



Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale

Commissione Tematica Geotecnica e frane,
interventi di versante e sostenibilità

Sistemi di monitoraggio e informativi di previsione idro-meteo per il rischio idrogeologico

Fernando Nardi
Università degli Studi di Roma Tor Vergata



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

10 maggio 2024



Indice degli argomenti:

- Sistemi informativi (Web GIS e web app) per il rischio idrogeologico
- Metodi e strumenti in ambiente GIS per analisi geo-morfometriche e idrologico - idrauliche
- GFPLAIN/REBIT e la mappatura del rischio idrogeologico su larga scala
- Terrain analysis per identificare aree a potenziale rischio frana
- Sistema di Monitoraggio e Allertamento per il rischio idrogeologico



Piattaforme Web GIS per il rischio idrogeologico

Esempi di piattaforme:

- IDROGEO ISPRA
- DigiReSTART NTA PAI
- APP Invarianza idraulica
- Ricostruzione evento di piena, Marche 2022



ISPRA

IT

Accedi



IdroGEO



ISPRA



<https://idrogeo.isprambiente.it/>

Cerca



Sblocca selezione

Centro > Lazio

Città metropolitana di Roma

Popolazione a rischio

Frane: 24.235 ab.

Alluvioni: 144.132 ab.

Dati di Contesto



5.363,22 km²

Territorio



345.963

Imprese



467.342

Edifici



8.614

Beni culturali



3.997.465

Popolazione



1.743.263

Famiglie



14%
Giovani (0-14)



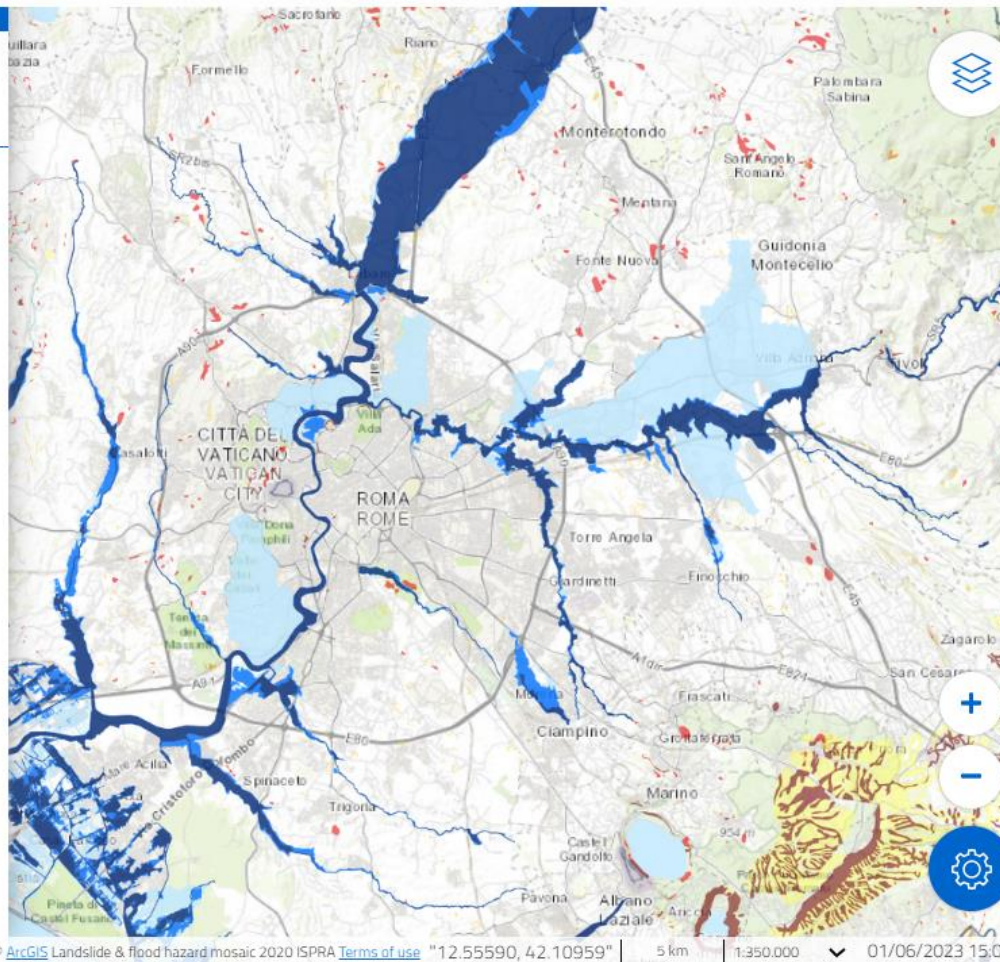
65,7%
Adulti (15-64)



20,2%
Anziani (65+)

Pericolosità e rischio

Frane	Territorio	Popolazione	Famiglie	Edifici	Imprese	Beni culturali
Molto Elevata P4	112,69 (2,1%)	17.541 (0,4%)	7.236 (0,4%)	4.670 (1%)	1.179 (0,3%)	92 (1,1%)
Elevata P3	33,07 (0,6%)	6.694 (0,2%)	2.907 (0,2%)	1.765 (0,4%)	441 (0,1%)	26 (0,3%)
Media P2	24,34 (0,5%)	2.755 (0,1%)	1.107 (0,1%)	732 (0,2%)	144 (0%)	11 (0,1%)
Moderata P1	12,89 (0,2%)	4.523 (0,1%)	1.895 (0,1%)	1.039 (0,2%)	319 (0,1%)	52 (0,6%)

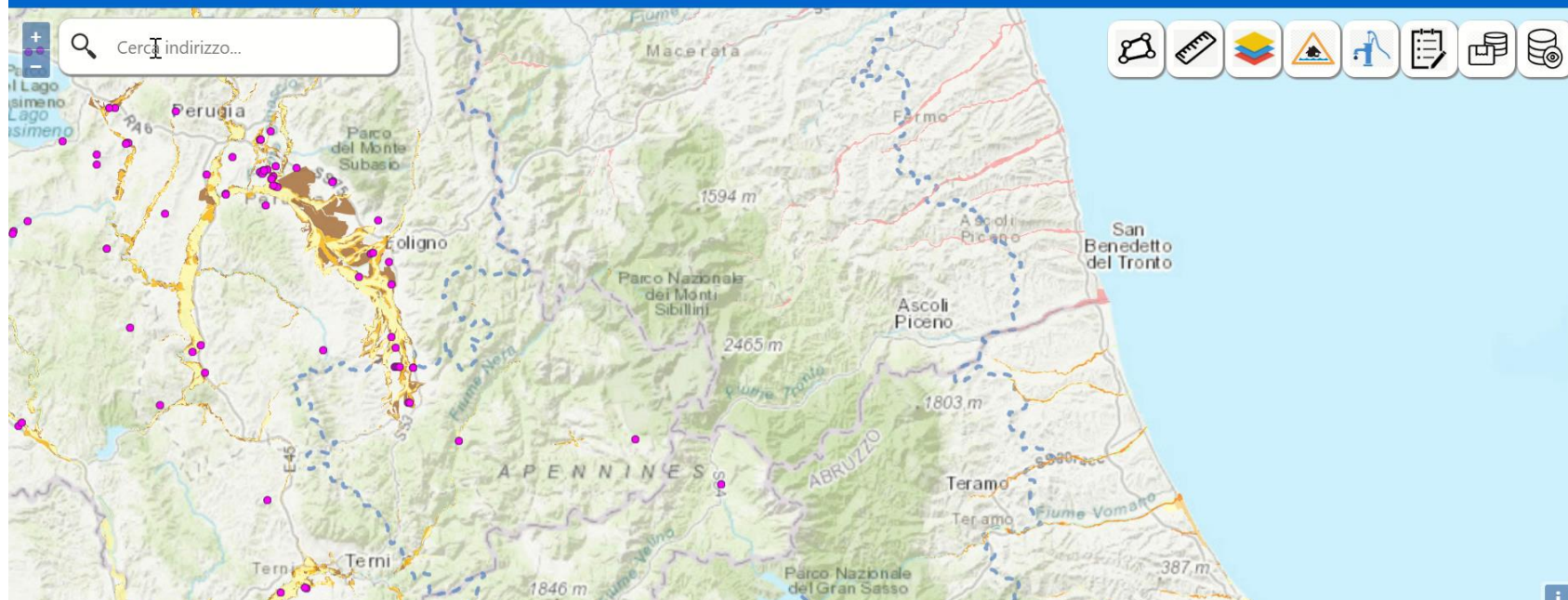


La piattaforma DigiReSTART NTA PAI

DigiReSTART NTA/PAI (DEMO)



Autorità di bacino distrettuale
dell' Appennino Centrale





Piattaforma per la stima dell'invarianza idraulica

- L'invarianza idraulica

FINALITÀ: «...di prevedere nella trasformazione dell'uso del suolo, opportune "azioni compensative" tese a far sì che **le massime portate di deflusso meteorico, provenienti dalle aree oggetto delle trasformazioni** e recapitate nei corpi idrici recettori di valle, **non risultino maggiori delle massime portate di deflusso meteorico preesistenti alla suddetta trasformazione;**»

BURL n. 37 del 02/04/2020

"Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali" - D.lgs 49/2010 "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni".



Piattaforma per la stima dell'invarianza idraulica

- Il quadro di competenza nel Distretto dell'Appennino Centrale

Ambito di Competenza	Riferimento normativo / istruzioni
Regione Lazio	BURL n. 37 del 02/04/2020
Aggiornamento del Piano di bacino stralcio per il tratto metropolitano di Roma da Castel Giubileo alla foce – PS5	NTA Norme di attuazione: invarianza idraulica, impermeabilizzazione, consumo di suolo – seduta del CT del 20 gennaio 2016
Consorzio di bonifica Litorale Nord - CBLN	Istruzioni per la richiesta di parere idraulico



Piattaforma per la stima dell'invarianza idraulica

- Metodo omogeneo di stima automatica delle piogge: metodo VAPI per l'Italia Centrale
- Implementazione delle Norme della Regione Lazio (BURL n. 37 del 02/04/2020)
- Implementazione delle norme dell'ABDAC: «Norme di attuazione: invarianza idraulica, impermeabilizzazione, consumo di suolo – seduta del CT del 20 gennaio 2016»
- Stima dei volumi di invaso
- Reporting automatico



Piattaforma per la stima dell'invarianza idraulica

■ Output della piattaforma:

- Piogge e portate al colmo estreme per diverse durate di evento
- Norme «Regione Lazio»: Classe di intervento, Criteri di progettazione, Volumi di invaso
- Norme «ABDAC»: Classificazione sottobacino, Classe di intervento, Criteri di progettazione, Volumi di invaso

about:blank - Google Chrome			
about:blank			
12	58.7	77.5	137.6
24	76.5	99.6	172.1

Linee Guida Regione Lazio (BURL n. 37 del 02/04/2020)

Classe di intervento: Modesta impermeabilizzazione potenziale

Criterio di progettazione: I volumi disponibili per la laminazione dovranno soddisfare i requisiti dimensionali di cui all'espressione del metodo di invaso, le luci di scarico dell'invaso (condotti o stramazzi) nel corpo idrico recettore di valle non dovranno superare le dimensioni di un tubo avente un diametro pari a 200 mm e i tiranti idrici consentiti nell'invaso dovranno esser tali da non risultare maggiori di 1,00 metro;

Variabile	Valore
Volume di invaso (Metodo di invaso) (mc)	61.54
Durata critica (ore)	2.00
Volume di invaso considerando un tempo di ritorno di 30 anni (mc)	30.12

Volume di invaso richiesto dalle norme: 62 m³

Norme di attuazione PS5: invarianza idraulica, impermeabilizzazione, consumo di suolo

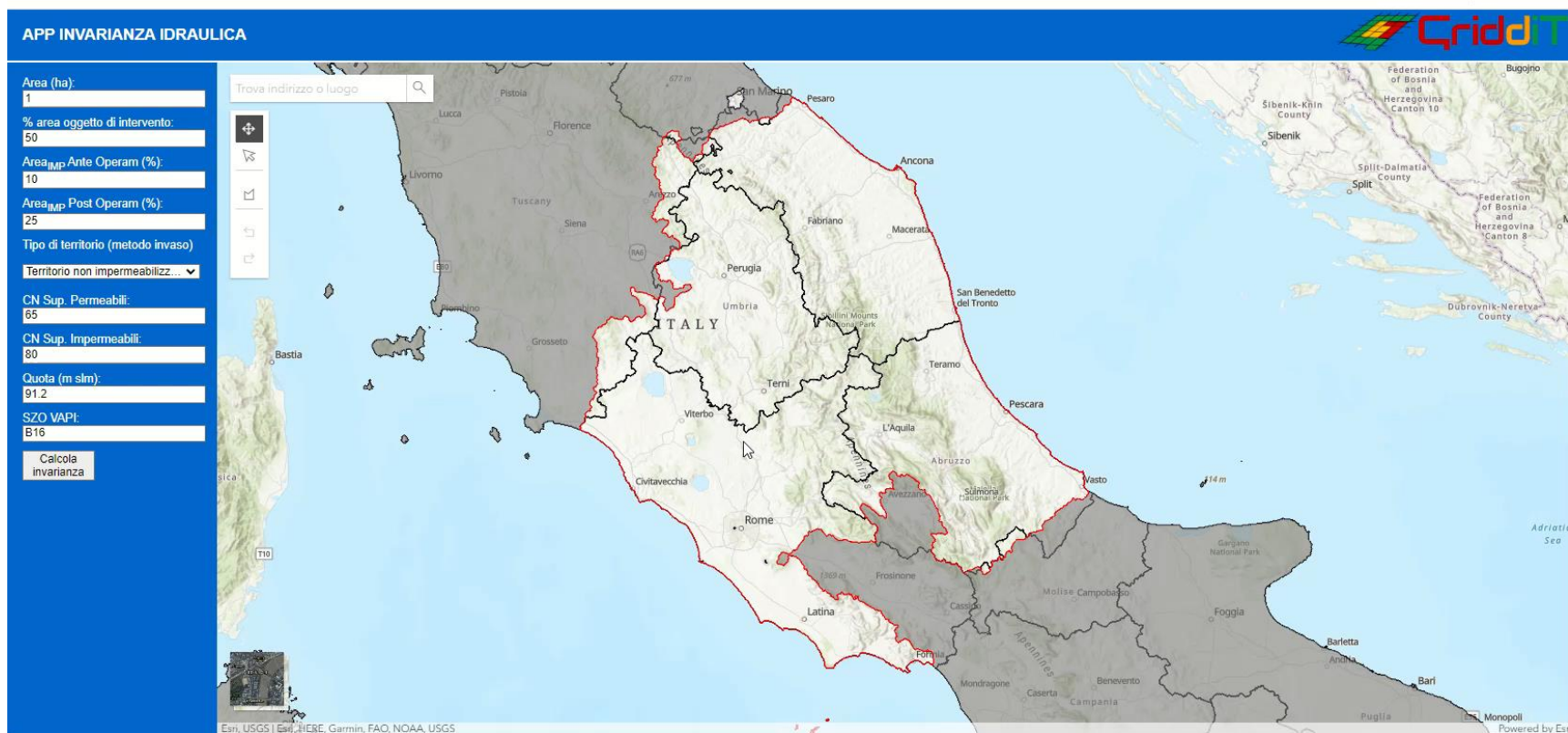
Classificazione sottobacino: CL2 - media risposta

Classe di intervento: Intervento di dimensione significativa

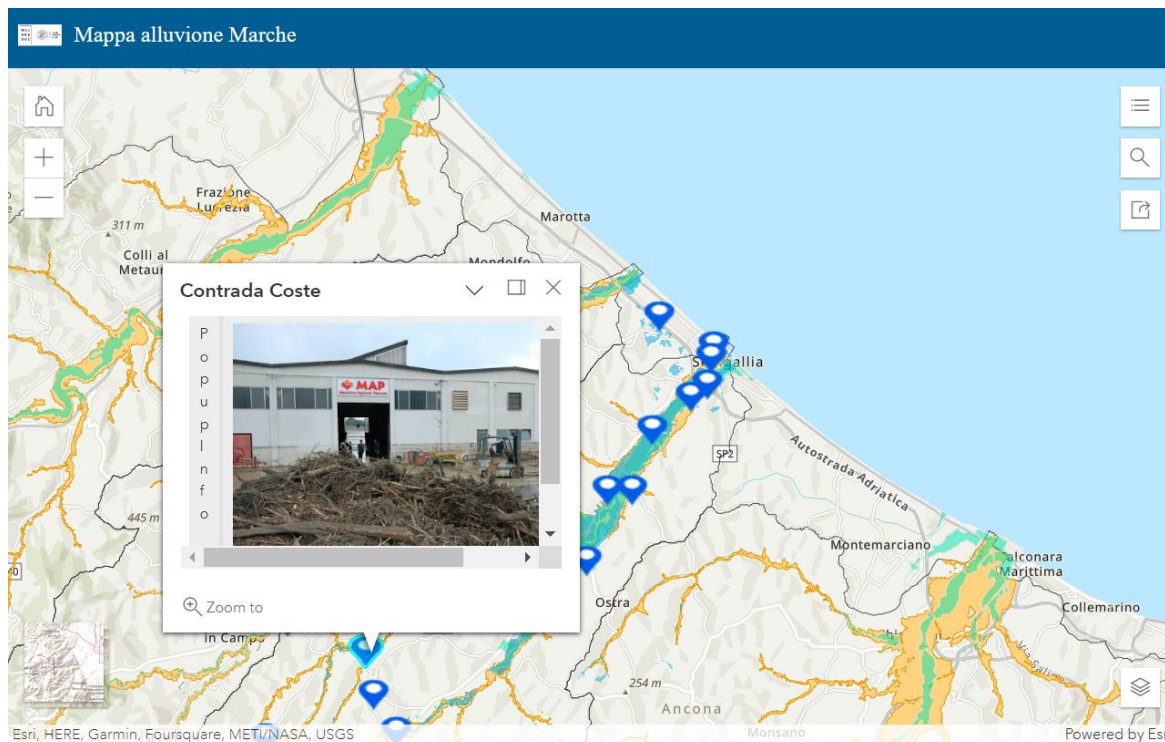
Criterio di progettazione: Non superamento portata di picco Ante Operam con Tr 50 anni. Necessario studio con dimensionamenti tiranti idrici e luci di scarico

Variabile	Valore
Portata di picco critica (mc/s)	0.07
Durata critica (ore)	0.50
Volume di invaso (tempo di ritorno di 50 anni) (mc)	10.56

Piattaforma per la stima dell'invarianza idraulica



Piattaforma per la ricostruzione dell'evento di piena delle Marche, 2022

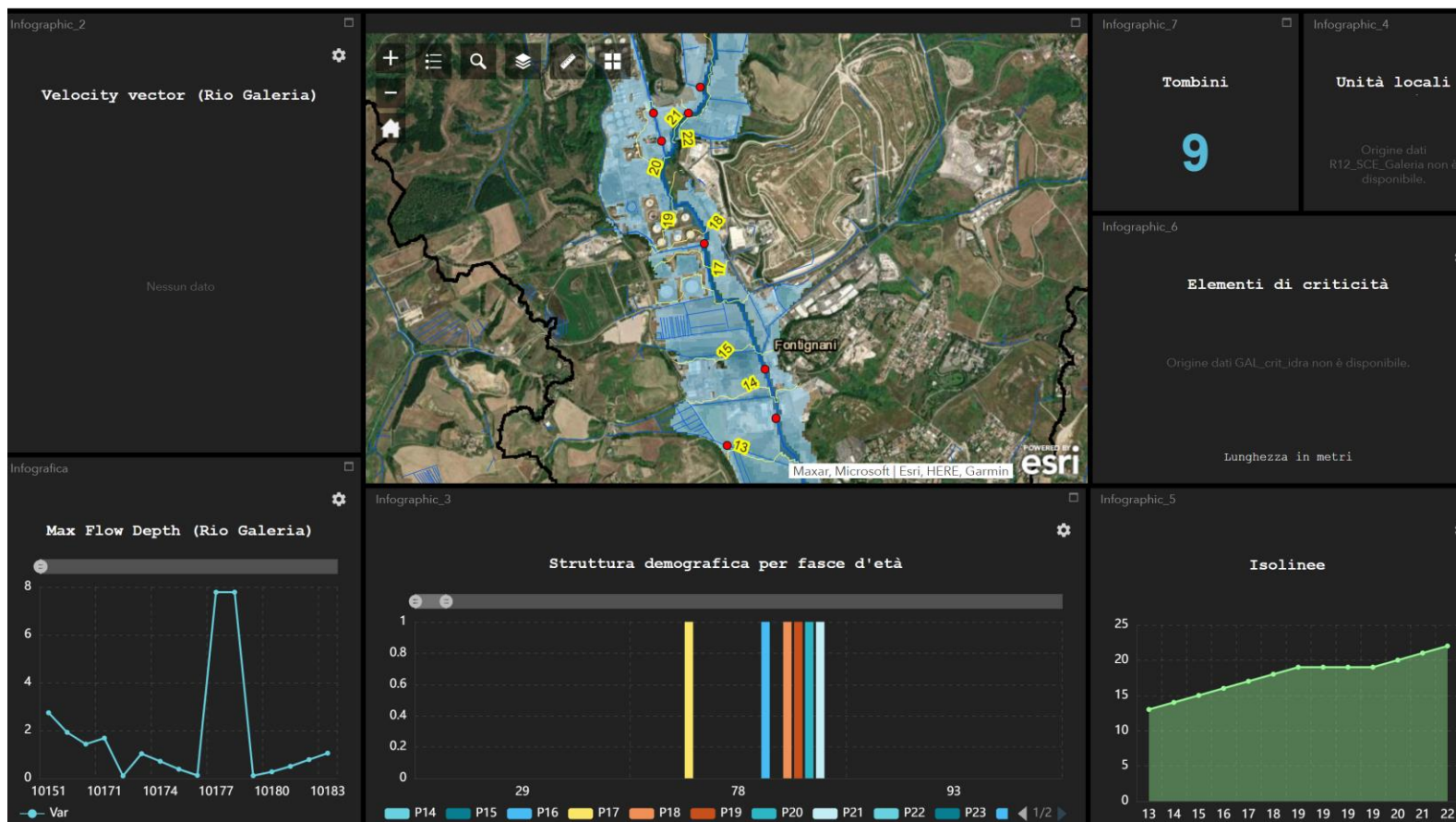


- Dati ufficiali di pericolosità idraulica
- Dati integrativi da analisi geomorfologiche
- Aree allagate perimetrate da satellite

- Dati geotaggati da cittadino (foto/testi)

<https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=70c8bafb28604421ba7e4a9c0079d80e>

Dashboard e sistemi di supporto alle decisioni



App AUBAC Rescue e GFPLAIN: <https://arcg.is/1vLafv0>

App tiranti Galeria CBLN: <https://arcg.is/0WeW9P0>



Sviluppo di tools in ambiente GIS per analisi geomorfometriche e idrologico-idrauliche

Esempi di applicazioni:

- Verifica idraulica delle interferenze nelle infrastrutture viarie
- Modello GFPLAIN di delineazione delle aree a rischio idraulico
- Terrain analysis per identificare aree a potenziale rischio frana

Digital Earth

Next-generation Digital Earth

Michael F. Goodchild^{a,1}, Huadong Guo^b, Alessandro Annoni^c, Ling Bian^d, Kees de Bie^e, Frederick Campbell^f, Max Craglia^g, Manfred Ehlers^h, John van Genderen^e, Davina Jackson^h, Anthony J. Lewisⁱ, Martino Pesaresiⁱ, Gábor Remetey-Fülöpp^j, Richard Simpson^k, Andrew Skidmore^l, Changlin Wang^b, and Peter Woodgate^j

^aDepartment of Geography, University of California, Santa Barbara, CA 93106; ^bCenter for Earth Observation and Digital Earth, Chinese

Acade
Geogr
Obser
^gInstit
Austr
Geo-It
Inform



Search Places or Keywords...



Earth Engine

Edited

A planetary-scale platform for environmental data & analysis

A spei
gener:
of Go
devel
throu
altho
public
elem

Google Earth Engine brings together the world's satellite imagery — trillions of scientific measurements dating back almost 40 years — and makes it available online with tools for scientists, independent researchers, and nations to mine this massive warehouse of data to detect changes, map trends and quantify differences on the Earth's surface. Applications include: detecting deforestation, classifying land cover, estimating forest biomass and carbon, and mapping the world's roadless areas.

To learn more, view [product videos](#) and the Featured Gallery (below). Or visit the [Data Catalog](#) to explore our archive of satellite imagery. Certain features (such as data download) are restricted to members of our trusted tester program.

New! Congratulations to the Landsat program on 40 years of continuous Earth observation! [Learn more...](#)

Featured gallery

We have precomputed a number of interesting datasets using the Earth Engine platform, below. Click on each to learn more and preview the data as a global time-lapse or as a layer in a Google Earth client.



Growth of Las Vegas: Timelapse

Interactive Landsat timelapse of urban expansion and water resources in the Nevada desert.



Amazon Deforestation: Timelapse

Interactive Landsat timelapse of rainforest, 1999-2011.

Satellites, Lidar, Drones, ...
Cameras, Smart phones, ...

PERSPECTIVE

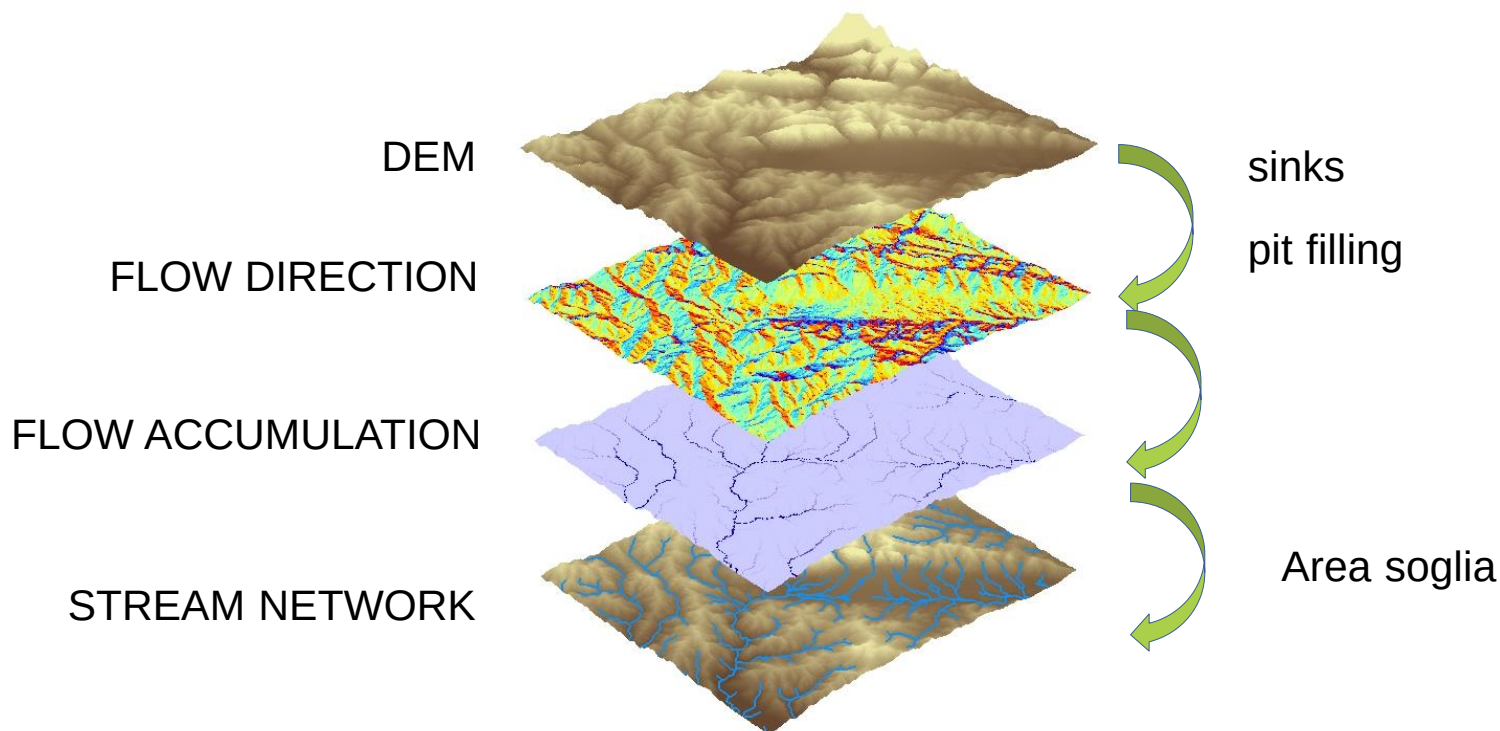




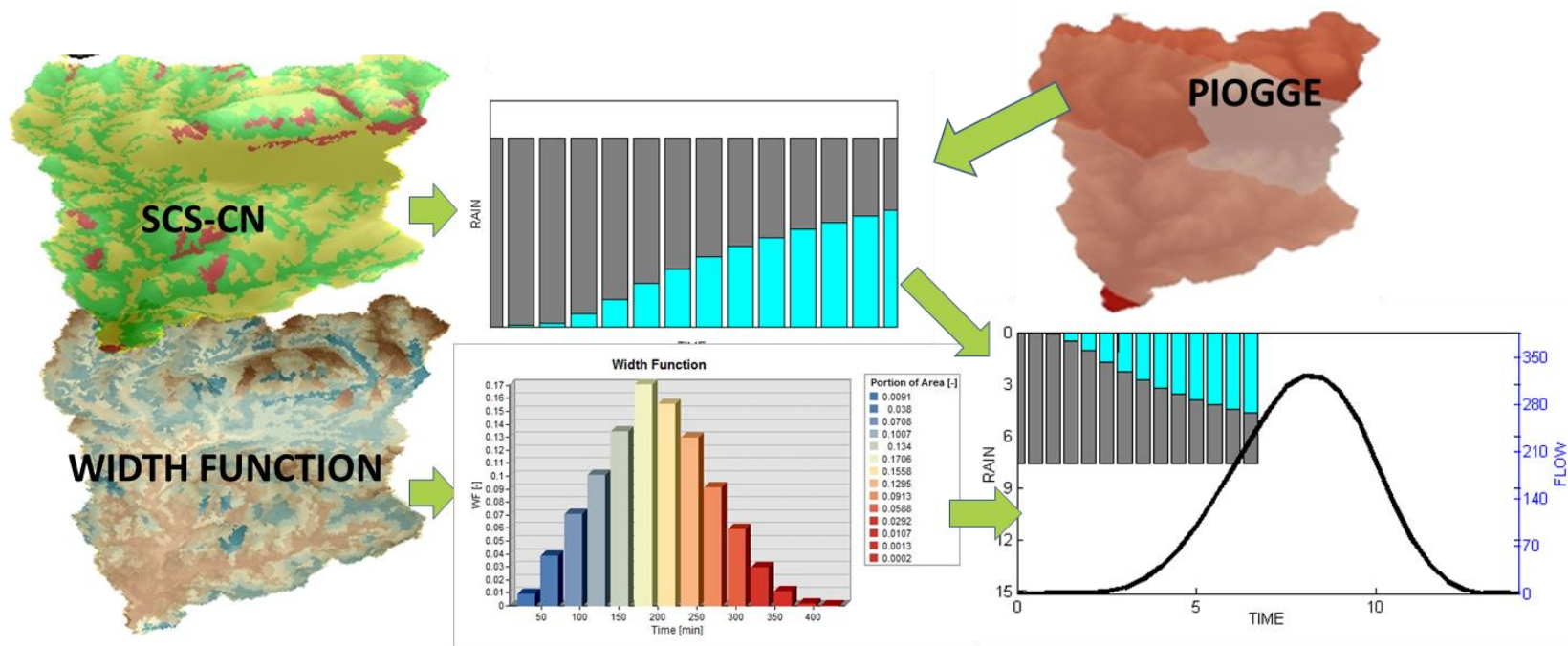
Modello idrologico su base geomorfologica implementato in GIS

Un toolbox in ArcGIS Desktop e Pro per verifica/dimensionamento idrologico a fini di verifiche per il rischio idrogeologico

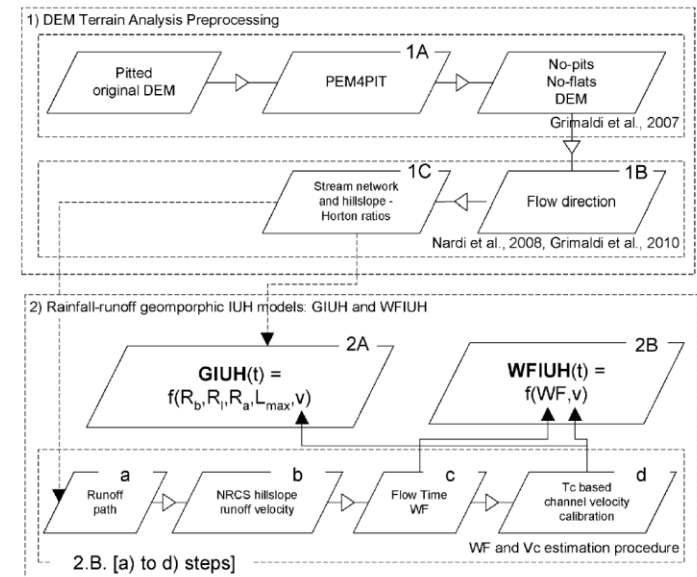
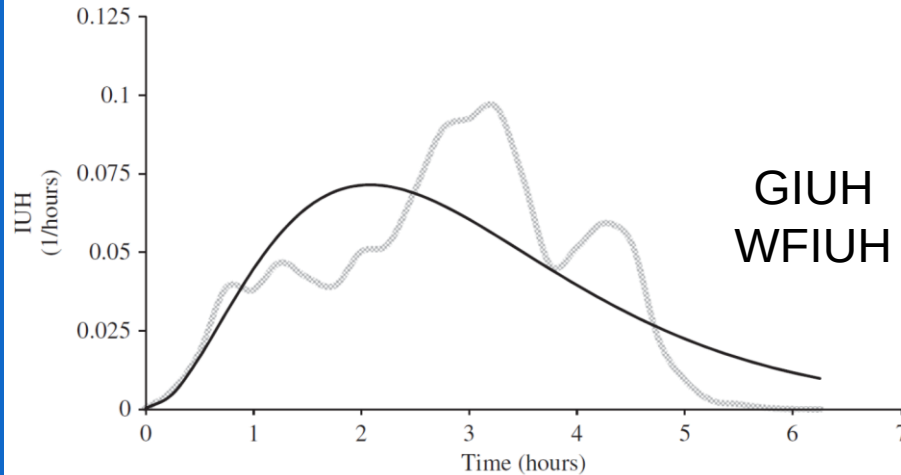
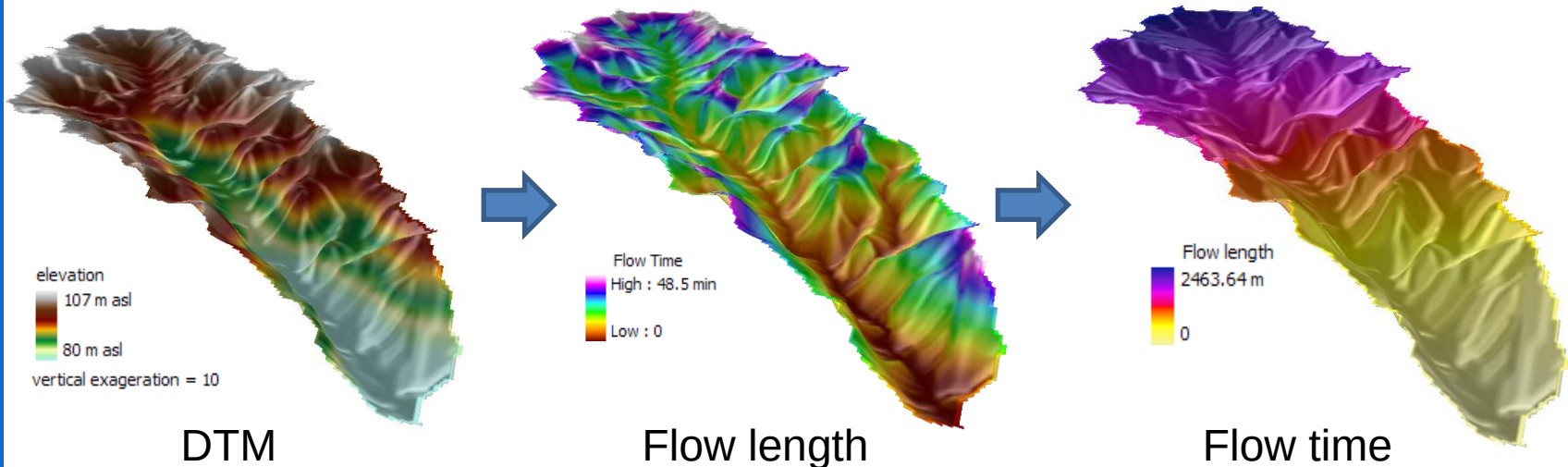
-  Culvert Tools
 -  01 -HYDROBASE
 -  02 -BASINS
 -  03 -HYDROLOGY
 -  04 -CULVERTS VERIFICATION



Modello idrologico su base geomorfologica implementato in GIS



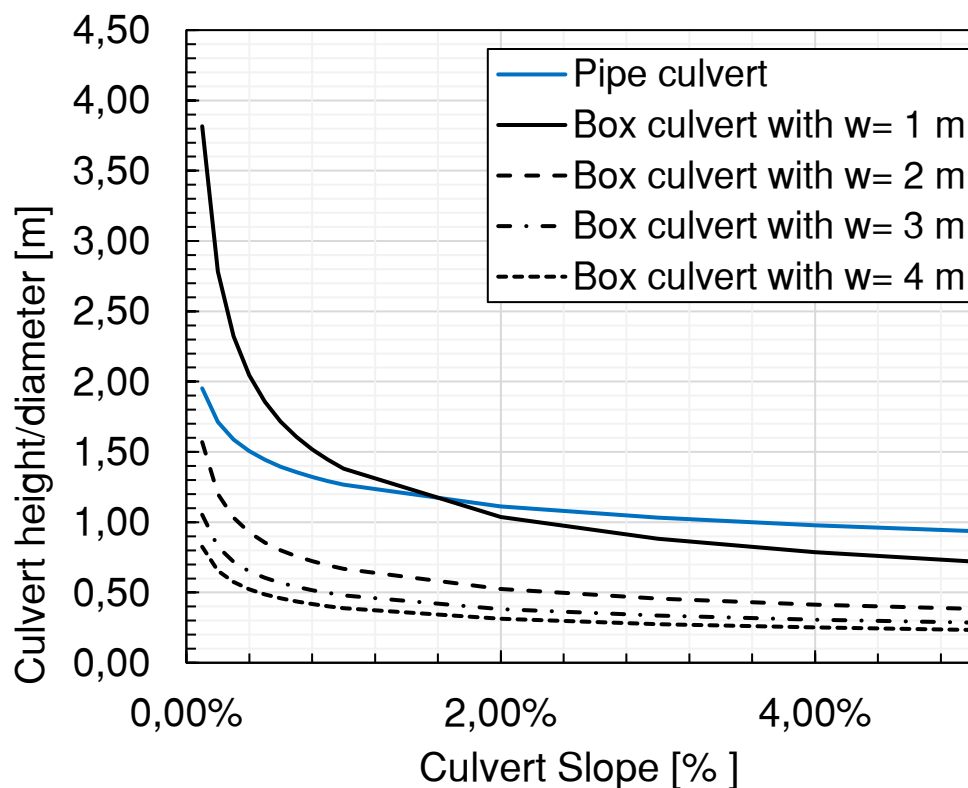
Modello idrologico su base geomorfologica implementato in GIS





Verifica idraulica delle interferenze nelle infrastrutture viarie

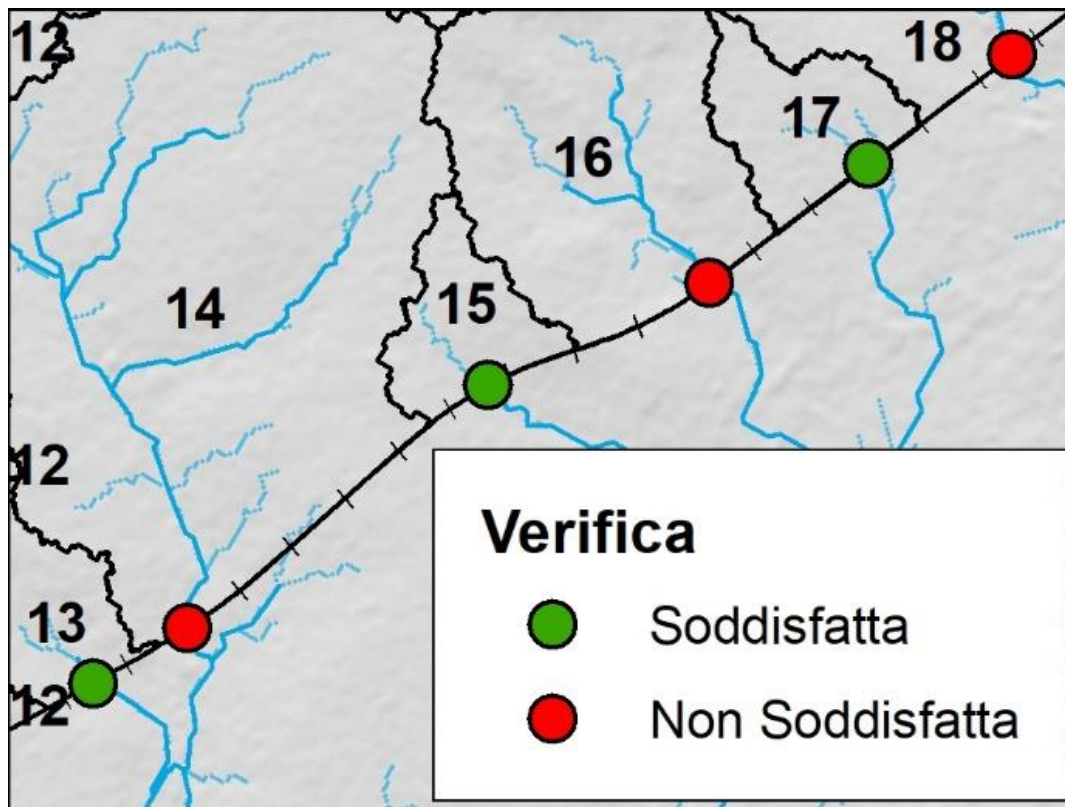
Output



Output del tool:

- Dimensioni minime dei tombini a sezione circolare e rettangolare per diverse configurazioni di pendenza longitudinale in formato tabellare e grafica

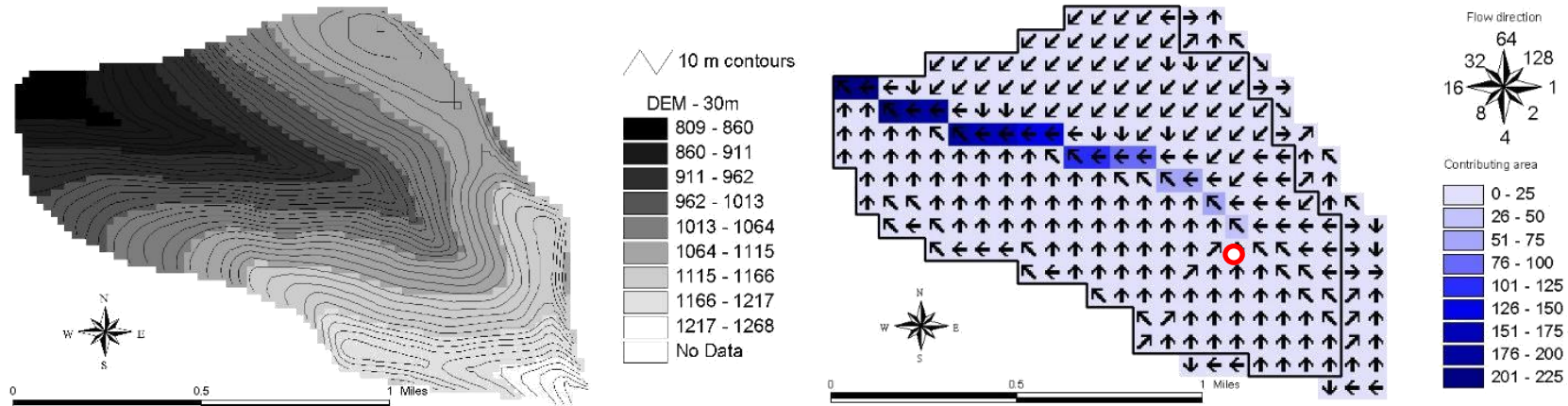
Verifica idraulica delle interferenze nelle infrastrutture viarie



Output del tool:

- Verifica della geometria (se fornita) in input dei tombini esistenti
- Shapefile dei nodi relativi a ciascun attraversamento con i risultati della verifica nella tabella attributi

Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali



Nardi F. (MS thesis, 2000)

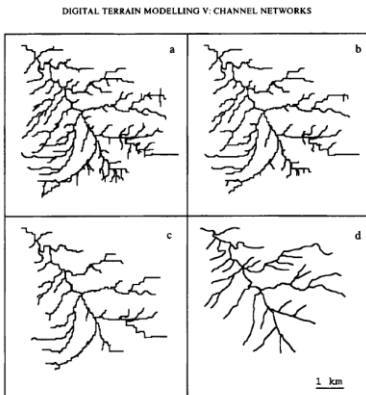


Figure 2. Channel Networks from DEM with varying support area compared to Blue Lines for the W15 dataset: (a) 50 pixels ($D_s = 3.4 \text{ km}^{-1}$), (b) 100 pixels ($D_s = 2.7 \text{ km}^{-1}$), (c) 200 pixels ($D_s = 2.0 \text{ km}^{-1}$), (d) 'Blue Lines' ($D_s = 1.7 \text{ km}^{-1}$)

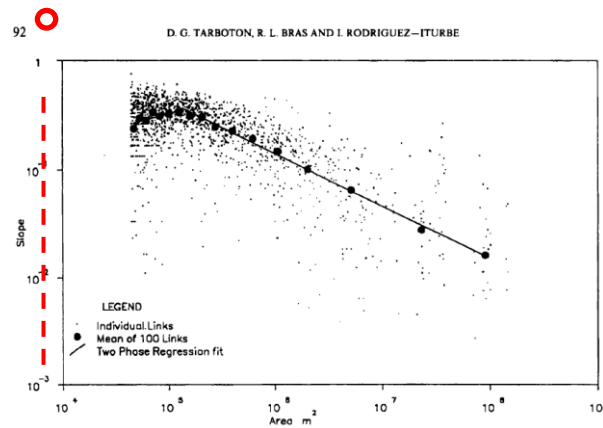
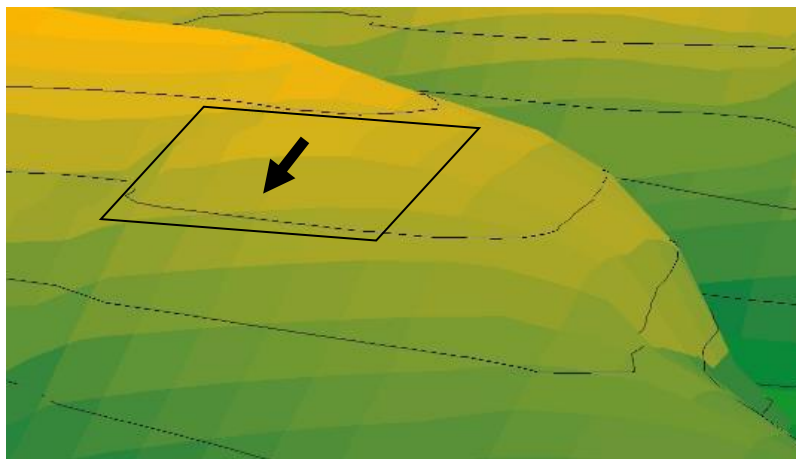
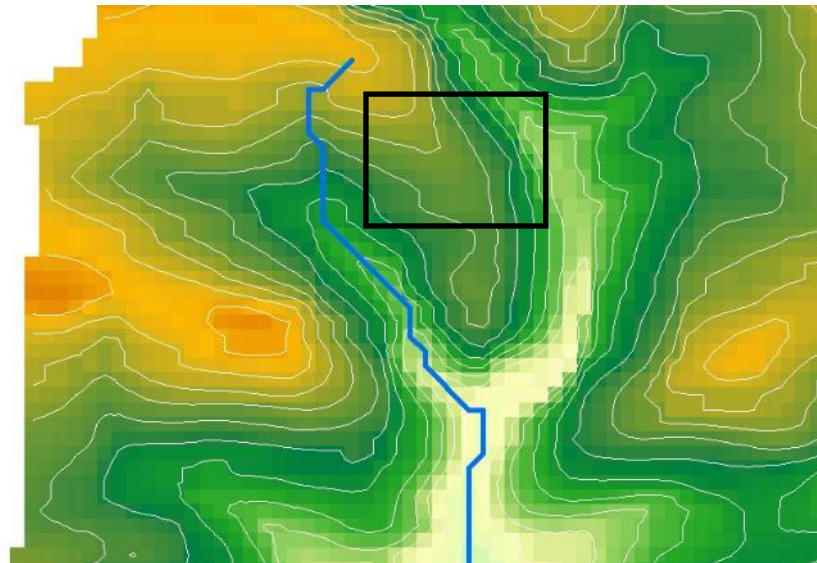
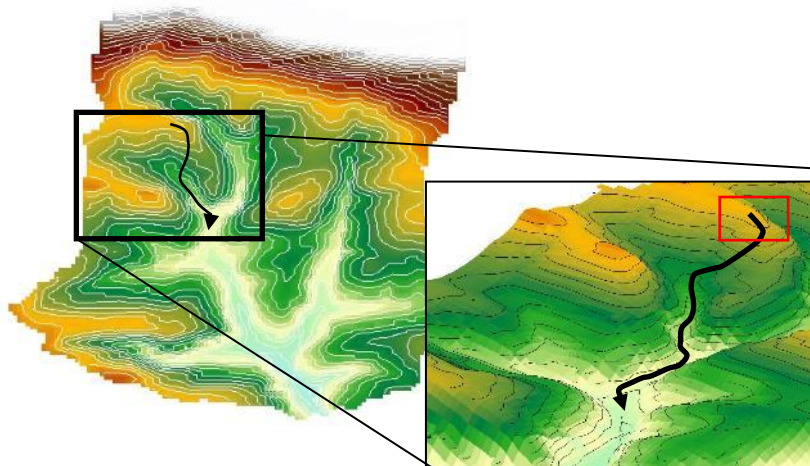


Figure 7. CALD (Big Creek, Idaho) Link slopes with support area of 50 pixels used to extract network

Filling sinks
Flow direction
Contributing
area
Watershed
Stream
Network

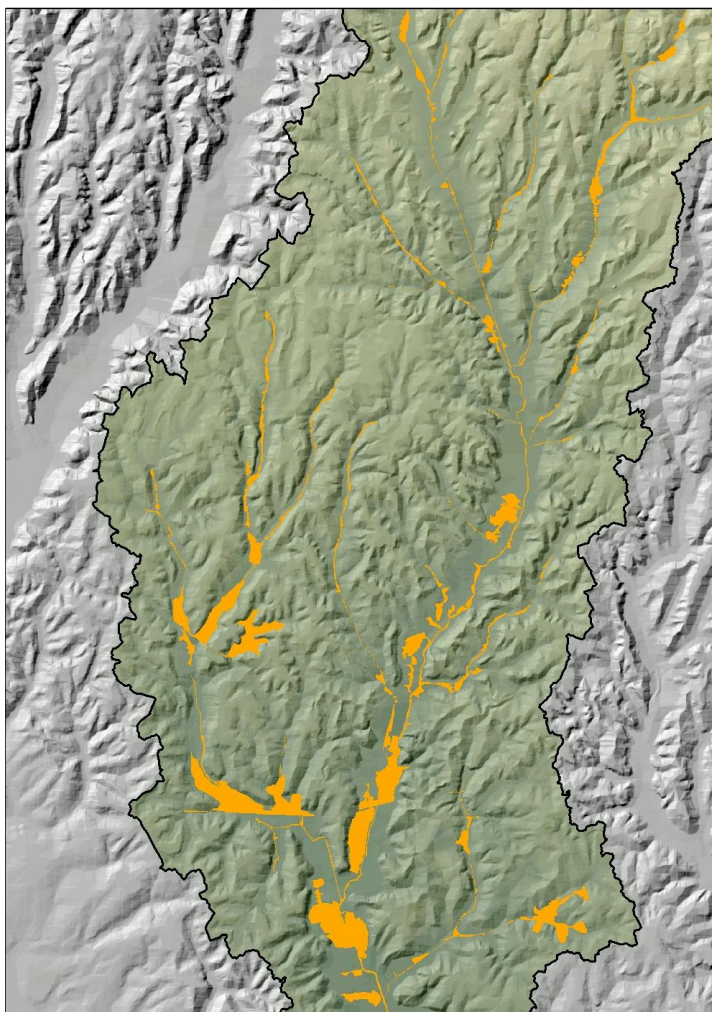


Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

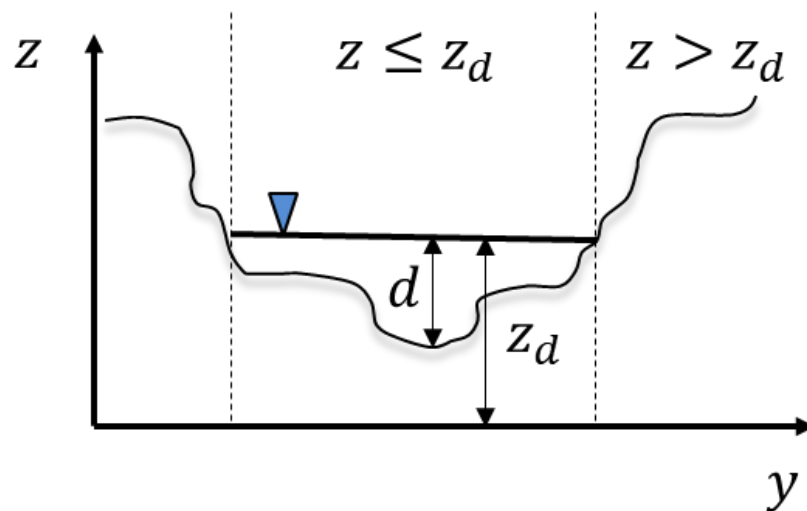


One major governing principle:
Water flows along the
steepest slope

Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali



Nardi et al., 2006 WRR



$$d = a \cdot A_c^b \quad \text{Leopold law}$$

A_c = Area
contribuente

Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

EurekaAlert!
The Global Source for Science News

AAAS

HOME NEWS MULTIMEDIA MEETINGS PORTALS ABOUT

PUBLIC RELEASE: 15-JAN-2019

Researchers develop new zoning tool that provides global topographic datasets in minutes

ARIZONA STATE UNIVERSITY



PRINT E-MAIL

Fluvial landscapes and the availability of water are of paramount importance for human safety and socioeconomic growth. Hydrologists know that identifying the boundaries of floodplains is often the first crucial step for any urban development or environmental protection plan.



Floodplain zoning is usually p
using complex hydrodynamic

scientific data

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [scientific data](#) > [data descriptors](#) > article

Data Descriptor | [Open access](#) | Published: 15 January 2019

GFPLAIN250m, a global high-resolution dataset of Earth's floodplains

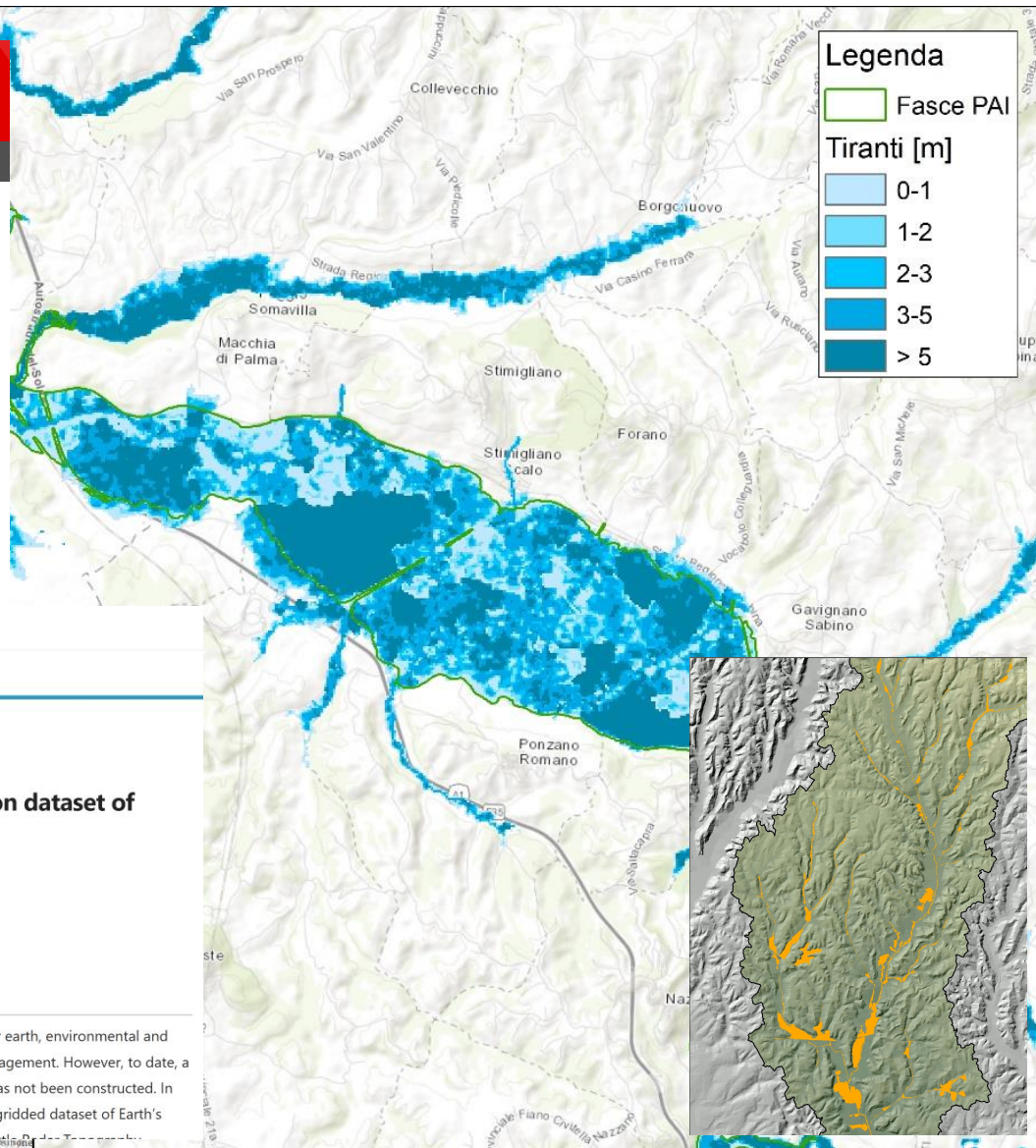
[F. Nardi](#), [A. Annis](#), [G. Di Baldassarre](#), [E. R. Vivoni](#) & [S. Grimaldi](#)

[Scientific Data](#) 6, Article number: 180309 (2019) | [Cite this article](#)

18k Accesses | 92 Citations | 189 Altmetric | [Metrics](#)

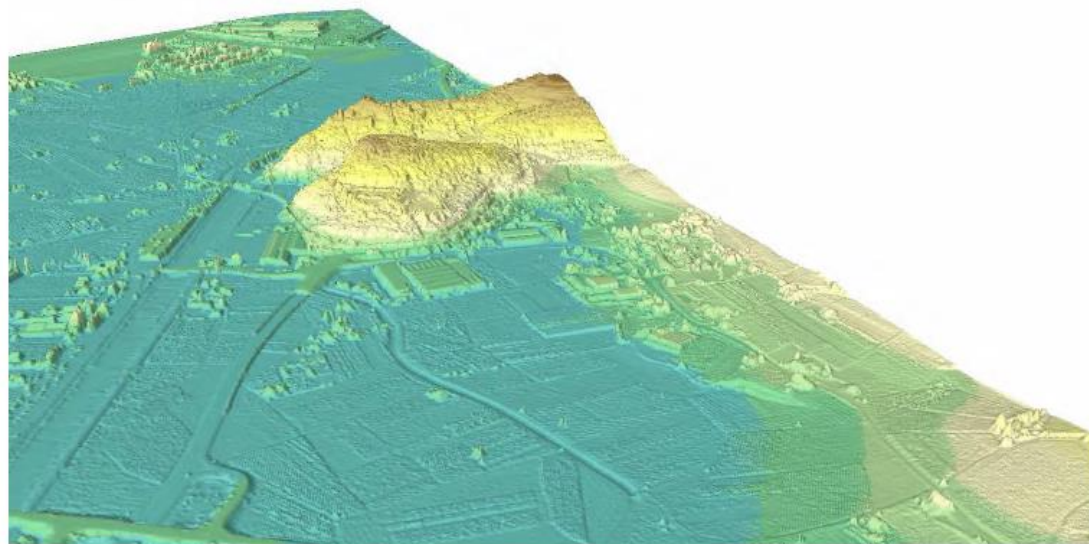
Abstract

Identifying floodplain boundaries is of paramount importance for earth, environmental and socioeconomic studies addressing riverine risk and resource management. However, to date, a global floodplain delineation using a homogeneous procedure has not been constructed. In this paper, we present the first, comprehensive, high-resolution, gridded dataset of Earth's floodplains at 250-m resolution (GFPLAIN250m). We use the Shuttle Radar Topographic



Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

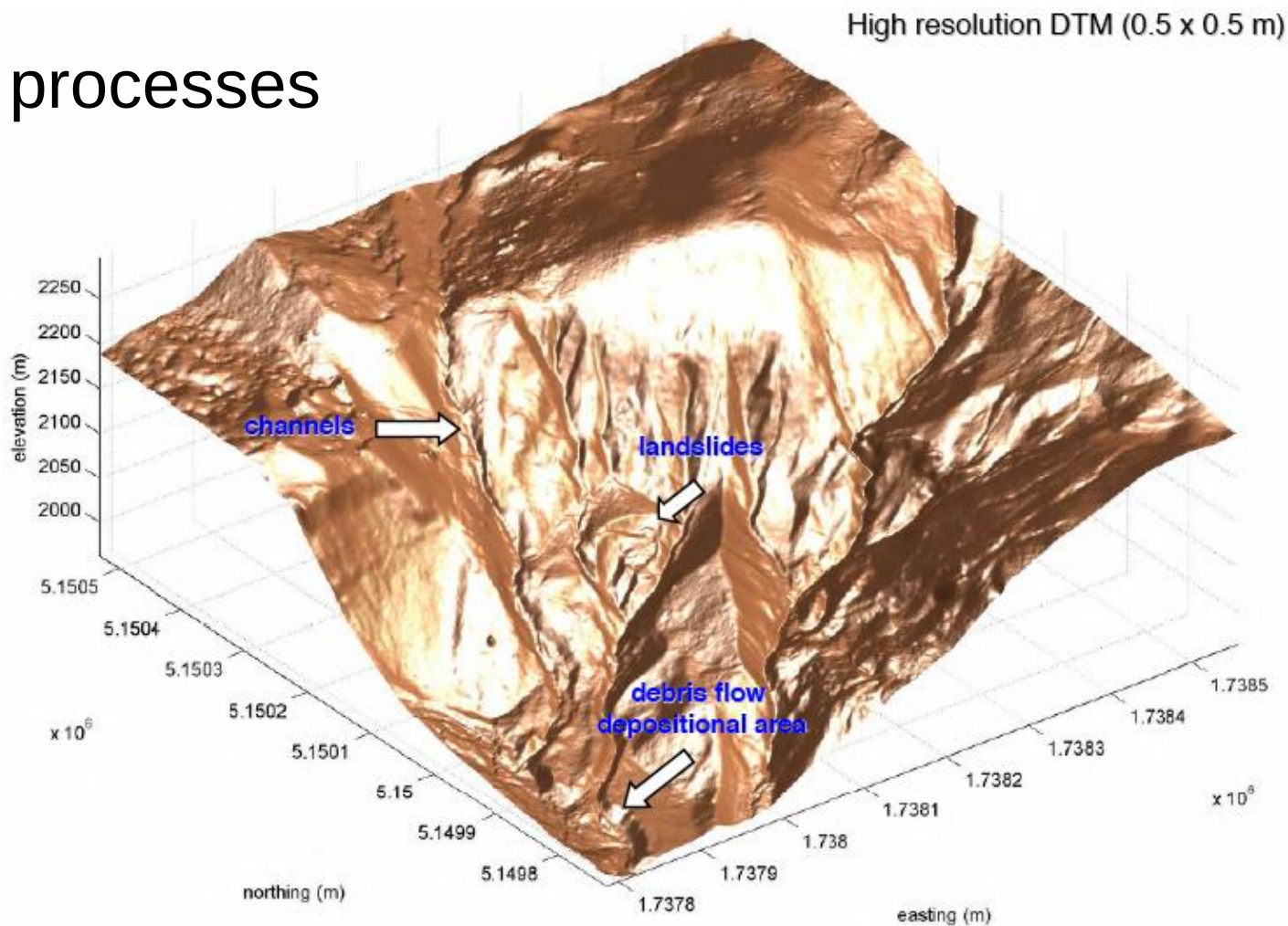
Observing urban
and natural features...





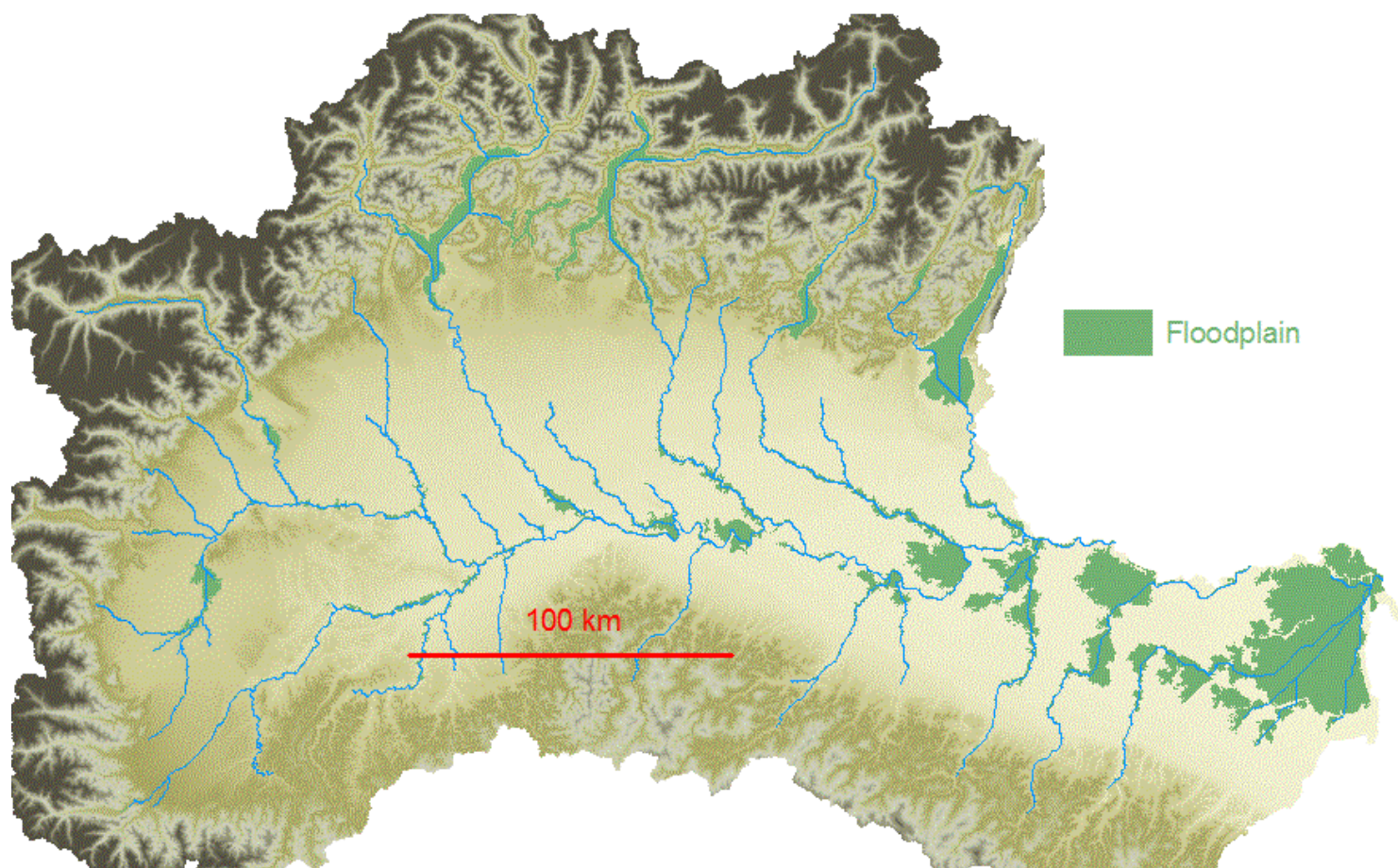
Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

...and processes



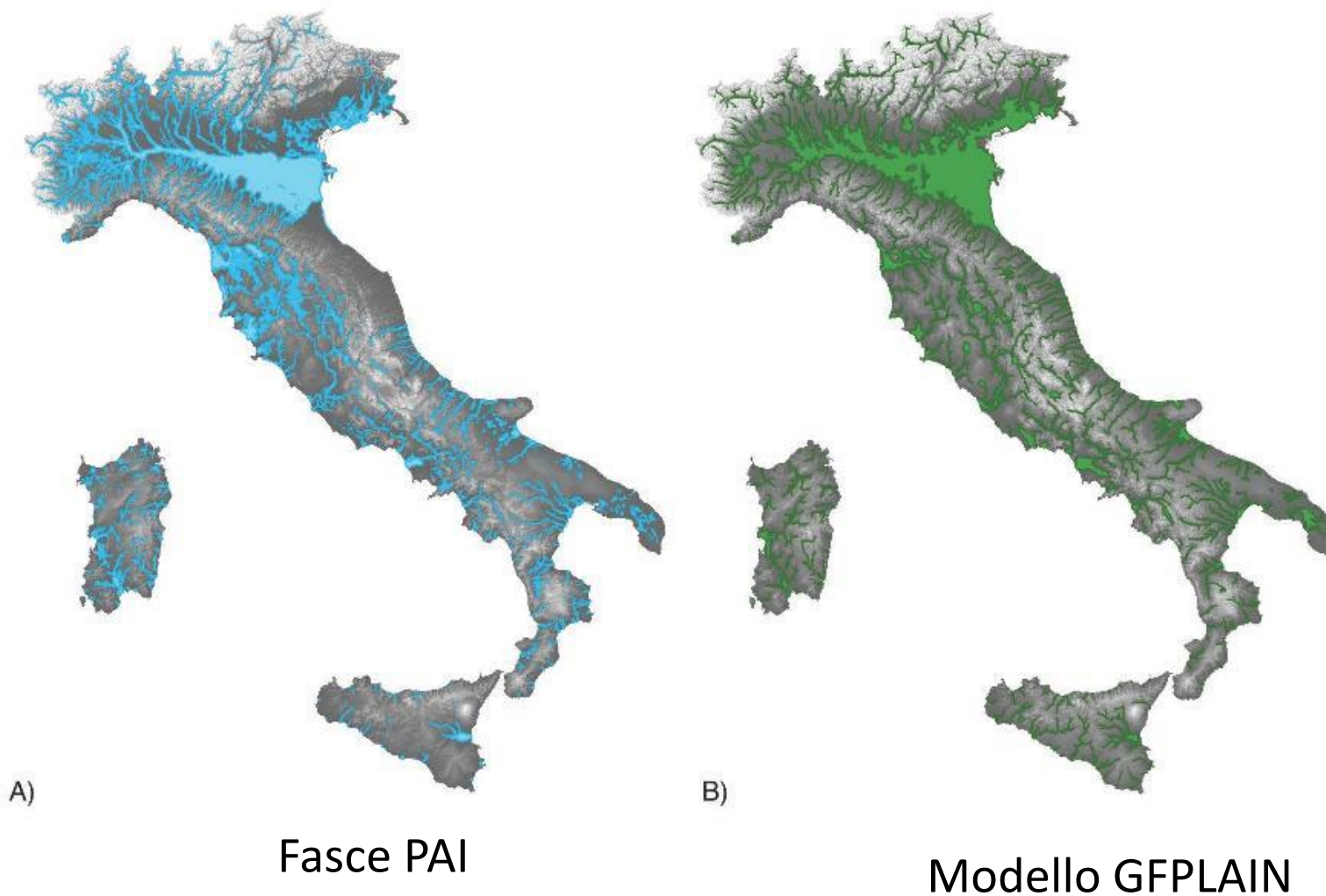


Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali





Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

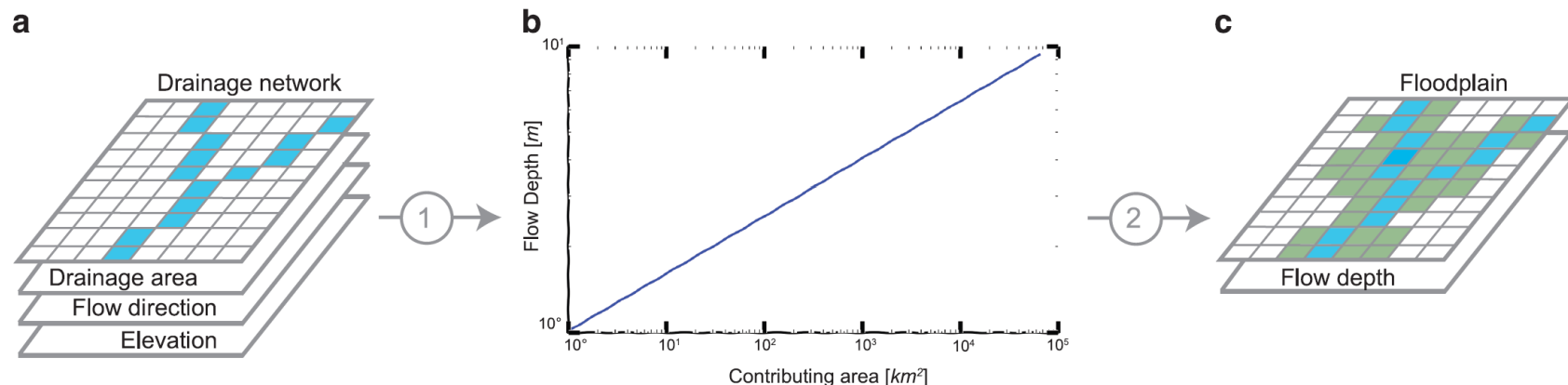


Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

GFPLAIN algorithm is a **fast and easy to use python script** supporting **continental floodplain zoning in minutes**

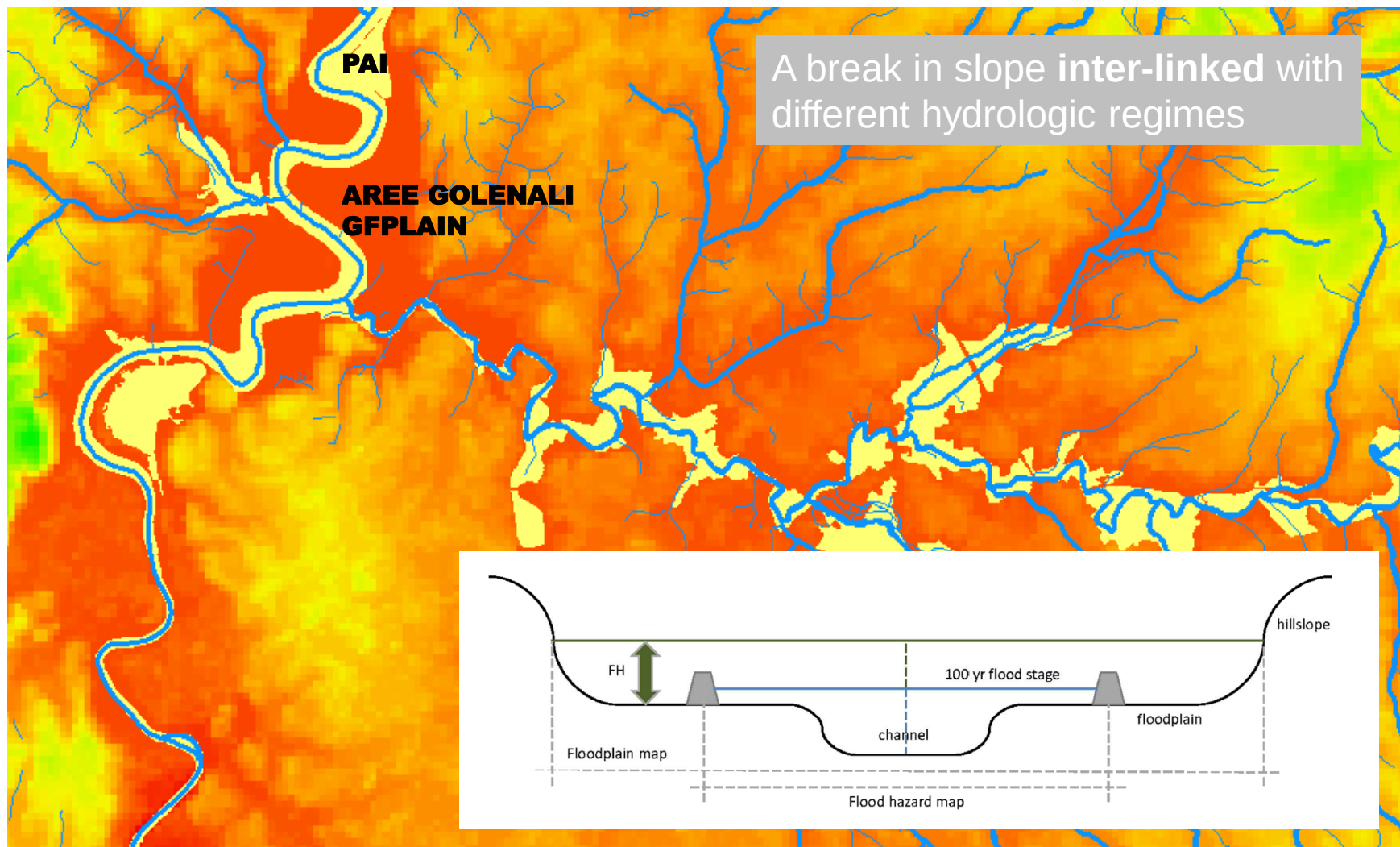
A **proximity to river analysis** is developed by the GFPLAIN algorithm for identifying fluvial corridors associated to maximum **flow level h / energy E** power law ($h/E \propto A$) with contributing area A as scaling factor

<https://github.com/fnardi/GFPLAIN>



Nardi et al., Scientific Data, 2019

Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

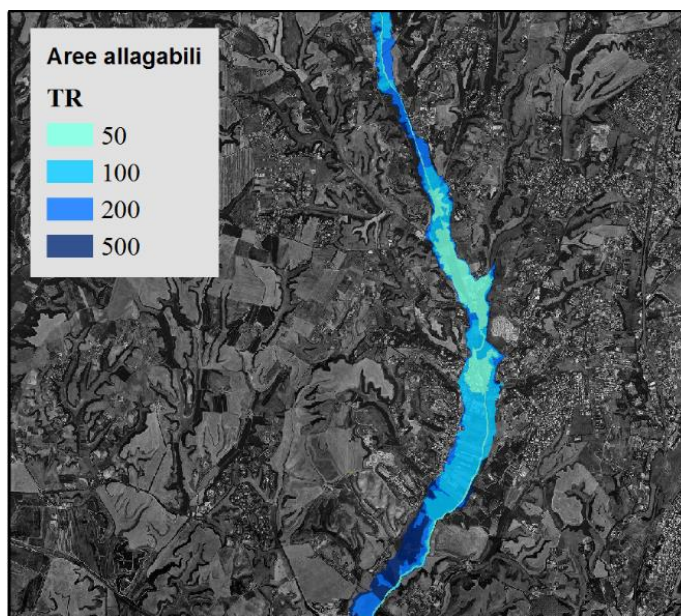




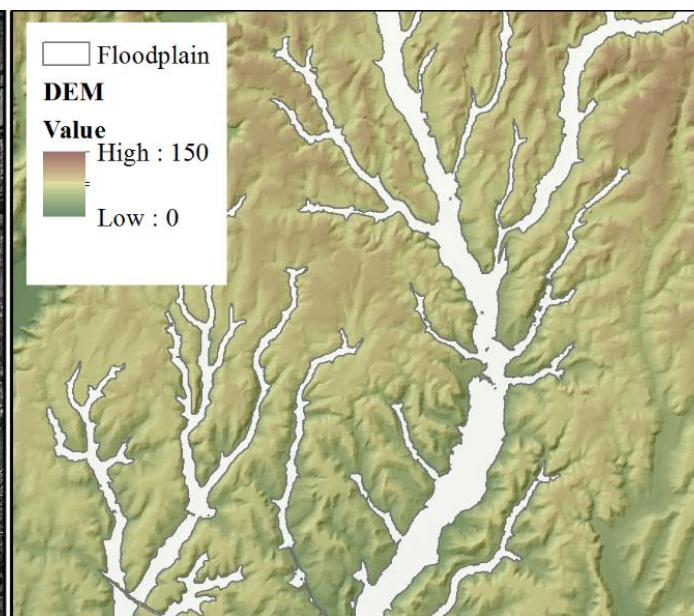
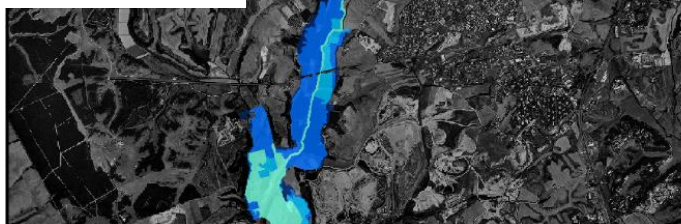
Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

Flood hazard map

Geomorphic floodplain map



Event based



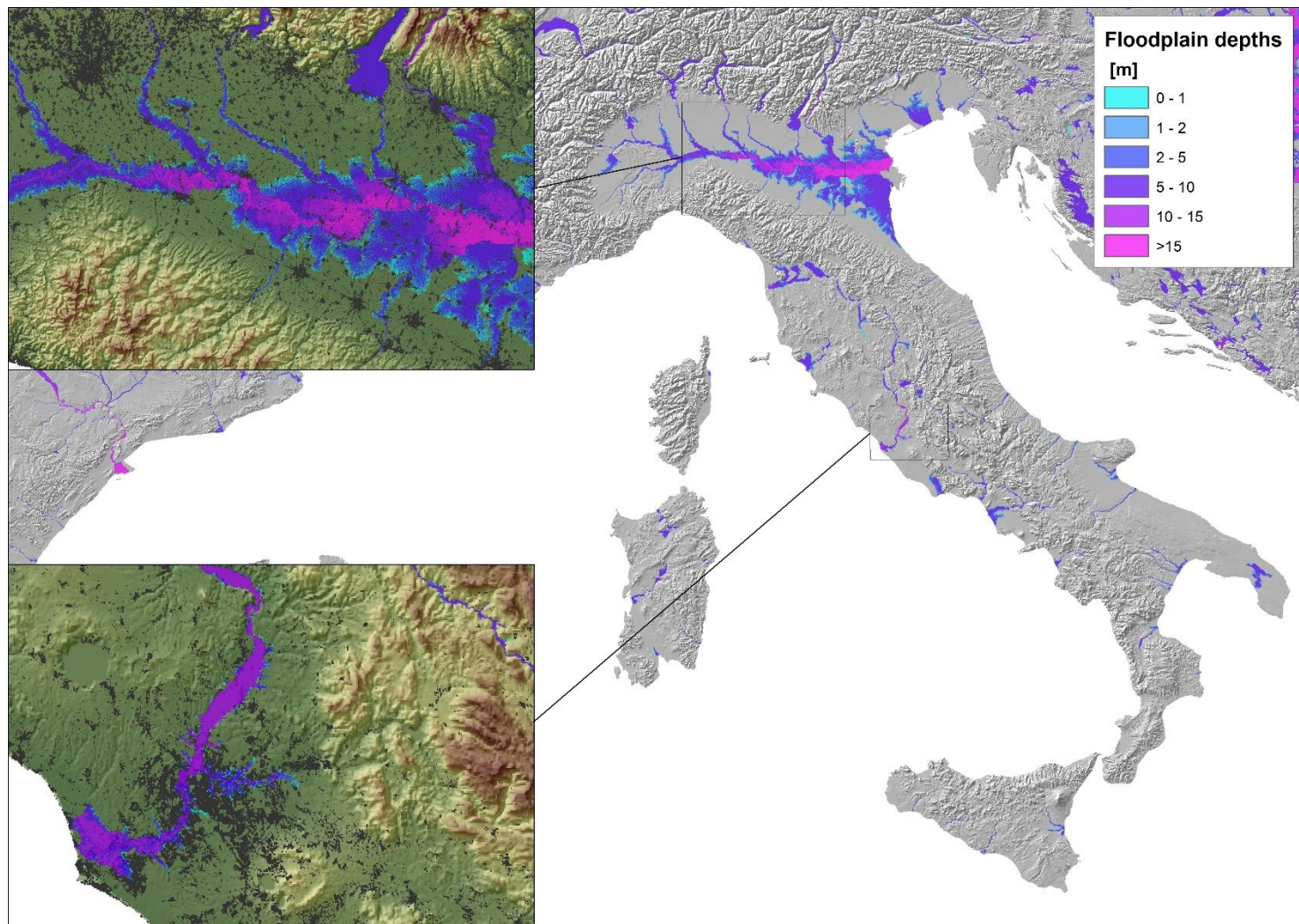
DTM based



A different paradigm of geomorphic floodplain delineation produces **consistent** flood-prone area zoning results that can be used as **surrogate/complementary** information

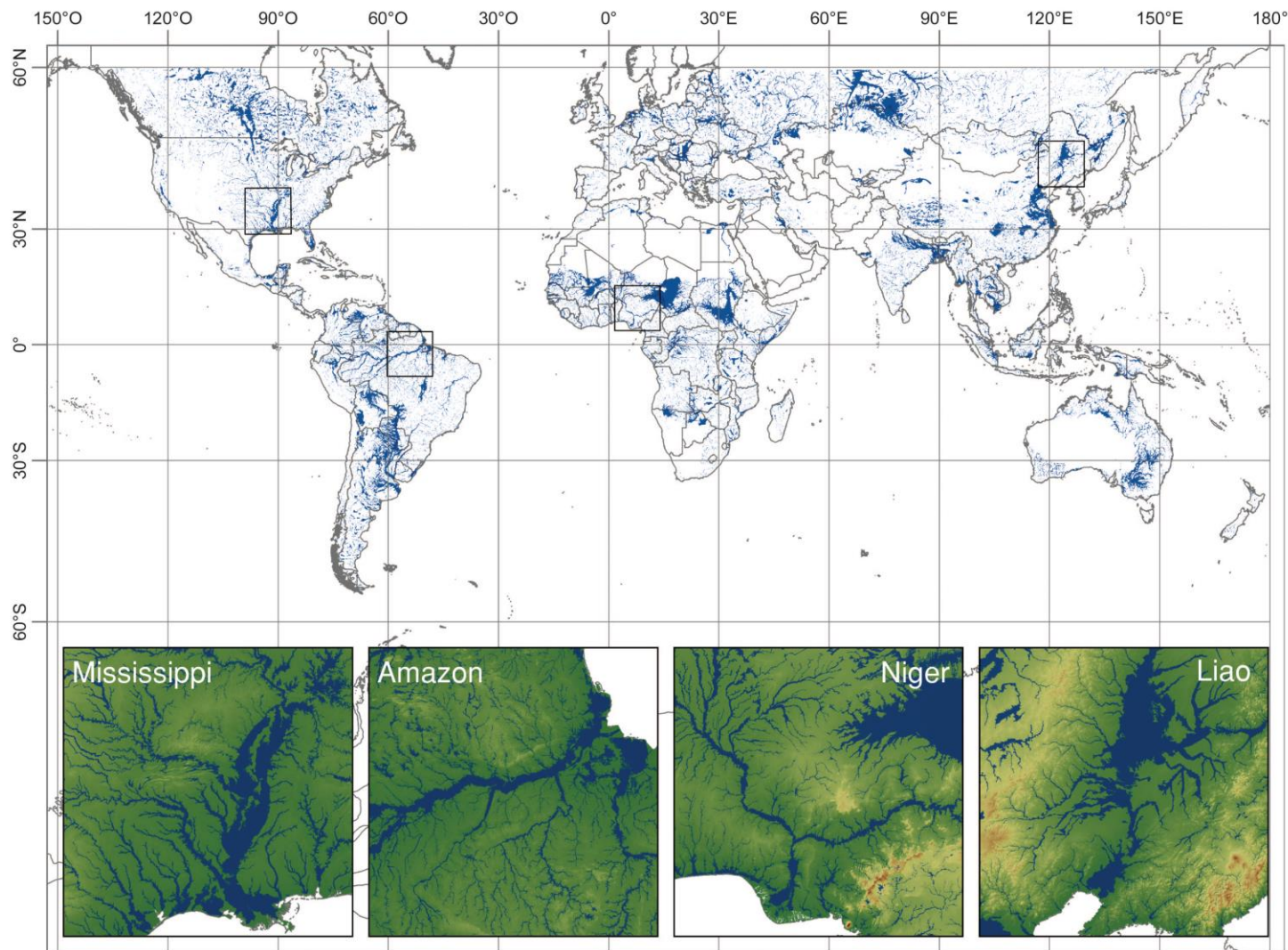
Fernando Nardi

Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali

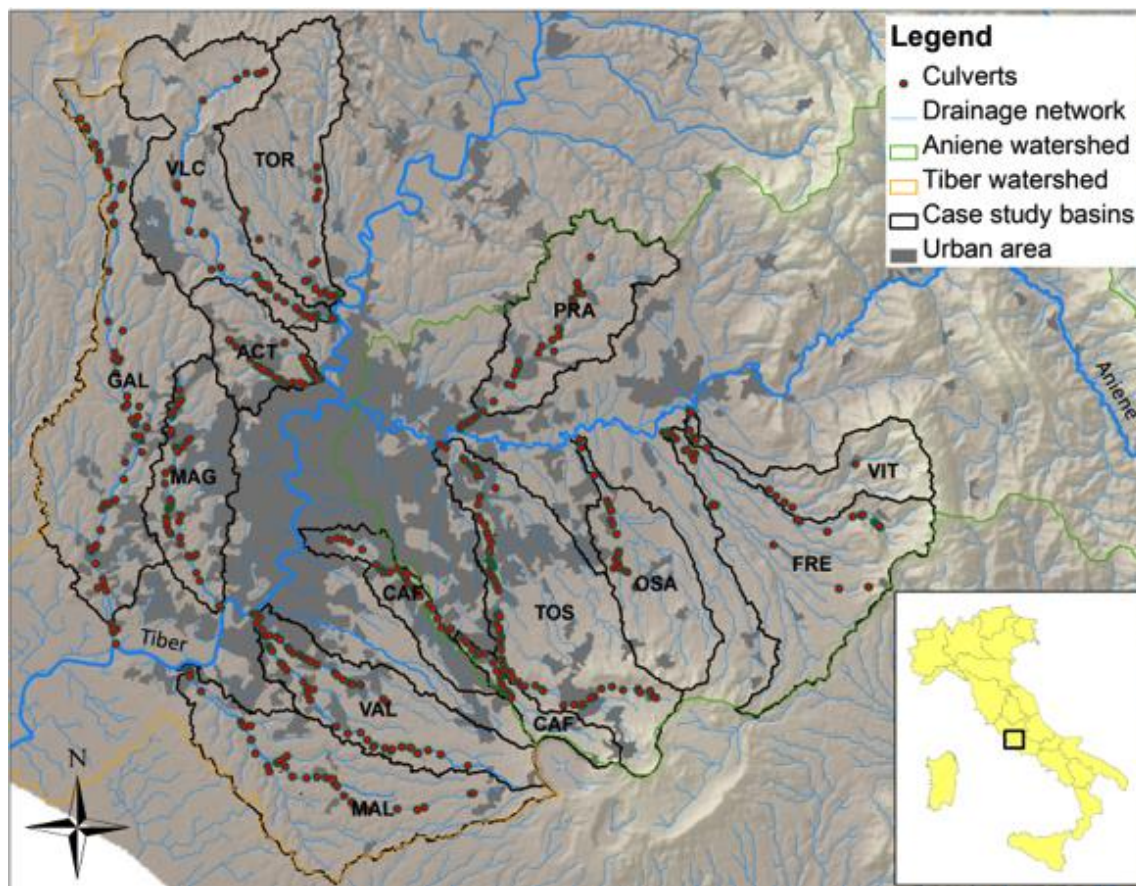




Modello GFPLAIN di delineazione delle aree golenali



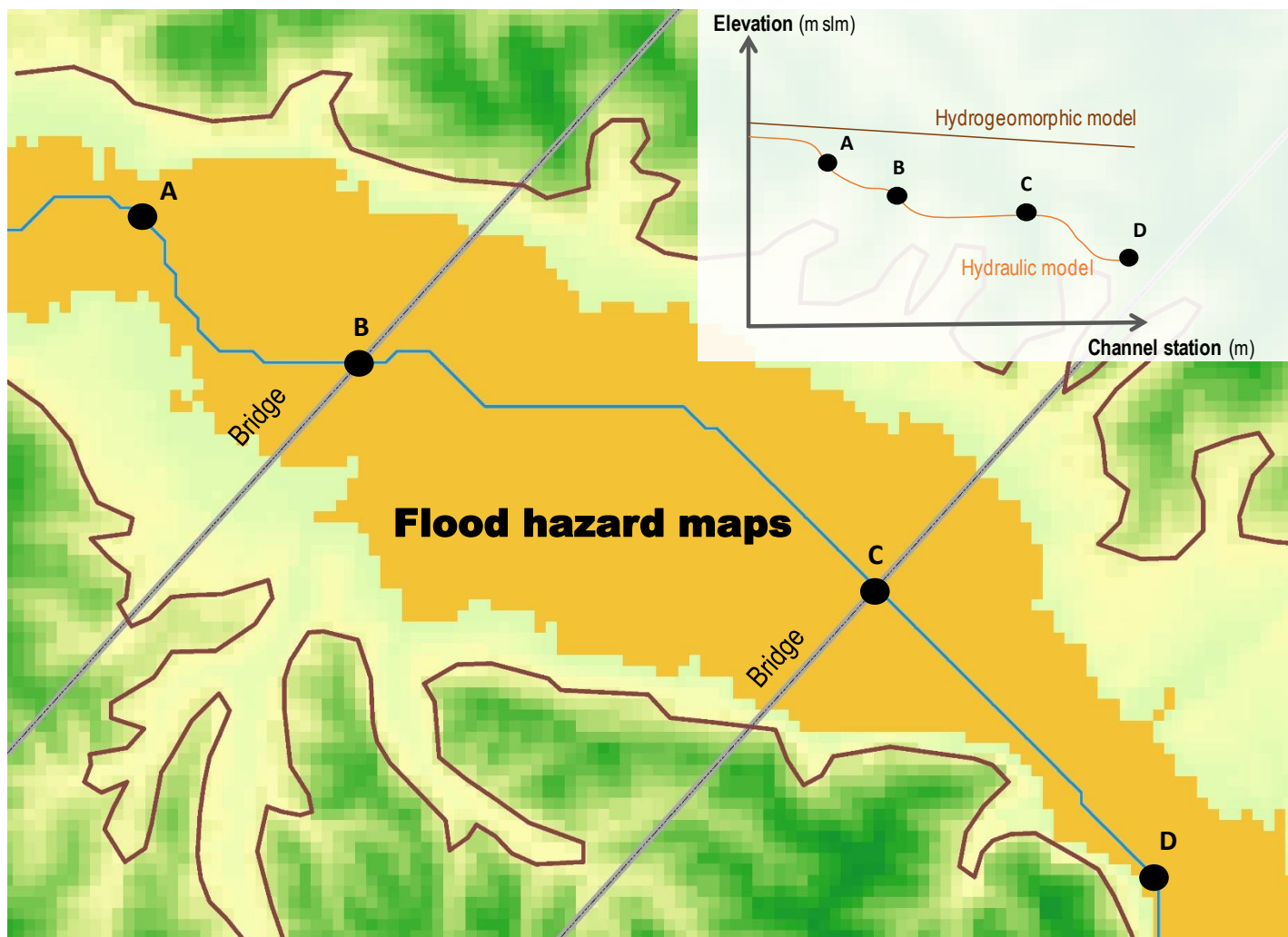
Modello GFPLAIN per individuazione di hotspot da rischio idrogeologico



220 km of simulated river channels with an average bridge/culvert inter-distance of 300-400m

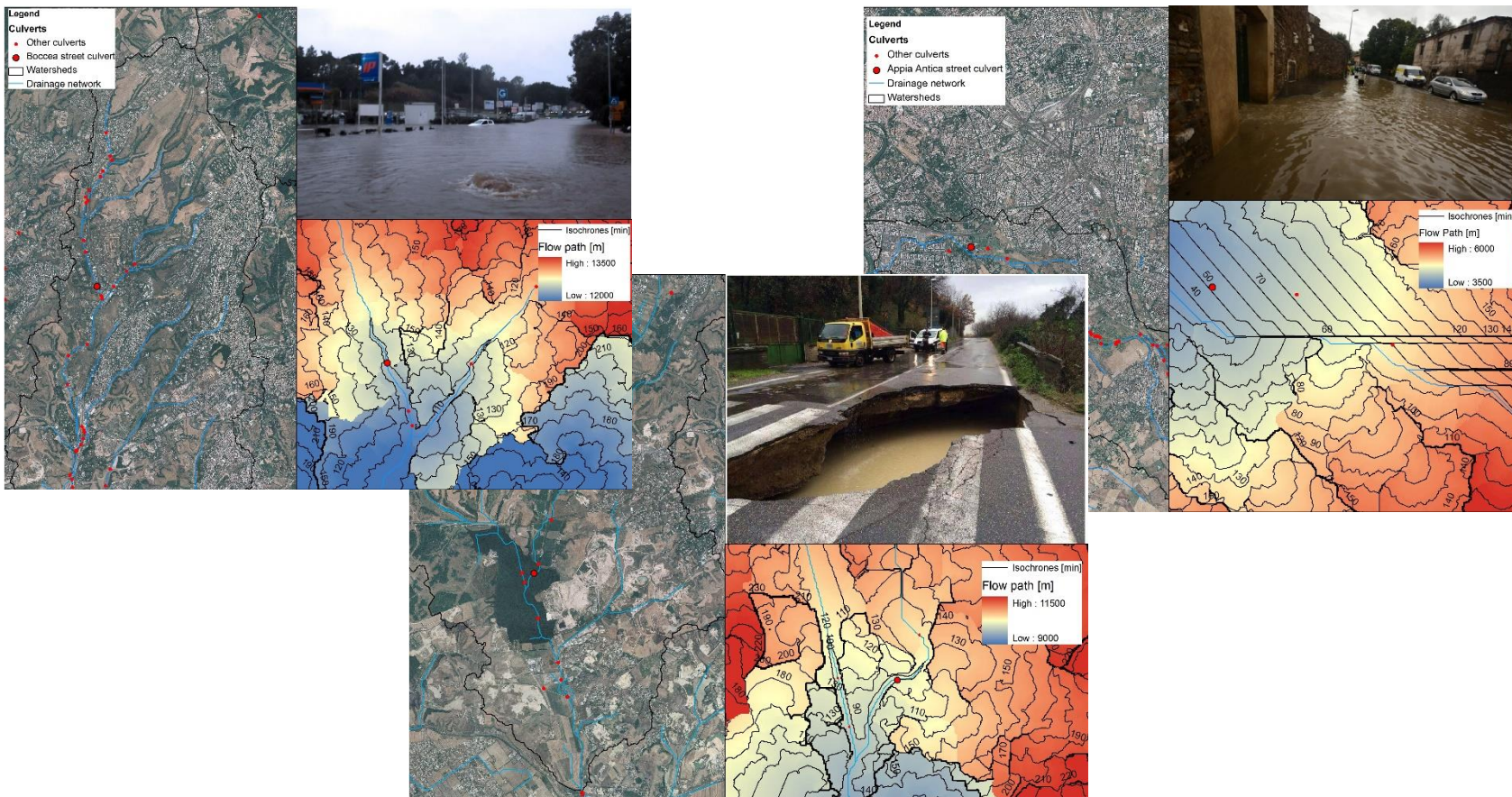
Nardi et al., JFRM, 2018

Modello GFPLAIN per individuazione di hotspot da rischio idrogeologico



Nardi et al., JFRM, 2018

Modello GFPLAIN per individuazione di hotspot da rischio idrogeologico

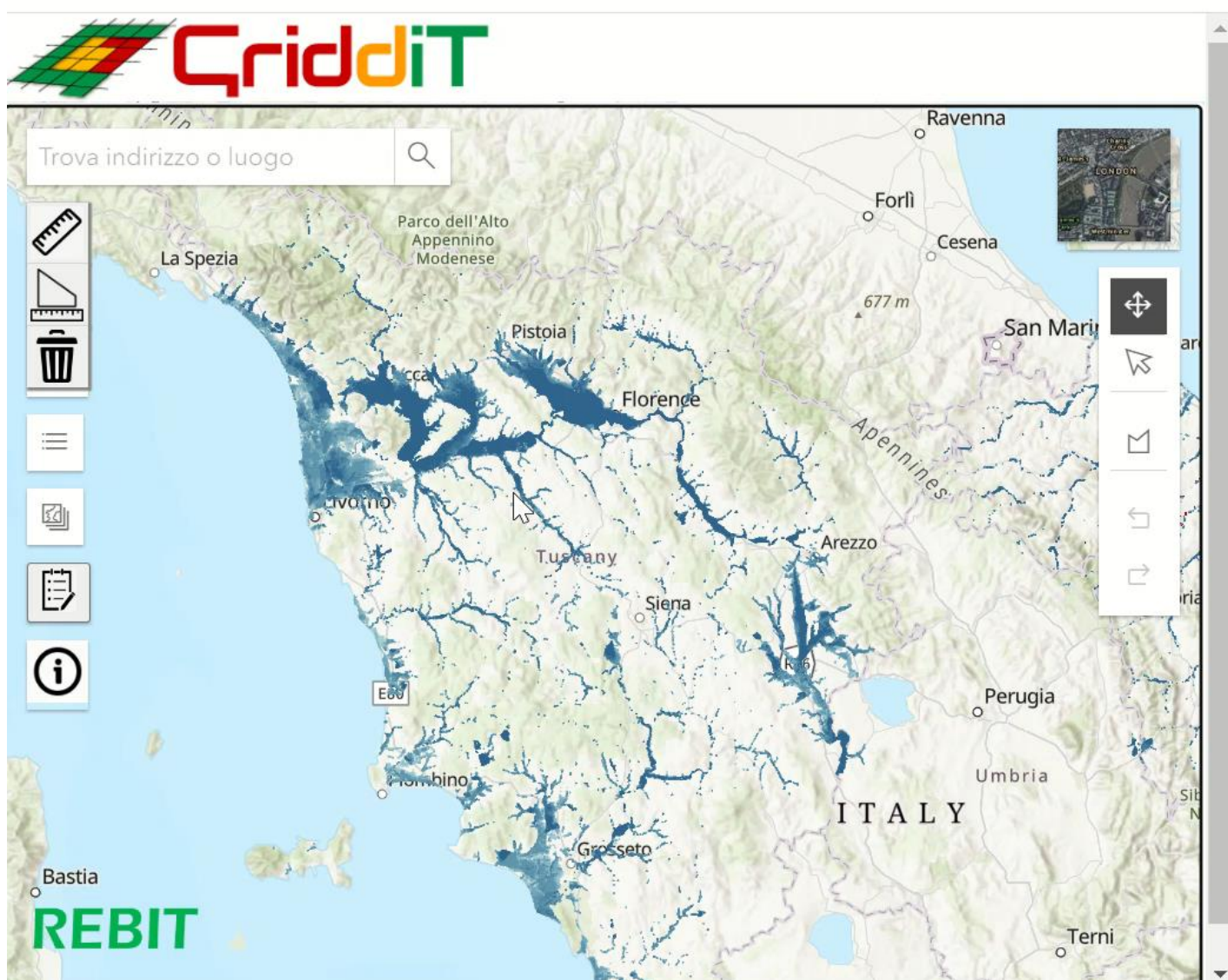




La piattaforma REBIT

- **Prodotto web** per la valutazione del **rischio idrogeologico** del suo impatto sul territorio su larga scala (**nazionale e globale**)
- Utilizzo di **dati satellitari** e di algoritmi sviluppati in 15+ anni di ricerca
- Utenti: **Assicurazioni, gestori di infrastrutture, enti di gestione del territorio** (e.s. Autorità di bacino distrettuali)

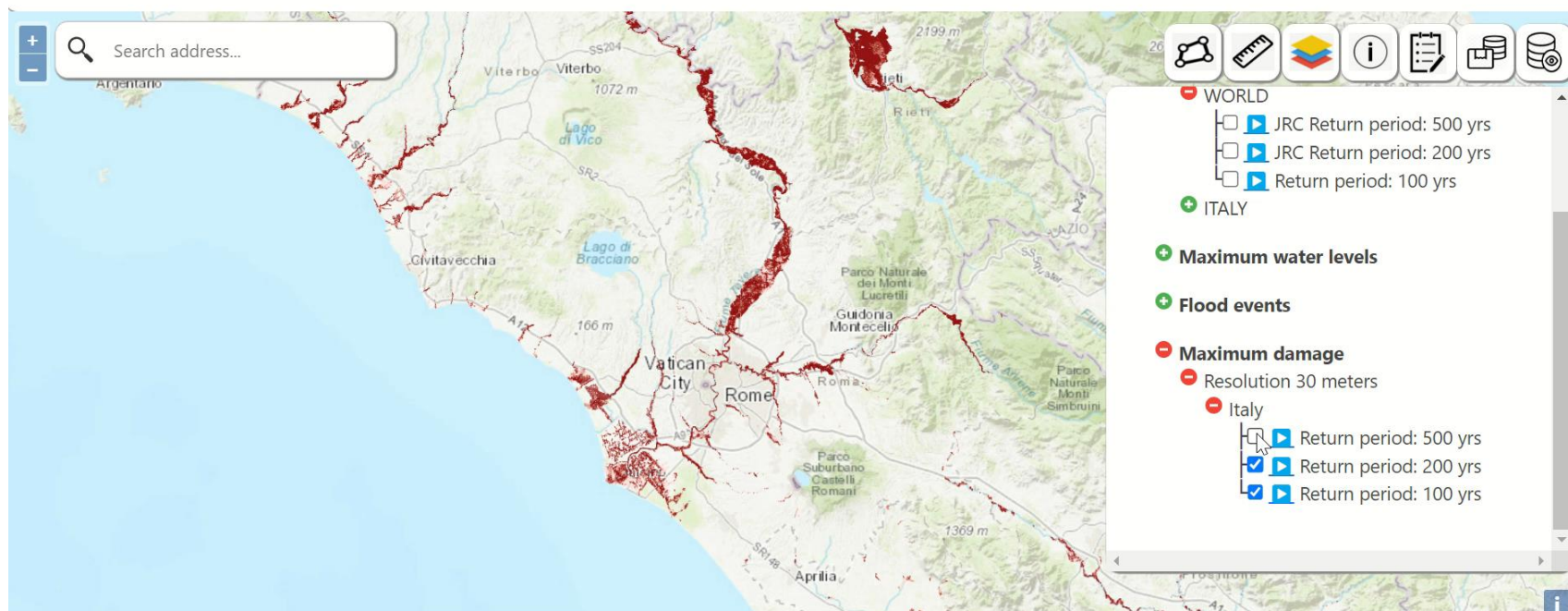
La piattaforma REBIT dalla scala regionale....



Fernando Nardi

La piattaforma REBIT dalla scala regionale....

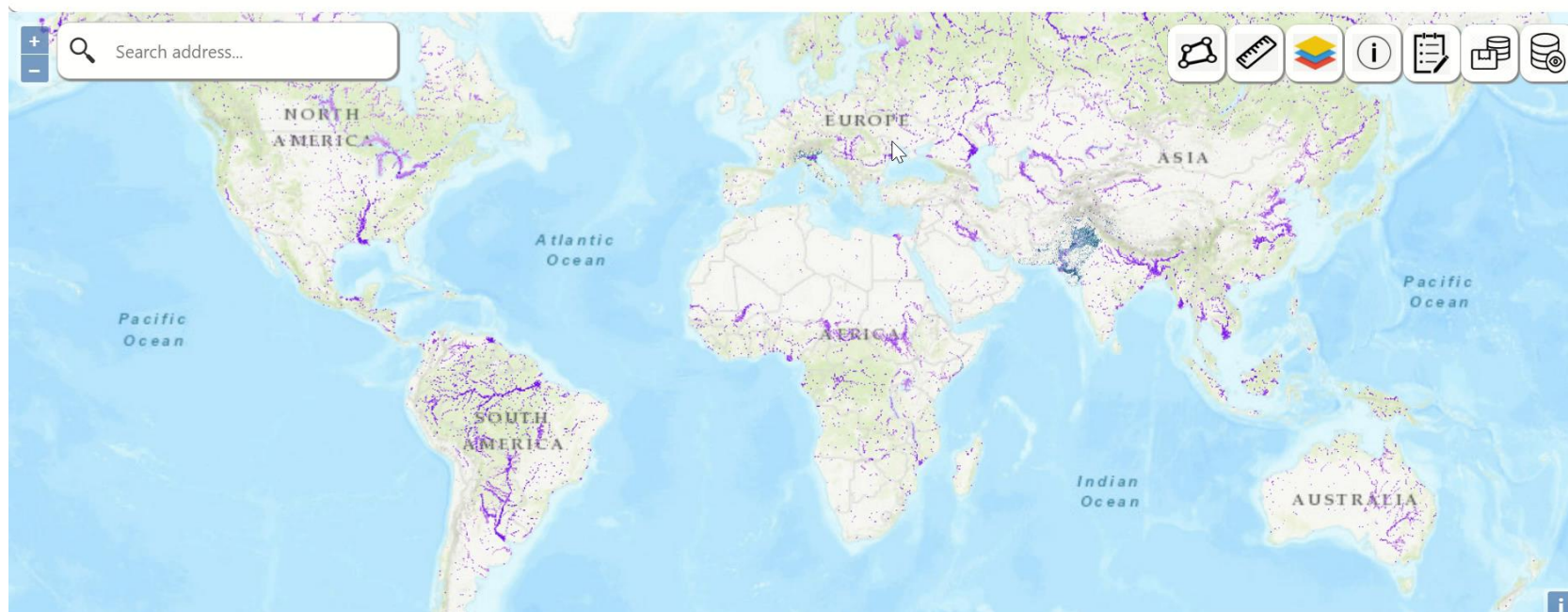
REBIT FLOOD





...alla scala globale

REBIT FLOOD

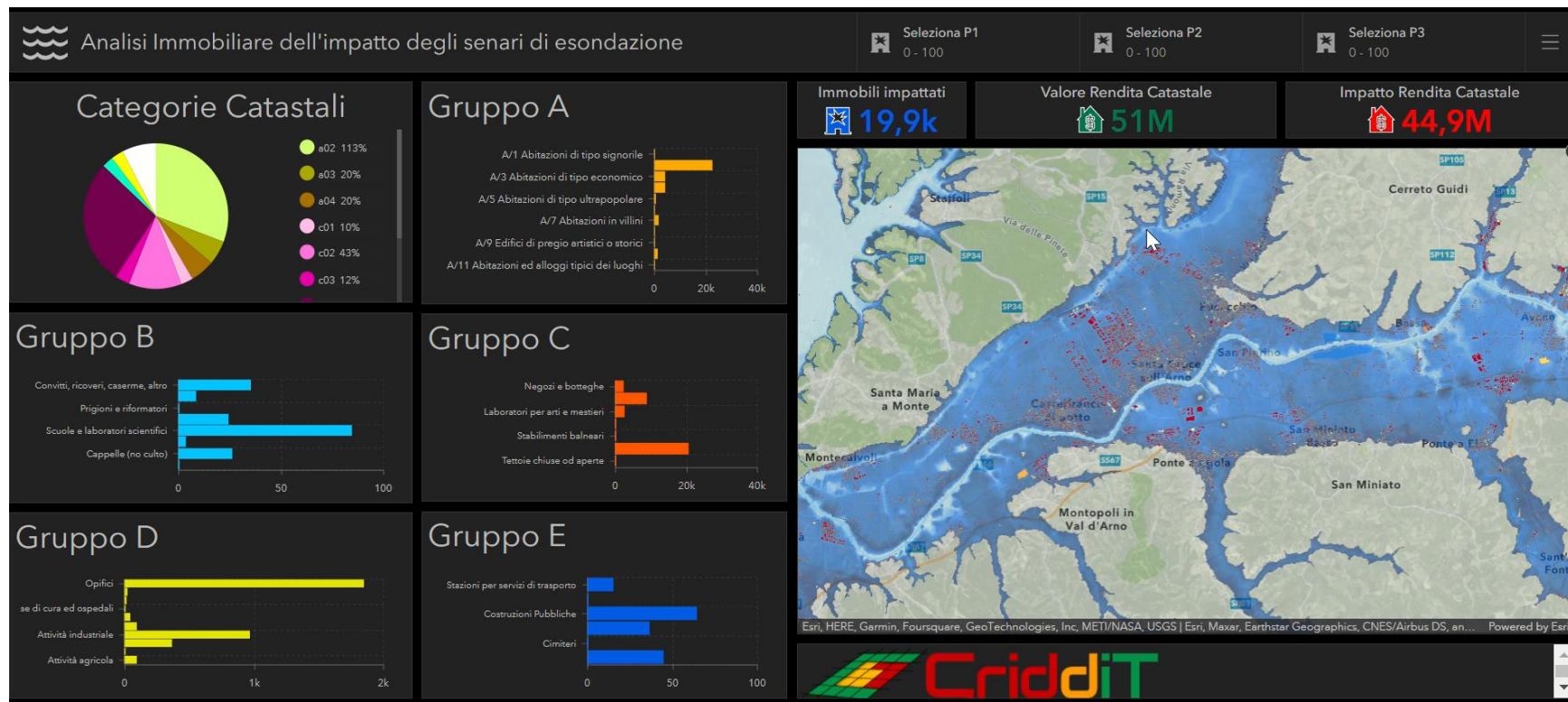




La piattaforma REBIT integrata ai dati catastali

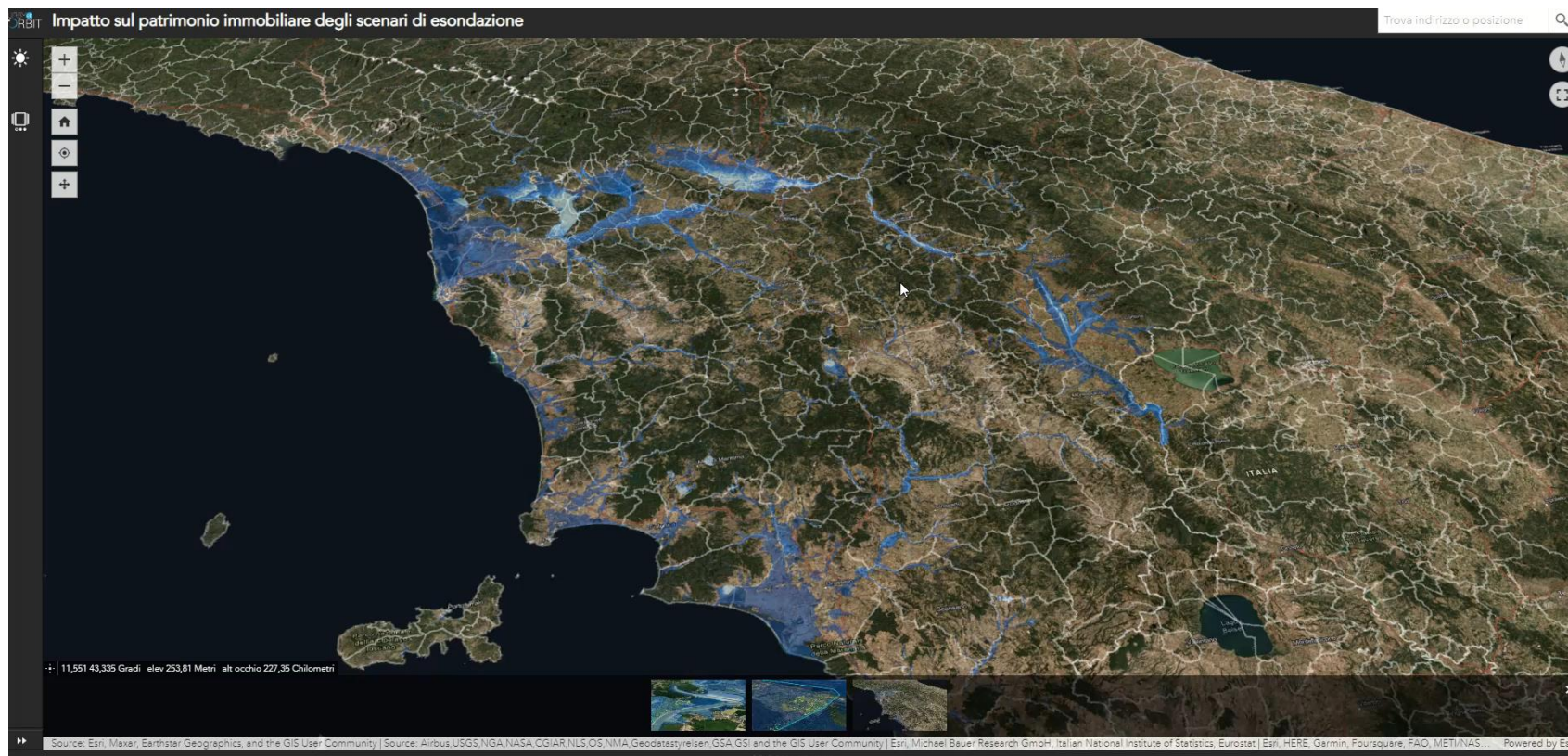
- Analisi a scala di particella catastale
- Mappatura degli edifici, analisi del livello di inondazione in funzione del numero di piani degli edifici
- Sviluppo applicativo web-GIS: analisi per gruppi e sottocategorie di immobili
- Filtri di visualizzazione per percentuale di allagamento rispetto a tre livelli di pericolosità idraulica
- Stima dell'impatto economico degli immobili per scenari di pericolosità idraulica

La piattaforma REBIT integrata ai dati catastali



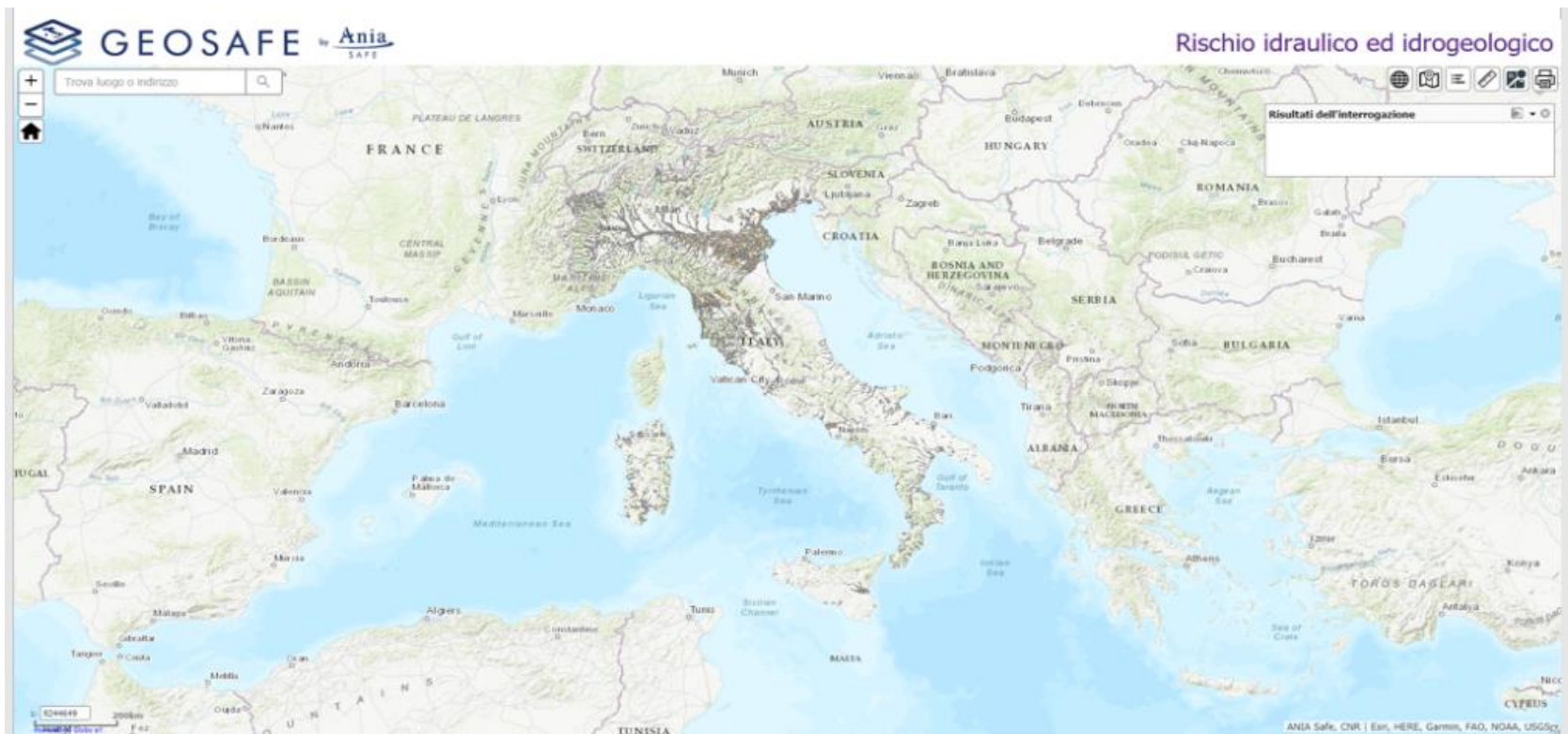
- Vista 2D dell'applicativo Web GIS con infografiche inerenti alla categorizzazione degli immobili e la quantità di asset a rischio

La piattaforma REBIT integrata ai dati catastali



- Vista 3D dell'applicativo Web GIS

La piattaforma ANIA Geosafe



Mappatura del rischio idrogeologico ai fini assicurativi

La piattaforma ANIA Geosafe



Mappatura del rischio idrogeologico ai fini assicurativi

La piattaforma ANIA Geosafe



HOME MAPPE ▾ STRUMENTI ▾ MANUALI D'USO ▾ CONTATTI 🔍 ACCEDI

Il sistema informativo geografico

A SUPPORTO DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

LEGGI DI PIÙ



Cos'è GeoSafe

GEOSAFE è un servizio innovativo pensato da ANIA SAFE, per tutte le imprese, come strumento di supporto alle diverse fasi del processo di business e di valutazione del rischio.



Cosa permette di fare

Il portale mette a disposizione delle imprese gli elementi per definire criticità e rischi correlati alle aree del territorio nazionale. Il servizio è erogato grazie a un sistema informativo geografico che aiuta il processo di valutazione delle tipologie di rischio presenti in una zona, e quindi la stipula dei contratti di assicurazione.



Definizione di rischio

Il rischio è la probabilità che un evento, naturale o causato dall'uomo, accada provocando perdite, eventi indesiderabili o danni fisici e/o materiali.

Mappe

**rischio
sismico**

**rischio idraulico
e idrogeologico**

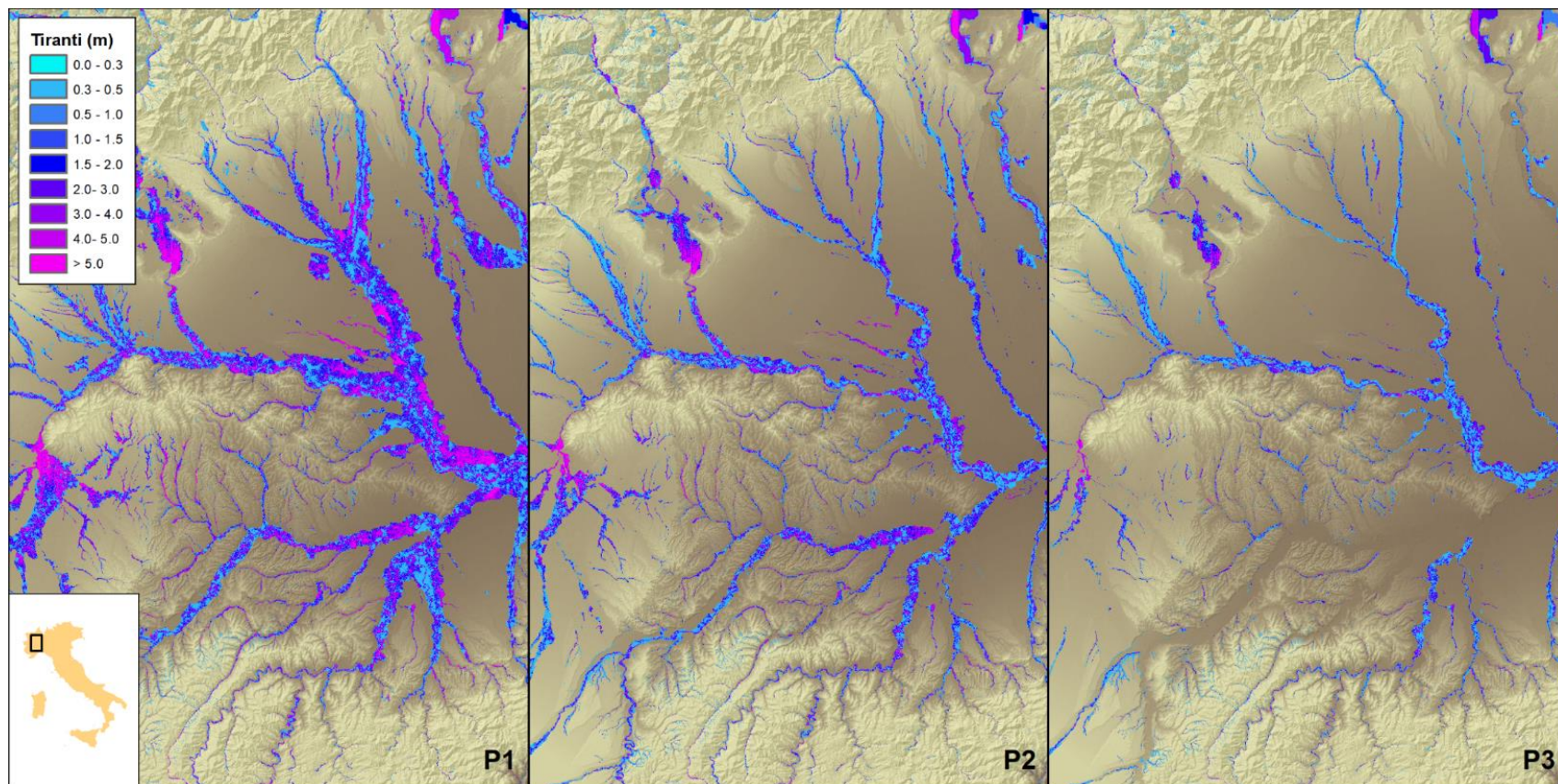
**rischio
climatico**

**rischio
agricolo**



La piattaforma ANIA Geosafe

Mapa dei tiranti idrici associati ai tre scenari di pericolosità P1, P2, P3



Mappatura del rischio idrogeologico ai fini assicurativi



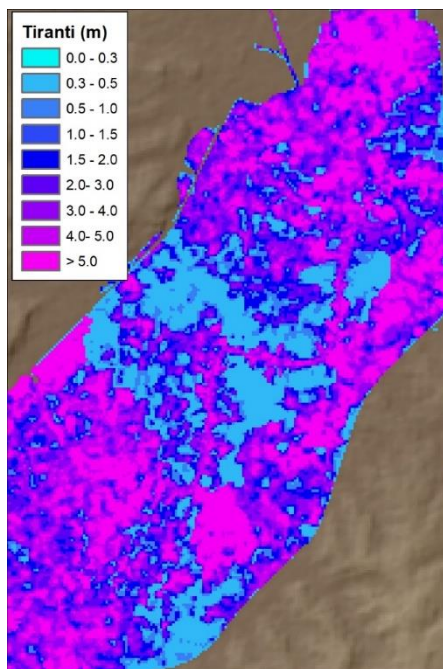
Fernando Nardi

Sistemi di monitoraggio e informativi di previsione idro-meteo per il rischio idrogeologico

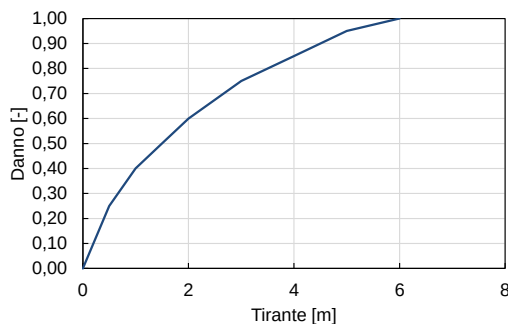
10 / 05 / 2024

pag. 46

La piattaforma ANIA Geosafe

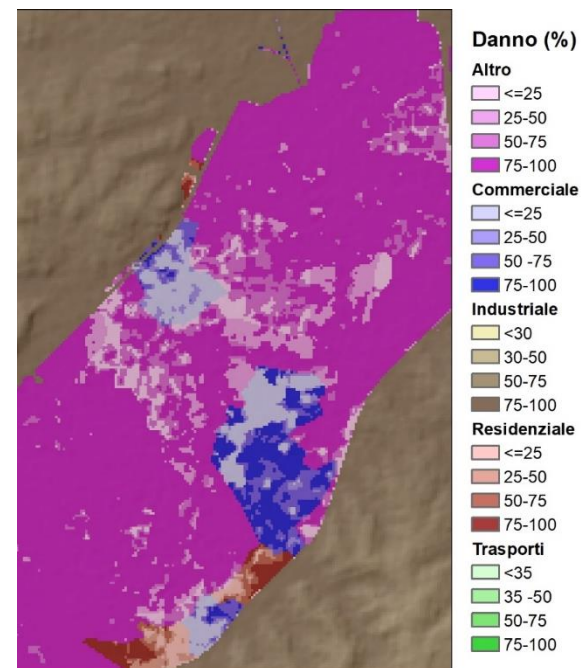


Tiranti idrici



Tirante (m)	Frazione di Danno (-)				
	1. Residenziale	2. Commerciale	3. Industriale	4. Trasporti	5. Altro
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.25	0.15	0.15	0.32	0.30
1	0.40	0.30	0.27	0.54	0.55
1.5	0.50	0.45	0.40	0.70	0.65
2	0.60	0.55	0.52	0.83	0.75
3	0.75	0.75	0.70	1.00	0.85
4	0.85	0.90	0.85	1.00	0.95
5	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

**Uso suolo
Curva danno**

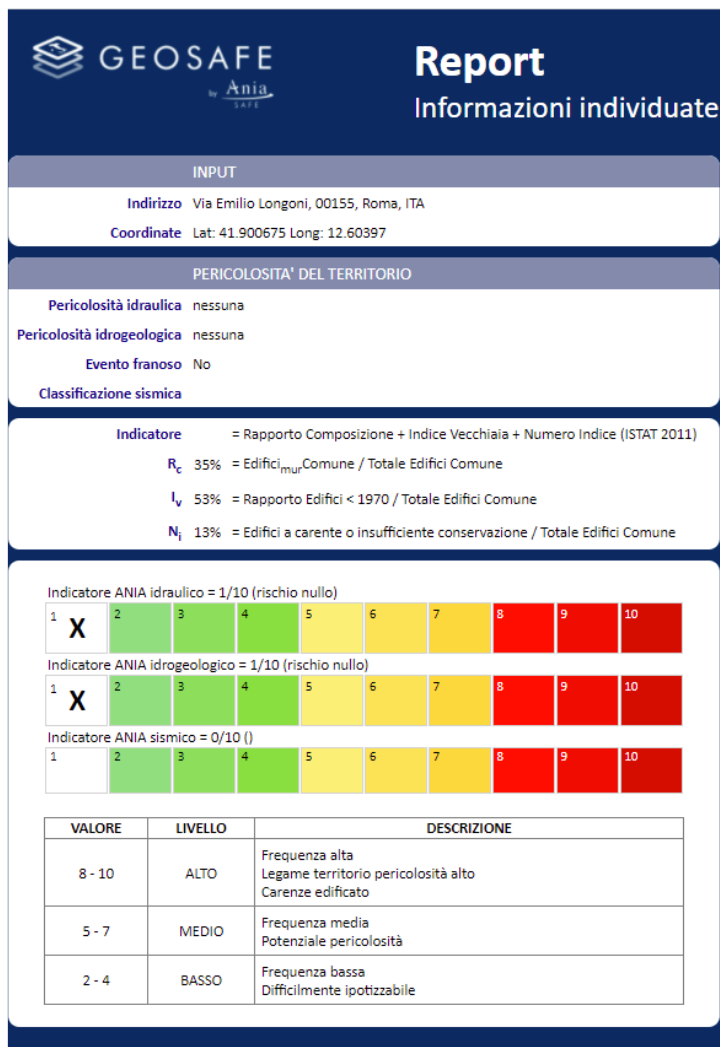


**Danno
potenziale**

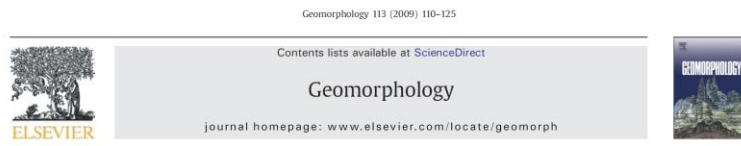
Al valore di danno D attribuito a uno specifico tirante T_k viene aggiunta una quota parte proporzionale alla distanza dal reticolo idrografico L_i

$$Dp(\%) = D(T_k) + D(T_k) \cdot L_i$$

La piattaforma ANIA Geosafe



Terrain analysis per identificare aree a potenziale rischio frana



Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs

Monia Santini^{a,*}, Salvatore Grimaldi^{b,c}, Fernando Nardi^c, Andrea Petroselli^b, Maria Cristina Rulli^d

^a Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DISAFRI), University of Tuscia, via S. Camillo de Lellis snc, 01100, Viterbo, Italy

^b Dipartimento di Geologia e Ingegneria Meccanica, Naturistica e Idraulica per il Territorio (GEMINI), University of Tuscia, via S. Camillo de Lellis snc, 01100, Viterbo, Italy

^c Honors Center of Italian Universities (HCU), Sapienza University of Rome, via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy

^d Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento, Politecnico di Milano, piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

ARTICLE INFO

Article history:

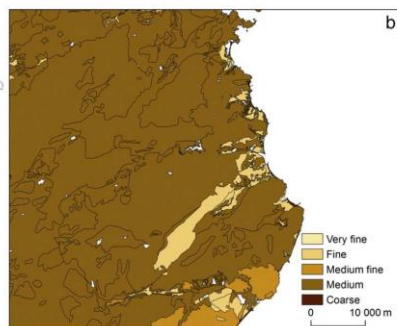
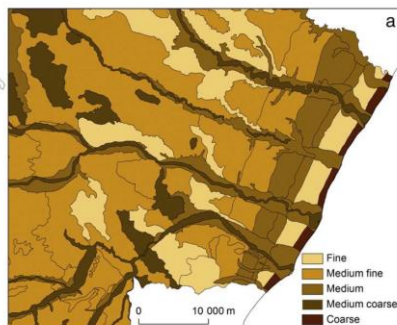
Received 28 June 2008

Received in revised form 8 January 2009

Accepted 30 March 2009

Available online 7 April 2009

Keywords:
Land
DEM
ASTE
PEM
SHAL



ABSTRACT

Terrain analysis applications using remotely sensed available, permit to quantify several river basin morphological parameters (curvature, flow path lengths) and indirect hydrogeological wetness index) able to characterize the physical processes that control erosion. Such DEM

is if
nit ap
en ap
ble Di
most
g to k
as to
nd fl
tic pr
for tl
) to
el SH/
of terr

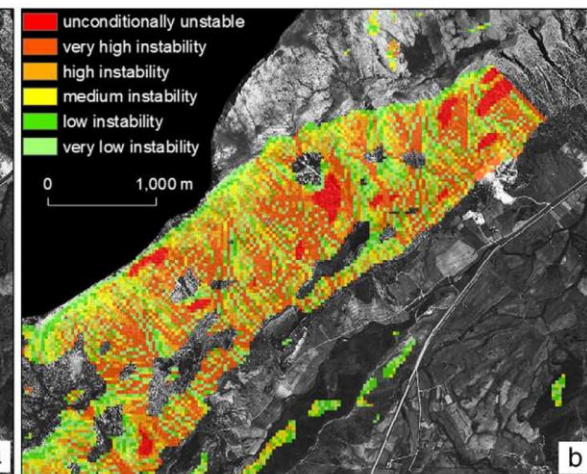
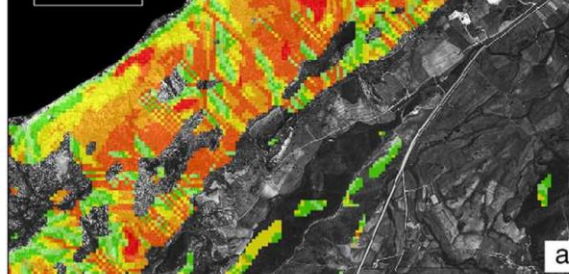
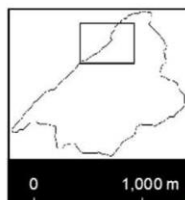


Fig. 8. SHALSTAB result comparison. An example is shown of the differences in the spatial pattern of stability classes (overlaid on orthophoto) for a sector of as2 basin: (a) and (b) refer to F_D8 and P_LTD processing approaches, respectively.

Terrain analysis per identificare aree a potenziale rischio frana

SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.1.3)



Modules A-Z

Contents Terrain Analysis - Slope Stability

Module SHALSTAB

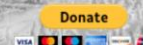
This module is a realization of the SHALSTAB (Shallow Slope Stability) model from Montgomery & Dietrich (1994). The model computes grid cell critical shallow groundwater recharge values (CR in mm/day) as a measure for relative shallow slope stability, utilizing a simple model that combines a steady-state hydrologic model (a topographic wetness index) to predict groundwater pressures with an infinite slope stability model. For computation, a slope (in radians) and a catchment area (in m²) grid are required. Additionally, information on material density (g/cm³), material friction angle (°), material hydraulic conductivity (m/hr), bulk cohesion (MPa) and depth to potential shear plane (m) are required that can be specified either globally or through grids. The module produces a continuous CR (mm/day) raster with unconditionally stable cells blanked, and unconditionally unstable cells as CR = 0. Optionally, a classified CR grid can be calculated representing seven stability classes.

Reference: Montgomery D. R., Dietrich, W. E. (1994) A physically based model for th
Water Resources Research, 30, 1153-1171..

- Author: A. Günther (c) 2012
- Specification: grid
- Menu: Terrain Analysis|Slope Stability

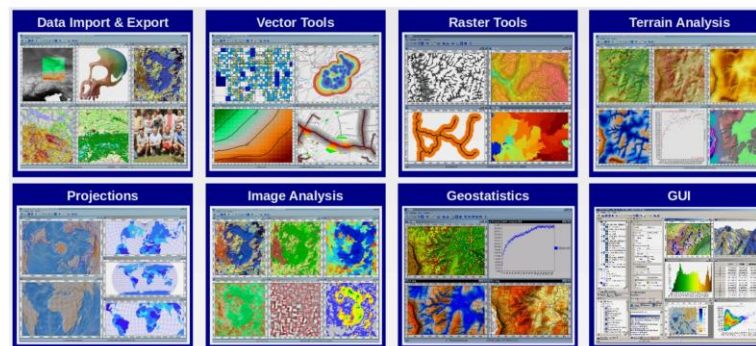
Parameters

	Name	Type	Identifier	Description
Input	Slope grid (rad)	Grid (input)	A	-
	Catchment area grid (m ²)	Grid (input)	B	A catchment ar
	Min Density grid (g/cm ³) (*)	Grid (optional input)	Cmin	A grid represen density (in g/cr
	Max Density grid (g/cm ³) (*)	Grid (optional input)	Cmax	A grid represen density (in g/cr
	Min Hydraulic conductivity grid (m/hr) (*)	Grid (optional input)	Dmin	A grid represen hydraulic condit



[Introduction](#) | [Development](#) | [User Group](#) | [Software](#) | [F.A.Q.](#) | [References](#) | [Legal Notice](#)

Welcome to the SAGA Homepage



QGIS

Un Sistema di Informazione Geografica Libero e Open Source



Fernando Nardi

Sistemi di monitoraggio e informativi di previsione idro-meteo per il rischio idrogeologico

10 / 05 / 2024

pag. 50

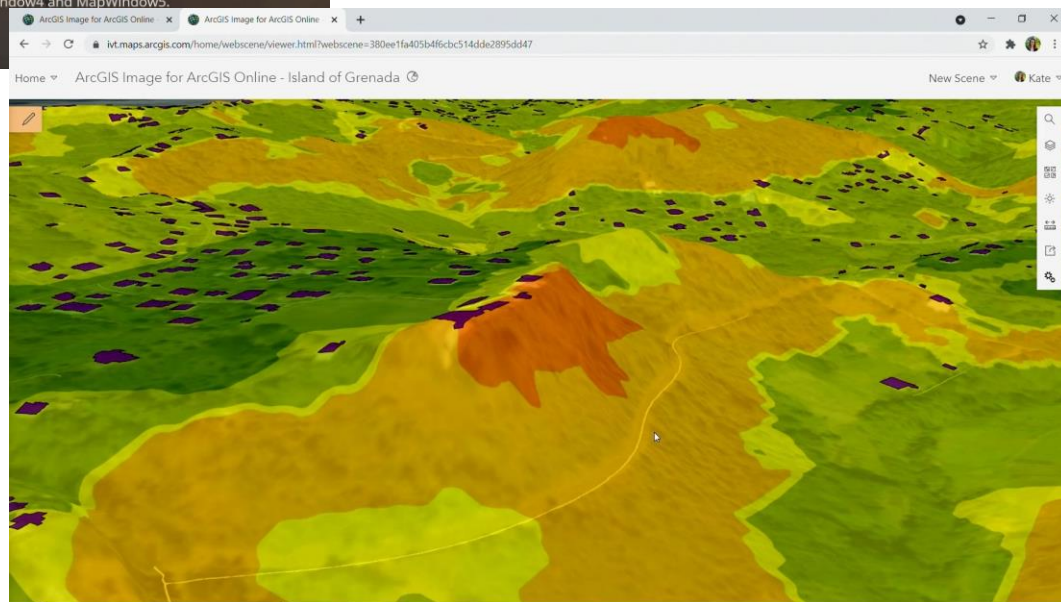


Terrain analysis per identificare aree a potenziale rischio frana



<https://hydrology.usu.edu/sinmap/>

The SINMAP (Stability INdex MAPping)



<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-spatial-analyst-toolbox.htm>

Sistema di Monitoraggio e Allertamento per il rischio idrogeologico



Tab. 53: Soglie idrometriche nelle stazioni di monitoraggio per il Tevere

Fase Operativa	Stazioni di monitoraggio Tevere					Soglia idrometrica (m.)
	Orte Scalo	Ponte Felice	Ponte del Grillo	Ripetta	Mezzocammino	
Attenzione (SA1)	4,00	3,50	5,00	7,00	3,50	
Preallarme (SA2)	6,00	5,00	6,00	11,00	5,00	
Allarme (SA3)	7,00	10,00	7,00	13,00	7,00	

ZONA DI ALLERTA D – ROMA

	Tr	P ₁	P ₃	P ₆	P ₁₂	P ₂₄	P ₄₈
Ordinaria	2	32	45	54	64	76	89
Moderata	10	54	75	89	106	125	148
Elevata	50	87	121	145	171	202	238

ZONA DI ALLERTA E – ANIENE

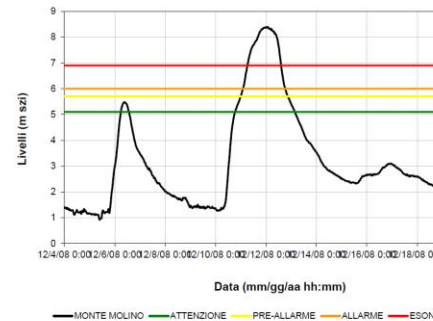
	Tr	P ₁	P ₃	P ₆	P ₁₂	P ₂₄	P ₄₈
Ordinaria	2	43	60	73	88	106	127
Moderata	10	68	96	116	140	168	202
Elevata	50	101	142	172	207	248	297

Tr = tempi di ritorno in anni

P1...P48 = millimetri di pioggia cumulata in 1...48 ore

CASO DI STUDIO: PIENA DEL TEVERE del DICEMBRE 2008

ANALISI IDROLOGICA E IDRAULICA



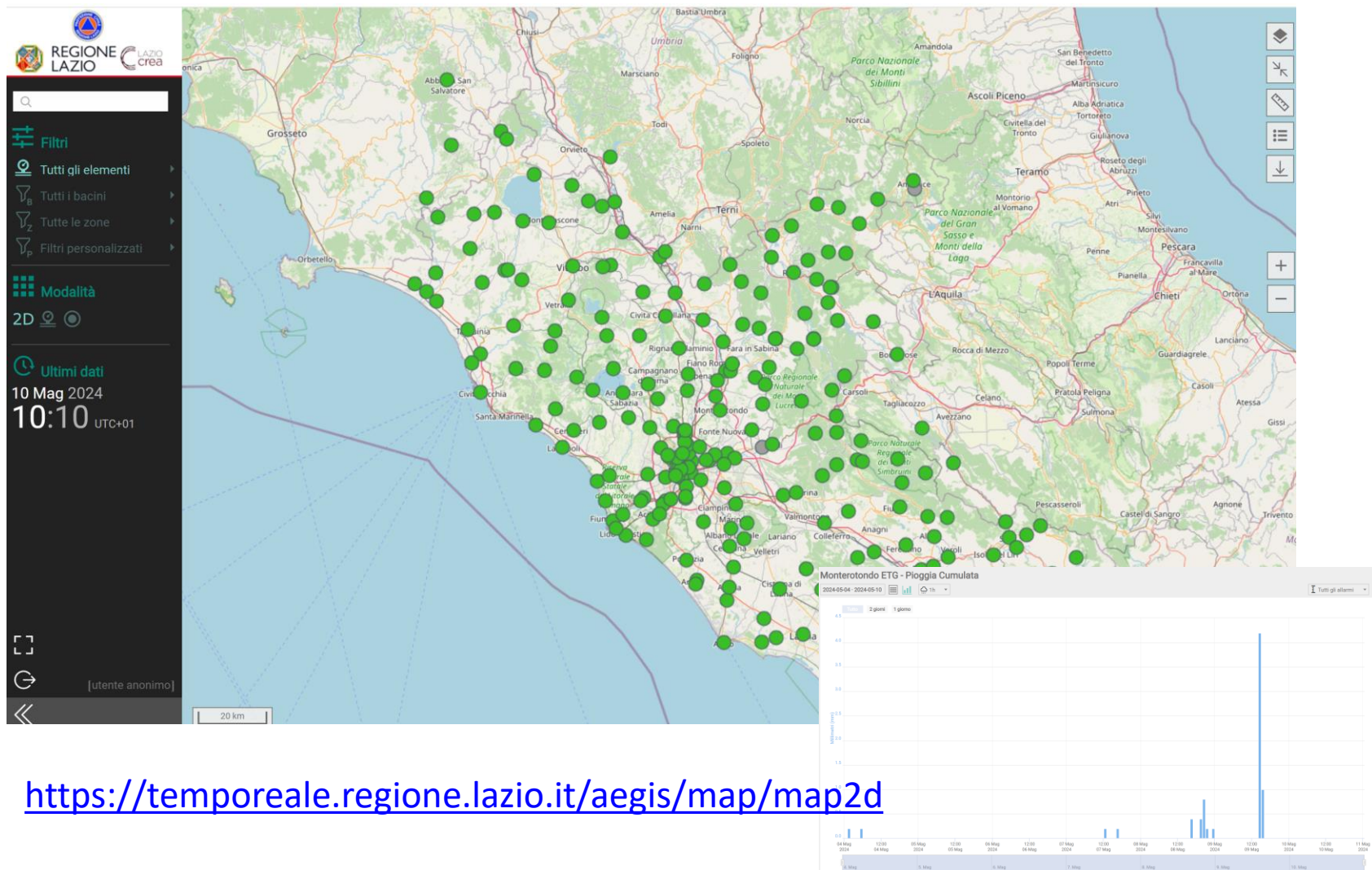
ORDINARIA (associabile a precipitazioni con tempo di ritorno pari a 2 anni);
MODERATA (associabile a precipitazioni con tempo di ritorno pari a 10 anni);
ELEVATA (associabile a precipitazioni con tempo di ritorno pari a 50 anni).



Fig. 61: Livello di allerta/effetti attesi
(Fonte: Dipartimento Nazionale Protezione Civile)

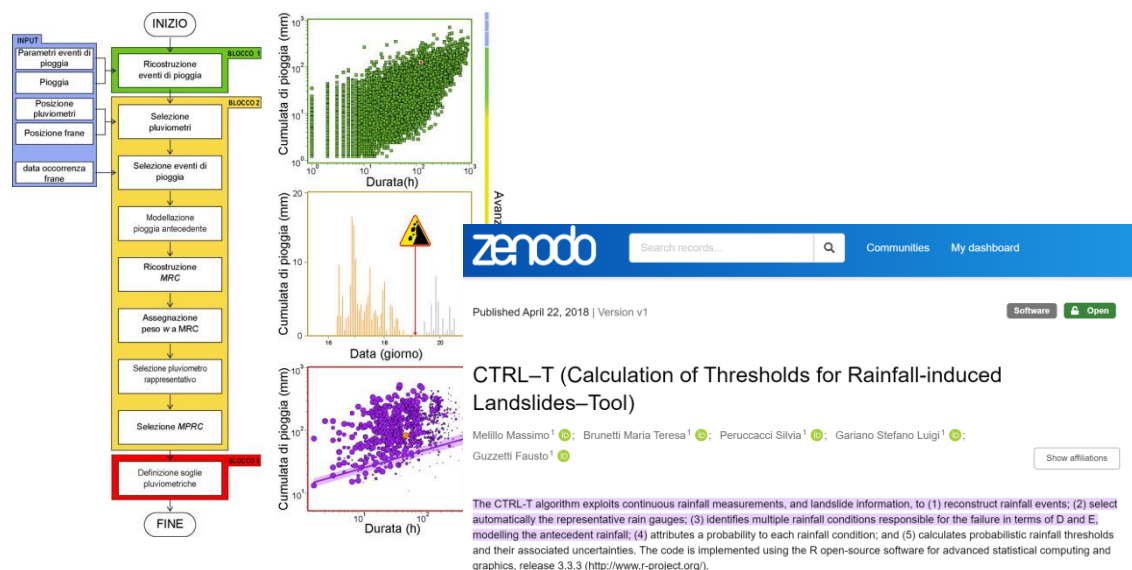
Sistemi di monitoraggio e informativi di previsione idro-meteo per il rischio idrogeologico

Sistema di Allertamento e procedure di intervento



<https://temporeale.regione.lazio.it/aegis/map/map2d>

Sistema di Allertamento e procedure di intervento



Instabilità di versante pluvio-indotta

- Analisi e soglie idrologiche (pluviometriche)
- Parametri geologico-geotecnici
- Parametri morfometrici
- Durata del processo/evento (tempo di risposta)
- Caratteristiche terreni/suoli





Bibliografia

- Annis, A., Nardi, F., Morrison, R. R., & Castelli, F., 2019. Investigating hydrogeomorphic floodplain mapping performance with varying DTM resolution and stream order. *Hydrological Sciences Journal*, 2019.
- Grimaldi S., Nardi F., Di Benedetto F., Istanbuloglu E., Bras R.L., A physically-based method for removing pits in digital elevation models, *Advances in Water Resources*, 30 (10), pp. 2151-2158, 2007.
- Grimaldi S., Petroselli A., Alonso G., Nardi F., Flow time estimation with variable hillslope velocity in ungauged basins, *Advances in Water Resources*, 33 (10), 216-1223, 2010.
- Grimaldi S., Petroselli A., Nardi F., A parsimonious geomorphological unit hydrograph for rainfall runoff modeling in small ungauged basins, *Hydrological Science Journal*, 57(1), 73-83, 2012.
- Morrison, R. R., Bray, E., Nardi, F., Annis, A., & Dong, Q., Spatial relationships of levees and wetland systems within floodplains of the Wabash Basin, USA. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 54(4), 934-948, 2018.
- Nardi F., Vivoni E. R., Grimaldi S., Investigating a floodplain scaling relation using a hydrogeomorphic delineation method, *Water Resources Research*, 42 (9), 15 pp., 2006.
- Nardi F., Grimaldi S., Santini M., Petroselli A., Ubertini L., Hydrogeomorphic properties of simulated drainage patterns using digital elevation models: the flat area issue, *Hydrological Science Journal*, 53 (6), pp. 1176-1193, 2008.
- Nardi, F., Morrison, R. R., Annis, A., & Grantham, T. E., Hydrologic scaling for hydrogeomorphic floodplain mapping: Insights into human-induced floodplain disconnectivity. *River Research and Applications*, 34(7), 675-685, 2018.
- Nardi, F., Annis, A., Di Baldassarre, G., Vivoni, E.R. and Grimaldi, S., GFPLAIN250m, a global high-resolution dataset of Earth's floodplains. *Scientific data*, 6, p.180309, 2019.
- Scheel, K., Morrison, R. R., Annis, A., & Nardi, F., 2019. Understanding the Large-Scale Influence of Levees on Floodplain Connectivity Using a Hydrogeomorphic Approach. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2019

<https://scholar.google.it/citations?user=soQkimQAAAAJ&hl=it&oi=ao>



Grazie per l'attenzione
fernando.nardi@uniroma2.eu



TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA