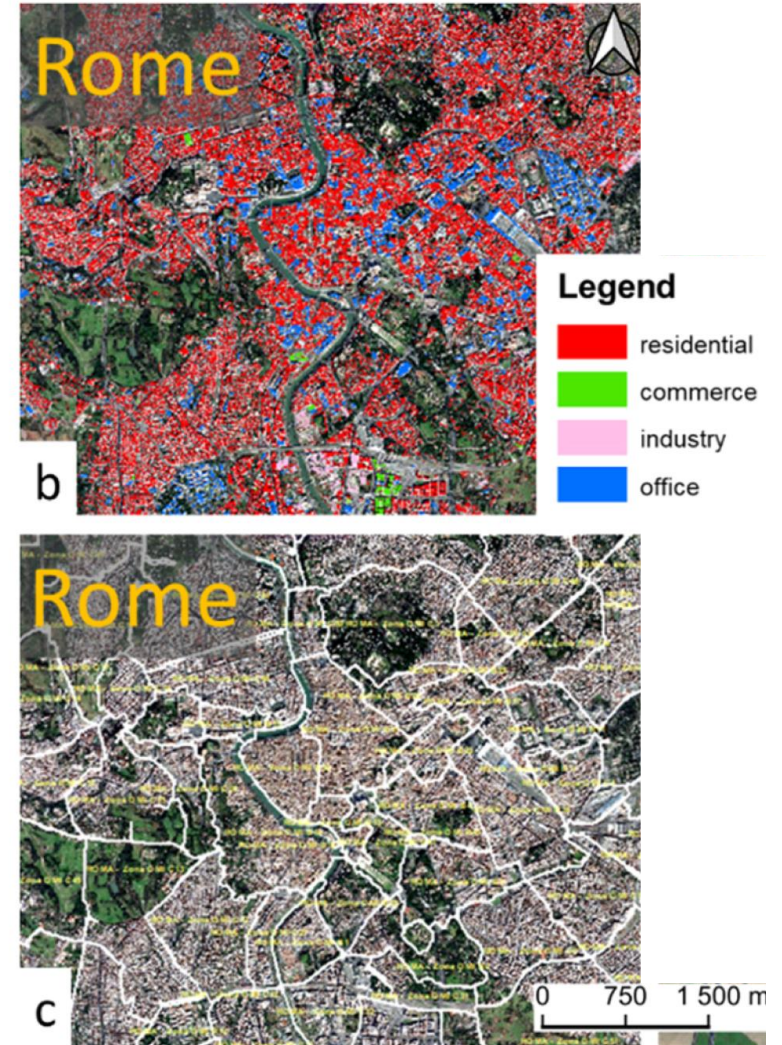
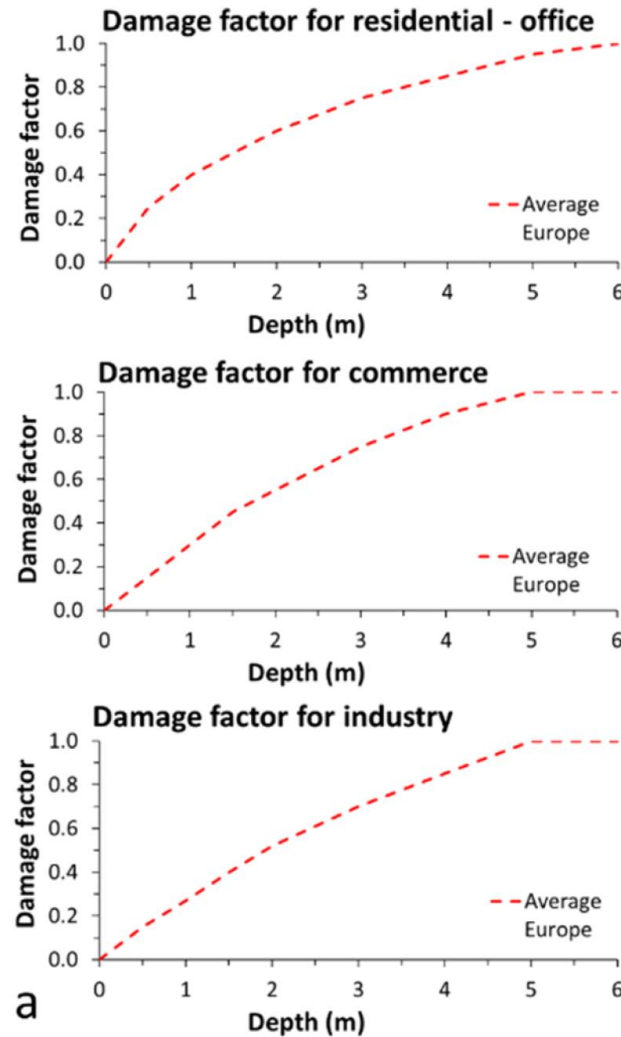


Il calcolo del danno

- Il danno da alluvione viene solitamente determinato utilizzando le curve profondità-danno.
- Purtroppo, tali curve non sono disponibili per molte regioni e le metodologie di solito differiscono da un paese all'altro.
- Per questo motivo, un database globale e coerente di curve profondità-danno è stato sviluppato ed elaborato dal Joint Research Center (JRC) della Commissione Europea (Huizinga et al., 2017).
- Si sottolinea che sono stati considerati **solo i danni diretti tangibili agli edifici**, non considerando quindi altre tipologie di elementi esposti (infrastrutture lineari, coltivazioni, beni storici e archeologici, ecc.). Analogamente, non sono considerati i danni indiretti materiali (perdita di attività economica, costi aggiuntivi per la protezione civile, perdita di valore degli immobili, costi assicurativi, ecc.) e immateriali (perdita di vite umane, ambientali, archeologici, ecc.).
- Pertanto, il danno analizzato è spesso una sottostima del danno complessivo. Tuttavia, il rischio di alluvione che ne deriva può essere molto efficace e utile quando si confrontano le condizioni di inondazione in diverse aree geografiche o per confrontare diverse opzioni di progettazione per le misure di protezione dalle inondazioni

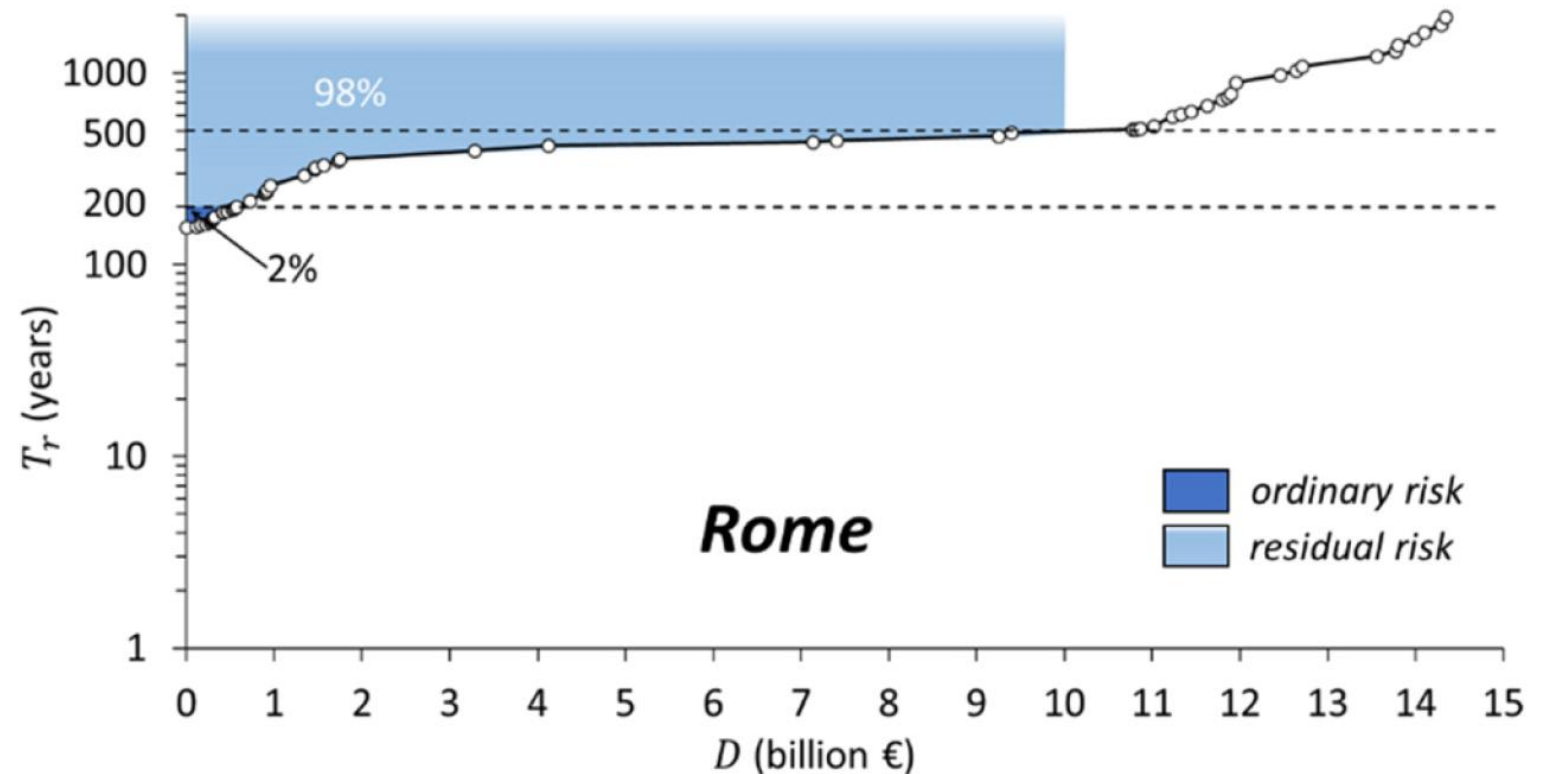
Curve profondità-danno

- a) Curve del fattore di danno in profondità in Europa per diversi tipi di edifici (Huizinga et al., 2017);
- b) Shape file degli edifici (NCTR Regione Lazio, 2014);
- c) Zonizzazione del territorio con prezzi immobiliari degli immobili in base alla loro tipologia di destinazione d'uso (Andamento del mercato immobiliare italiano, Agenzia delle Entrate, 2020)



Il rischio di piena a Roma

- Il rischio alluvione (EAD) a Roma ammonta a circa 25 milioni di euro
- Le alluvioni con un periodo di ritorno che va dai 300 ai 500 anni circa determinano a Roma un danno 5 volte maggiore, che viene causato dal progressivo allagamento della città.



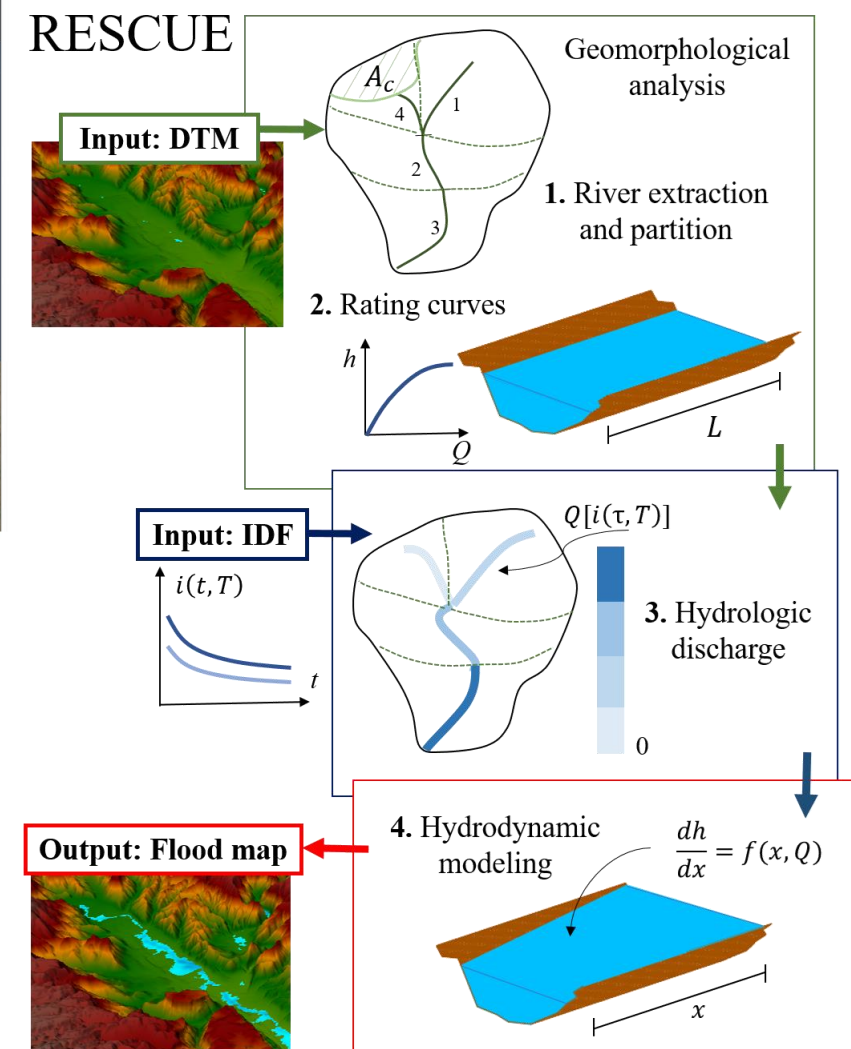
Rischio a Roma e nel Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale

- La copertura della mappatura delle aree inondabili è generalmente limitata e non omogenea
- Le mappe delle autorità nazionali sono in genere un mosaico di studi individuali sviluppati a diverse scale spaziali (scala regionale o di bacino idrografico), spesso utilizzando metodi diversi che sono amalgamati a posteriori
- Per la mappatura del rischio alluvionale possono essere effettuate analisi locali e regionali, con diversi obiettivi:
 - Un'analisi locale più dettagliata, con maggiore accuratezza/dettaglio, ma copertura limitata
 - Una mappatura con risoluzione più grossolana, meno accurata ma con una copertura maggiore

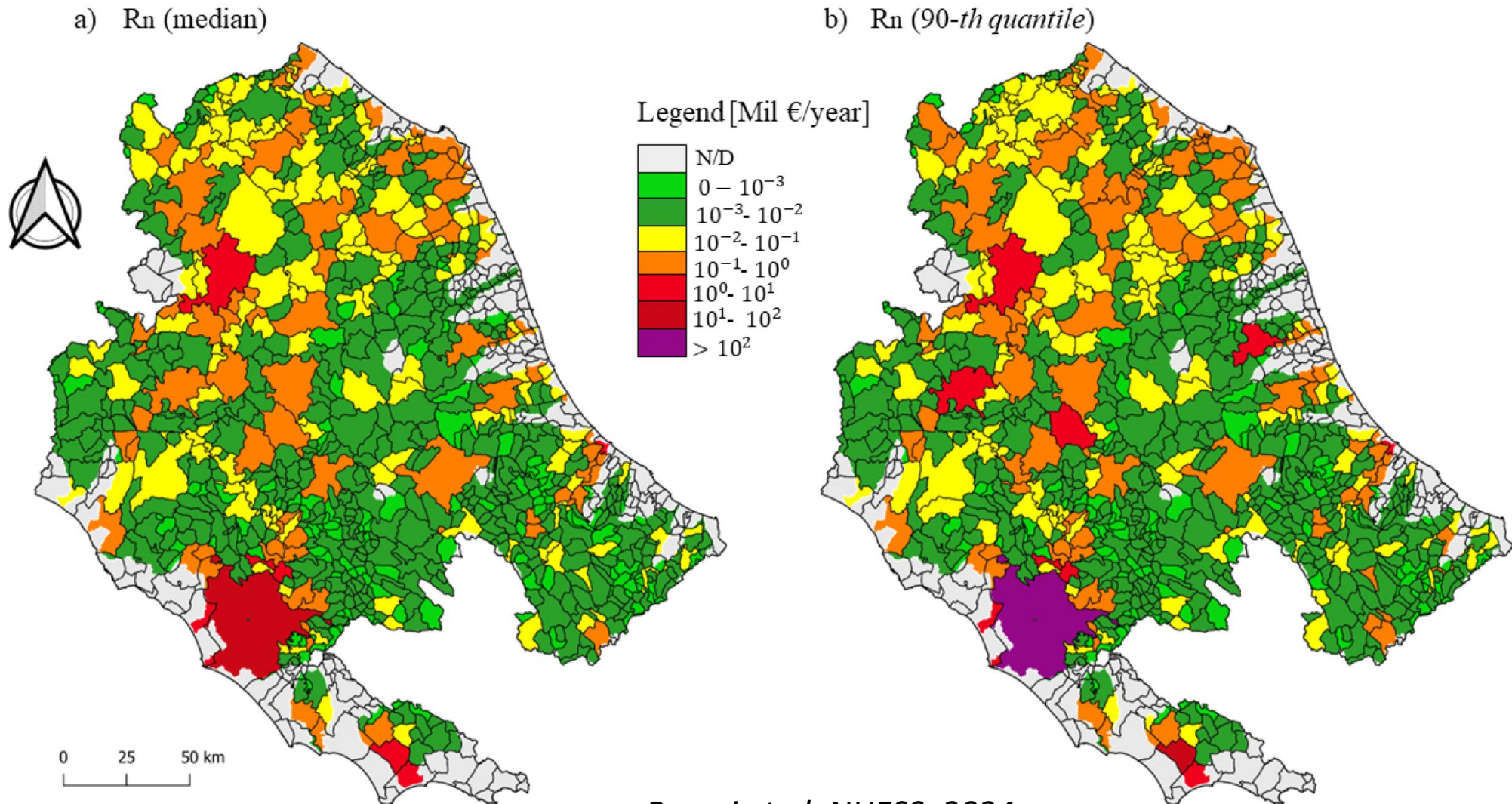


RESCUE (laRgE SCAle
inUndation modEl)

Pavesi et al, JFRM, 2022

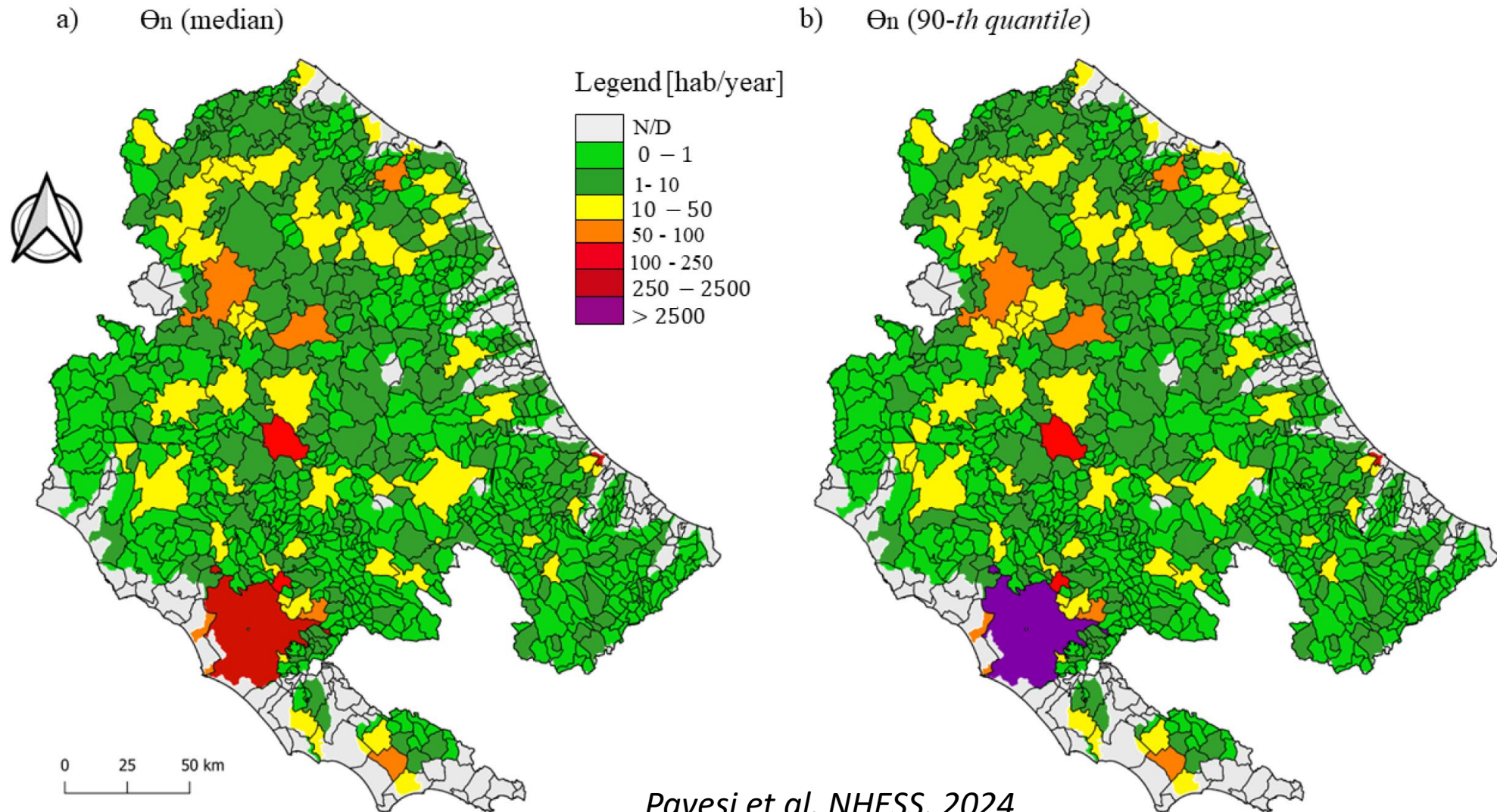


Rischio (danno medio annuo, EAD)



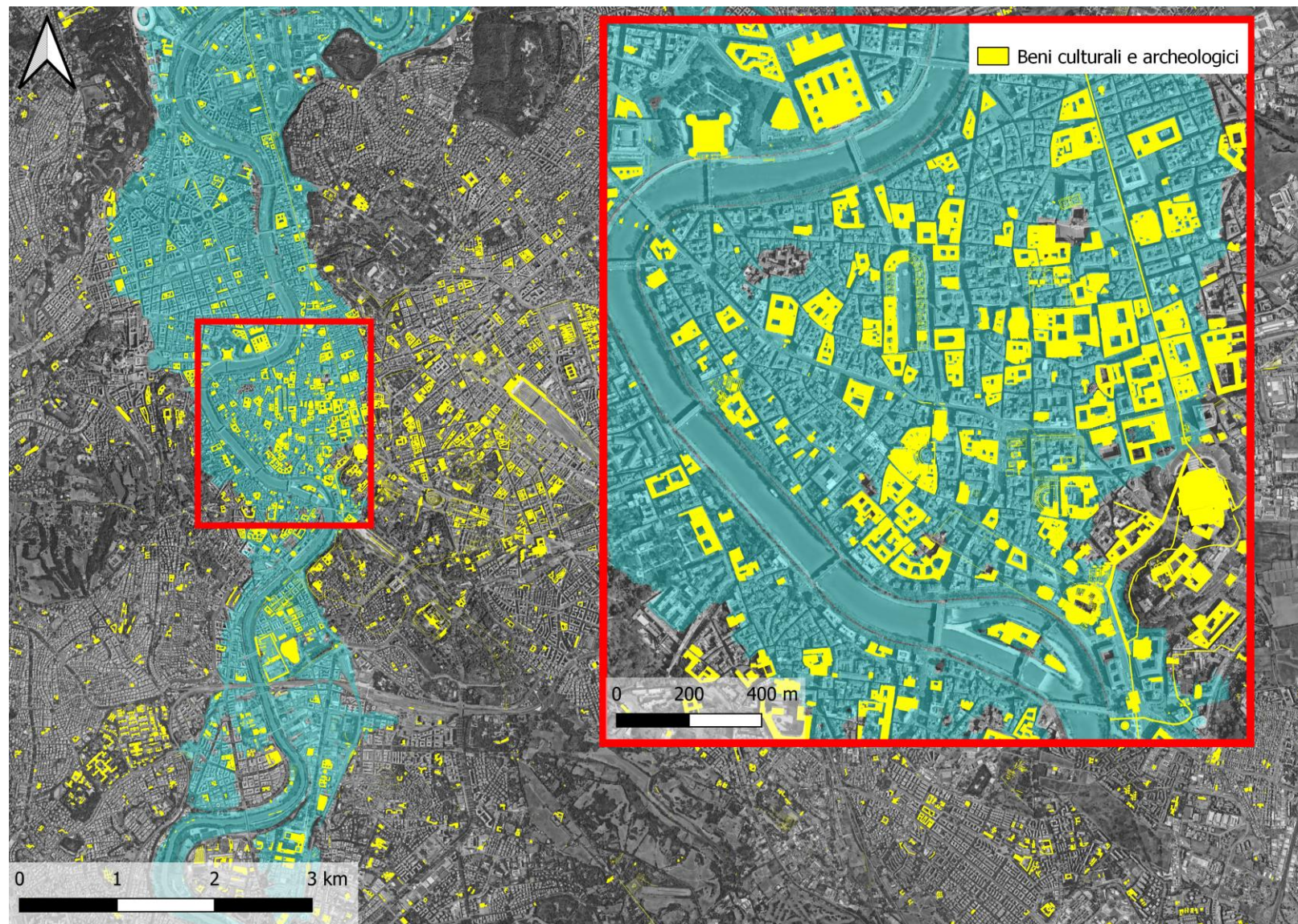
Pavesi et al, NHESS, 2024

EAPA (Expected Annual Population Affected)



Pavesi et al, NHESS, 2024

Quantificazione del danno ai beni culturali: Un problema aperto



Conclusioni

- La valutazione del rischio di alluvione, specialmente nelle città d'arte, è ancora un campo aperto per la ricerca e le applicazioni
- Necessità di una valutazione solida e coerente su vaste aree, superando la frammentazione
- Tra le principali problematiche: disponibilità di informazioni affidabili, analisi dell'incertezza
- A causa dei costi computazionali e delle risorse necessarie, il rischio di alluvione può essere valutato attraverso diverse scale e livelli di accuratezza/approssimazione, lungo una possibile procedura in due fasi:
 - Un primo livello, su larga scala, copertura al 100%, utile per una prima valutazione, principalmente a scopo di screening
 - Perfezionamenti locali ove necessario e suggerito dall'analisi di screening

Per approfondimenti

- Fiori, A., C.P. Mancini, A. Annis, S. Lollai, E. Volpi, F. Nardi, S. Grimaldi. The role of residual risk on flood damage assessment: A continuous hydrologic-hydraulic modelling approach for the historical city of Rome, Italy. *Journal of Hydrology – Regional Studies*, 2023.
- Mancini, C.P., S. Lollai, G. Calenda, E. Volpi, A. Fiori, Guidance in the calibration of two-dimensional models of historical floods in urban areas: a case study. *Hydrological Sciences Journal*, 2022.
- Pavesi, L, C. D'Angelo, E. Volpi, A. Fiori, RESCUE: A geomorphology-based, hydrologic-hydraulic model for large-scale inundation mapping. *J. Flood Risk Management*, 2022;e12841, 2022.
- Pavesi, L., E. Volpi, A. Fiori, Flood risk assessment through large-scale modeling under uncertainty. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, in stampa, 2024.

Journal of Hydrology: Regional Studies 49 (2023) 101506



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology: Regional Studies

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ejrh



Received: 14 October 2021 | Revised: 31 May 2022 | Accepted: 13 July 2022

DOI: 10.1111/jfr3.12841

ORIGINAL ARTICLE

CIWEM Chartered Institution of Water and Environmental Management *Journal of Flood Risk Management* WILEY

RESCUE: A geomorphology-based, hydrologic-hydraulic model for large-scale inundation mapping

Luciano Pavesi | Claudia D'Angelo | Elena Volpi  | Aldo Fiori

Department of Engineering, Roma Tre University, Rome, Italy

Correspondence

Elena Volpi, Department of Engineering, Roma Tre University, Rome, Italy.
Email: elena.volpi@uniroma3.it

Funding information

Italian Ministry of Education, University and Research (MIUR); Italian Ministry of

Abstract

Flood mapping is a key stage for detecting vulnerable areas, assessing floods impacts, identifying damages, and mitigation plans. Despite of the available guidelines for flood mapping following EU Floods Directive, coherent and comprehensive official flood hazard maps at the national scale are still missing, at least in the EU. In fact, flood mapping generally requires high economical and computational costs for setup/calibration of hydrological/hydraulic models, leading to partial and fragmented vulnerable areas. Here, we propose

The role of residual risk on flood damage assessment: A continuous hydrologic-hydraulic modelling approach for the historical city of Rome, Italy

A. Fiori ^{a,*}, C.P. Mancini ^a, A. Annis ^b, S. Lollai ^a, E. Volpi ^a, F. Nardi ^b, S. Grimaldi ^c

^a DICITA, Roma Tre University, Rome, Italy

^b WARREDOC, University for Foreigners of Perugia, Perugia, Italy

^c DIBAF, University of Tuscia, Viterbo, Italy