



Autorità di Bacino
Distrettuale dell'Appennino
Meridionale



GIORNO
4

RISULTATI DELLE MODELLAZIONI PRELIMINARI DEI FLUSSI IPER-CONCENTRATI E STABILITÀ DEI VERSANTI

6 febbraio 2025
Ore:9.00

In memoria del Professore
PASQUALE VERSACE



Piazza antica Reggia 18 - ISCHIA – Sede struttura Commissariale

ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI – RISULTATI DELLE MODELLAZIONI PRELIMINARI RELATIVE AI FLUSSI IPERCONCENTRATI E ALLE RETI FOGNARIE

prof. Domenico Pianese

(con la Collaborazione di Luigi Cimorelli, Andrea D'Aniello, Angelo Avino e Dina Pirone)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Università di Napoli Federico II



Aspetti trattati nell'ambito della presente lezione

Le analisi condotte, per conto del Commissario di Governo, sotto la mia personale Responsabilità Scientifica, hanno riguardato, sostanzialmente, tre diversi aspetti:

- **A) Aspetti Idrologici**
- **B) Aspetti idraulici legati alla simulazione dei flussi iper-concentrati propagantisi lungo le varie cave e gli alvei-strada**
- **C) Aspetti Idraulici legati alla modellazione de fenomeni che si sviluppano all'interno dei principali tratti tombati**

ASPETTI IDROLOGICI

Le numerose analisi Idrologiche effettuate hanno avuto, quali principali obbiettivi:

- **A) la valutazione, su base probabilistica, del livello di Straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022**
- **B) la valutazione, su base probabilistica, delle massime piogge che possono realizzarsi in intervalli di tempo di breve durata (quali quelle che interessano le cave presenti a Casamicciola, nonché i tratti tombati e i sistemi fognari, e per la pianificazione/progettazione di interventi di sistemazione idraulica)**
- **C) la valutazione, su base probabilistica, delle massime portate liquide che possono affluire a preassegnate sezioni di interesse, disposte lungo le varie cave e i vari tratti tombati (allo scopo di valutare l'idoneità, da parte dei sistemi esistenti, di convogliare tali portate fino al mare e, eventualmente, progettare interventi atti al loro recepimento e convogliamento fino al mare)**

Modello probabilistico adottato per la valutazione delle cpp

Una variabile X (ad esempio, nel caso in esame, la variabile $X=h_d$) si dice distribuita secondo il Modello di Gumbel (o, il che è equivalente, secondo il Modello del Valore Estremo EV1) se il legame intercorrente tra un generico valore x della variabile X e la probabilità $F_X(x) = P[X \leq x]$ che tale valore non sia superato è del tipo:

$$F_X(x) = e^{-e^{-\alpha_x(x-\varepsilon_x)}}$$

con $X=h_d$

o, equivalentemente

$$x_F = \varepsilon_x \cdot \left\{ 1 - \frac{\ln 10}{\alpha_x \varepsilon_x} \cdot \log_{10} \left[\ln \left(\frac{1}{F_X(x)} \right) \right] \right\}$$

Modello probabilistico adottato per la valutazione delle cpp

I due parametri ε e α sono intimamente legati alla media μ e allo scarto σ della variabile X dalle due relazioni:

$$\varepsilon_x = \mu_x - 0.450 \sigma_x$$

con $X=h_d$

$$\frac{1}{\alpha_x} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_x$$

Modello probabilistico adottato per la valutazione delle cpp

Se si introduce il Coefficiente di Variazione CV, fornito dal rapporto:

$$CV_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$$

con $X=h_d$

Sostituendo tale espressione nella espressione che lega il frattile di x al valore F della probabilità di non superamento, si ha:

$$x_F = \mu_x \cdot (1 - 0.450 CV_x) \cdot \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \log_{10} \left[\ln \left(\frac{1}{F_X(x)} \right) \right] \right\}$$

Modello probabilistico adottato per la valutazione delle cpp

Poiché, nei problemi di superamenti di un massimo valore, il legame intercorrente tra la probabilità di non superamento F e il Periodo di Ritorno T è dato dall'espressione

$$F_X(x) = \frac{T-1}{T}$$

con $X=h_d$

Può porsi, in definitiva, che:

$$x_T = \mu_x \cdot (1 - 0.450 CV_x) \cdot \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \log_{10} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Modello probabilistico adottato per la valutazione delle cpp (GUMBEL)

Poiché, nei problemi di superamenti di un massimo valore, il legame intercorrente tra la probabilità di non superamento F e il Periodo di Ritorno T è dato dall'espressione

$$x_T = \mu_x \cdot K_T$$

con $X=h_d$

Dove :

$$K_T = (1 - 0.450 CV_x) \cdot \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \log_{10} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Modello probabilistico TCEV (VaPi Campania, Rossi e Villani 1995)

Poiché, nei problemi di superamenti di un massimo valore, il legame intercorrente tra la probabilità di non superamento F e il Periodo di Ritorno T è dato dall'espressione

$$x_T = \mu_x \cdot K_T$$

Dove :

con $X=h_d$

$$T = \frac{1}{1 - \exp \left[-\Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\eta K_T / \Theta_*} \right]}$$

Dati a disposizione

4 pluviografi installati dal Centro Funzionale Multirischi della Regione Campania



Figura 1 - *Posizionamento delle quattro stazioni di monitoraggio di riferimento*

Tabella 1 - *Caratteristiche delle quattro stazioni di monitoraggio di riferimento*

Nome stazione	Latitudine	Longitudine	Quota [m. slmm]	Anni funzionamento
FORIO	40.7319	13.8791	340	15
ISCHIA	40.7400	13.9469	25	15
MONTE EPOMEO	40.7116	13.8955	390	21
PIANO LIGUORI	40.7105	13.9497	320	15

Dati a disposizione

I dati si riferiscono alle osservazioni e alle relative registrazioni pluviometriche effettuate dal Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Campania nel periodo 1994-2021.

Nella maggior parte dei casi, si tratta di registrazioni dell'altezza di pioggia cumulata (a partire da un assegnato valore rilevato alle ore 00.00.00 del 1° gennaio di ciascun anno e le ore 24.00.00 del 31 dicembre di ciascun anno) effettuate ogni 10 minuti e, in pochi casi, di registrazioni effettuate ogni 20 o 30 minuti.

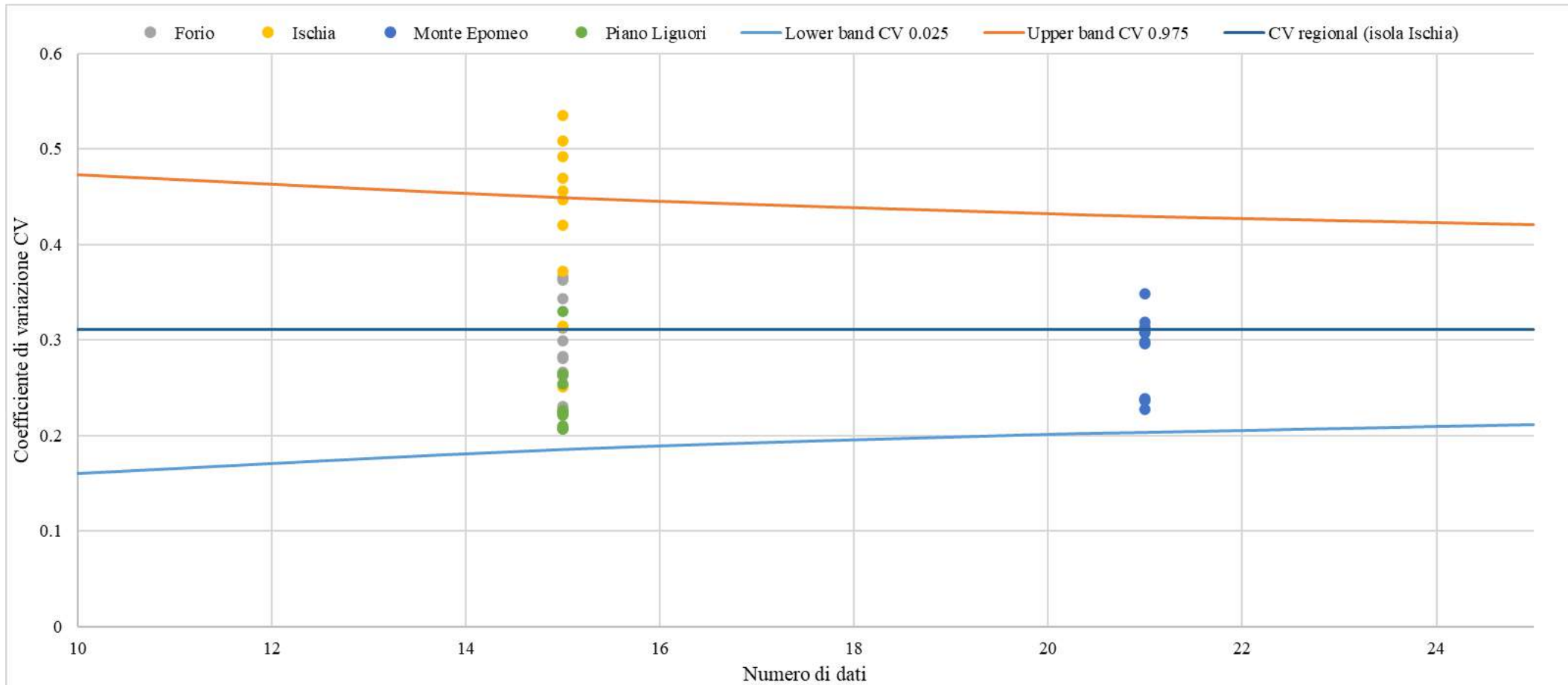
Dalle registrazioni cumulate sono stati, poi, estratti i massimi annuali dell'altezza di pioggia per fissata durata ($d = 10, 20, 30, 40, 50$ minuti e $1, 3, 6, 12, 24$ ore) con il metodo "*sliding time window*".

Dati a disposizione

$$K' = \frac{\ln 10}{\alpha_x \varepsilon_x} \quad \Lambda = 10 \frac{1}{K'} \quad K' = \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)}$$

dove Λ rappresenta il numero medio di eventi meteorici che si realizzano in un singolo anno e che sono in grado di produrre i massimi annuali, e che, in una zona IDROLOGICAMENTE OMOGENEA rispetto ai massimi annuali delle altezze di pioggia, si può ammettere costante (a meno di scarti di campionatura) e, quindi, **indipendente dalla posizione della stazione e dalla durata di pioggia**

Verifica dell'ipotesi che l'intera Isola di Ischia possa costituire una Zona idrologicamente omogenea rispetto ai massimi annuali delle altezze di pioggia che possono affluire al suolo in intervalli di tempo di durata non superiore alle 24 or
 (Λ =costante, a meno di scarti di campionatura)



$CV_{hd} = \text{costante ?}$

$CV_{hd} = 0.3111$

Valutazione dei coefficienti di crescita col periodo di ritorno T

Tabella 2 - Valori del coefficiente di crescita con il periodo di ritorno, K_T

GUMBEL

T [anni]	K_T
2	0.949
5	1.224
10	1.406
20	1.580
25	1.636
40	1.752
50	1.806
100	1.976
200	2.144
500	2.367
1000	2.536

Tabella 3 - Valori del coefficiente di crescita con il periodo di ritorno, K_T forniti dal rapporto VAPI

TCEV

T [anni]	K_T
2	0.93
5	1.22
10	1.43
20	1.65
25	1.73
40	1.9
50	1.98
100	2.26
200	2.55
500	2.95
1000	3.26

Individuazione dell'espressione dell'andamento della media dei massimi annuali delle altezze di pioggia in funzione della durata di pioggia d

$$\mu_{hd} = \frac{I_0 d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+DZ}}$$

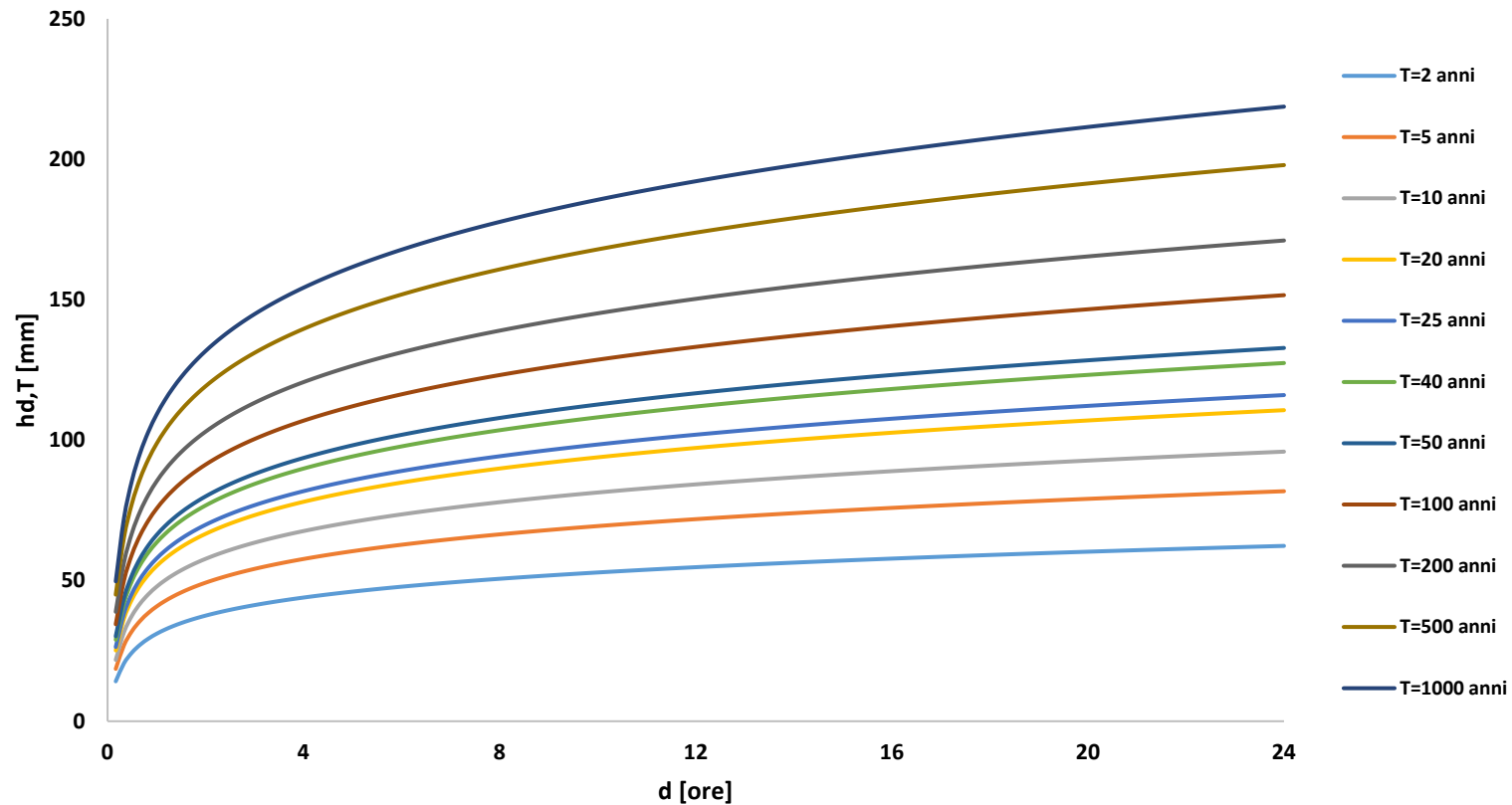
- d è la durata dell'evento meteorico;
- I_0 rappresenta l'intensità di pioggia corrispondente alla durata d pari a zero;
- d_c rappresenta una durata di pioggia definita caratteristica;
- C e D sono coefficienti adimensionali;
- Z è la quota del bacino preso a riferimento

Tabella 4 - Parametri della curva di probabilità pluviometrica tri-parametrica regionale relativa all'isola di Ischia

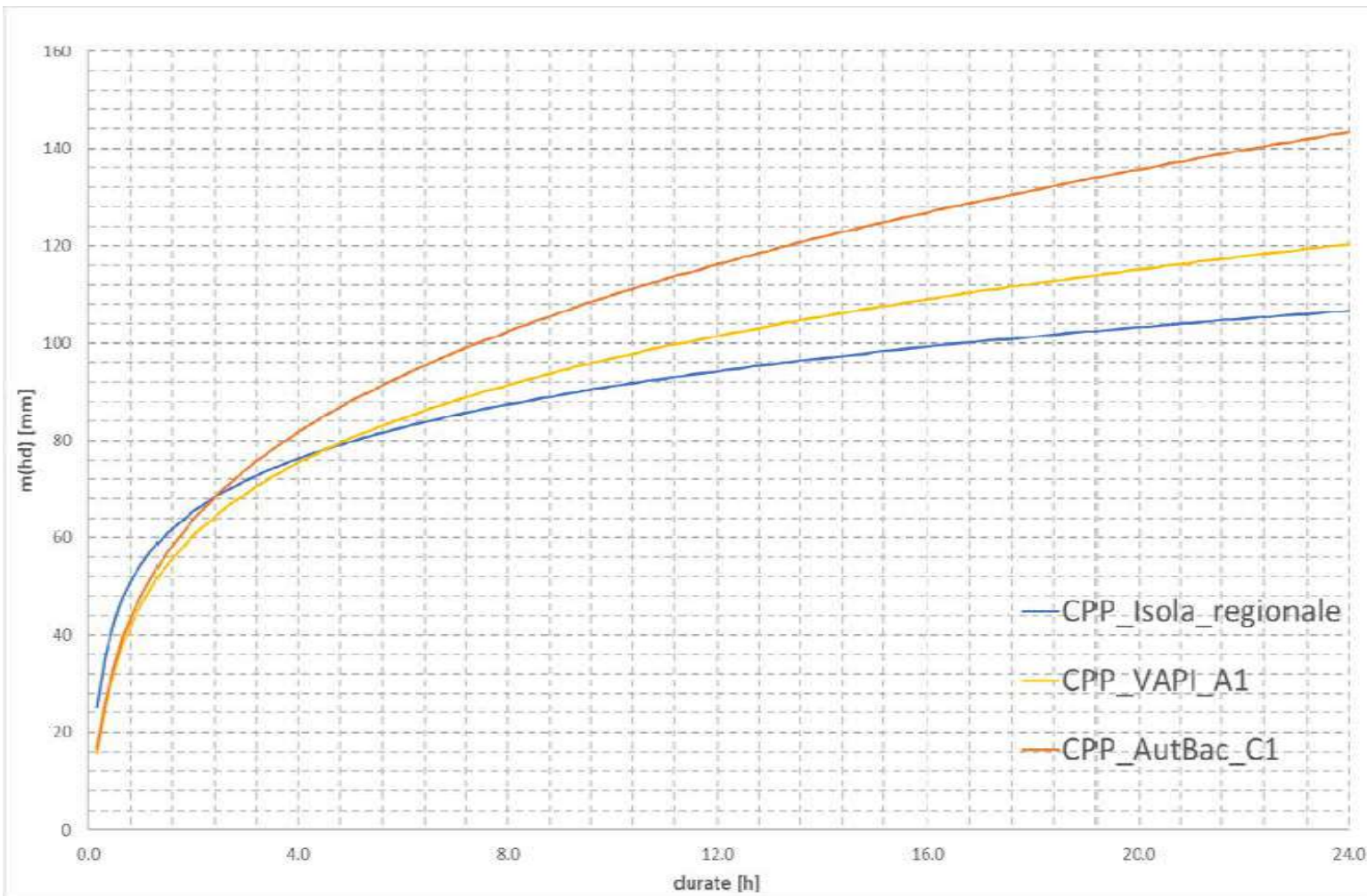
I_0 [mm/h]	157.047
d_c [h]	0.18
C [-]	0.7648
D [-]	0.0001909

Individuazione delle curve di probabilità pluviometrica relative all'Isola di Ischia

$$h_{d,T} = \frac{I_0 d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+DZ}} K_T$$



Individuazione delle curve di probabilità pluviometrica relative all'Isola di Ischia



$$h_{d,T} = \frac{I_0 d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+DZ}} K_T$$

Confronto tra le curve di probabilità pluviometrica:

- **regionale per la sola isola di Ischia (blu)**
- **regionale (sottozona 1) VAPI (gialla)**
- **regionale (sottozona C1) Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (arancione)**

con riferimento ad una quota di 340 m s.l.m.

Obiettivo A: Valutazione del livello di straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022

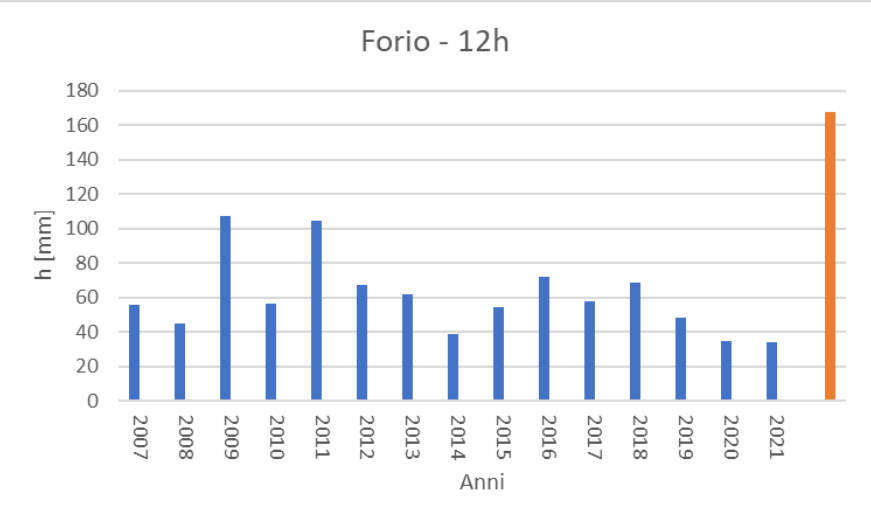
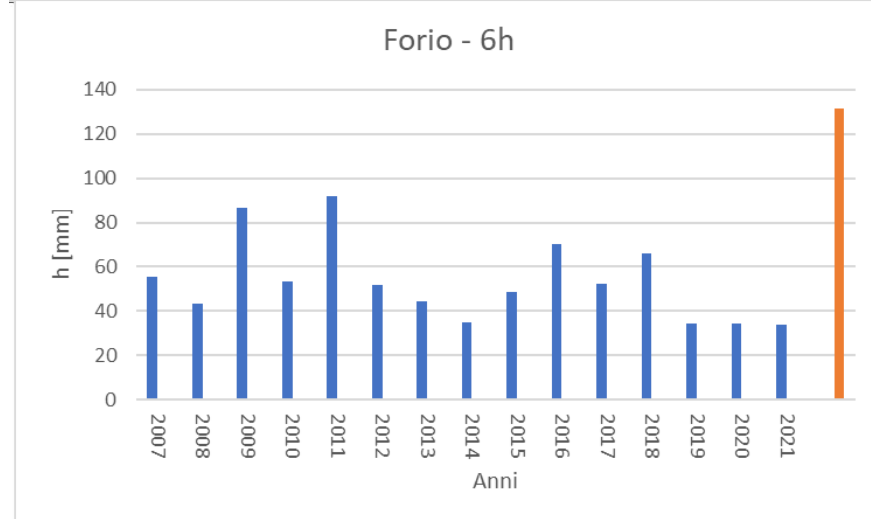
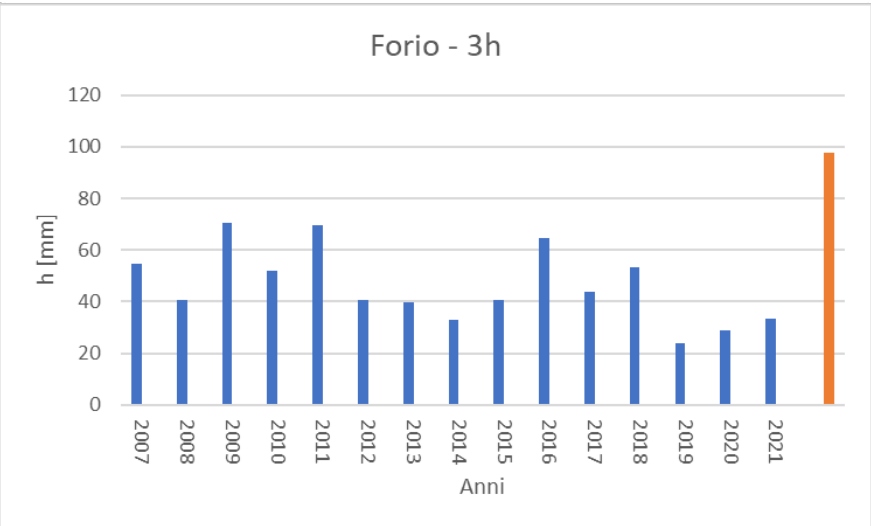
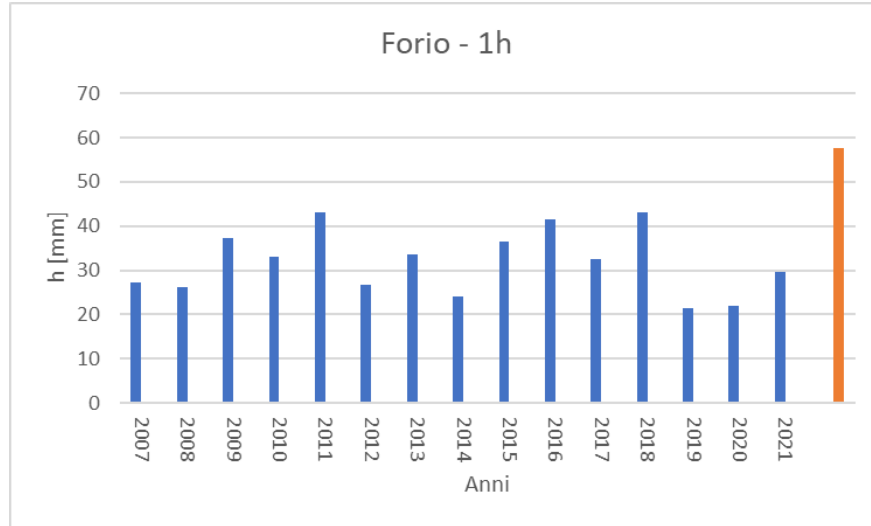


Tabella 5 - Valori massimi (in mm) registrati per le diverse durate nel corso dell'evento.

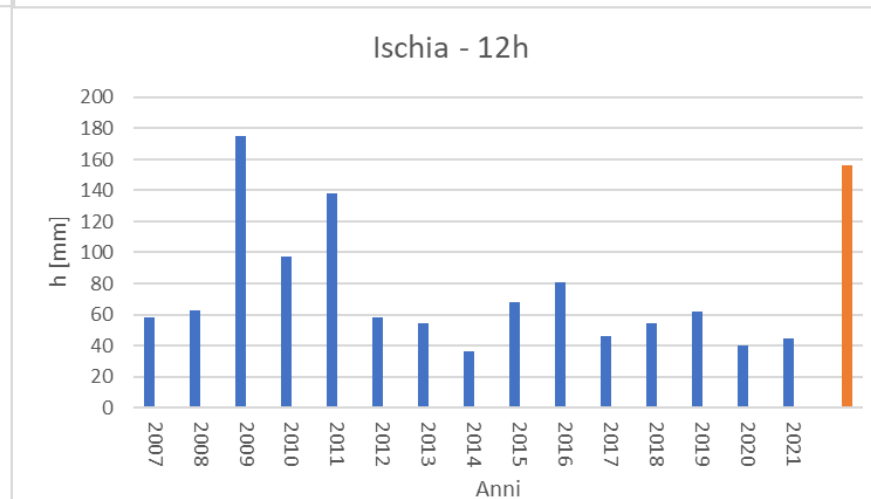
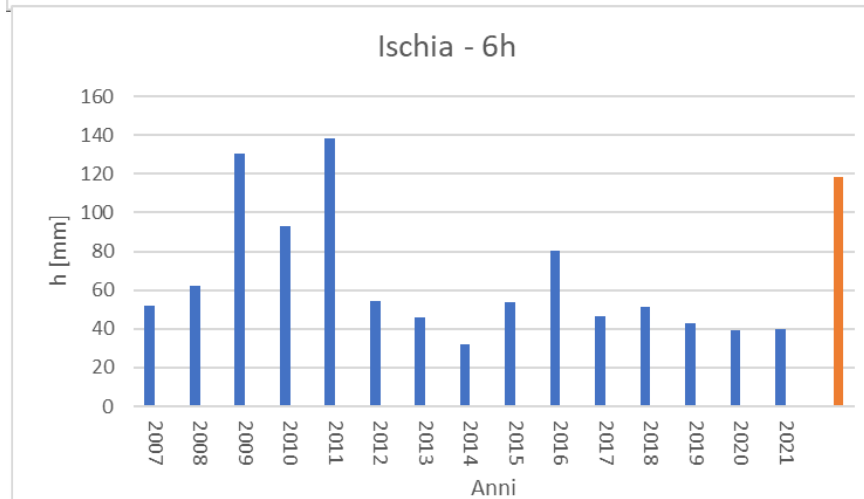
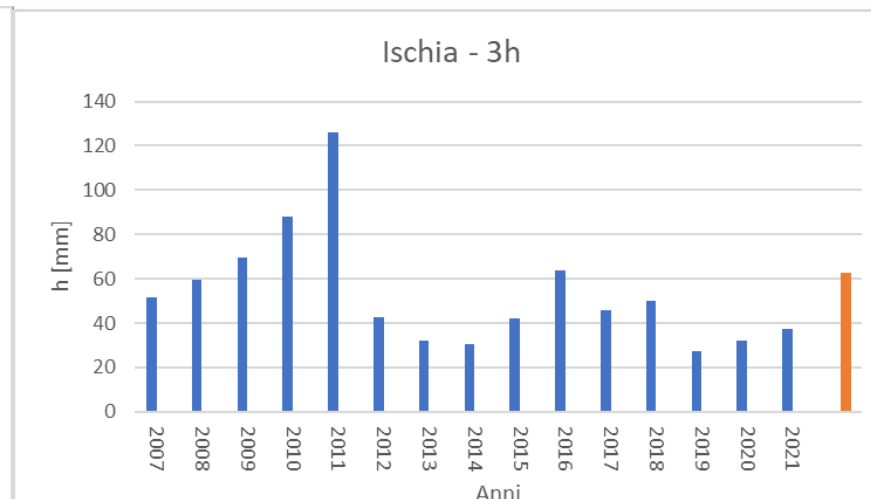
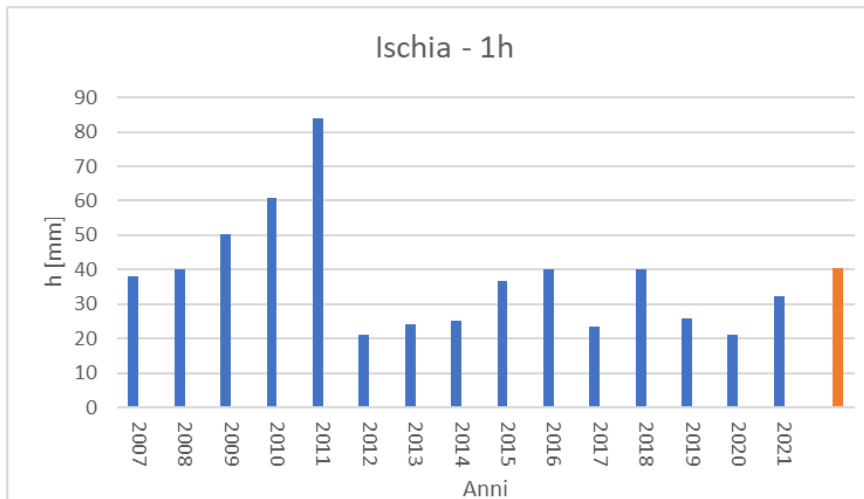
Stazioni \ Durate[h]	1	2	3	4	5	6	12
FORIO	57.6	76.2	97.6	105.4	122.6	131.4	168.0
ISCHIA	40.6	56.2	62.8	73.0	100.6	118.6	156.0
MONTE EPOMEO	50.4	69.4	82.6	94.0	102.4	109.4	137.8
PIANO LIGUORI	43.6	58.6	63.4	68.8	72.2	93.4	142.8

N.B.: Dall'analisi della tabella si deduce che le altezze di precipitazione più significative, in termini di intensità, sono state registrate presso i pluviometri di Forio e Monte Epomeo, ossia il versante occidentale dell'isola di Ischia.

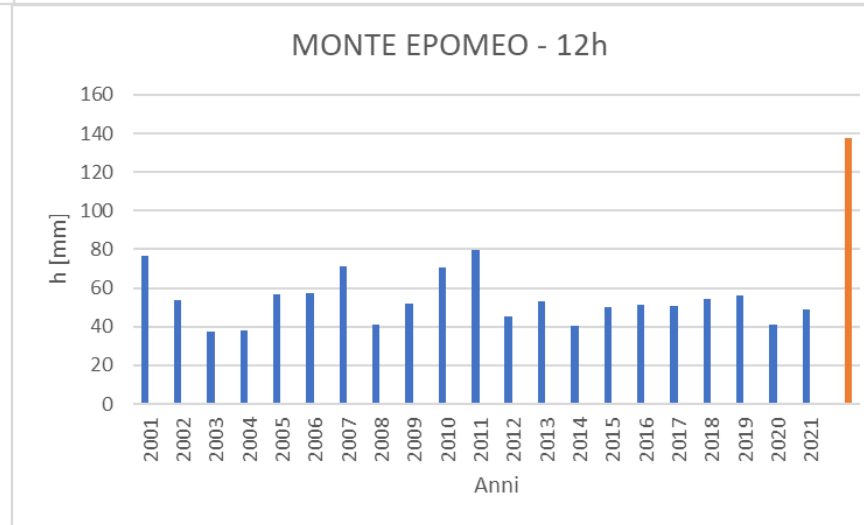
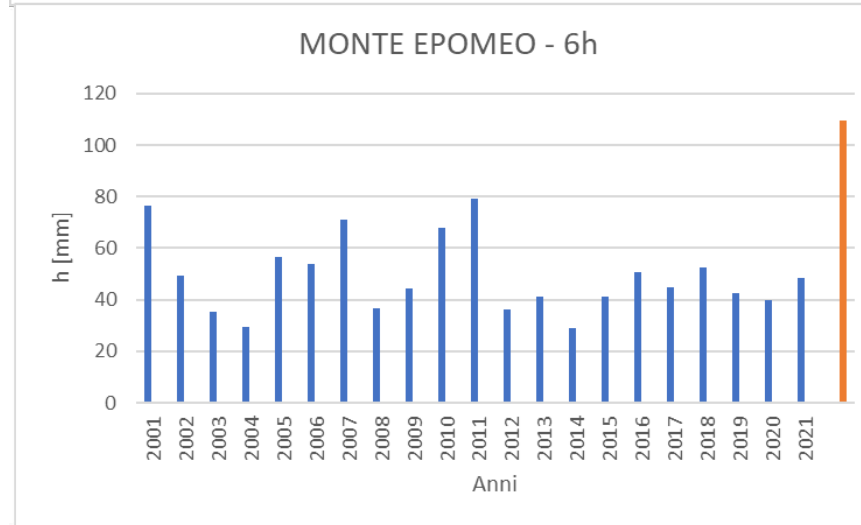
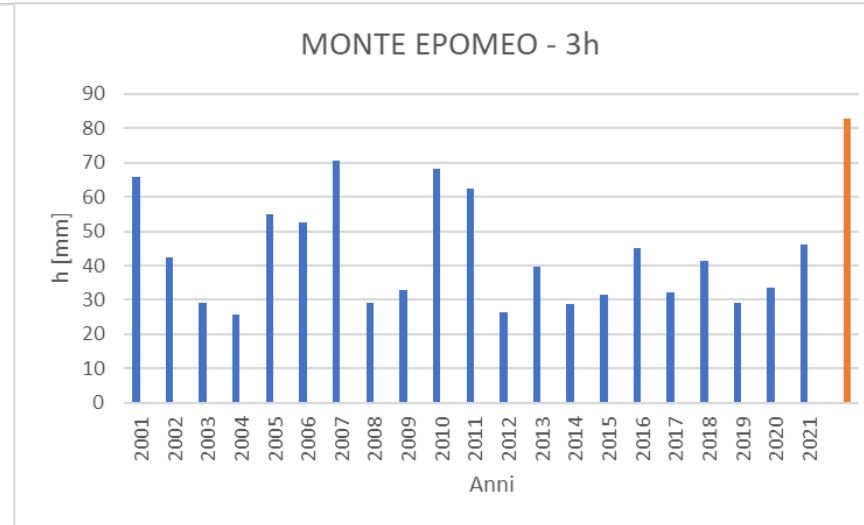
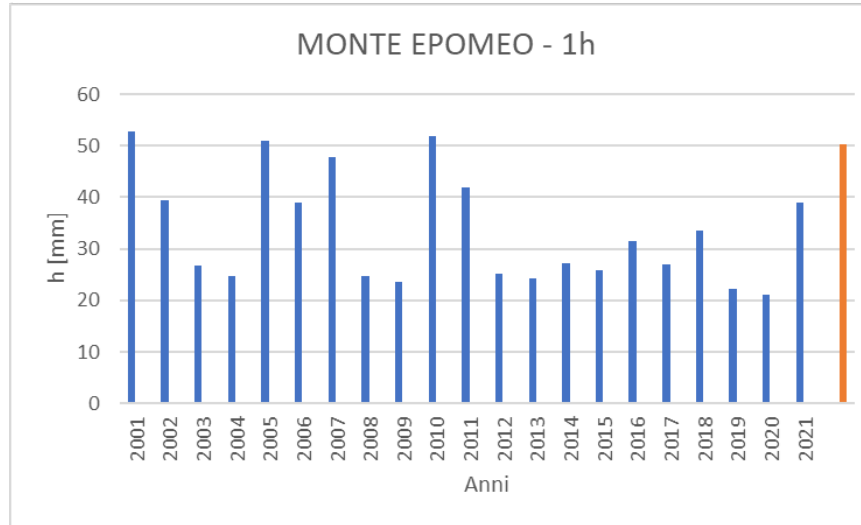
Obiettivo A: Valutazione del livello di straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022



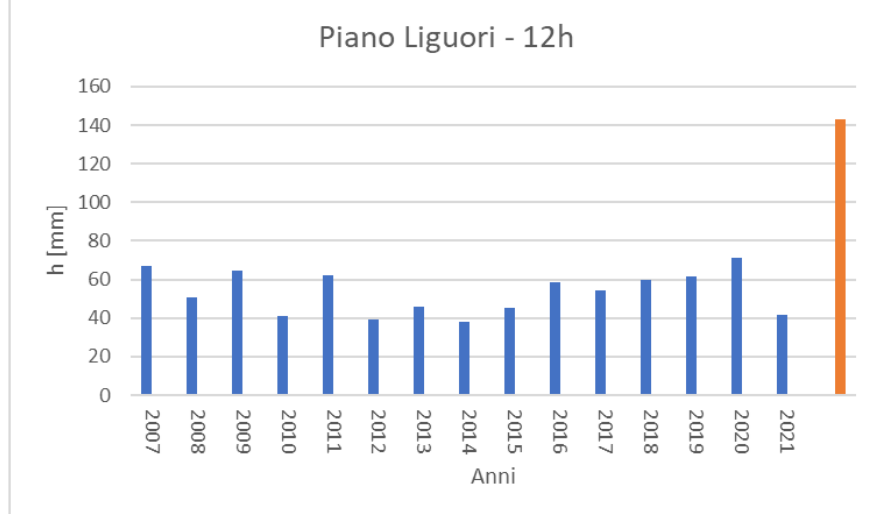
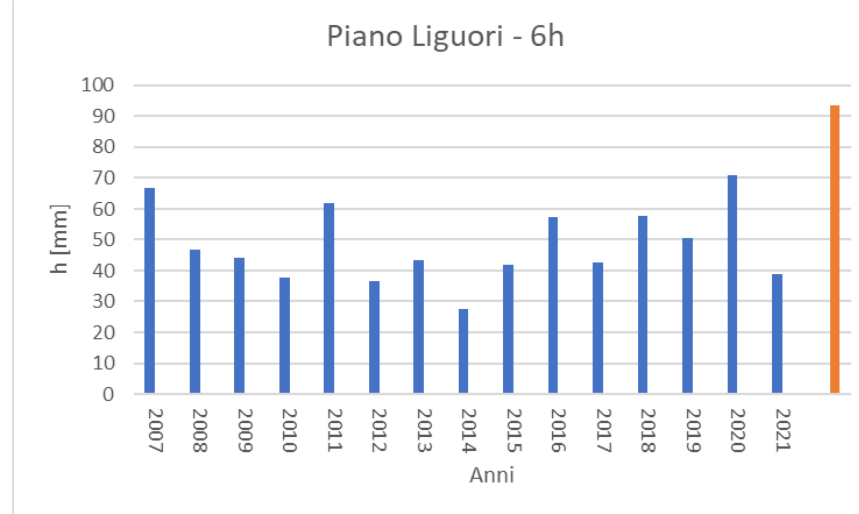
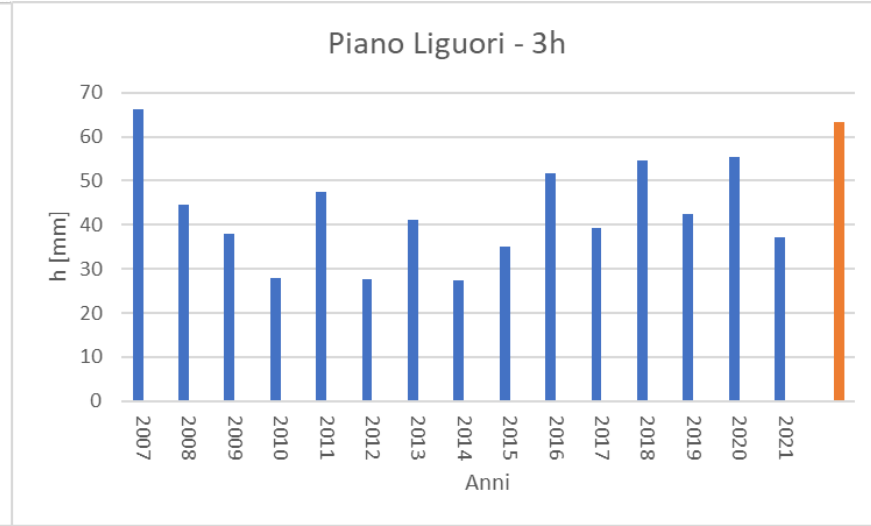
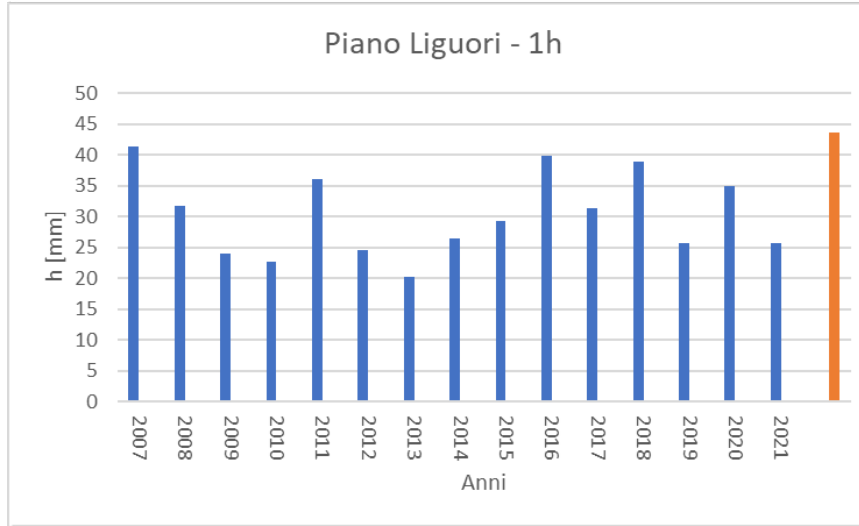
Obiettivo A: Valutazione del livello di straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022



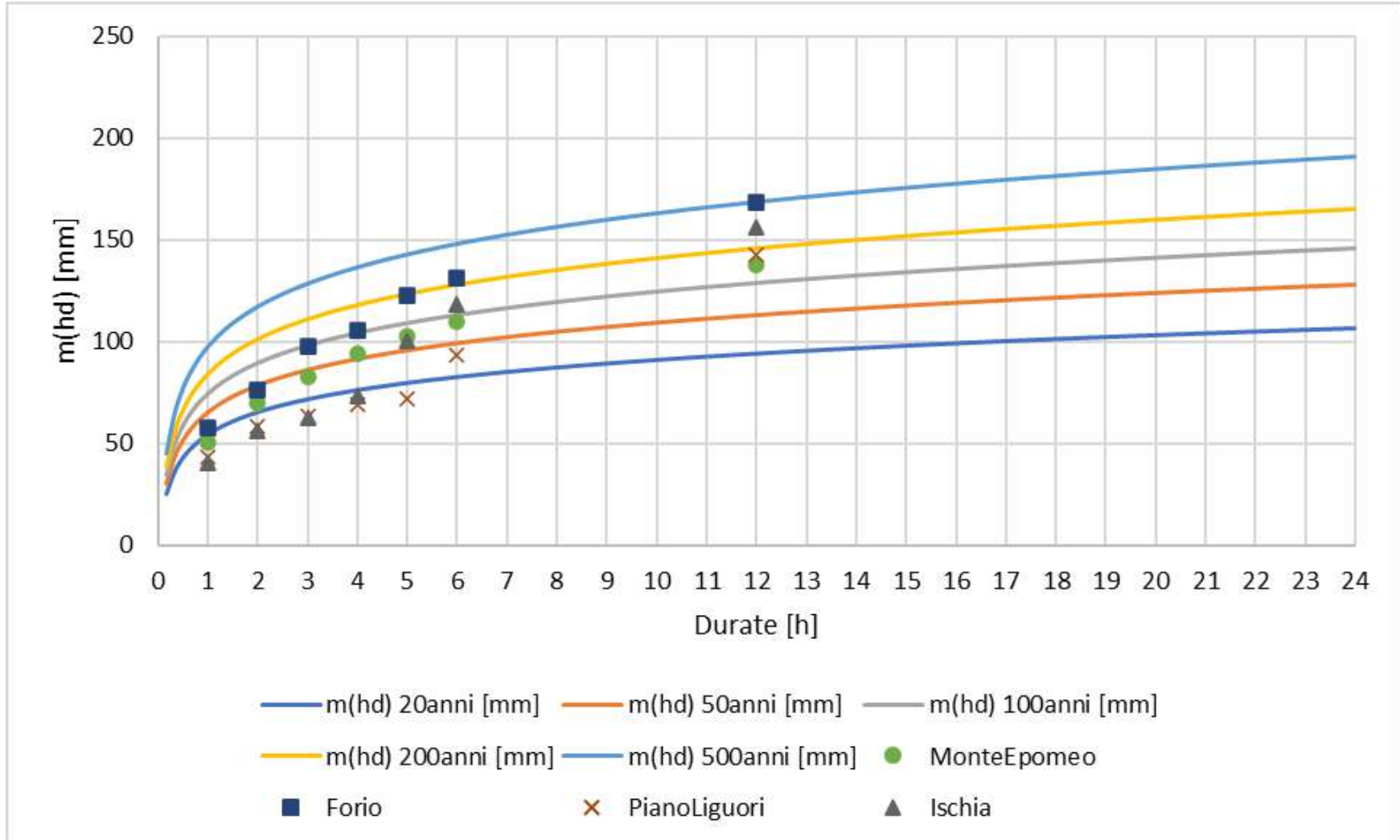
Obiettivo A: Valutazione del livello di straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022



Obiettivo A: Valutazione del livello di straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022

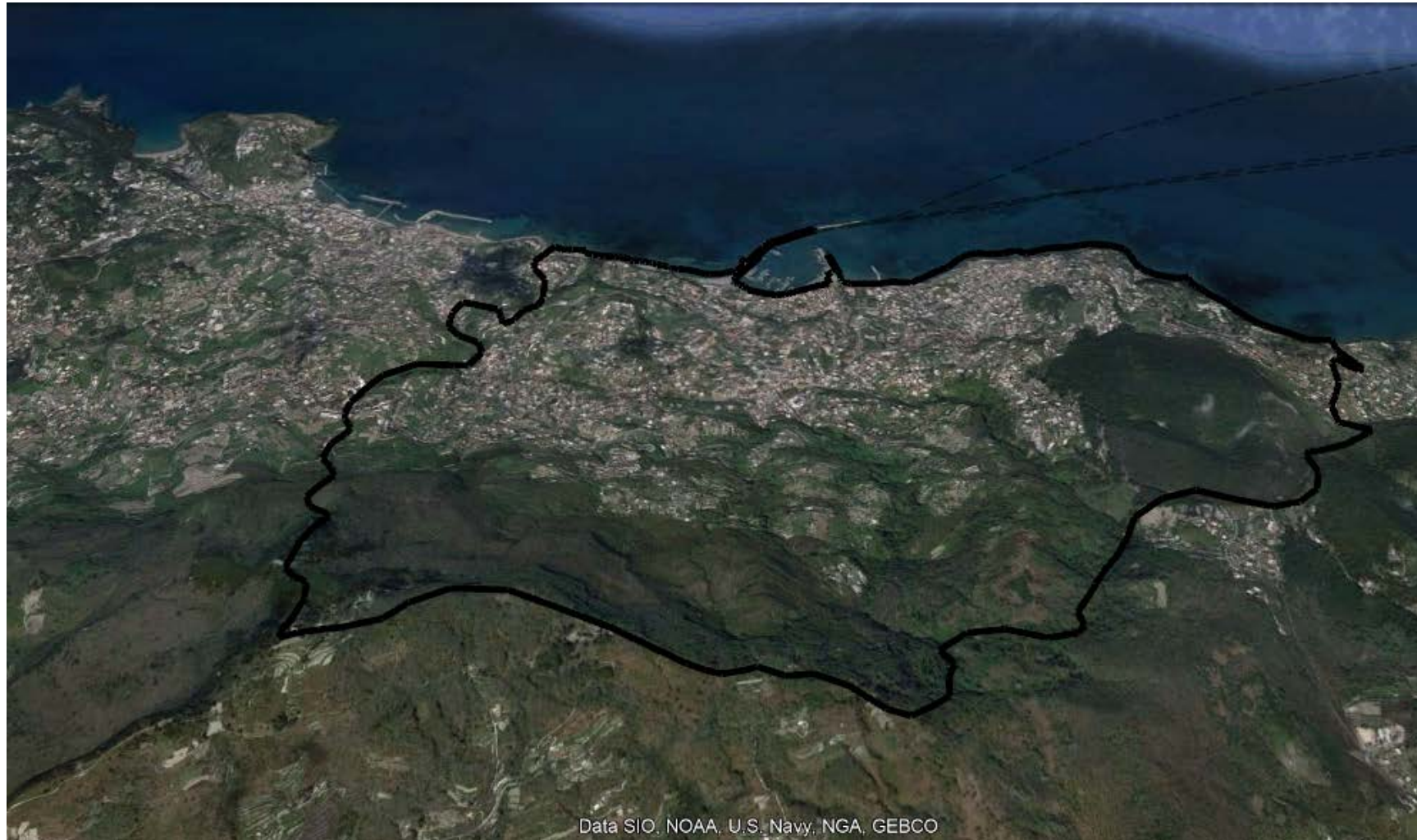


Obiettivo A: Valutazione del livello di straordinarietà dell'evento meteorico del 26 novembre 2022



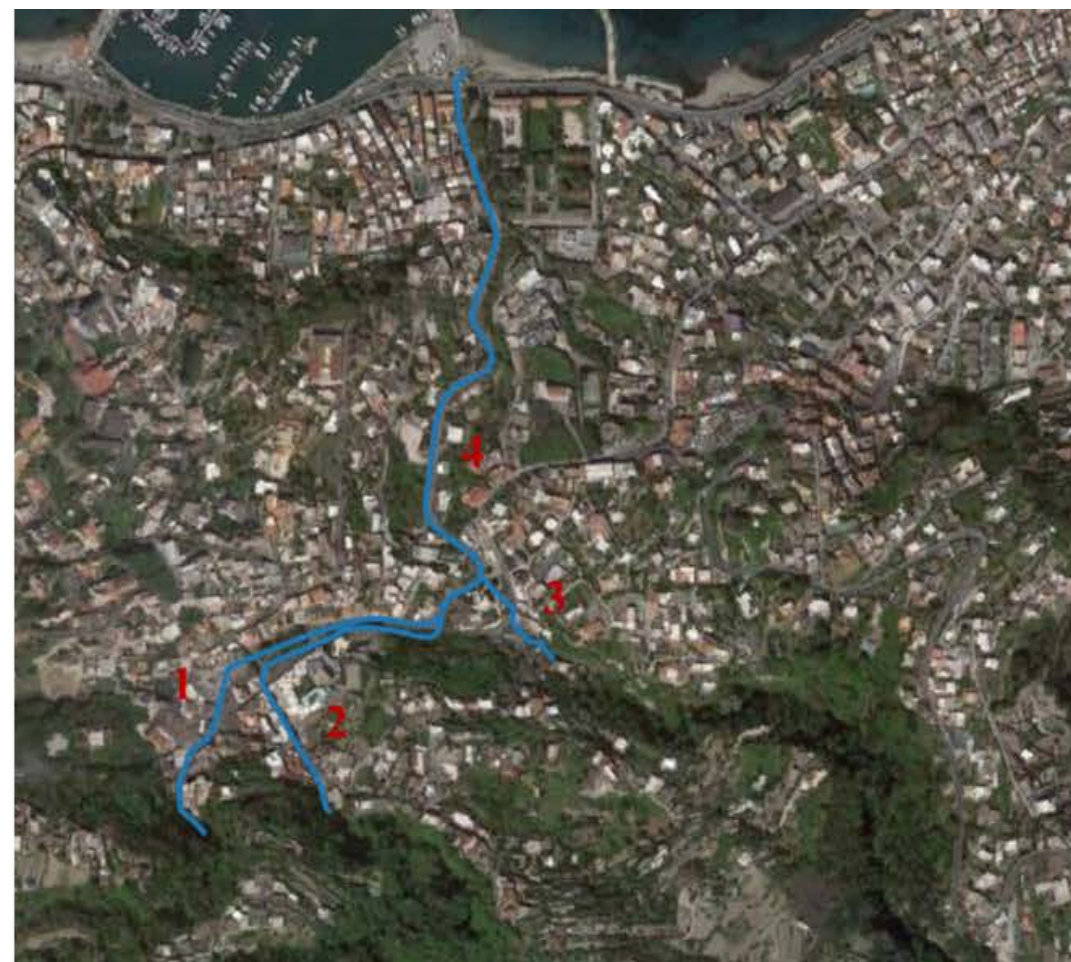
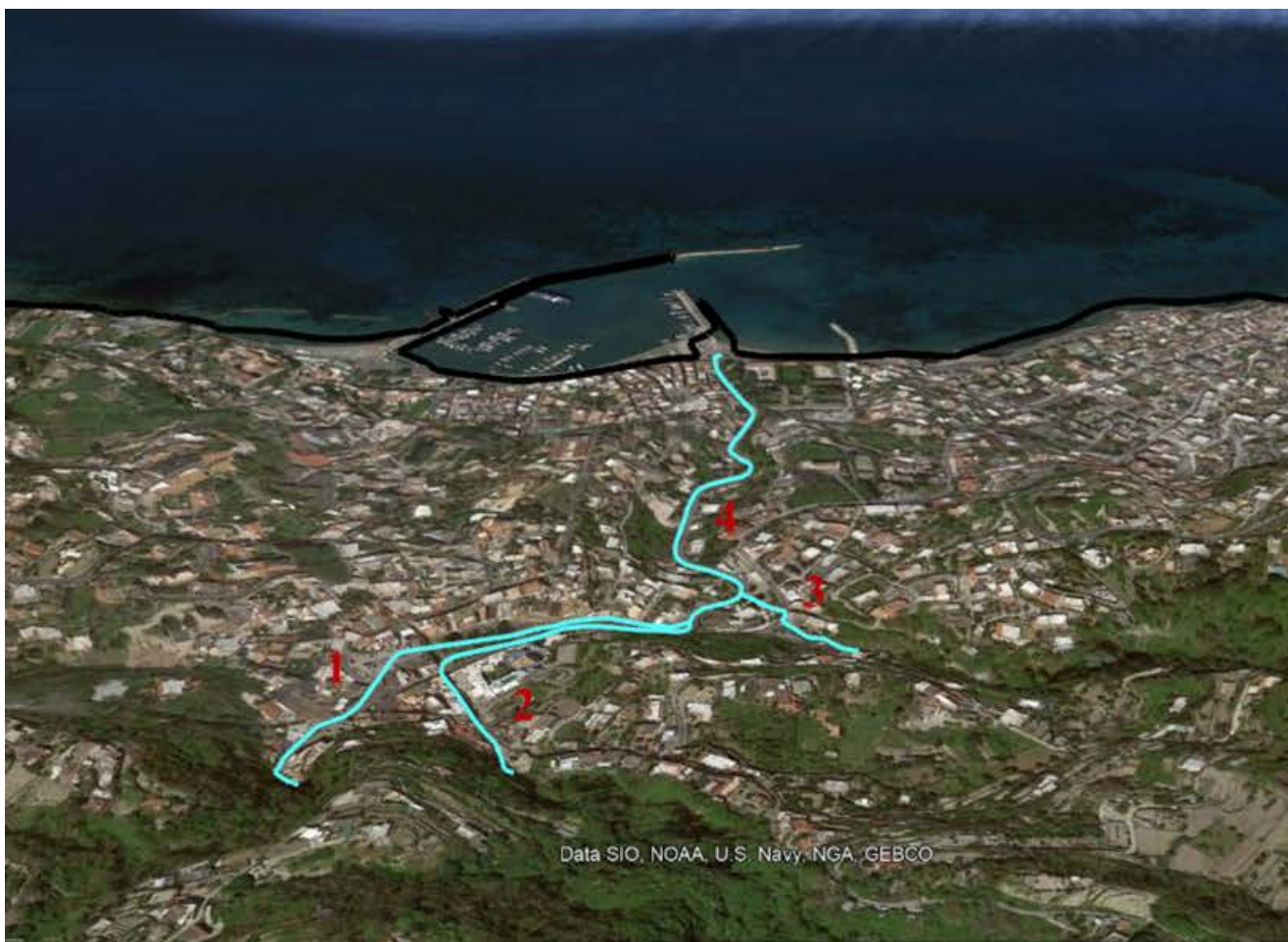
Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Inquadratura satellitare (Google Earth) dell'area presa a riferimento nelle analisi idrologiche



Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete urbana di drenaggio a servizio del comune di Casamicciola Terme



Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Inquadramento satellitare dell'alveo della Cava La Rita



Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Reticolo idrografico



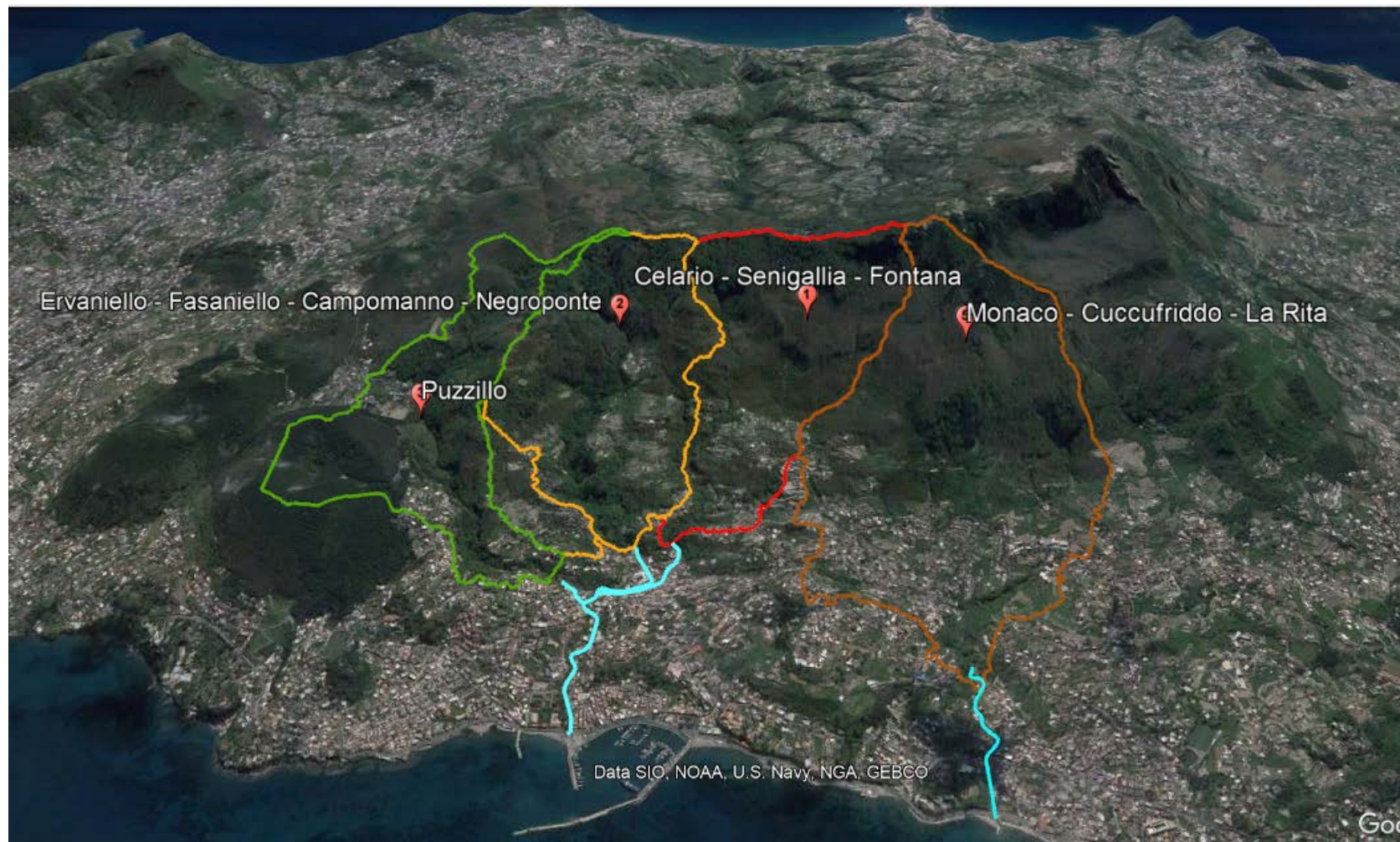
Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Reticolo idrografico e relativi bacini idrografici



Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Bacini idrografici con relativo identificativo



Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

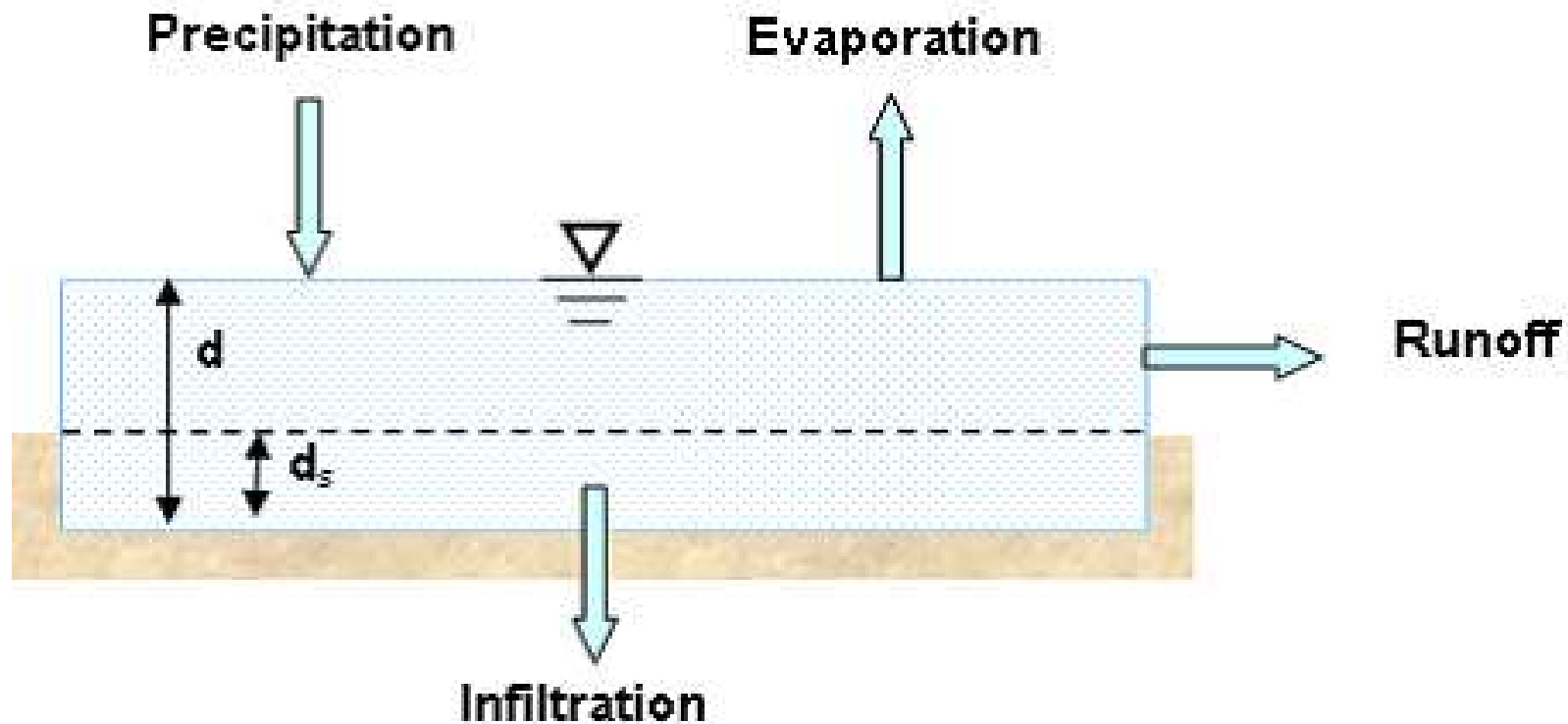
Caratteristiche fisiografiche dei bacini idrografici analizzati

ID	Sezione chiusura	Area [ha]	Pendenza media [%]	Quota media [m s.l.m.m.]
1	Cava Sinigallia tombata Via Nizzola	72.6	80.1	377
2	Cava Fasaniello tombata Via Ombrasco	99.4	69.6	275
3	Cava Puzzillo tombata Immissione Via V. Emanuele	84.2	62.9	268
4	Cava La Rita tombata Via Cava	135.6	60.2	271

Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse Modello di ruscellamento superficiale (SWMM – Invaso non lineare)

Per stimare il deflusso superficiale prodotto dalla pioggia netta (P_n), SWMM modella la superficie del bacino come un serbatoio non lineare

Modello di ruscellamento superficiale in SWMM

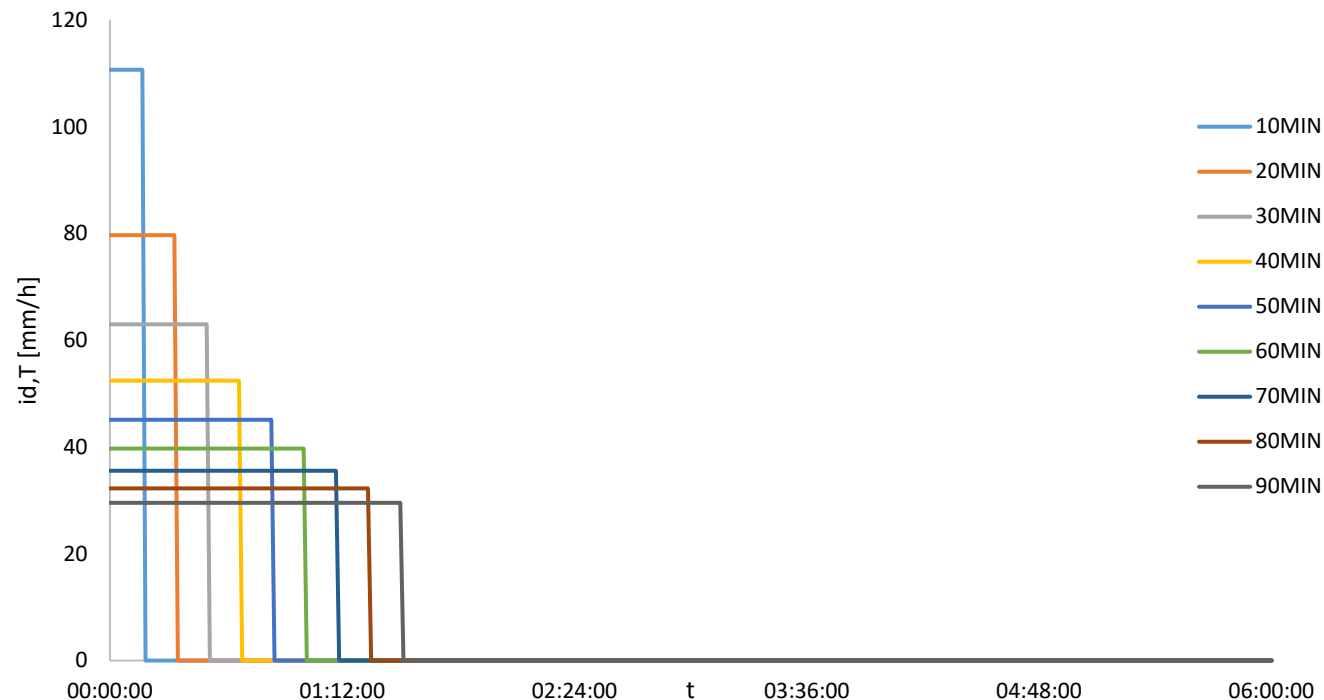


Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Approccio massimizzante per la valutazione della portata al picco

(Paladini, 1901; Fantoli, 1904; Chow, 1954)

Per stimare la portata massima, si utilizza un approccio «variazionale» (o «massimizzante») che fa variare la durata di pioggia d e, per ognuna delle durate di pioggia selezionate, a partire dall'espressione della c_{pp} , individua la coppia di valori $(d, i_{d,T})$. A partire da un pluviogramma rettangolare di durata d e intensità costante pari a $i_{d,T}$ utilizzando il modello di trasformazione afflussi/deflussi prescelto (in questo caso, lo SWMM), si valuta quindi la portata massima istantanea Q_d . Dopodiché, al variare della durata d , valuta Q_T come il massimo tra i valori di Q_d .



Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Approccio massimizzante per la valutazione della portata al picco (Paladini, 1901; Fantoli, 1904; Chow, 1954)

Per stimare la portata massima, si utilizza un approccio «variazionale» (o «massimizzante») che fa variare la durata di pioggia d e, per ognuna delle durate di pioggia selezionate, a partire dall'espressione della c_{pp} , individua la coppia di valori $(d, i_{d,T})$. A partire da un pluviogramma rettangolare di durata d e intensità costante pari a $i_{d,T}$ utilizzando il modello di trasformazione afflussi/deflussi prescelto (in questo caso, lo SWMM), si valuta quindi la portata massima istantanea Q_d . Dopodiché, al variare della durata d , valuta Q_T come il massimo tra i valori di Q_d .

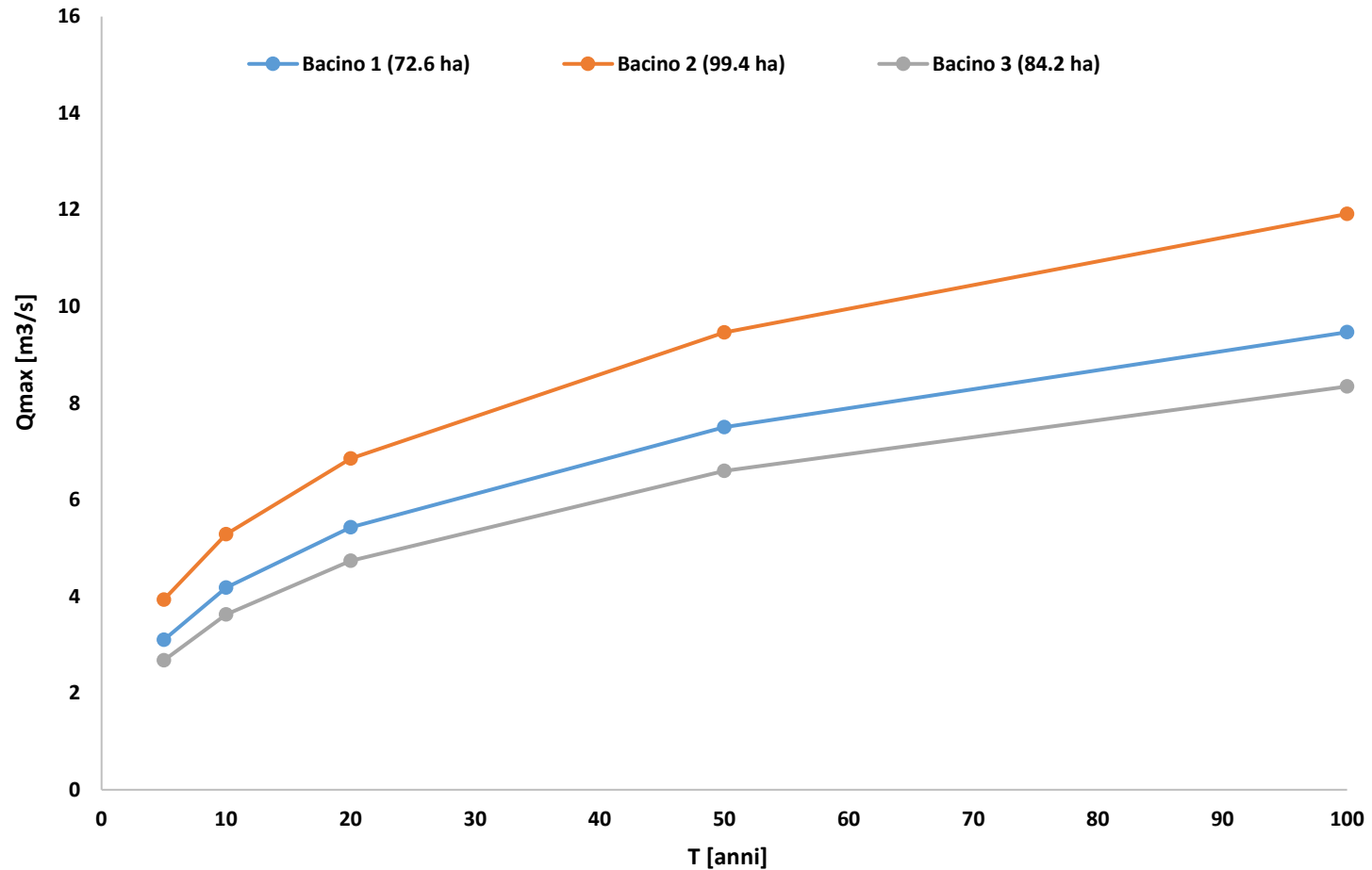
Portata in arrivo nelle tre sezioni di chiusura al variare della durata di pioggia e per T=100 anni

Q [m ³ /s] per T=100 anni				
d [min]	d [h]	Cava Sinigallia tombata (Bacino 1)	Cava Fasaniello tombata (Bacino 2)	Cava Puzzillo tombata (Bacino 3)
10	0.166667	3.67188	3.93764	2.28073
20	0.333333	6.94353	7.82104	4.76770
30	0.5	8.61137	10.09604	6.40310
40	0.666667	9.30609	11.27852	7.39620
50	0.833333	9.46738	11.79506	7.96102
60	1	9.34460	11.91346	8.24442
70	1.166667	-	11.79678	8.34307
80	1.333333	-	-	8.32072

Obiettivo C: Valutazione delle massime portate liquide in arrivo a diverse sezioni di interesse

Andamento delle portate massime al variare del periodo di ritorno T

Portata in arrivo nelle tre sezioni di chiusura al variare della durata di pioggia e per T=100 anni



Caratteristiche dei flussi iper-concentrati e dei debris-flows

Le principali caratteristiche dei debris-flows possono essere così sintetizzate:

- fortissime concentrazioni di particelle solide (fino al 60% del volume complessivo), con diametri dei granuli compresi tra 10^{-4} m e 1 m);
- comportamento reologico molto complicato;
- propagazione dei fronti su superfici inizialmente “asciutte”;
- continui passaggi da correnti veloci a lente e viceversa, con formazione di risalti mobili (anche multipli);
- velocità molto elevate (con valori stimati fino a 15-18 m/s).

Caratteristiche dei flussi iper-concentrati e dei debris-flows

Le principali caratteristiche dei debris-flows possono essere così sintetizzate:

- fortissime concentrazioni di particelle solide (fino al 60% del volume complessivo), con diametri dei granuli compresi tra 10^{-4} m e 1 m);
- comportamento reologico molto complicato;
- propagazione dei fronti su superfici inizialmente “asciutte”;
- continui passaggi da correnti veloci a lente e viceversa, con formazione di risalti mobili (anche multipli);
- velocità molto elevate (con valori stimati fino a 15-18 m/s).

Valutazione dei fenomeni che si sviluppano durante un evento di colata rapida...

Allo scopo di valutare, nella maniera più corretta, le azioni statiche e dinamiche esplicabili da un fenomeno di colata rapida, è necessario avvalersi di idonei modelli interpretativi e, possibilmente, di semplici regole di dimensionamento:

- Modelli di propagazione: uni- e bi-dimensionali;
- Modelli fisici in scala ridotta;
- Regole empiriche, basate su risultati di modelli fisici e/o matematici

Valutazione dei fenomeni che si sviluppano durante un evento di colata rapida...

Allo scopo di valutare, nella maniera più corretta, le azioni statiche e dinamiche esplicabili da un fenomeno di colata rapida, è necessario avvalersi di idonei modelli interpretativi e, possibilmente, di semplici regole di dimensionamento:

- Modelli di propagazione: uni- e bi-dimensionali;
- Modelli fisici in scala ridotta;
- Regole empiriche, basate su risultati di modelli fisici e/o matematici

Valutazione dei fenomeni che si sviluppano durante un evento di colata rapida...

Modelli di propagazione unidimensionali possono senz'altro essere utilizzati per simulare i cosiddetti “*flussi incanalati*”, che si sviluppano lungo fossi e valloni seguendo, sostanzialmente, una predeterminata direzione, anche non rettilinea.

Modellazioni bi-dimensionali sono invece da preferirsi in tutte le circostanze in cui la direzione del flusso non può essere prevista a priori, come ad esempio avviene nel caso di esondazione dai valloni, nei fenomeni che interessano versanti e nelle vasche pedemontane,

Valutazione dei fenomeni che si sviluppano durante un evento di colata rapida...

Dopo una prima fase di studio, la modellazione dei fenomeni viene sempre più frequentemente effettuata con l'ausilio di modelli bi-dimensionali, basati sul “**Metodo dei Volumi Finiti**” che sembra prestarsi, meglio di qualsiasi altro approccio presente in letteratura tecnica, a portare in conto la presenza di risalti mobili, superfici a contorno molto frastagliato e caratterizzate da topografia complessa

$$\begin{cases} \vec{U} = (h \quad hU \quad hV)^T \\ \vec{f}(\vec{U}) = \left(hU \quad hU^2 + g \frac{h^2}{2} \quad hUV \right)^T \\ \vec{g}(\vec{U}) = \left(hV \quad hUV \quad hV^2 + g \frac{h^2}{2} \right)^T \\ \vec{S}(\vec{U}) = \left(0 \quad -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \right)^T \end{cases}$$

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{f}(\vec{U})}{\partial x} + \frac{\partial \vec{g}(\vec{U})}{\partial y} = \vec{S}(\vec{U})$$

Soluzione numerica...

La modellazione dei fenomeni di debris-flow coinvolge diversi problemi:

- Generazione della griglia di calcolo;
- Modellazione delle quote di fondo;
- Valutazione delle pendenze di fondo;
- Valutazione dei fenomeni dissipativi;
- Valutazione dei flussi tra celle adiacenti (inter-cell fluxes);
- Soluzione numerica delle equazioni fondamentali;
- Modellazione dei fenomeni di propagazione su fondo asciutto;

Generazione della griglia di calcolo ...

Allo scopo di utilizzare grigliati idonei a modellare anche aree particolari, caratterizzati da:

- contorni molto irregolari;
- Presenza di “buchi” (dovuti alla presenza di abitazioni, strutture di dissipazione, piloni, ponti, ecc.,

È stato adottato il metodo di generazione di grigliati triangolari “non strutturati” proposto da Rebay (1993), che applica, per la triangolazione, l’algoritmo di Delaunay

Generazione della griglia di calcolo ...

Allo scopo di utilizzare grigliati idonei a modellare anche aree particolari, caratterizzati da:

- contorni molto irregolari;
- Presenza di “buchi” (dovuti alla presenza di abitazioni, strutture di dissipazione, piloni, ponti, ecc.,

È stato adottato il metodo di generazione di grigliati triangolari “non strutturati” proposto da Rebay (1993), che applica, per la triangolazione, l’algoritmo di Delaunay

Modellazione delle quote di fondo ...

La valutazione delle quote di fondo nei tre vertici di ciascuna cella triangolare è fatta:

- in primo luogo, interpolando le originarie quote di fondo con l'ausilio di un software specializzato (SURFER[®]), che permette di scegliere tra numerosissime tecniche a disposizione per creare un realistico modello digitale del terreno (triangolazione, kriging, etc.);
- in secondo luogo, utilizzando lo stesso software per generare le quote di fondo in corrispondenza dei quattro vertici di un grigliato rettangolare (tanto fitto quanto si ritiene necessario per motivi di precisione);
- infine, interpolando le quote dei vertici della griglia triangolare tra tali valori

Valutazione delle pendenze di fondo ...

Pendenze di fondo valutate analiticamente (piano per tre punti nello spazio).

Ciò evita problemi di accuratezza (trattamento numerico delle pendenze di fondo) !!

Valutazione delle pendenze di fondo ...

Pendenze di fondo valutate analiticamente (piano per tre punti nello spazio).

Ciò evita problemi di accuratezza (trattamento numerico delle pendenze di fondo) !!

Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Modello matematico...

...valutazione della Slope friction...

E' valida la seguente legge reologica

$$\tau = \tau_c + k \left(\frac{dw}{dz} \right)^\eta$$

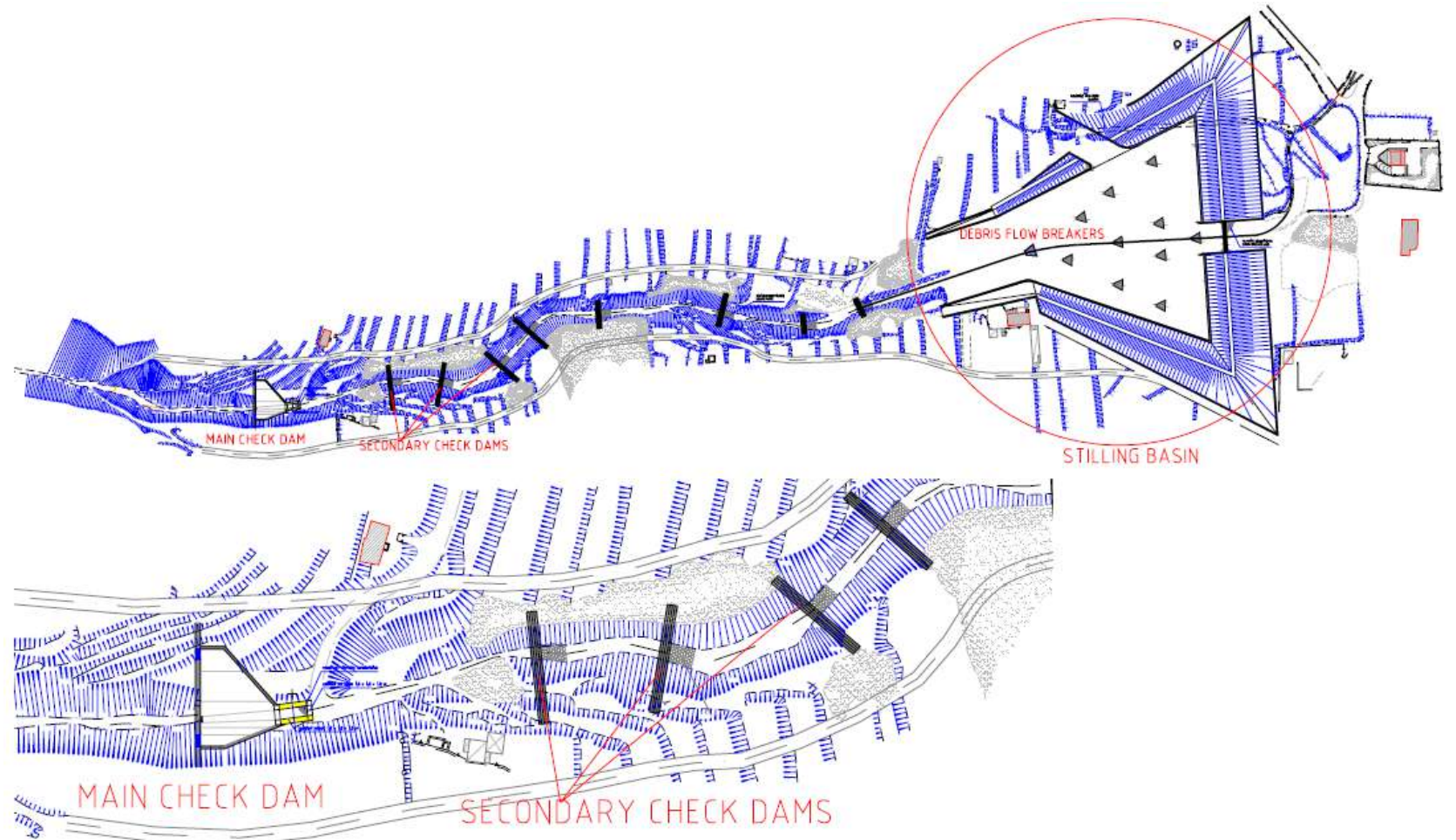
la quale, in moto uniforme, dà luogo alla **formula di resistenza:**

$$W = \begin{cases} h \leq \frac{\tau_c}{g \rho \sin \vartheta} \Rightarrow W = 0 \\ h > \frac{\tau_c}{g \rho \sin \vartheta} \Rightarrow W = \frac{\eta + 1}{\eta} \left(\frac{g \rho \sin \theta}{k} \right)^{\frac{1}{\eta}} \left(h - \frac{\tau_c}{g \rho \sin \vartheta} \right)^{\frac{1+\eta}{\eta}} \left[1 - \frac{\eta}{1+2\eta} \left(1 - \frac{\tau_c}{g \rho \sin \vartheta} \right) \right] \end{cases}$$

Essa è valida anche nel caso di moto gradualmente vario, se a $\sin \theta$ si sostituisce la Slope-friction S_f .

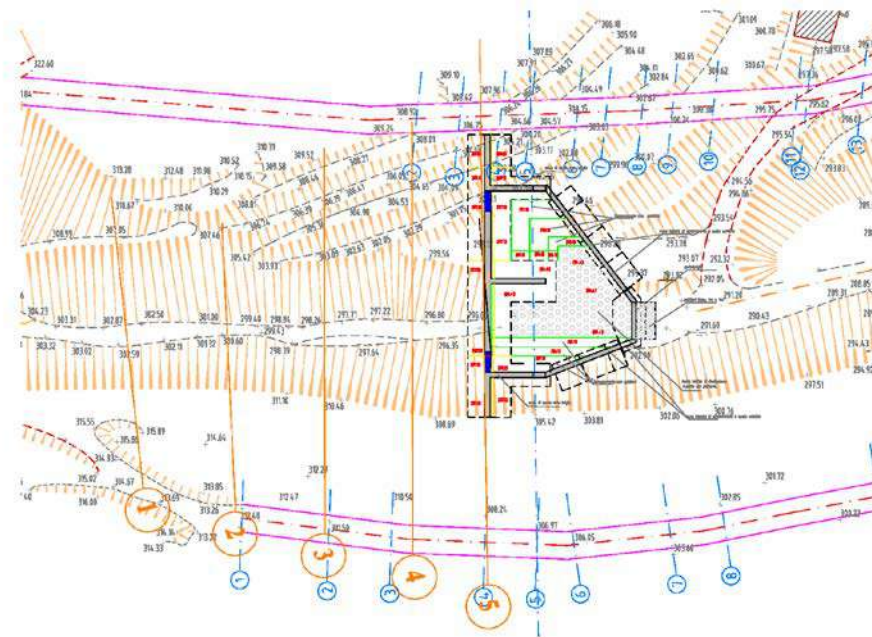
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Esempio: Sistema di mitigazione del rischio da colata rapida attuato sul Vallone Di Mezzo (Montoro, AV) .



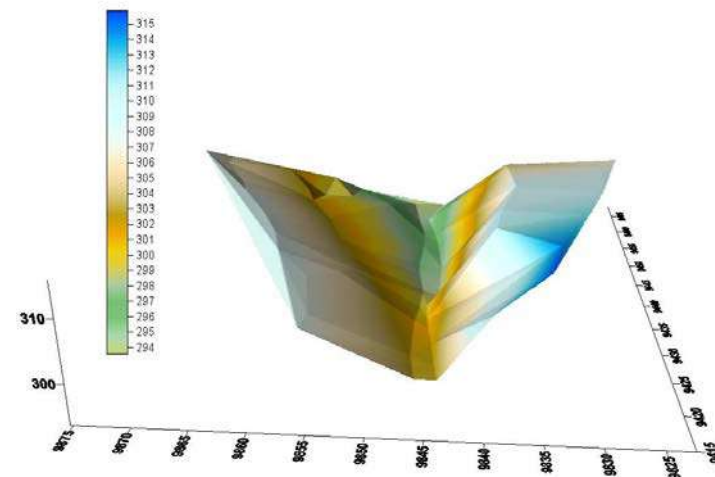
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Progettazione della briglia di testata ...



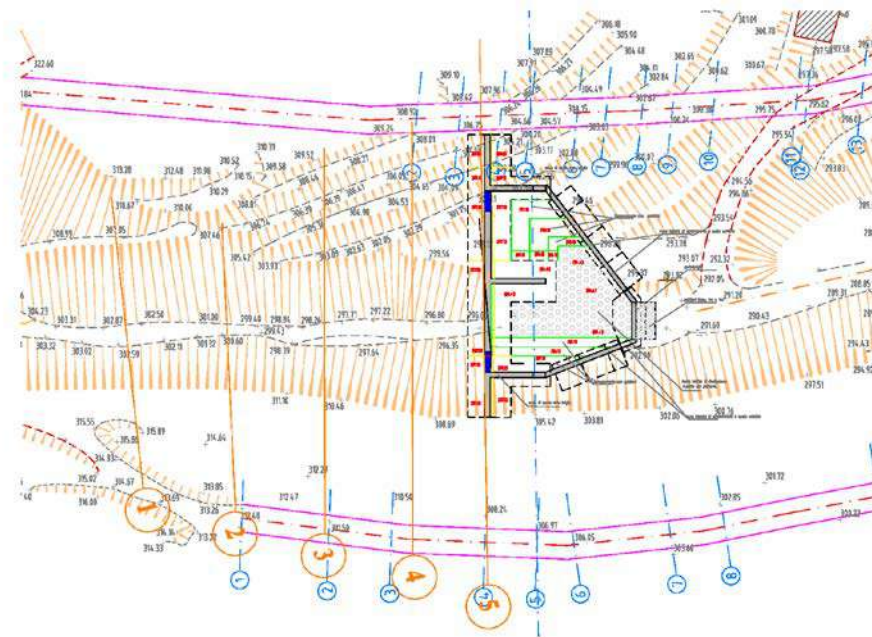
DEM dell'area di invaso ubicata a monte della briglia di testata

Geometria della briglia di testata



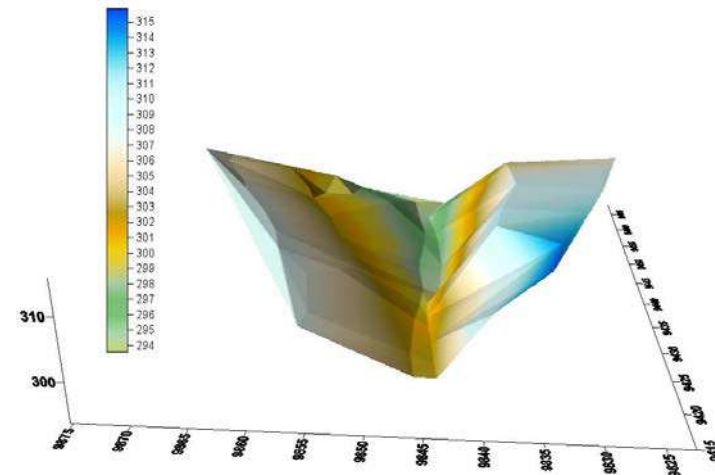
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Progettazione della briglia di testata ...



DEM dell'area di invaso ubicata a monte della briglia di testata

Geometria della briglia di testata

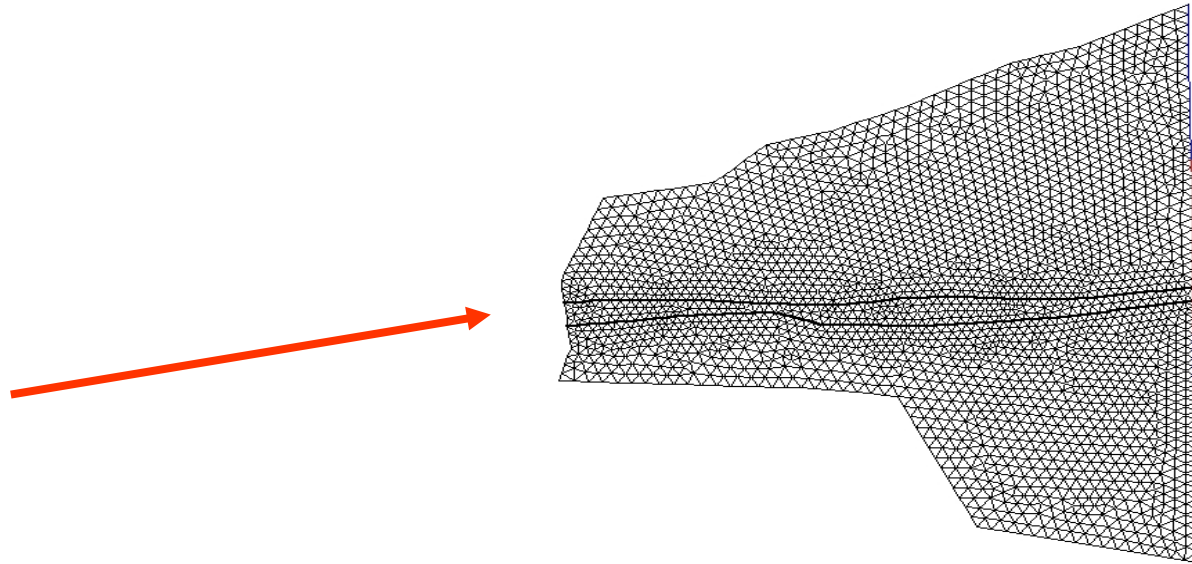
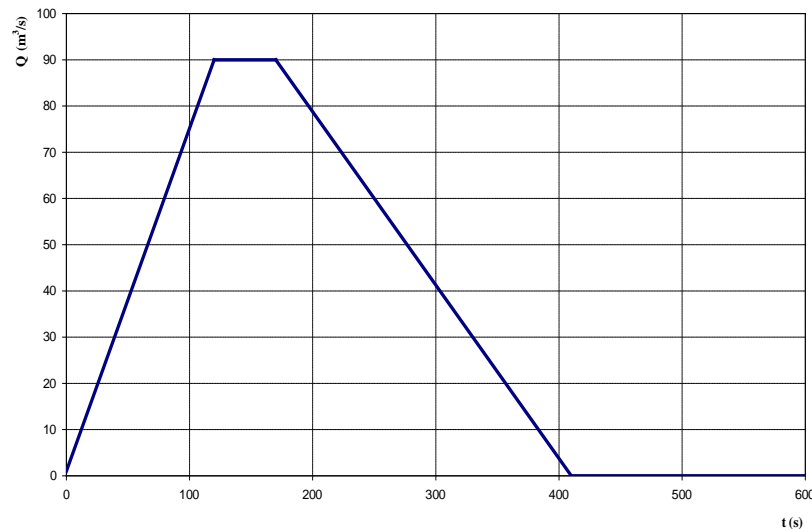


Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

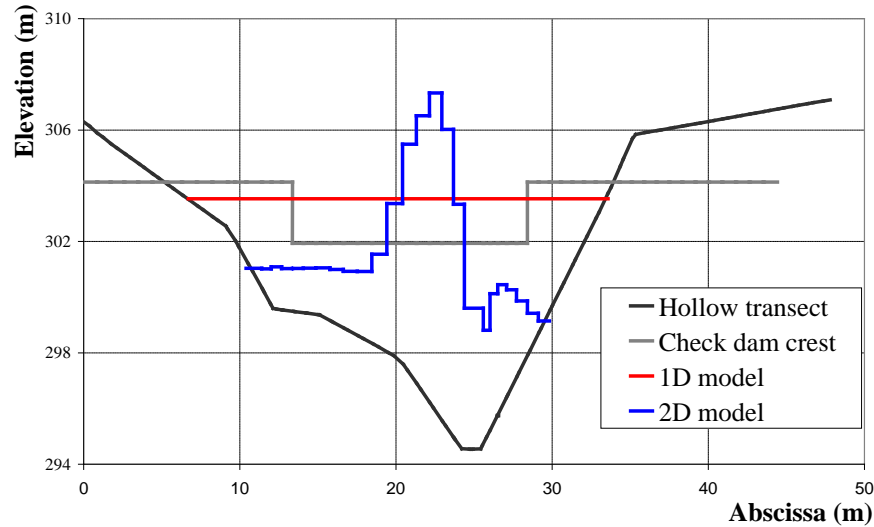
Progettazione della briglia di testata ...

The mesh used for the calculations

Fangogramma in ingresso

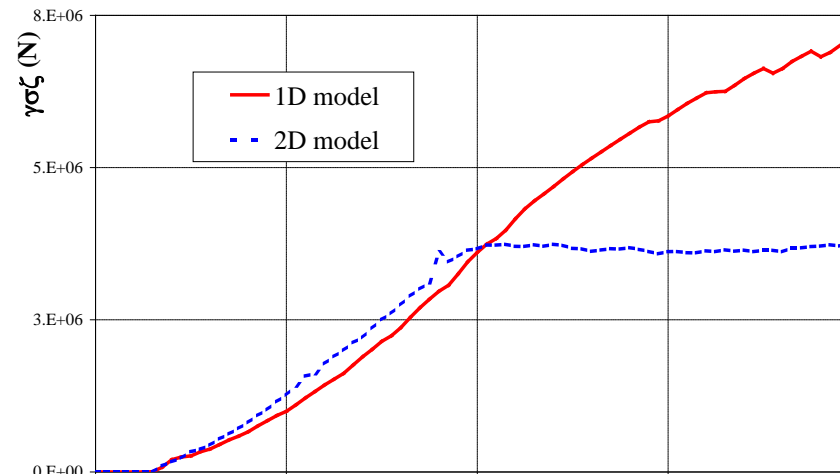
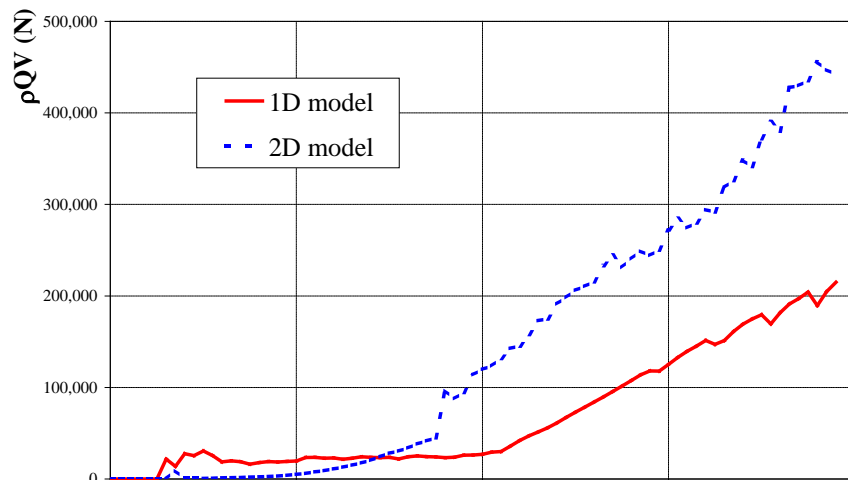


Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade



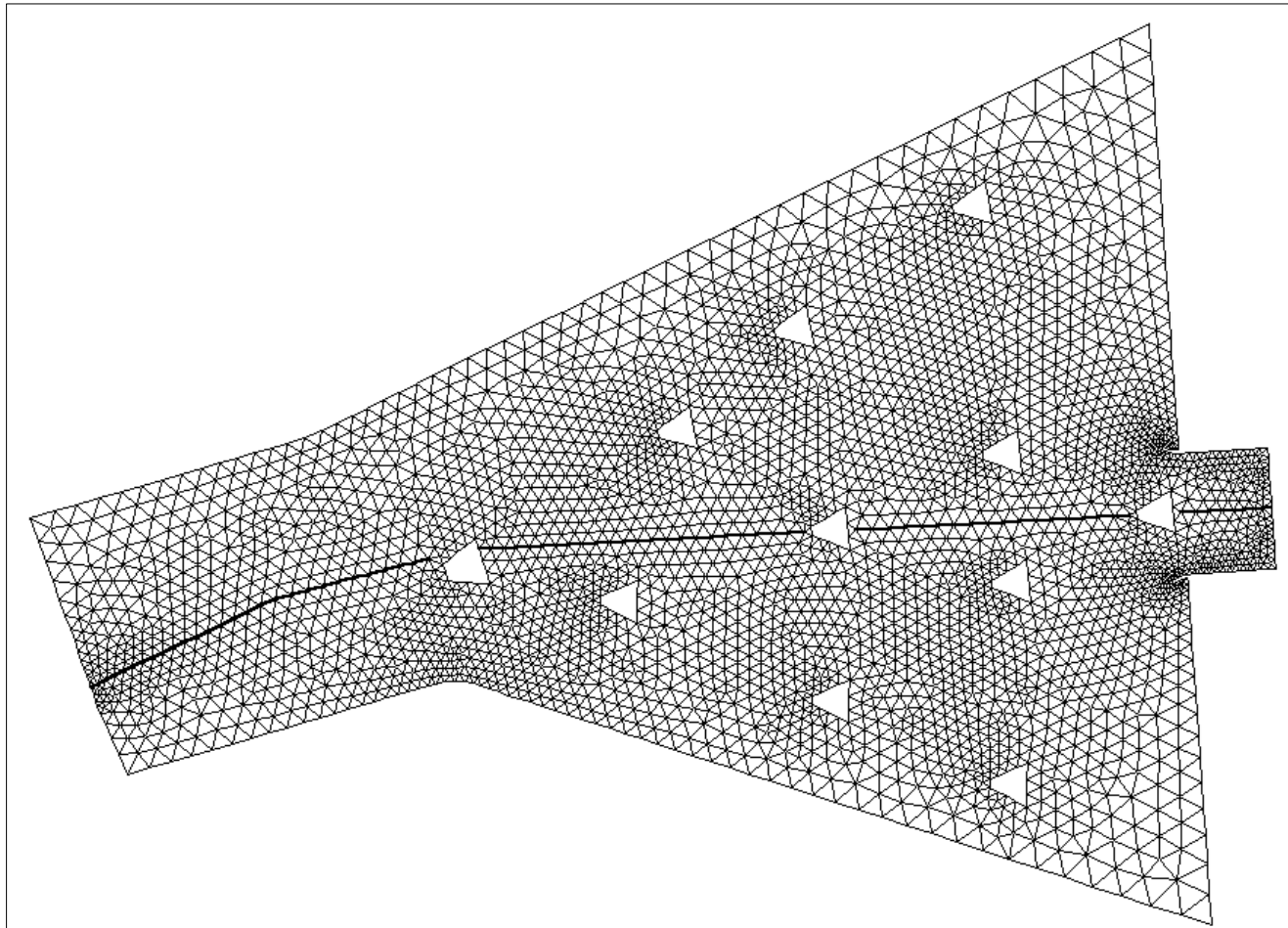
Progettazione della briglia di testata ...

Water depths, static and dynamic loads: comparison between 1-D and 2-D debris-flow propagation models.



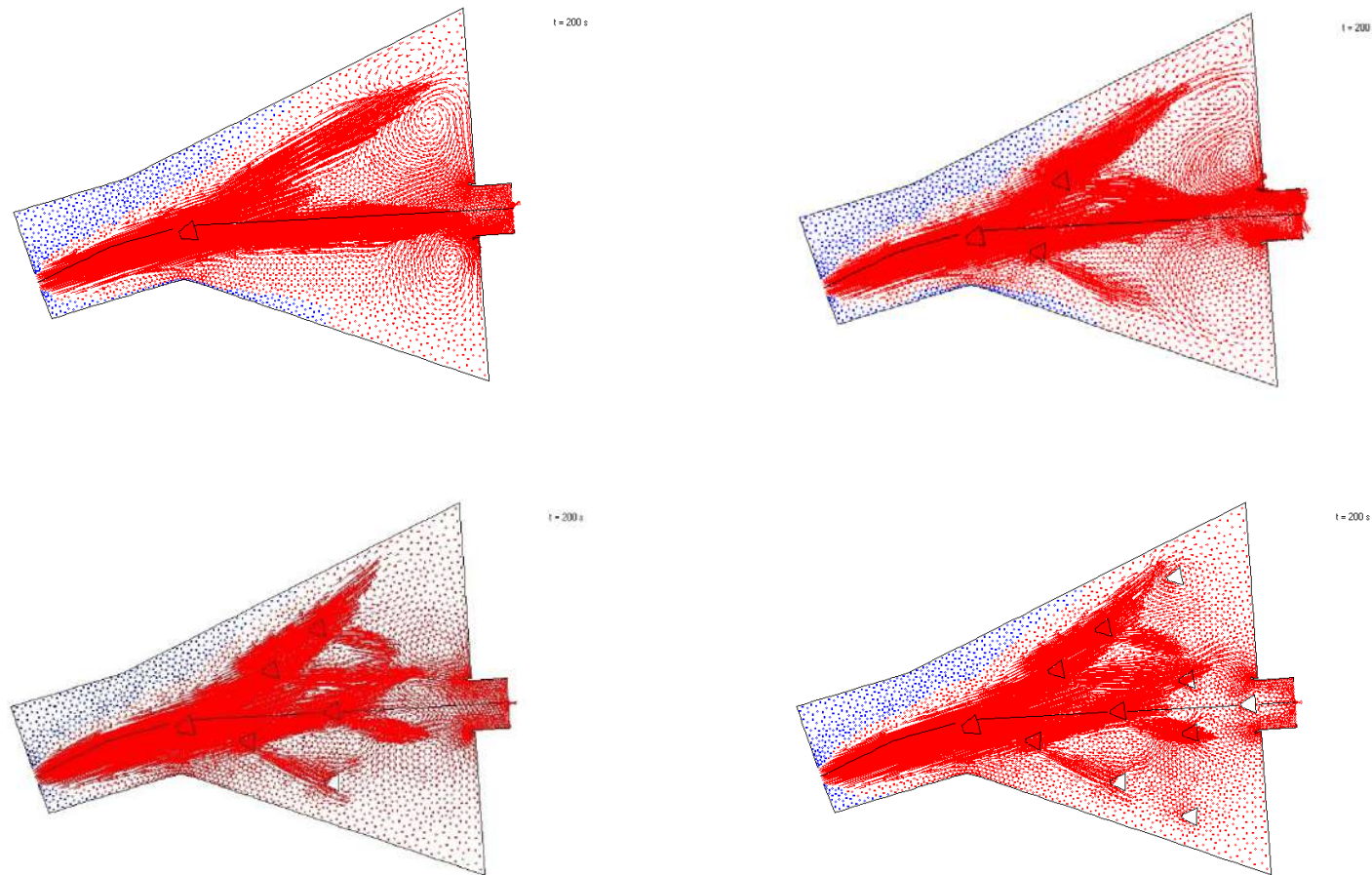
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Simulazioni vasca terminale avvalendosi di una Mesh non strutturata ...



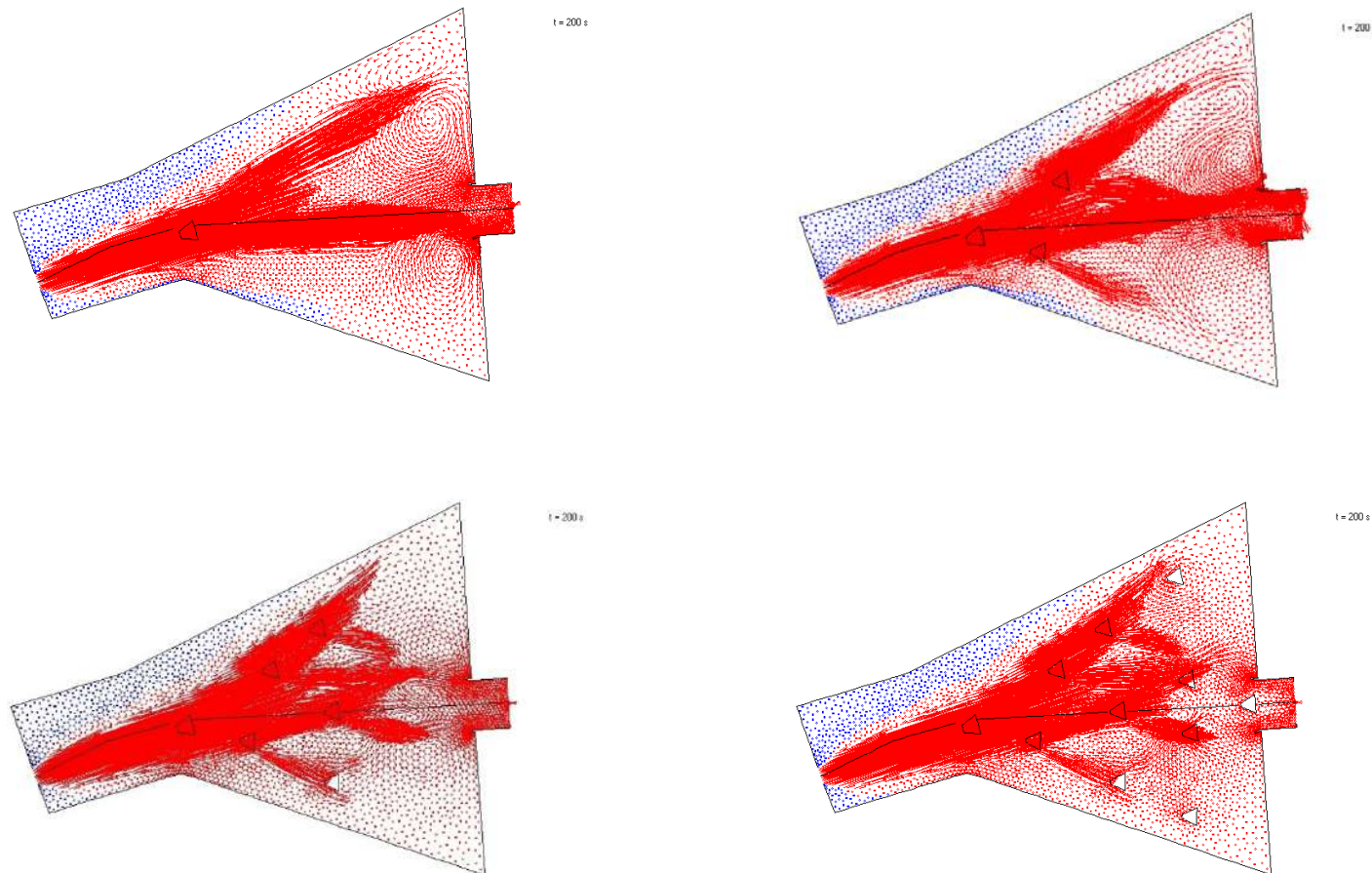
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

La posizione dei rostri (“debris-flow-breakers”) è stata ottimizzata con una tecnica “trial and error”, in modo da massimizzare gli effetti dissipativi ...



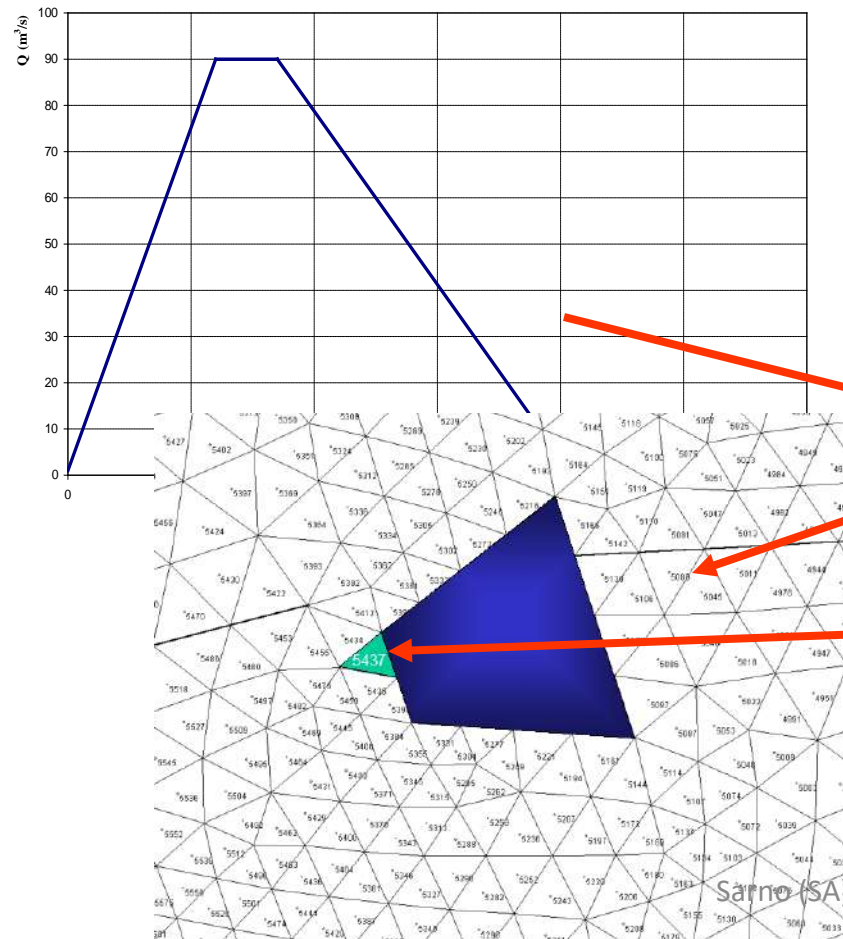
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

La posizione dei rostri (“debris-flow-breakers”) è stata ottimizzata con una tecnica “trial and error”, in modo da massimizzare gli effetti dissipativi ...

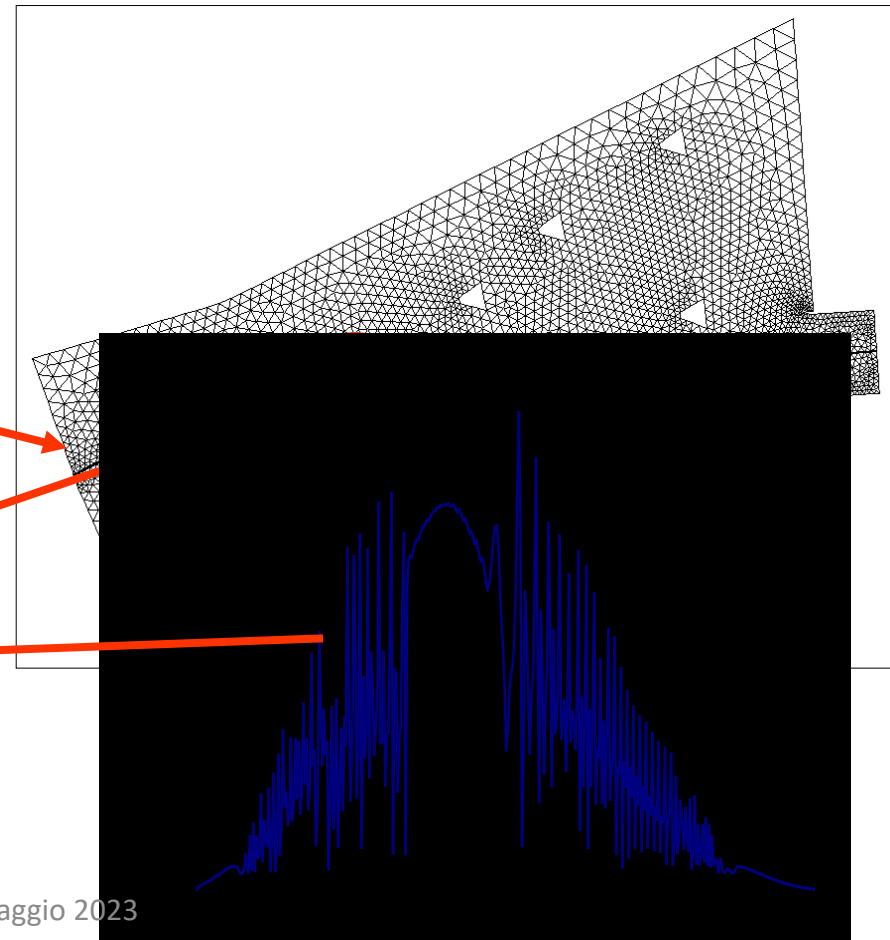


Progettazione della vasca terminale...

Fangogramma in ingresso



Mesh utilizzata per i calcoli

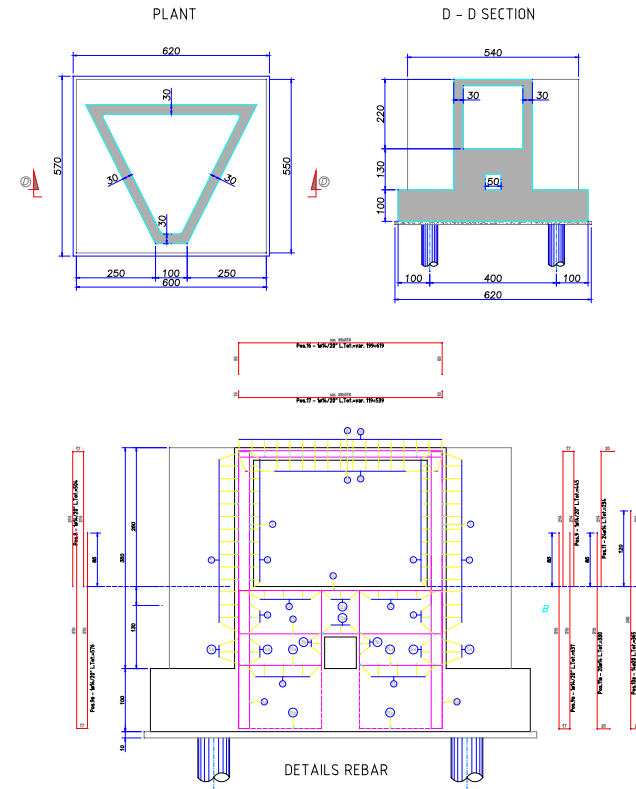
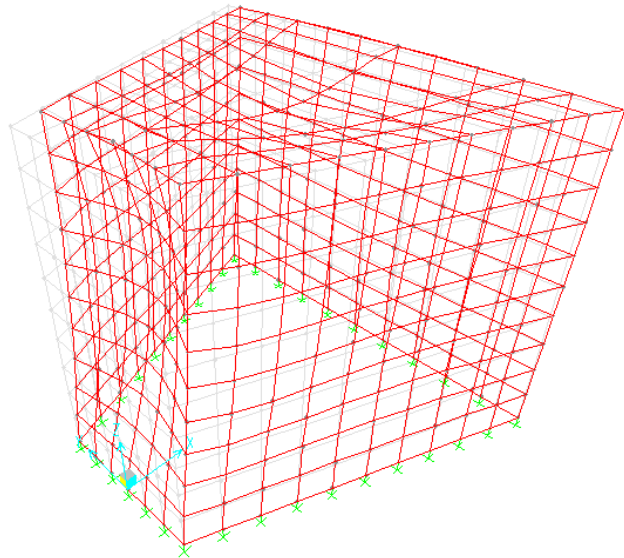


Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

La valutazione delle azioni statiche e dinamiche agenti sugli elementi strutturali...

Geometria del debris-flow-breaker principale

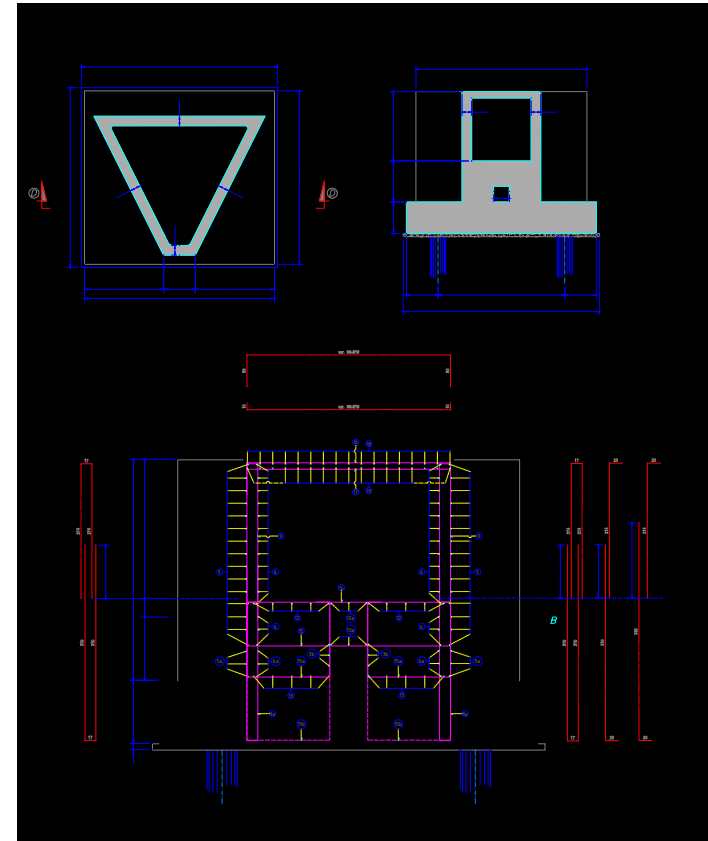
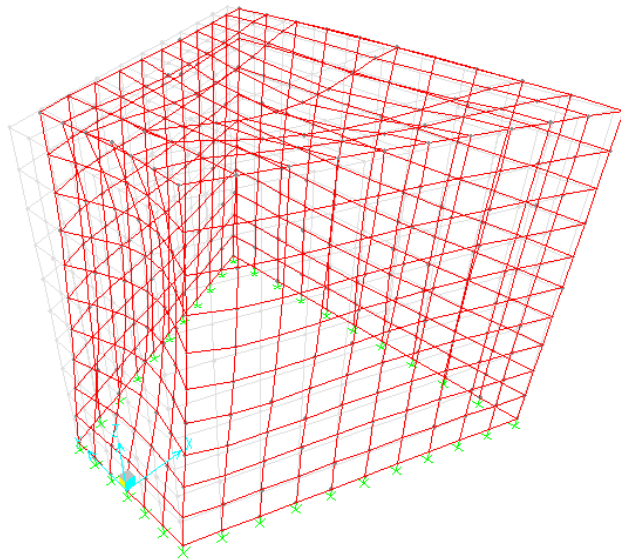
Deformazione subita dal rostro



Progettazione della vasca terminale...

Geometria del debris-flow-breaker principale

Deformazione subita dal rostro



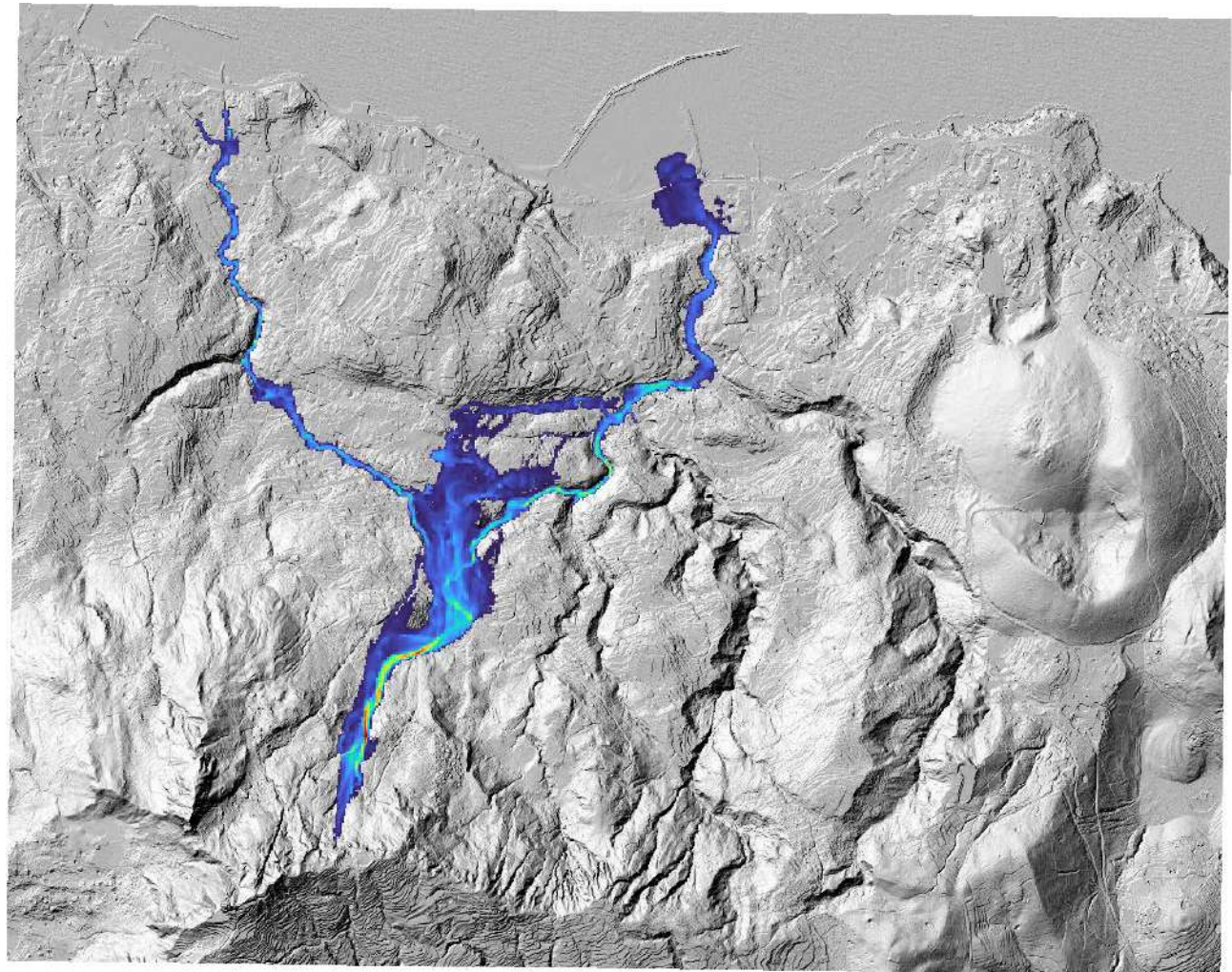
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Applicazioni del modello al caso di Casamicciola Terme

Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

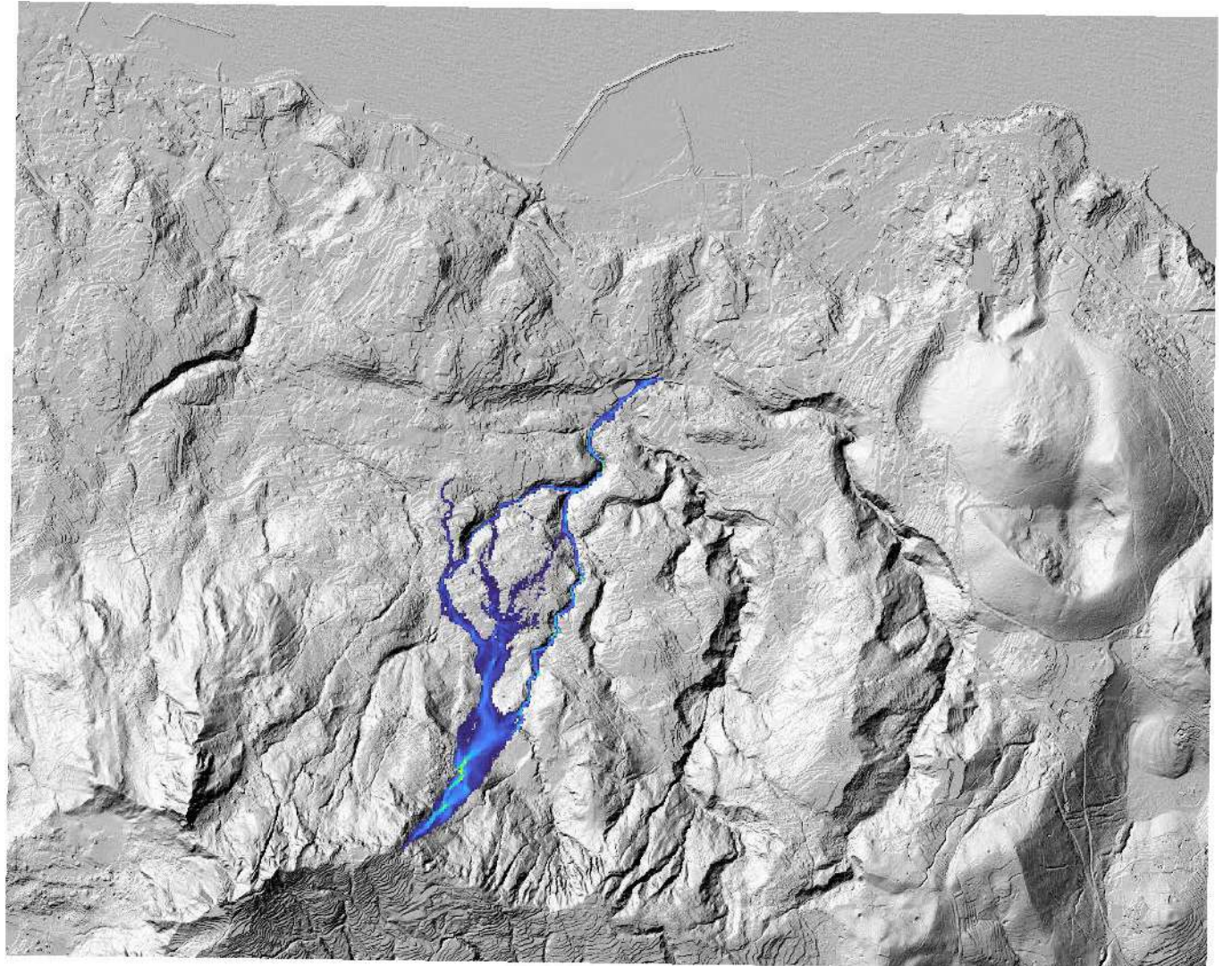
Modellazione effettuata con l'ausilio di un modello Bi-Dimensionale originale, prodotto da Pianese et al. (Davos, 2003), basato sull'uso di una tecnica ai volumi finiti

Risultati delle Simulazioni relative al "Sistema Celario" relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Celario – I ramo



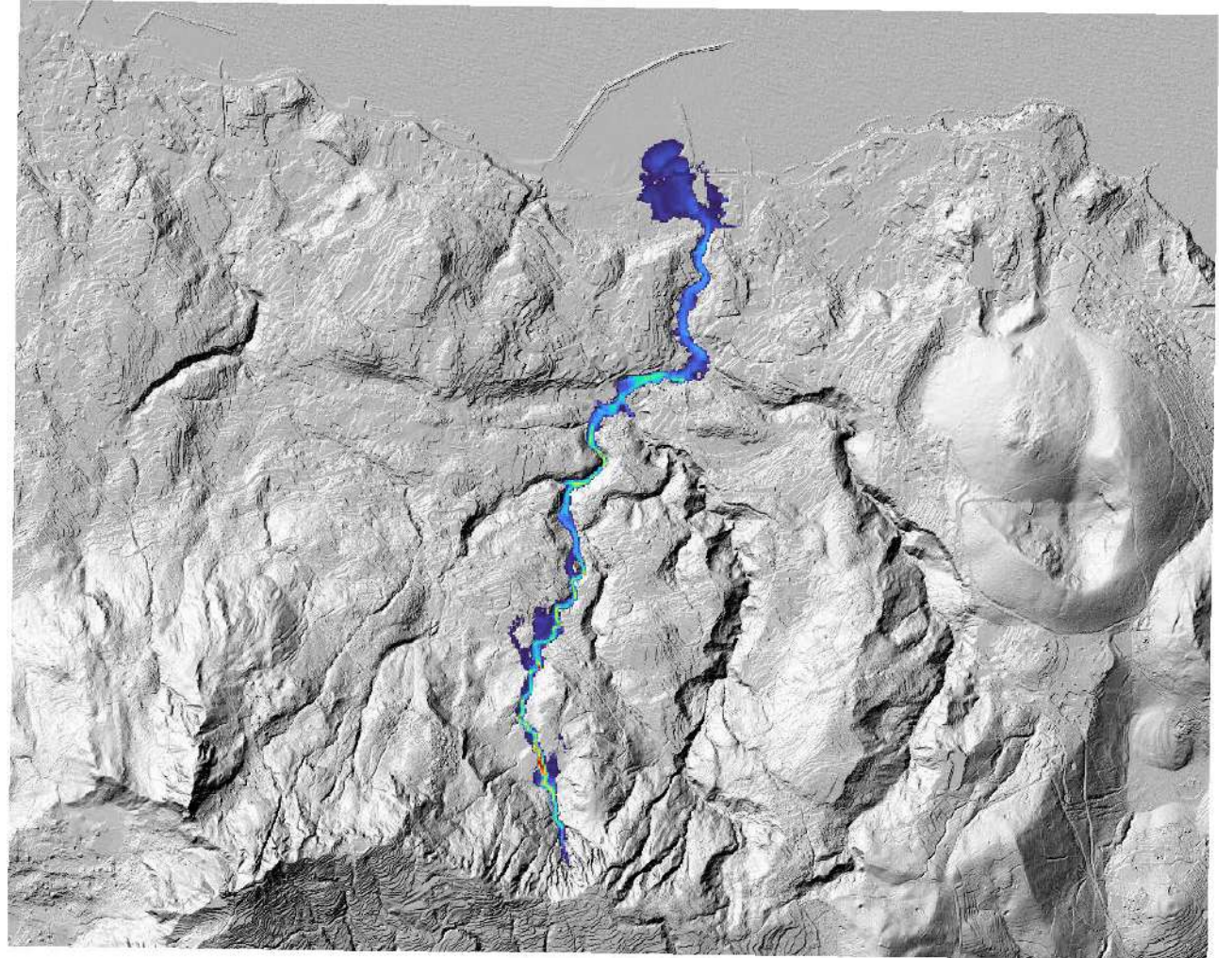
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Celario – Il ramo



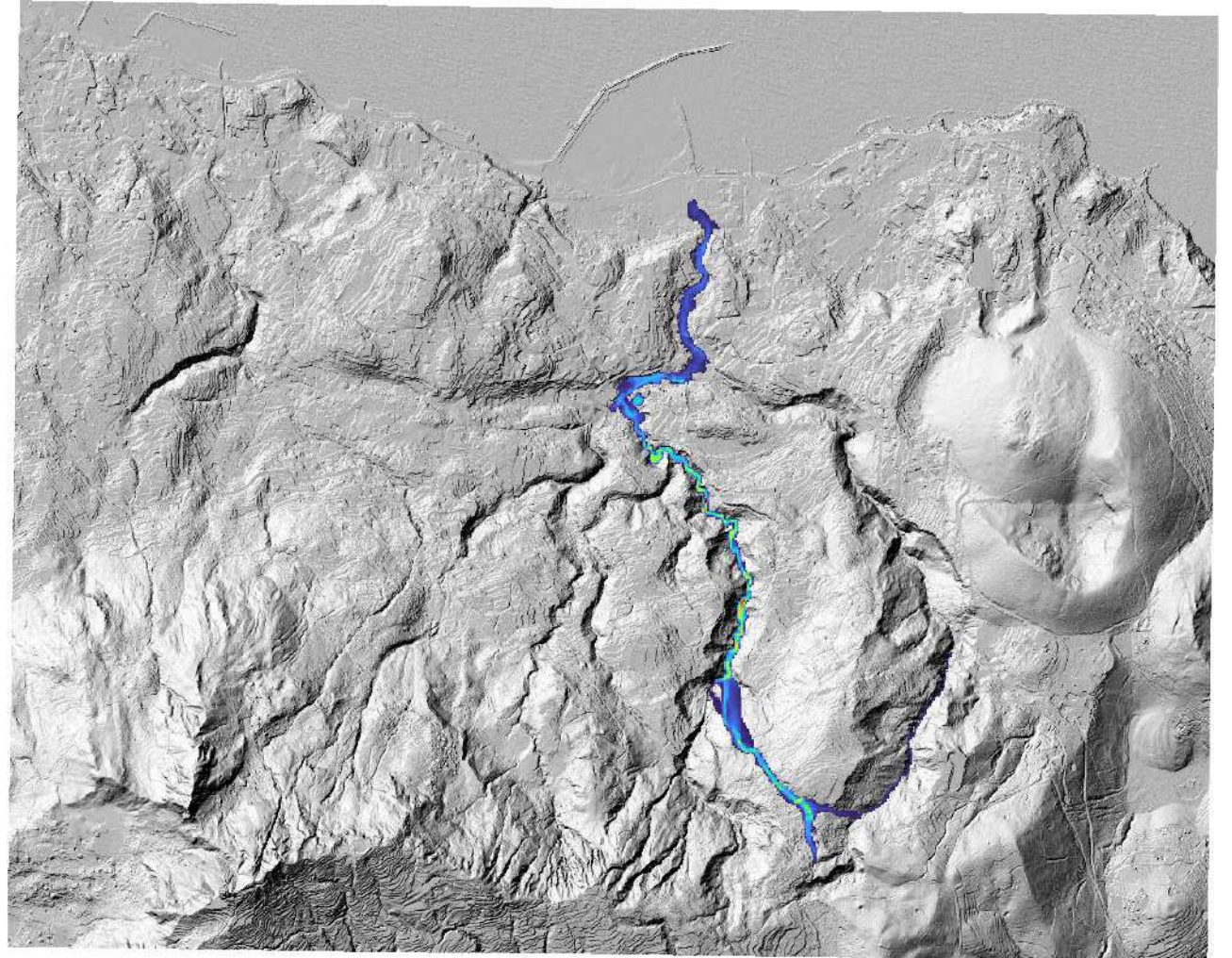
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

*Risultati delle Simulazioni relative al
"Sistema Celario" relativamente al
deflusso di un flusso iper-concentrato di
acqua frammista a sedimenti
proveniente dalla Cava Sinigallia*



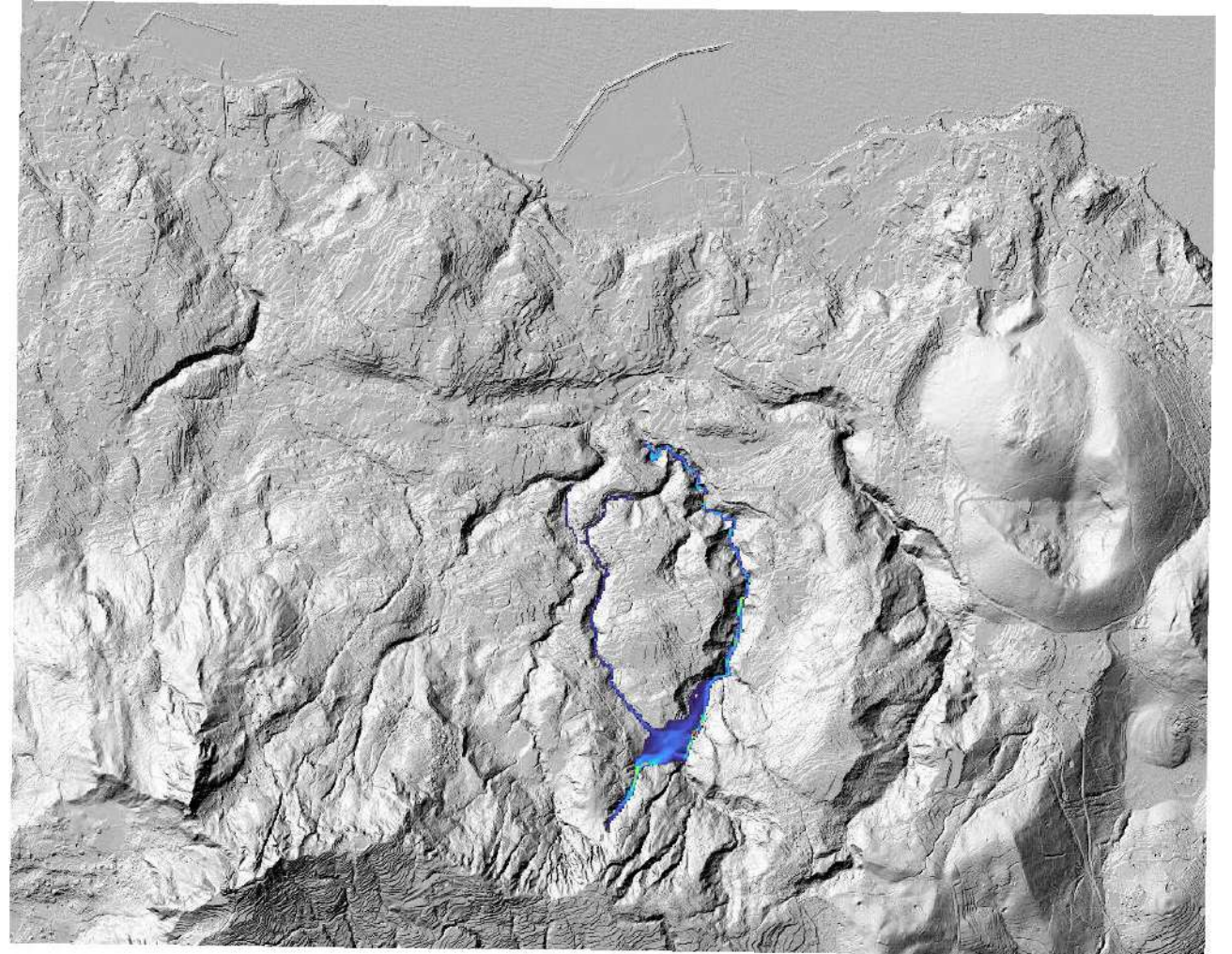
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Negroponte – I ramo



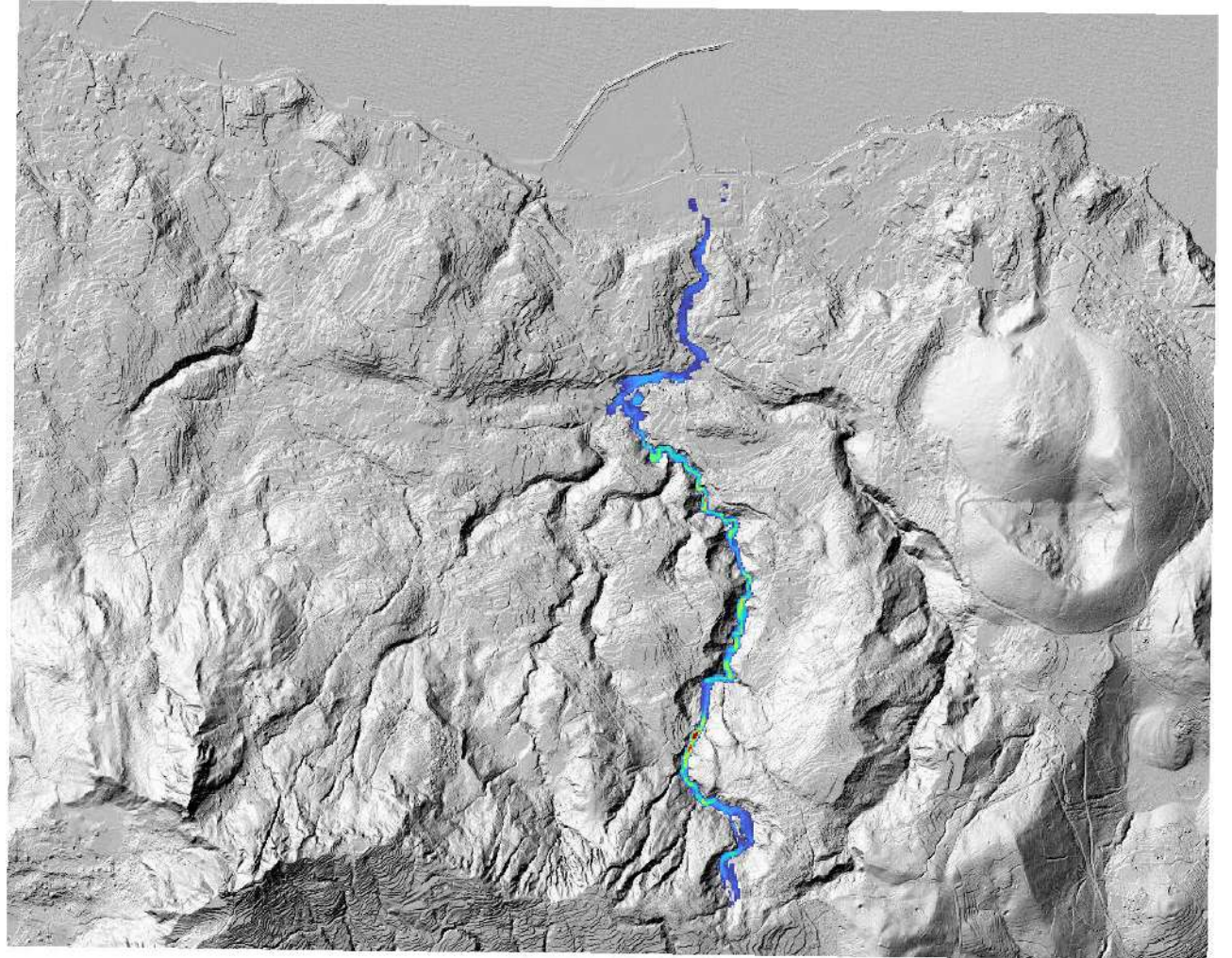
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Negroponte – Il ramo



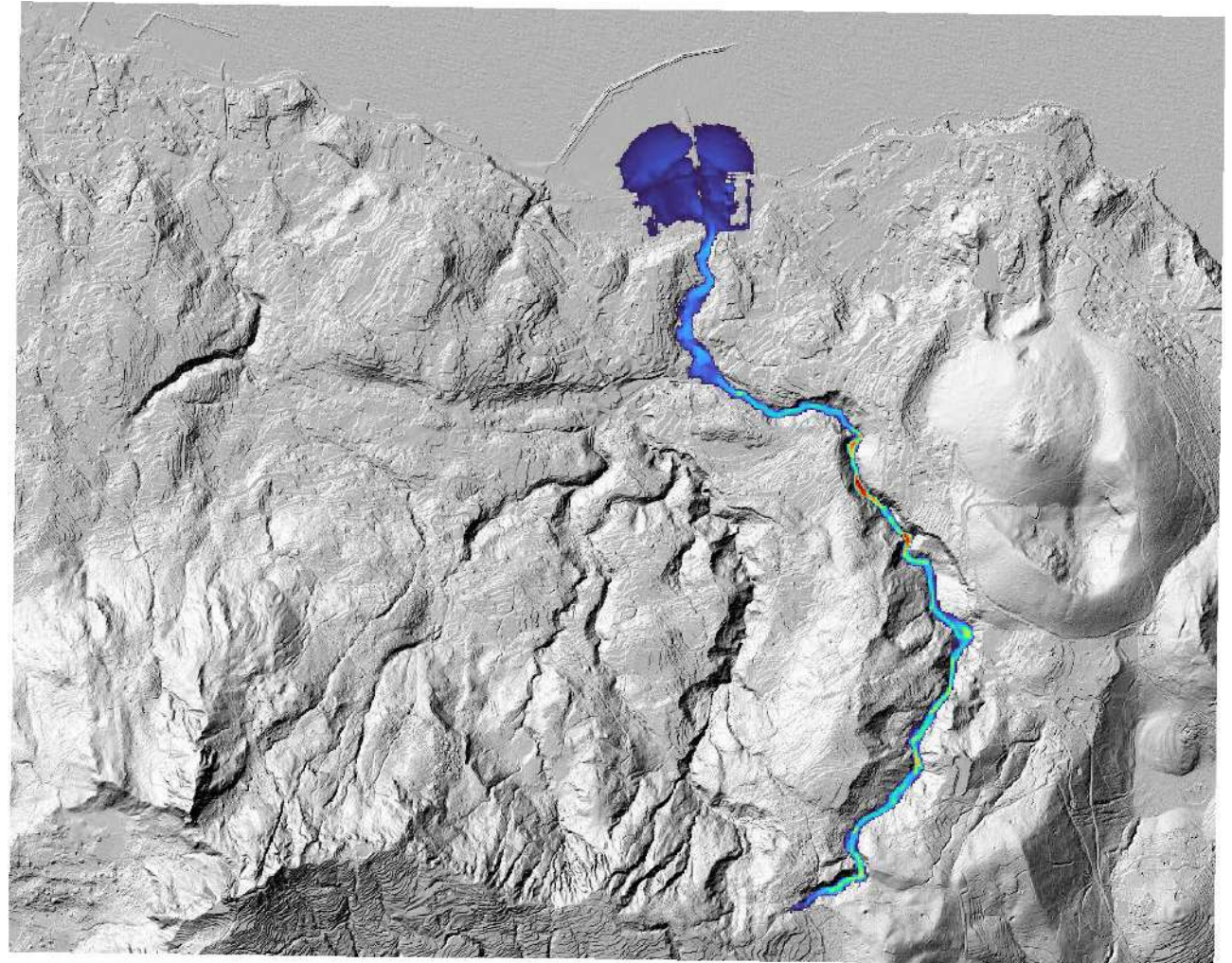
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al "Sistema Celario" relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Fasaniello-Ervaniello



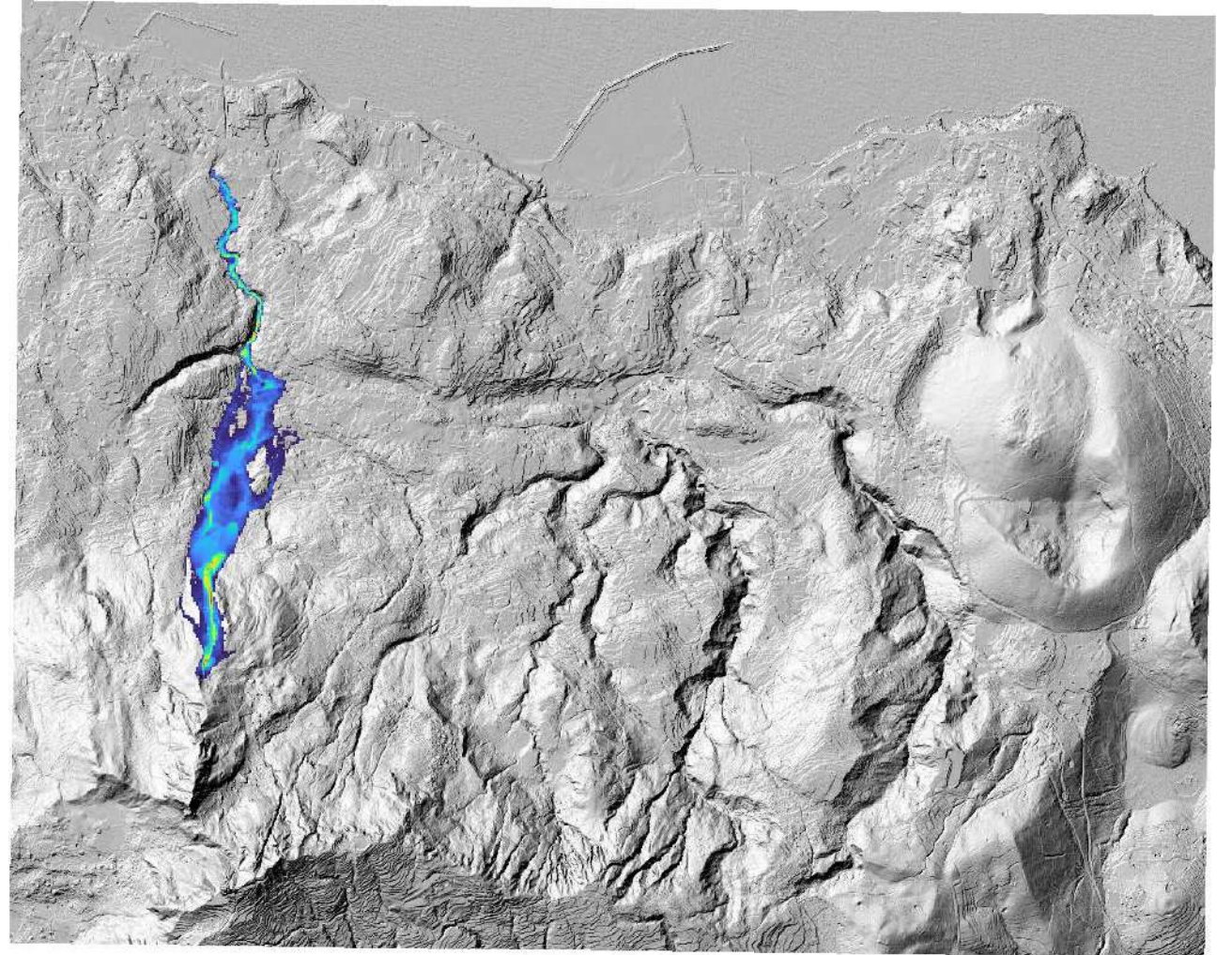
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al "Sistema Celario" relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Puzzillo



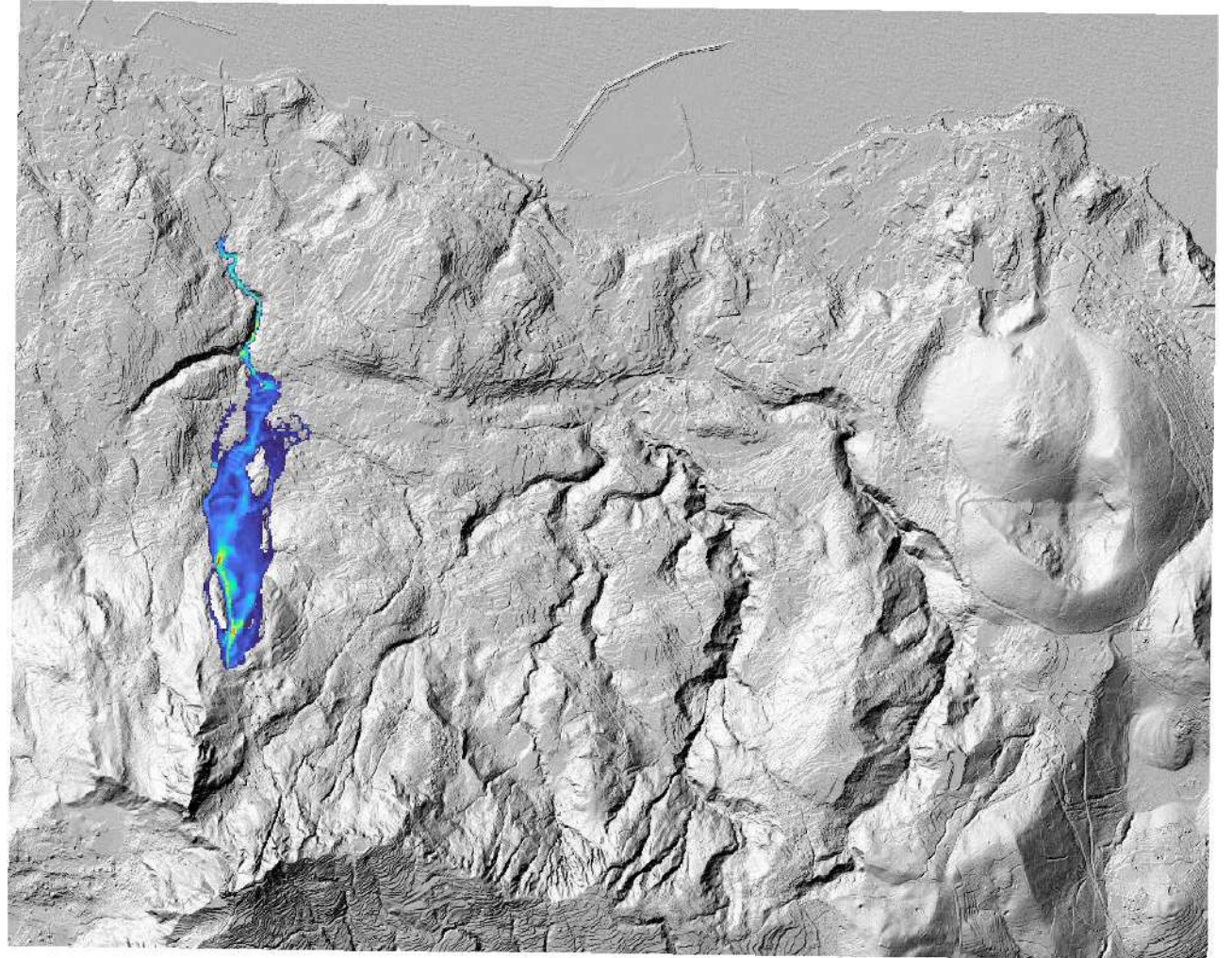
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al "Sistema La Rita" relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla cava più ad ovest delle 5 cave che ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo



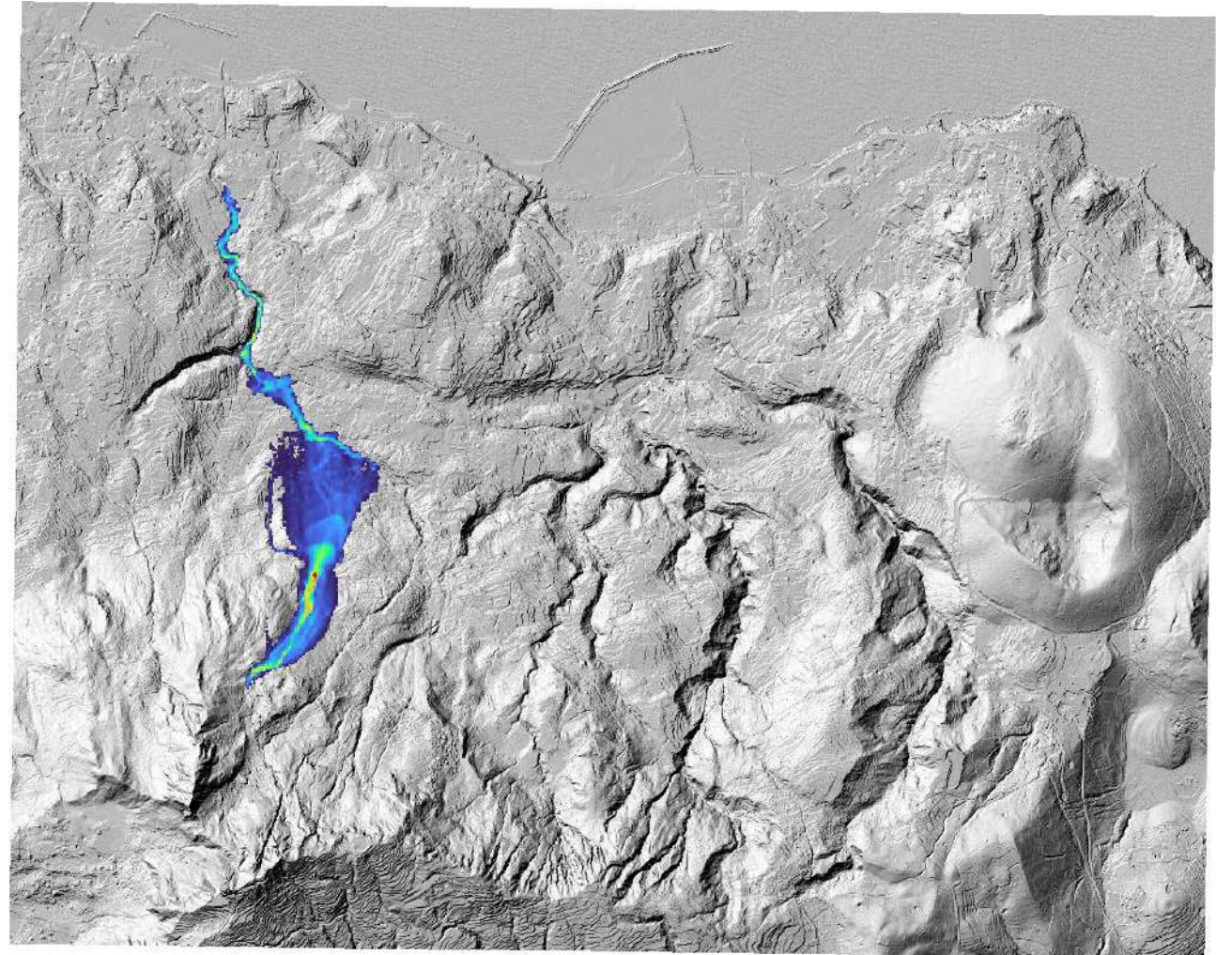
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al "Sistema La Rita" relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla seconda, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo



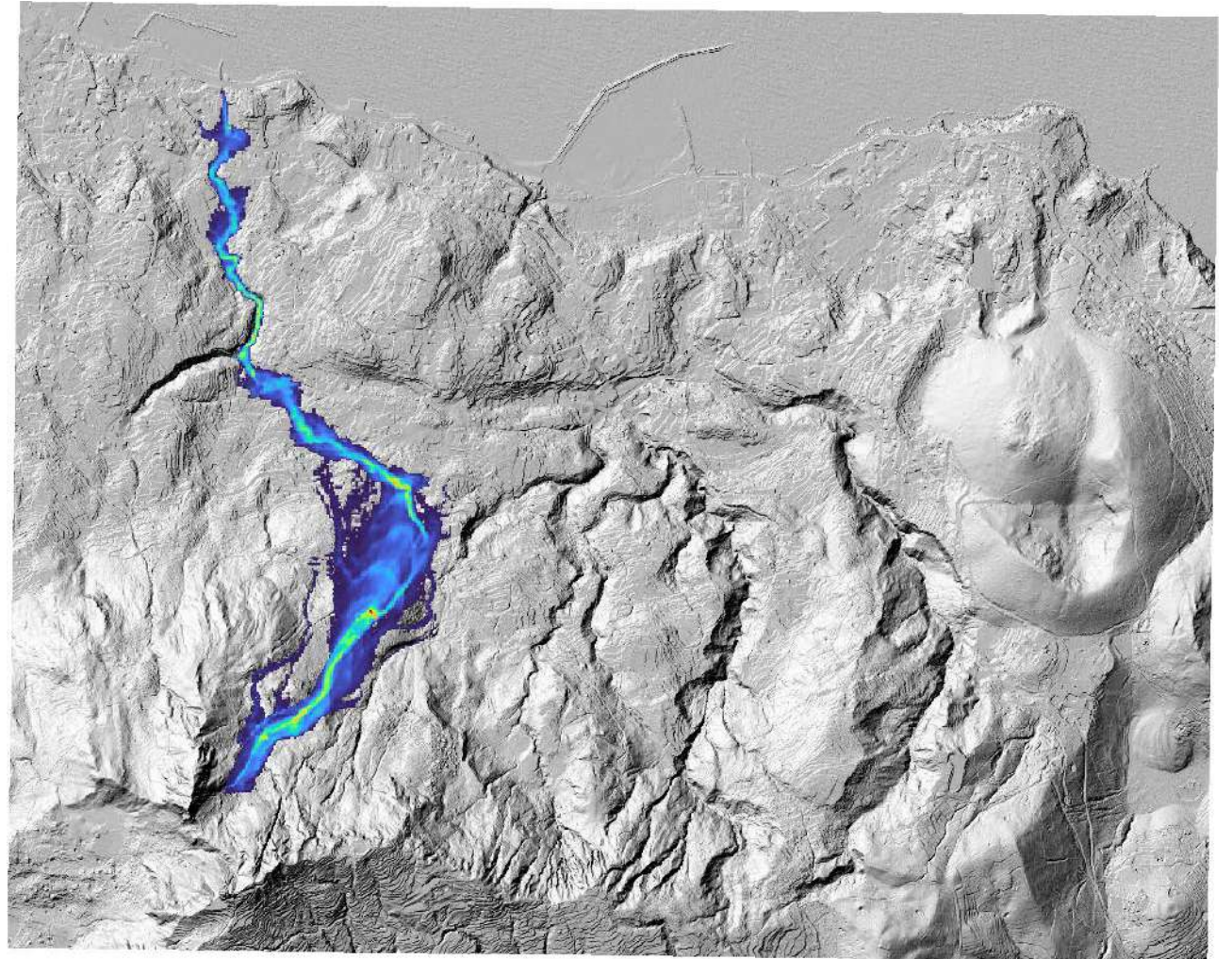
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla terza, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo



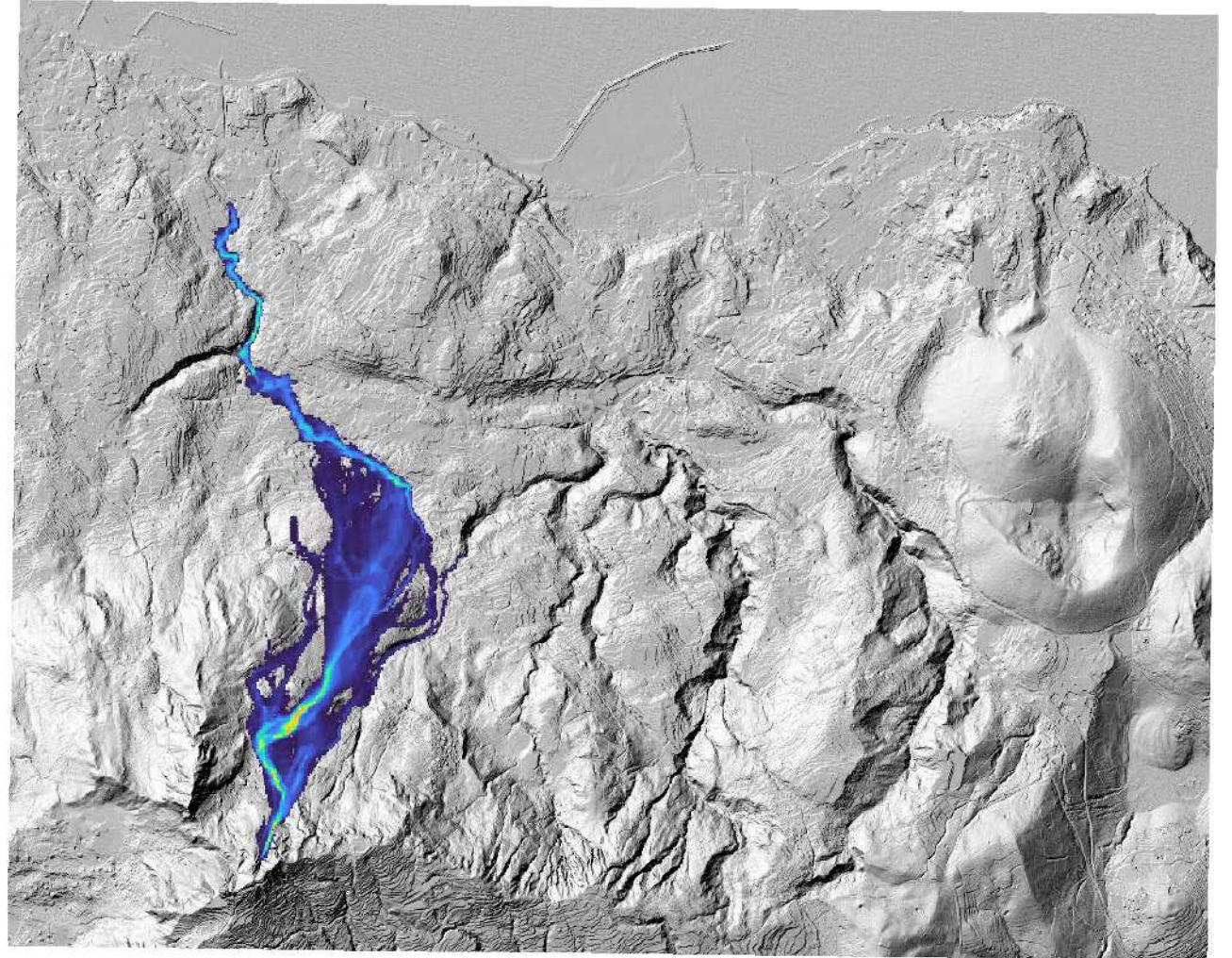
Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al "Sistema La Rita" relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quarta, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo



Modellazione dei flussi iper-concentrati interessanti i tratti medio-vallivi delle cave e delle strade

Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quinta, nonché ultima, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo



Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

Allo scopo di valutare, preliminarmente, gli effetti che flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida potrebbero avere sulle zone medio-vallive e costiere, sono state effettuate alcune simulazioni. In particolare, le modellazioni dimostrative effettuate a tale scopo fanno riferimento a 6 casi di flusso iper-concentrato che si può generare a valle di una frana quali quella prese in esame dal gruppo coordinato dai Proff. Guadagno-Revellino.

Cercando di approssimare la fenomenologia degli eventi originali accaduti nel Novembre 2022 a Ischia, in corrispondenza del vallone Cava Celario,, si è supposto che la fase fluida occupasse il 40% del volume di frana movimentato (ipotesi di materiale saturo con porosità $n = 0.4$), e si è convenuto di procedere utilizzando il seguente criterio per stabilire le condizioni iniziali del flusso iperconcentrato:

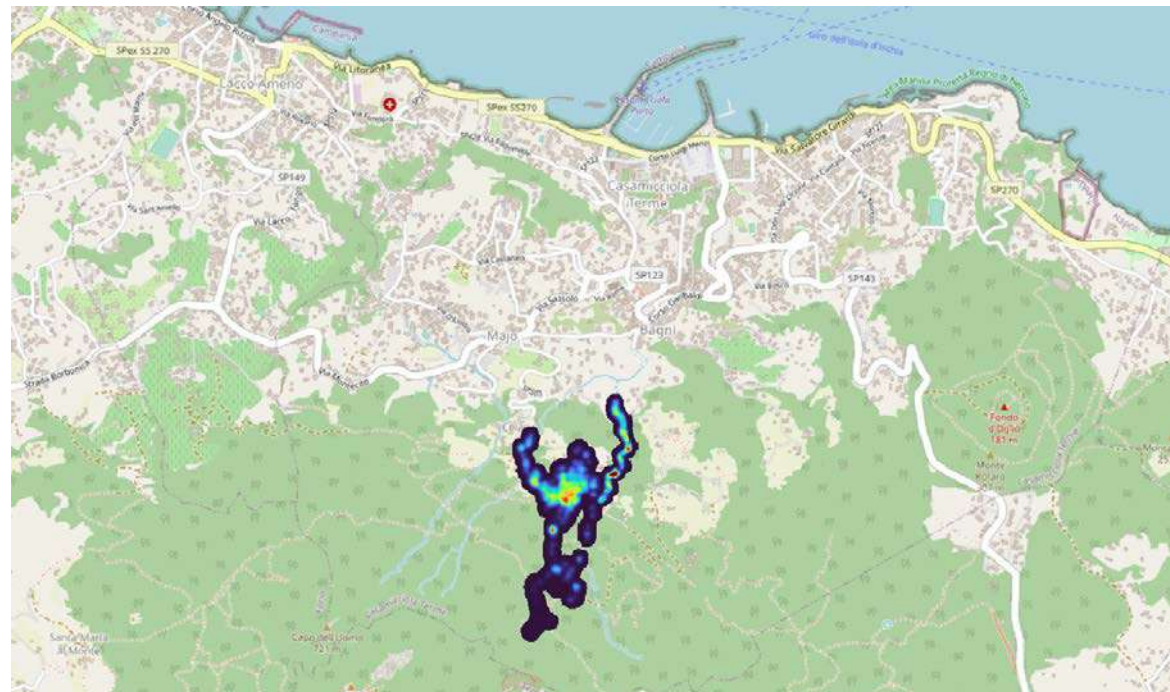
- velocità iniziale nulla
- spessore iniziale pari al 40% dello spessore fornito alla fine delle calcolazioni dalle simulazioni del gruppo del prof. Guadagno.

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

I casi considerati sono dettagliati come segue:

- 1) bac_sin_2a, Scenario_A
- 2) bac_cuc_1a, Scenario_A
- 3) bac_cuc_2a, Scenario_A
- 4) bac_cuc_3a, Scenario_A
- 5) bac_mon_1a, Scenario_A
- 6) bac_mon_2a, Scenario_A"

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini



*Risultati delle Simulazioni relative al
bac_sin_2a, Scenario_A
Colata rapida*

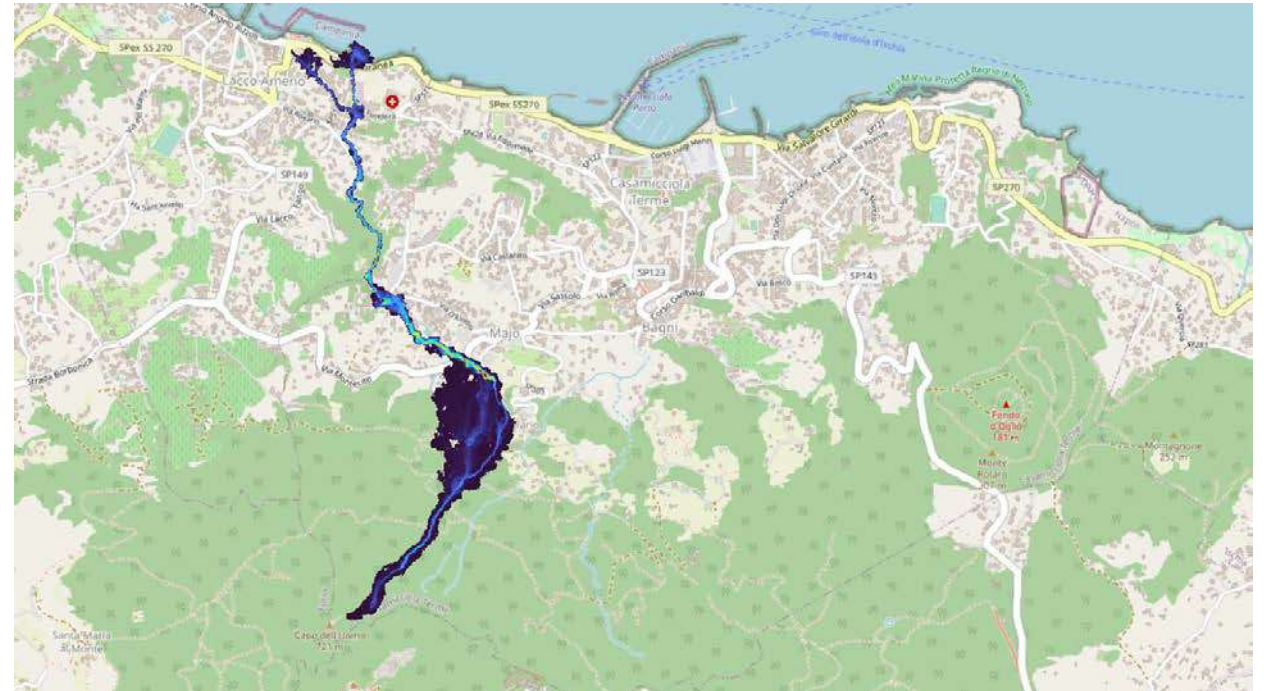


*Risultati delle Simulazioni relative al
bac_sin_2a, Scenario_A –
Flusso iper-concentrato conseguente*

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

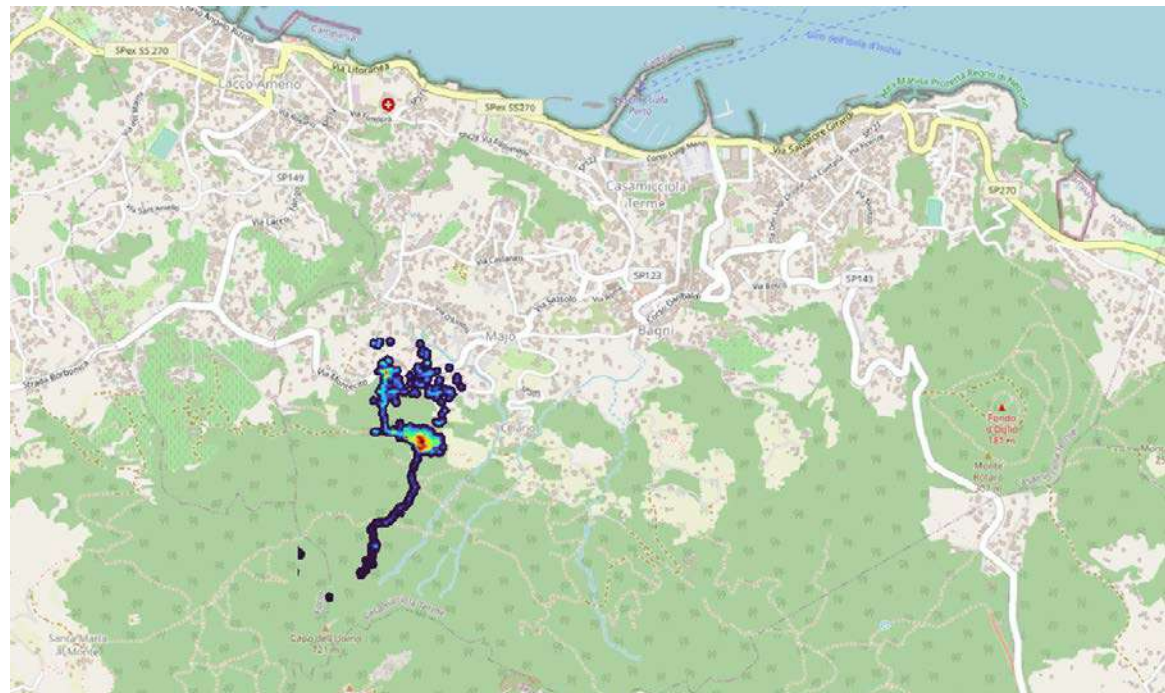


Risultati delle Simulazioni relative al bac_cuc_1a, Scenario_A - Colata rapida

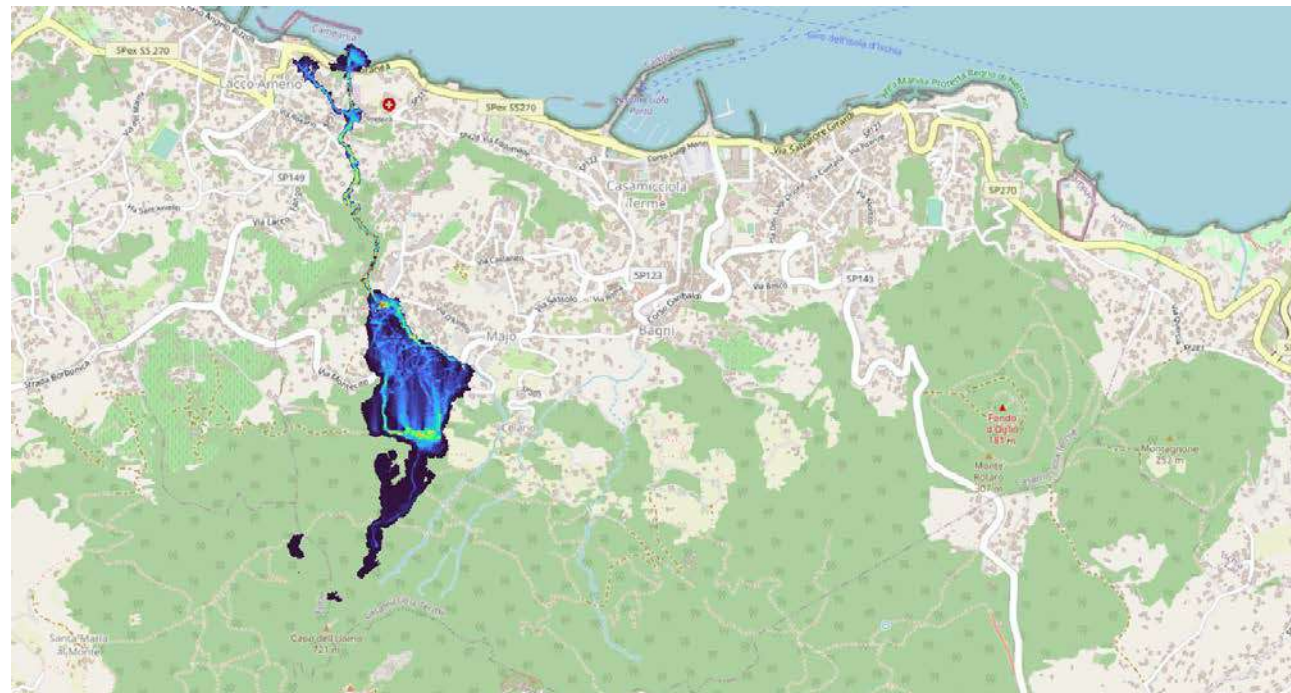


Risultati delle Simulazioni relative al bac_cuc_1a, Scenario_A - Flusso iper-concentrato conseguente

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

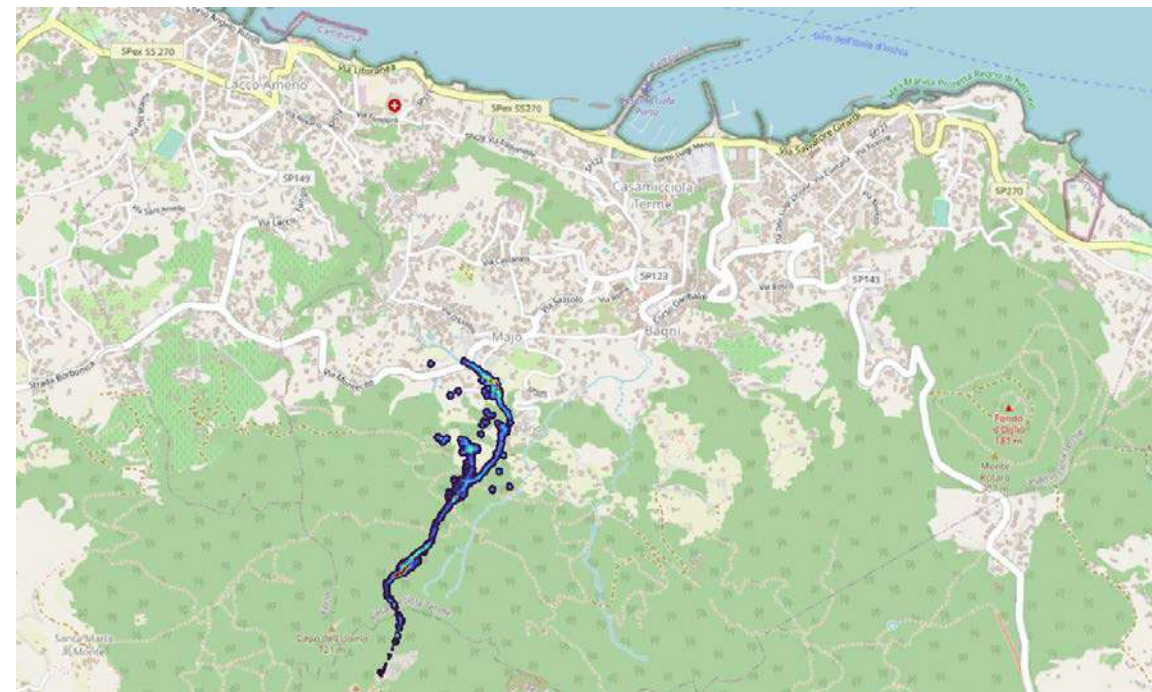


Risultati delle Simulazioni relative al bac_cuc_2a, Scenario_A - Colata rapida

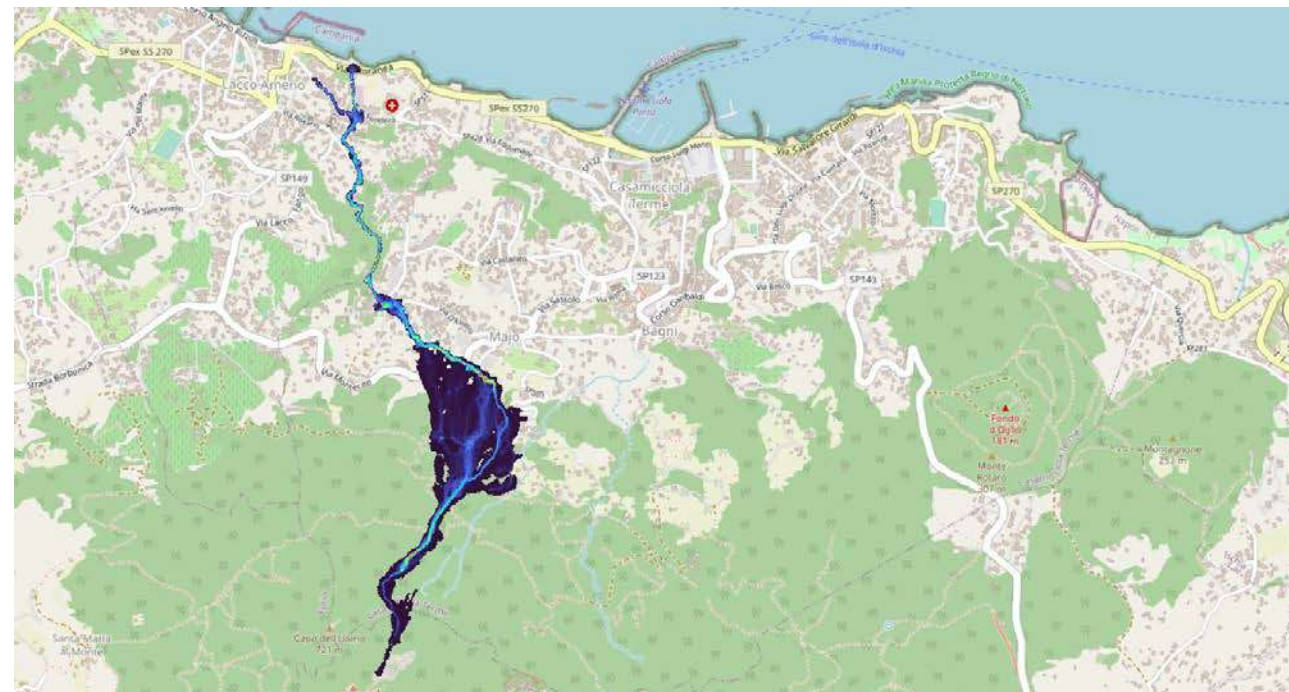


Risultati delle Simulazioni relative al bac_cuc_2a, Scenario_A - Flusso iper-concentrato conseguente

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

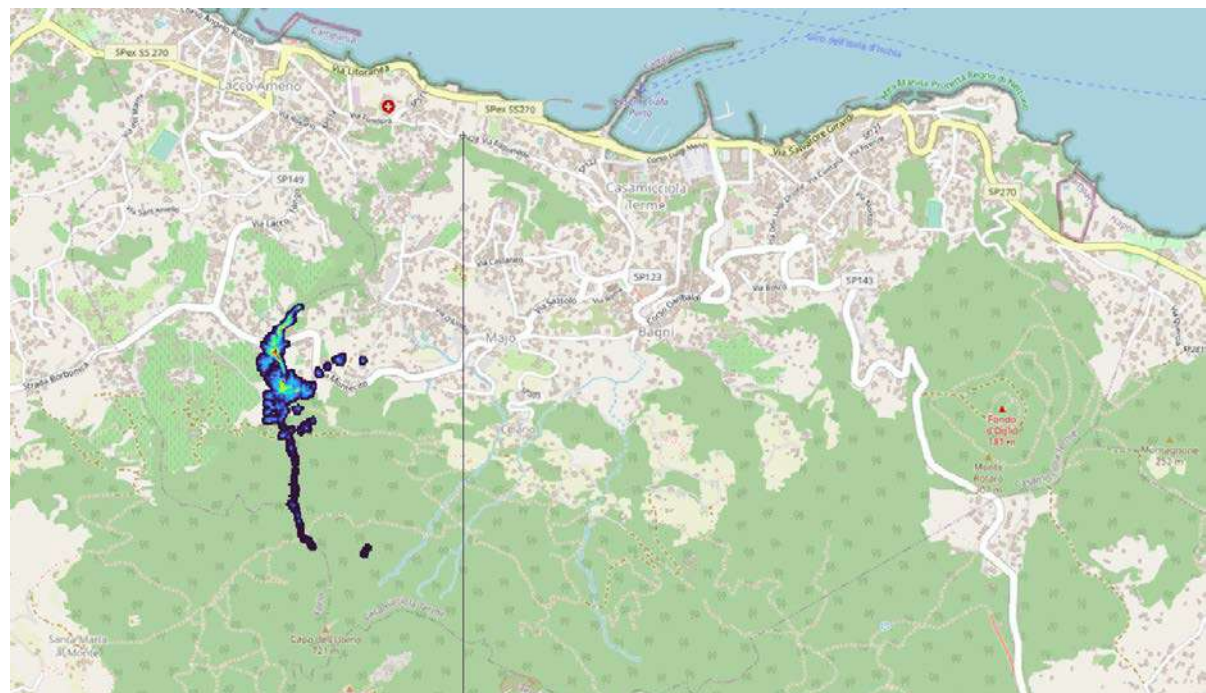


Risultati delle Simulazioni relative al bac_cuc_3a, Scenario_A - Colata rapida



Risultati delle Simulazioni relative al bac_cuc_3a, Scenario_A - Flusso iper-concentrato conseguente

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini



Risultati delle Simulazioni relative al bac_mon_1a, Scenario_A - Colata rapida

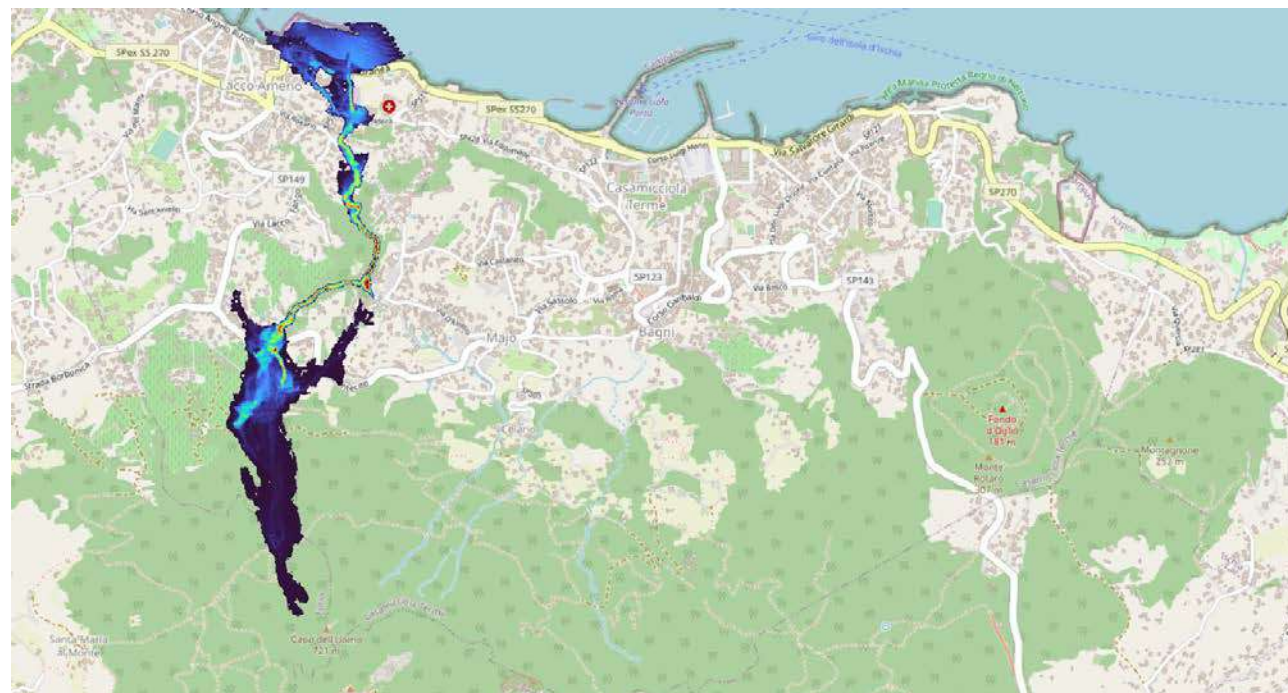


Risultati delle Simulazioni relative al bac_mon_1a, Scenario_A - Flusso iper-concentrato conseguente

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini



Risultati delle Simulazioni relative al bac_mon_2a, Scenario_A - Colata rapida



Risultati delle Simulazioni relative al bac_mon_2a, Scenario_A - Flusso iper-concentrato conseguente

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti: involuppi relativi a portate massime e minime

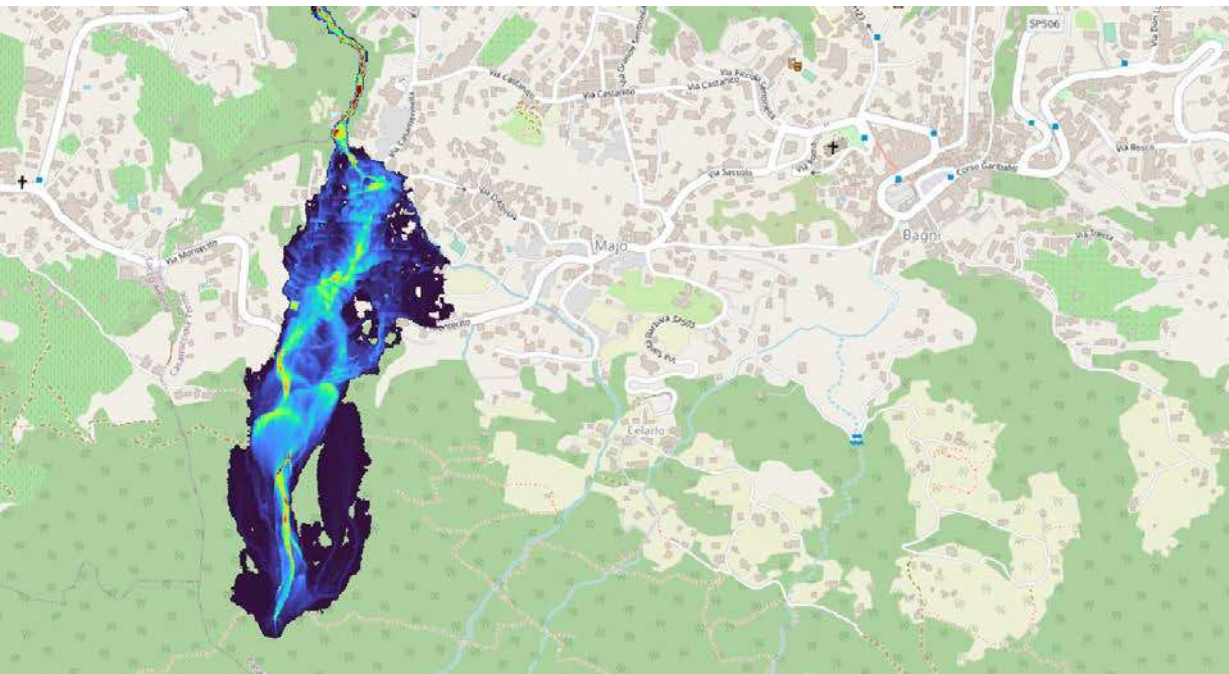
Allo scopo di comprendere se, ed entro quali limiti, i percorsi delle acque di ruscellamento superficiali potrebbero essere influenzati dalla presenza di stradine aperte lungo i versanti, nelle successive Figure sono mostrati, con riferimento al “*Sistema La Rita*”, con rappresentazione diversa da quella utilizzata nelle precedenti immagini:

- sopra, gli involuppi dei massimi tiranti di fanghiglia che potrebbero realizzarsi, lungo le varie zone interessate dal deflusso di flussi iper-concentrati di notevole entità;
- sotto, gli involuppi dei massimi tiranti di acqua che potrebbero realizzarsi, lungo le varie zone interessate dal deflusso di modeste portate di origine meteorica

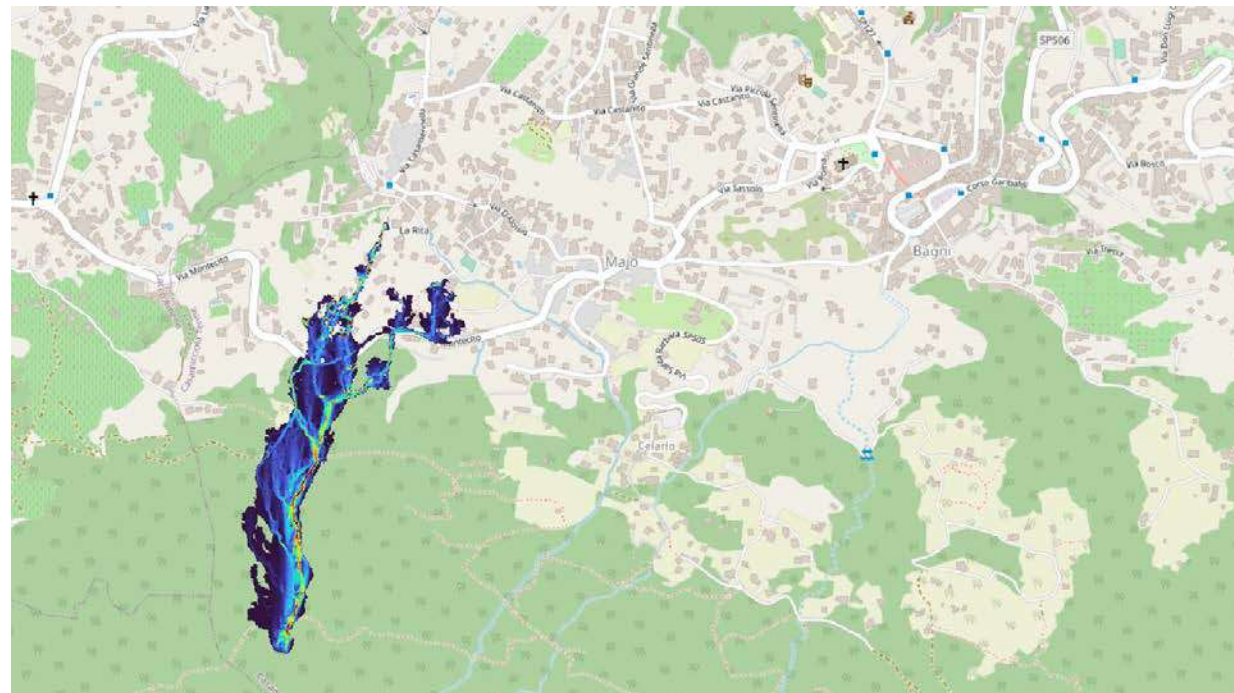
provenienti, rispettivamente:

- dalla cava più ad ovest delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufrippo;
- dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufrippo;
- dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufrippo;
- dalla quarta, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufrippo;
- dalla quinta, nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufrippo.

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

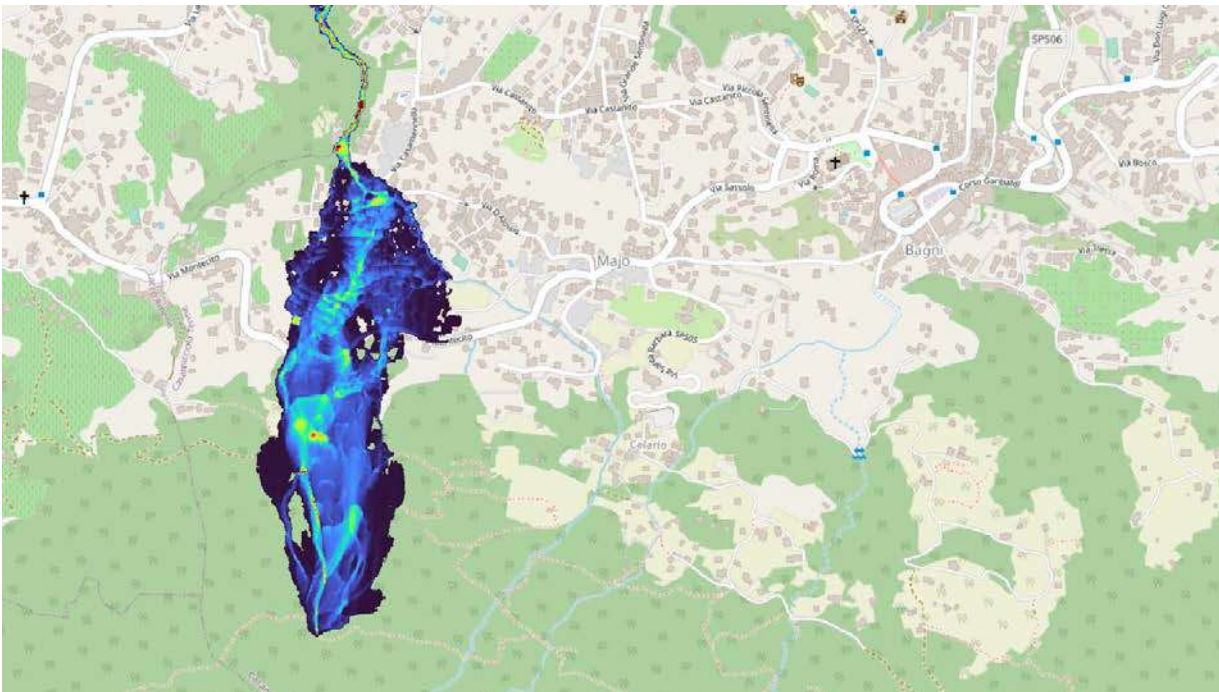


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla cava più ad ovest delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

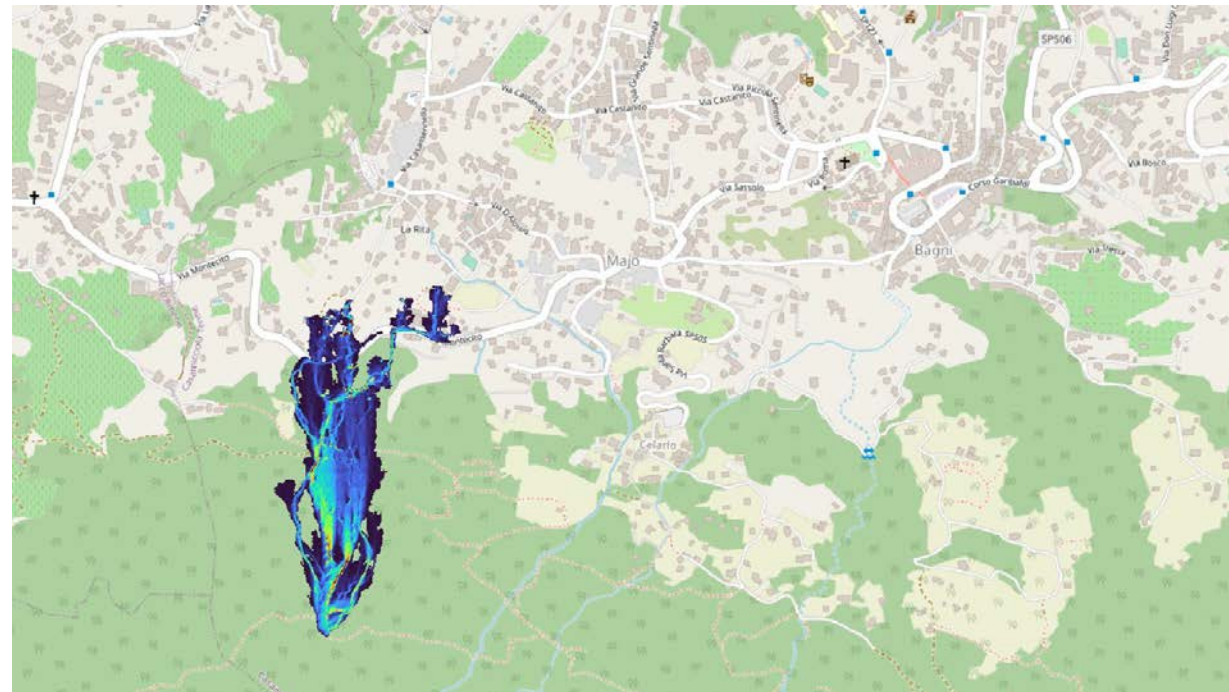


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla cava più ad ovest delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

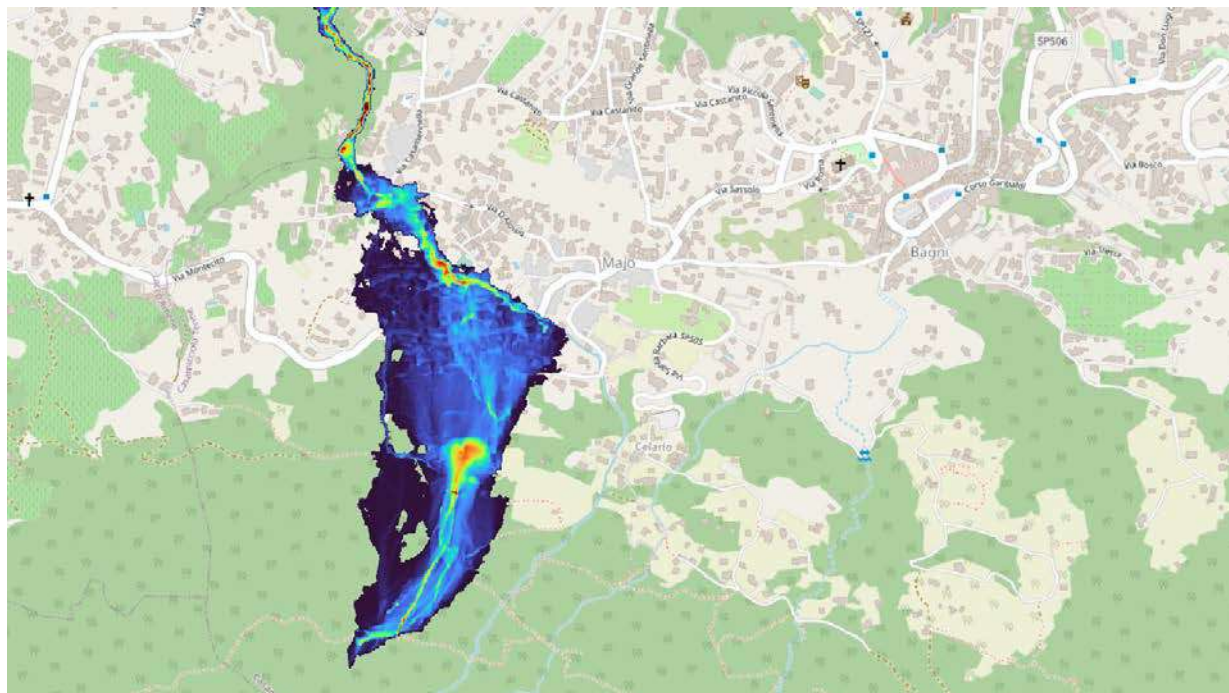


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufrippo

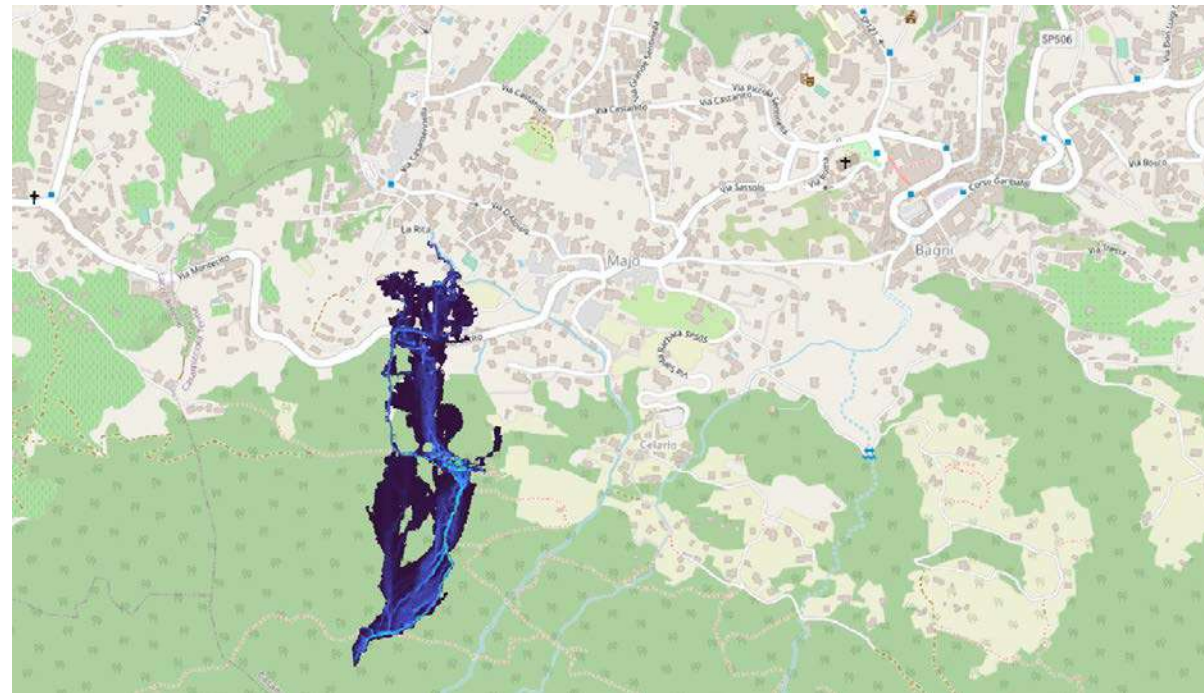


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufrippo

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

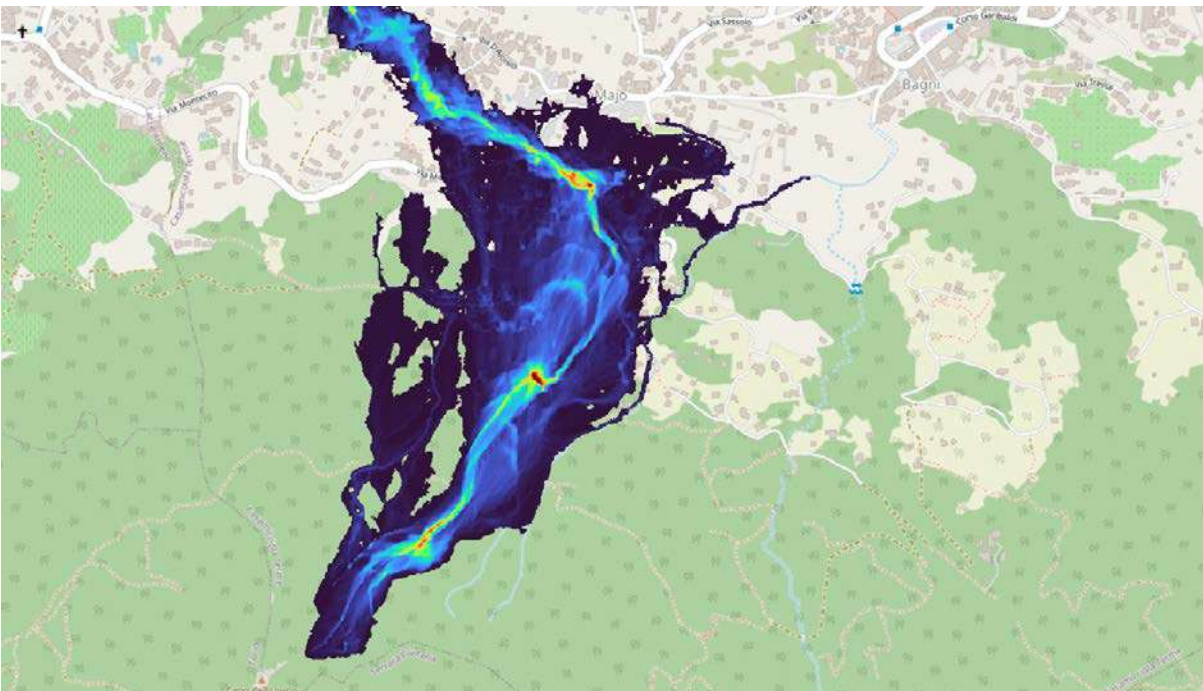


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

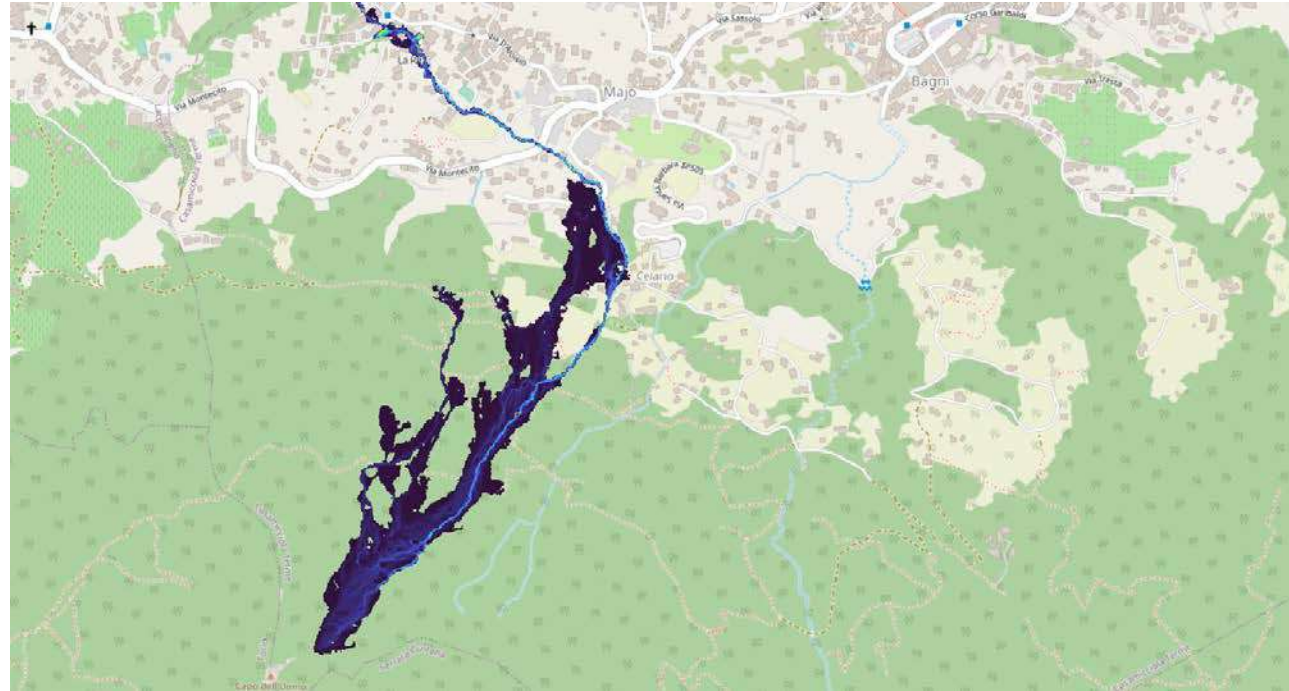


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini

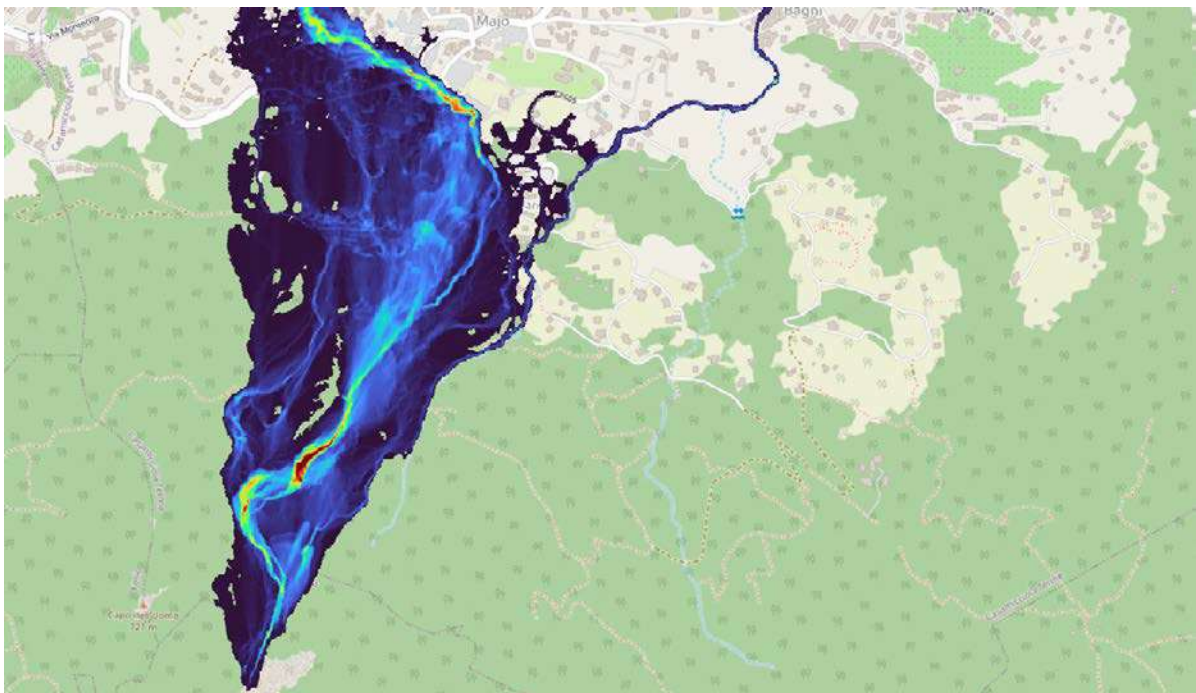


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quarta a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

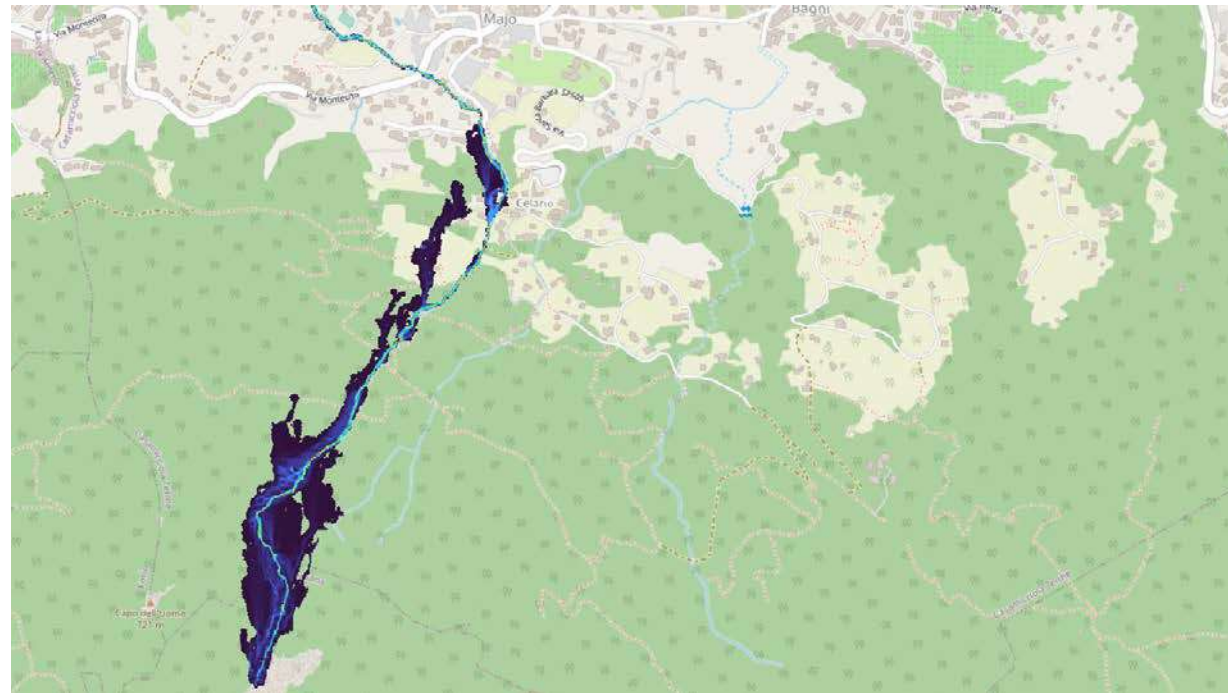


Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla quarta, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

Modellazione dei flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini



Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quinta, nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo



Risultati delle Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla quinta nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

Risultati principali che emergono dal confronto

Dal confronto tra le 5 coppie di immagini sopra riportate appare possibile affermare che, in considerazione dei maggiori volumi in gioco (in questo caso, assunti pari a 100 volte maggiori rispetto a quelli delle masse liquide in movimento), e del maggior peso specifico dei flussi iper-concentrati, tali miscugli tendano a divagare maggiormente rispetto alle più modeste portate liquide che si realizzano in corrispondenza di piogge, ordinarie e non.

*VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI
SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA*

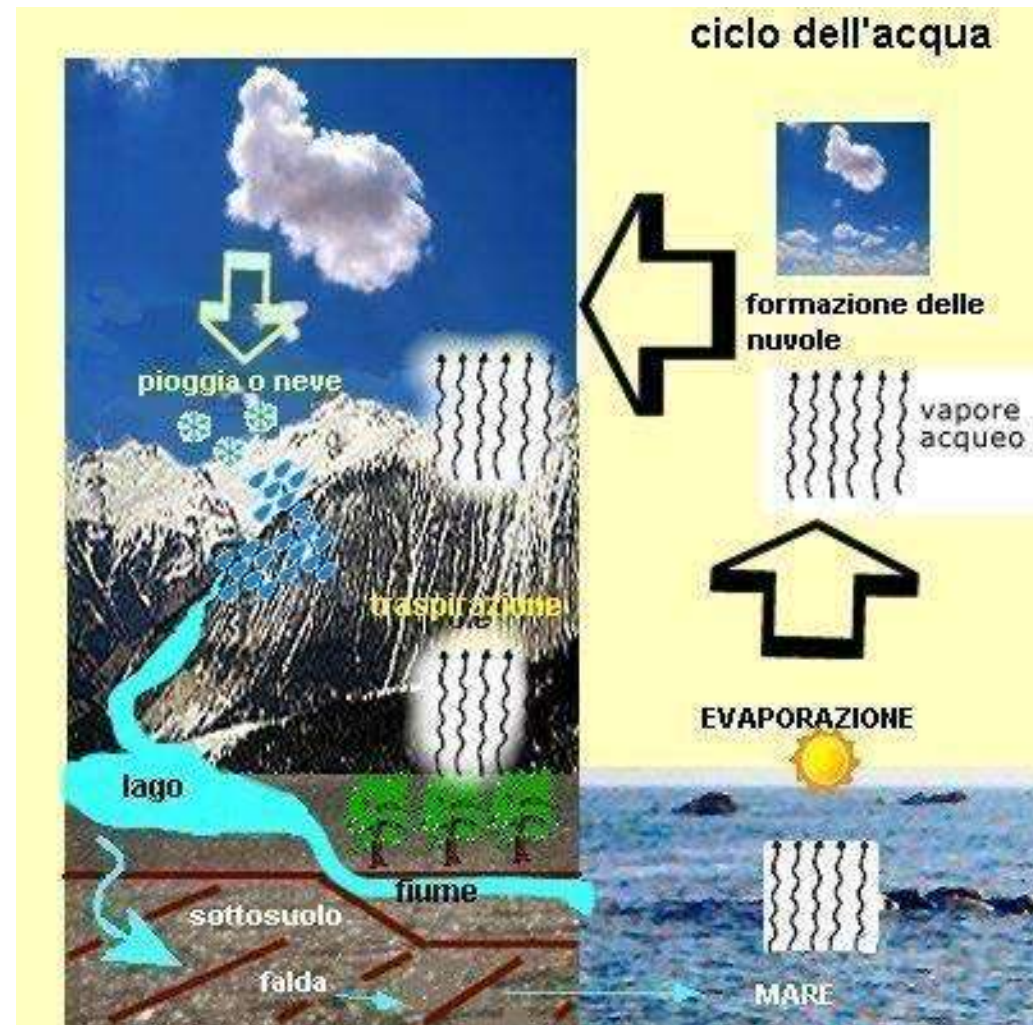
Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

- 0,98° L'aumento della temperatura nel 2019 rispetto ai livelli preindustriali
- 1,5° L'aumento della temperatura entro il 2030 - 2050 senza interventi
- 97% Percentuale degli scienziati che attribuisce il riscaldamento globale alle attività umane

**VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI
SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA**

Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

- Il ciclo idrologico



VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA

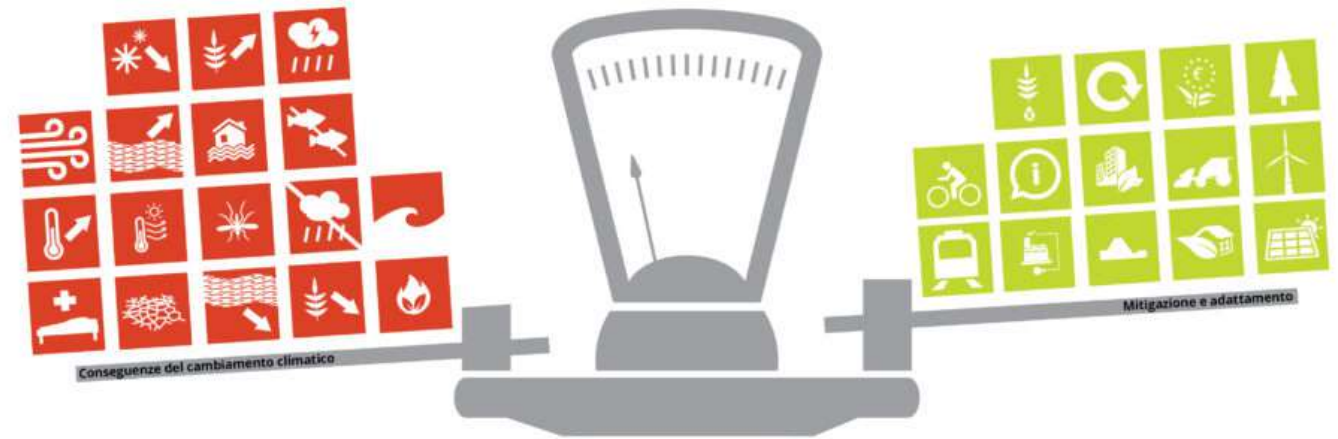
Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

Se non si intraprenderà un'azione globale per limitare le emissioni, l'ipcc prevede che le temperature globali potranno salire ulteriormente di $1,8^{\circ}\text{C} - 4,0^{\circ}\text{C}$ entro il 2100. Ciò significa che l'aumento della temperatura rispetto a prima della rivoluzione industriale supererebbe i 2°C . Al di là di questa soglia diventa molto più probabile il verificarsi di cambiamenti irreversibili ed eventualmente catastrofici.

Siamo pronti ad affrontare il cambiamento climatico?

Il cambiamento climatico sta avendo una serie di conseguenze importanti per la nostra salute, gli ecosistemi e l'economia, conseguenze che si faranno sempre più gravi nei prossimi anni e che, se non affrontate adeguatamente, potrebbero comportare gravi costi in termini di salute umana e di danni a carico di ecosistemi, beni e infrastrutture.

Il termine "adattamento" copre un'ampia gamma di attività e politiche finalizzate a preparare le società al cambiamento climatico. Una combinazione efficace di misure di adattamento e mitigazione può far sì che le conseguenze future del cambiamento climatico restino circoscritte e, una volta manifestatesi, trovino un'Europa preparata e più resiliente.



2100?

In assenza di misure di mitigazione e adattamento, il numero di persone colpite dagli effetti della siccità potrebbe aumentare fino a raggiungere circa 150 milioni l'anno.



Le perdite economiche dovute all'innalzamento del livello del mare risulterebbero più che triplicate, sino a raggiungere i 42 miliardi di euro l'anno.



I danni causati dall'inondazione dei fiumi potrebbero generare costi per più di 10 miliardi di euro l'anno.



I consumi ricollegibili alle alte temperature potrebbero raggiungere i 200.000 tonnellate l'anno.

CO₂ ↑ PIL

Le emissioni di gas serra provenienti dall'UE sono diminuite del 19% a partire dal 1990, nonostante un aumento del 45% del PIL.



Il consumo interno di materiali nell'UE è diminuito del 10% nel periodo compreso tra il 2000 e il 2012, nonostante un aumento del 15% della produzione economica.

Recycling

Il ricorso complessivo alle risorse naturali da parte dell'UE è diminuito del 19% dal 2007 e i dati relativi al riciclaggio sono in miglioramento.



L'occupazione nel settore delle energie rinnovabili è aumentata del 47% tra il 2000 e il 2012, contribuendo alla creazione di 1,4 milioni di nuovi posti di lavoro.

Greenhouse

Importanti successi di ingegneria europea devono ammontare al 40% delle proprie entrate alla realizzazione di progetti in ambito ambientale.



Tra il 1990 e il 2012 la quota di energia prodotta a partire da fonti rinnovabili è più che raddoppiata nell'UE.

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA

Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

Gli effetti del riscaldamento globale

Negli ultimi 50 anni sono stati osservati cambiamenti nella distribuzione degli estremi di temperatura e, in particolare, un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi di caldo intenso e una diminuzione degli episodi contraddistinti dalle basse temperature.

Le proiezioni indicano la continuazione di questo *trend* anche in futuro

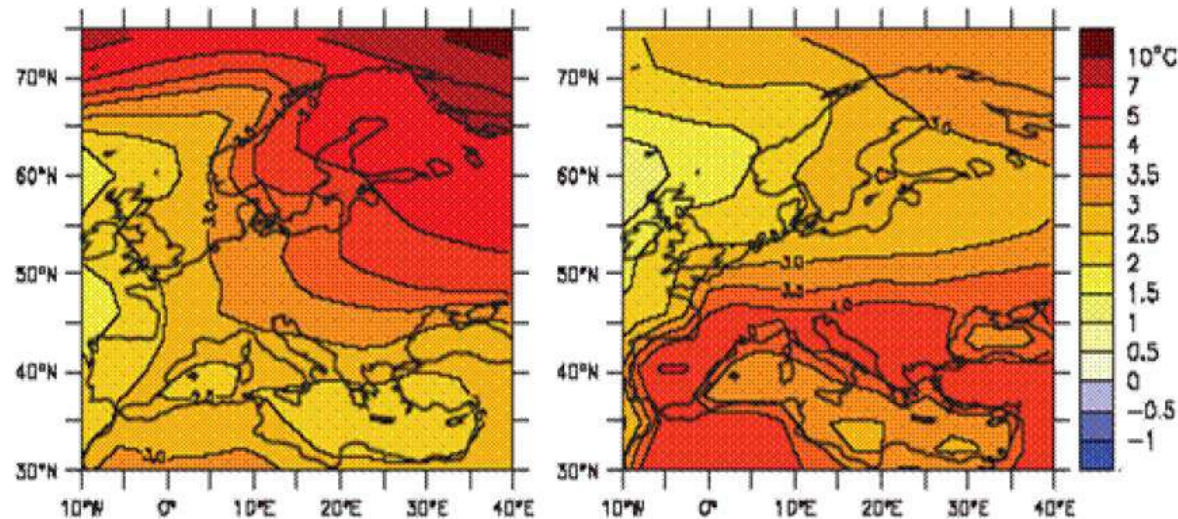


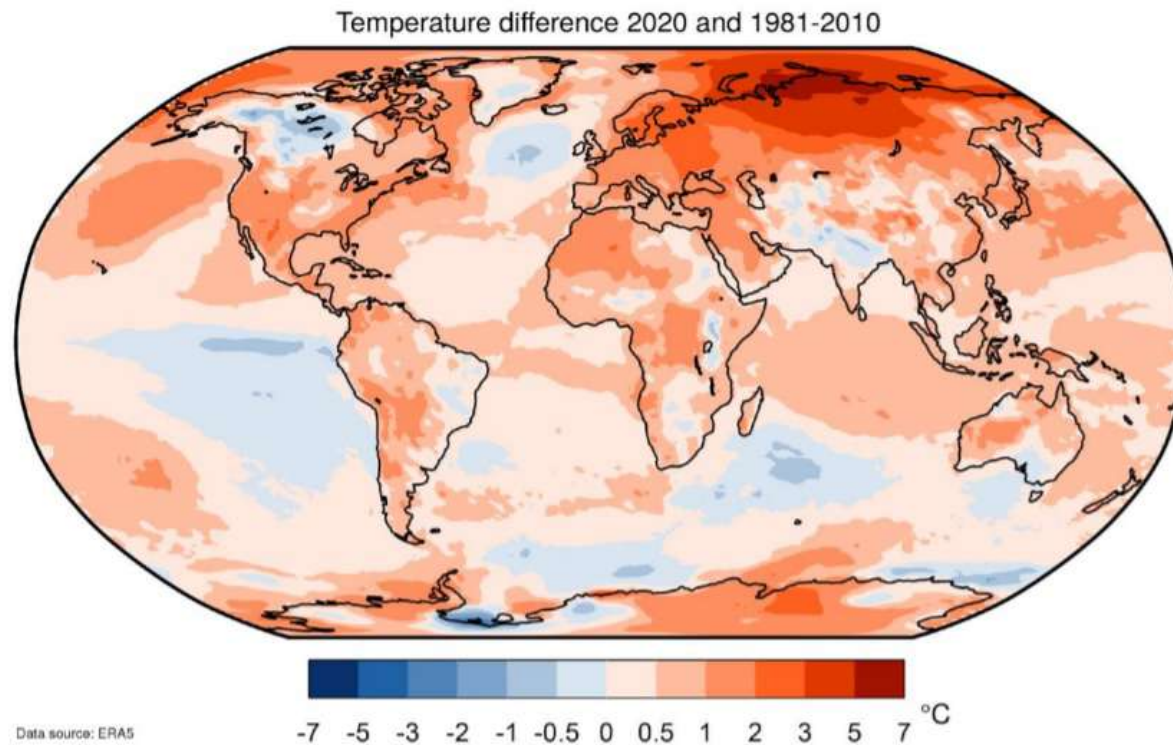
Figura 1 - Variazione della temperatura media in Europa dal 1980-1999 al 2080-2099, stimata sulla base dello scenario di emissione A1B

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA

Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

Gli effetti del riscaldamento globale a scala planetaria

A livello planetario, può facilmente osservarsi che le differenze di temperatura riscontrate tra l'anno 2020 e la media nel periodo 1981-2010 è notevolmente aumentata



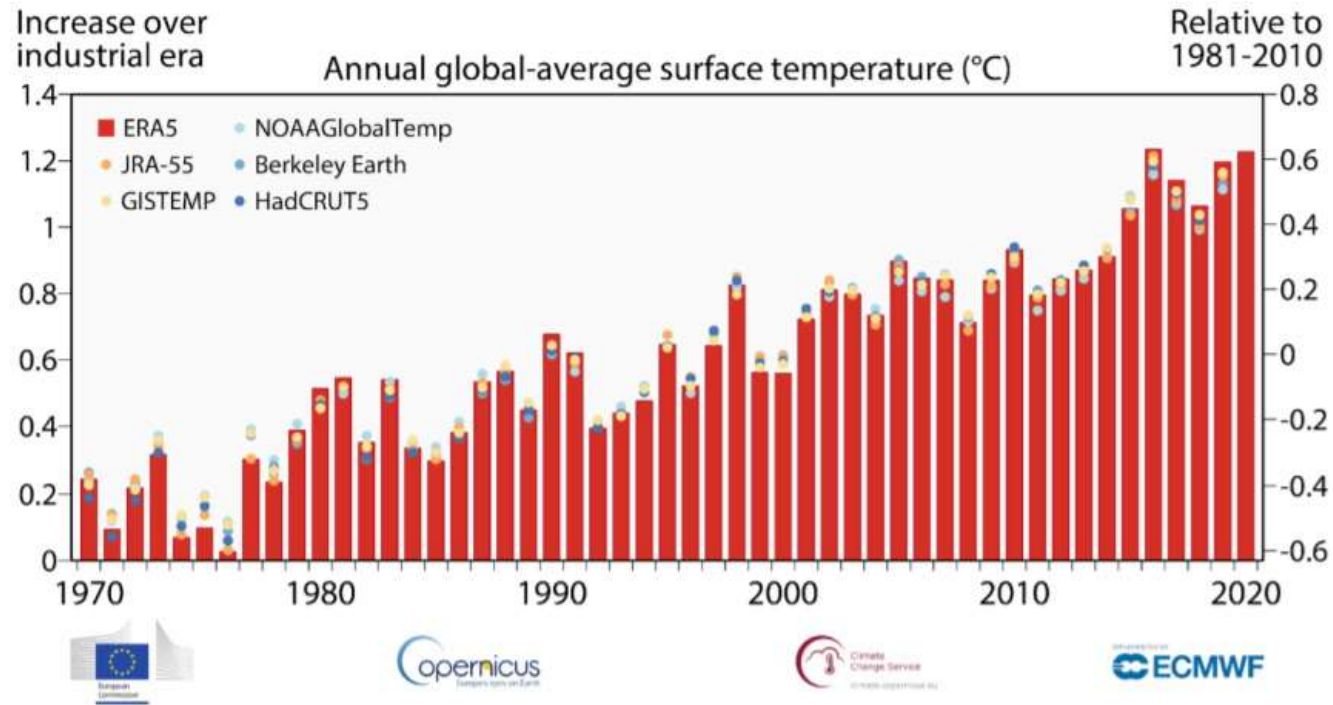
Data source: ERA5



VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA

Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

Gli effetti del riscaldamento globale in Europa

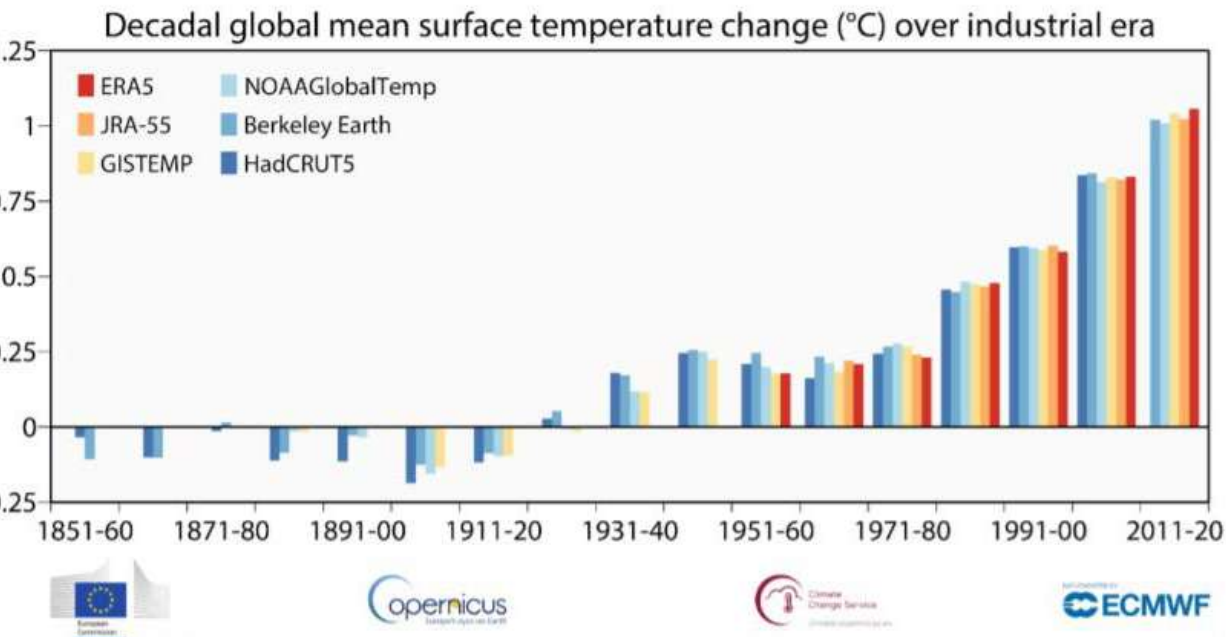


Le medie annuali della temperatura dell'aria globale ad un'altezza di due metri stimano il cambiamento dal periodo preindustriale (asse di sinistra) e relative al 1981-2010 (asse di destra) sulla base di diversi dataset: Barre rosse: ERA5 (ECMWF Copernicus Servizio sui cambiamenti climatici, C3S); Punti: GISTEMPv4 (NASA); HadCRUT5 (Met Office Hadley Center); NOAA GlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA); e Berkeley Earth. Credito: Copernicus Climate Change Service / ECMWF

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE MASSIME PIOGGE DI BREVE DURATA

Un esempio di applicazione all'Italia Meridionale

Gli effetti del riscaldamento globale in Europa



Le medie decennali della temperatura globale dell'aria a un'altezza di due metri stimano il cambiamento dal periodo preindustriale sulla base di diversi dataset: ERA5 (ECMWF Copernicus Climate Change Service, C3S); GISTEMPV4 (NASA); HadCRUT5 (Met Office Hadley Center); NOAA GlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA); e Berkeley Earth. Credito: Copernicus Climate Change Service / ECMWF

Copernicus Climate Change Service (C3S) rivela oggi che, a livello globale, il 2020 è, alla pari del 2016, l'anno più caldo mai registrato, e il sesto di una serie di anni eccezionalmente caldi a partire dal 2015, nel decennio da record del 2011-2020.

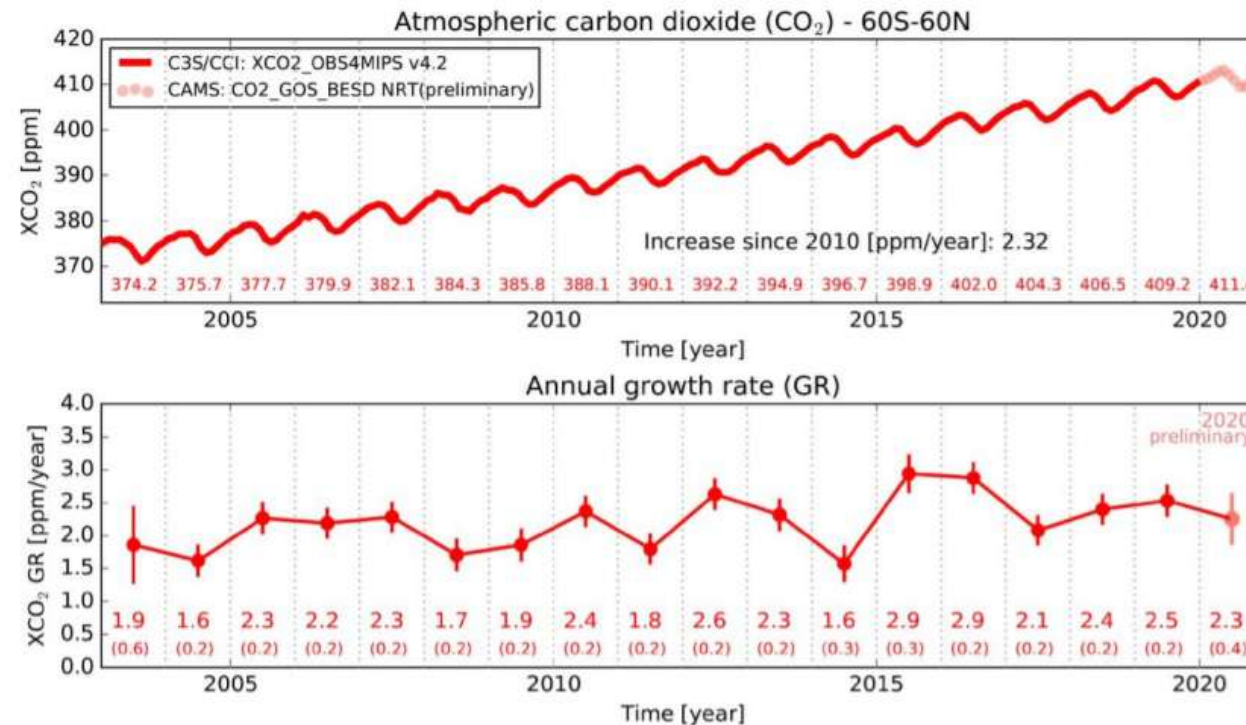
Per l'Europa si è trattato dell'anno più caldo mai registrato, con temperature di 0,4° C al di sopra di quelle del 2019, che in precedenza è stato l'anno con le temperature più elevate. Insieme a Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), C3S segnala inoltre che le concentrazioni di CO2 nell'atmosfera hanno continuato ad aumentare a un tasso di circa 2,3 ppm/annuo nel 2020, raggiungendo un massimo di 413 ppm durante maggio 2020.

Sia C3S che CAMS sono implementati dal Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio raggio da parte della Commissione Europea, con finanziamenti dell'Unione Europea

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Le cause del riscaldamento globale in Europa

Le concentrazioni di CO₂ continuano ad aumentare nel 2020



Concentrazioni mensili globali di CO₂ dai satelliti (riquadro superiore) e tassi di crescita medi annui derivanti (riquadro inferiore) per il periodo 2003-2020. In alto: CO₂ media per colonna (XCO₂) sulla base dei record C3S / Obs4MIPs (v4.2) consolidati (2003-2019) e dati preliminari CAMS quasi in tempo reale (2020). I valori numerici elencati in rosso indicano le medie annuali di XCO₂. In basso: tassi di crescita medi annuali di XCO₂ derivati dai dati mostrati nel pannello superiore. I valori numerici elencati corrispondono al tasso di crescita in ppm / annuo inclusa una stima dell'incertezza tra parentesi. Fonte: Università di Brema per Copernicus Climate Change Service e Copernicus Atmosphere Monitoring Service / ECMWF

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

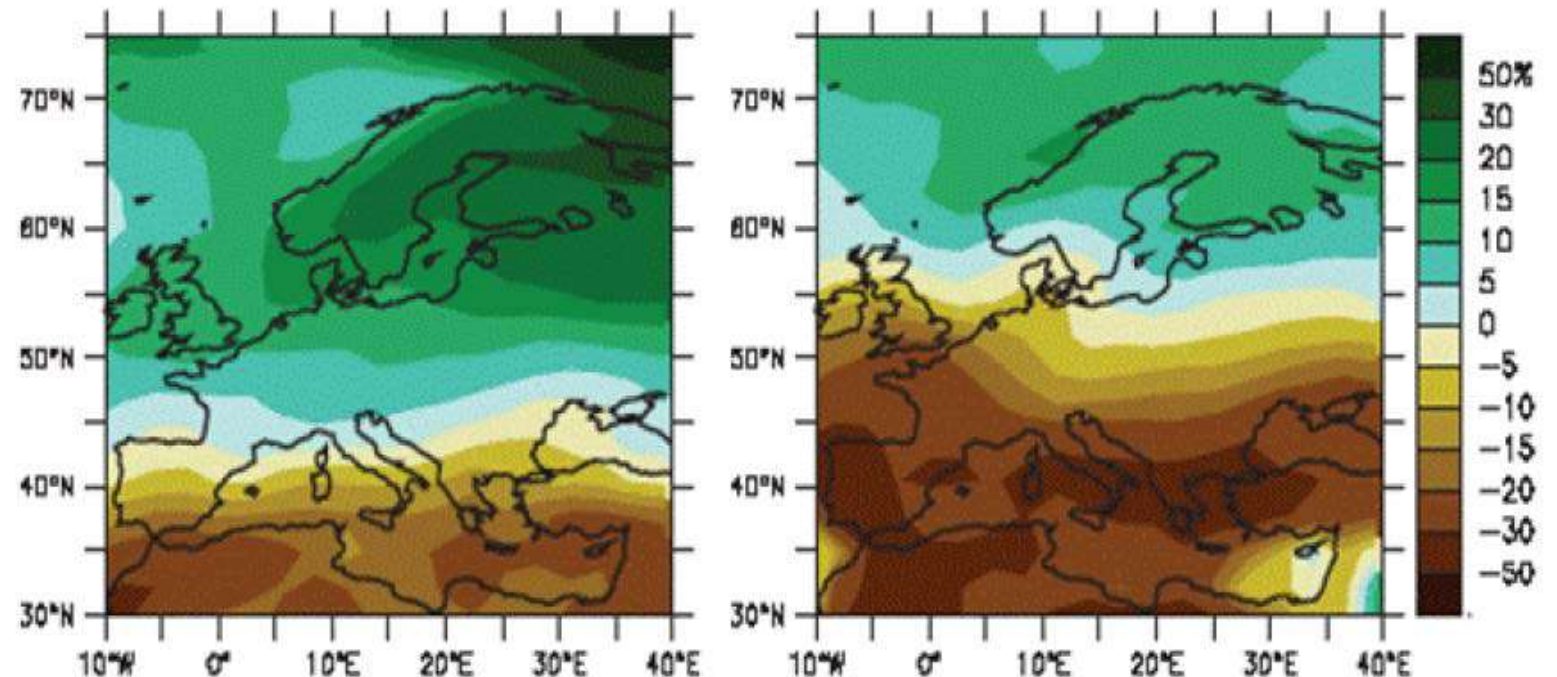
Gli effetti del riscaldamento globale sulle precipitazioni

Per quanto riguarda le precipitazioni in Europa, durante il XX secolo è stato osservato un aumento dal 10 al 40% nelle regioni settentrionali e una diminuzione fino al 20% in alcune parti dell'Europa meridionale ([EEA](#), 2008).

In base allo scenario A1B, i modelli climatici globali stimano un aumento della precipitazione cumulata annuale dal 1980-1999 al 2080-2099 compreso tra lo 0 e il 16% nel Nord Europa e una diminuzione tra il 4 e il 27% nel Sud Europa e nelle regioni del Mediterraneo (IPCC, 2007), più accentuata durante la stagione estiva (Figura 2).

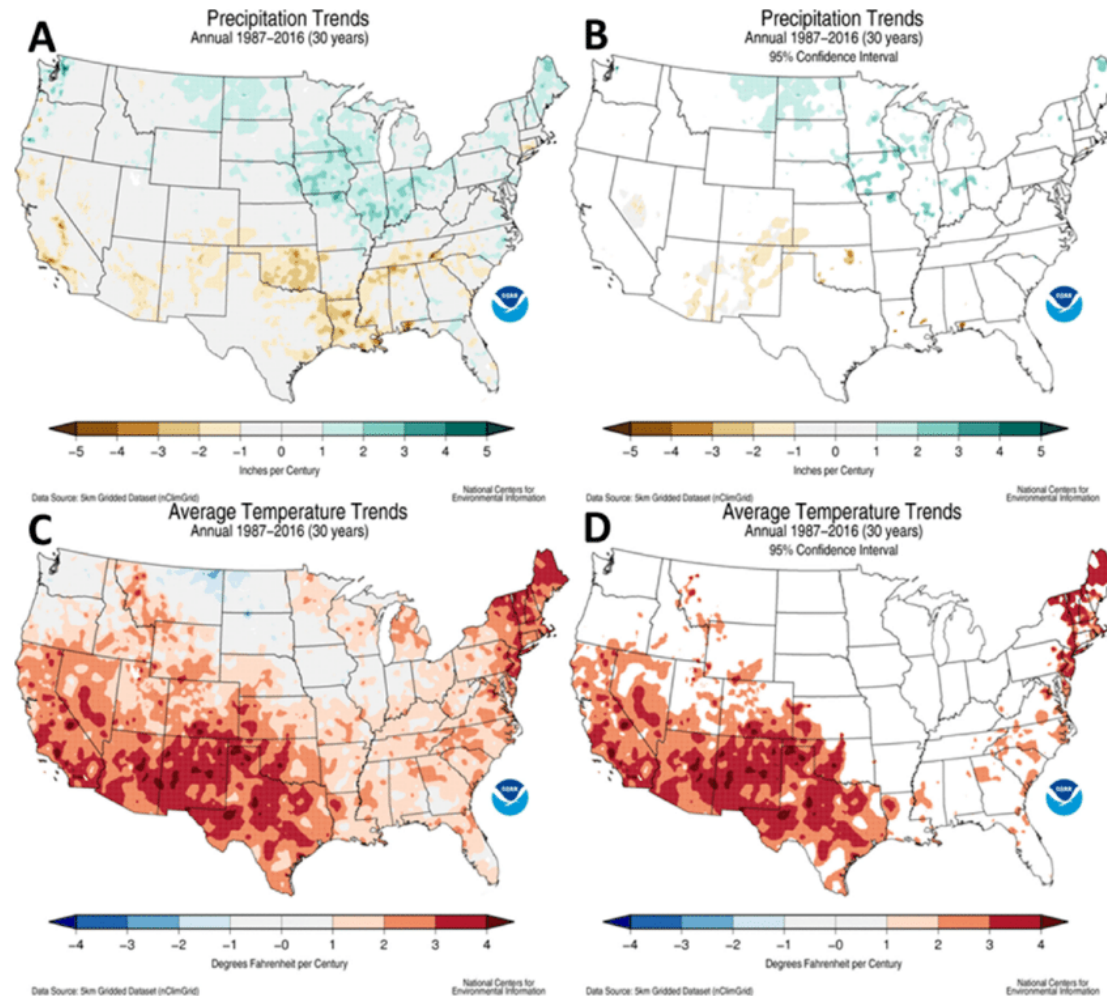
Figura 2

Variazione percentuale della precipitazione cumulata in Europa dal 1980-1999 al 2080-2099, stimata sulla base dello scenario di emissione A1B



IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Gli effetti del riscaldamento globale sulle precipitazioni: Stati Uniti



Gli effetti del riscaldamento globale in Europa sulle precipitazioni

Occorre comunque tenere in considerazione il fatto che le proiezioni relative alle precipitazioni, a differenza di quelle di temperatura che sono piuttosto uniformi nello spazio, possono variare sensibilmente anche su distanze orizzontali ridotte, soprattutto in regioni a orografia complessa.

È stato stimato inoltre un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi di precipitazione, soprattutto nelle regioni settentrionali e un aumento dei periodi di siccità, in particolare nel Sud Europa.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia

Il rapporto ISPRA "**Gli indicatori del clima in Italia**", pubblicato nel 2016, mostra i dati su temperature, precipitazioni ed eventi meteo fino al 2015. Le tendenze sono preoccupanti. Come a livello globale, anche nel nostro Paese il 2015 è stato il più caldo di sempre.



IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia

Il rapporto dell'ISPRA del 2016 si limita a registrare i dati su temperature, precipitazioni ed eventi meteo in Italia fino a tutto il 2015.

L'Italia ha sete, in calo le precipitazioni al Nord e al Centro. Nel 2015, nuovo record della temperatura media.

Il trend di aumento della temperatura continua accompagnato da numerosi eventi estremi di precipitazione.

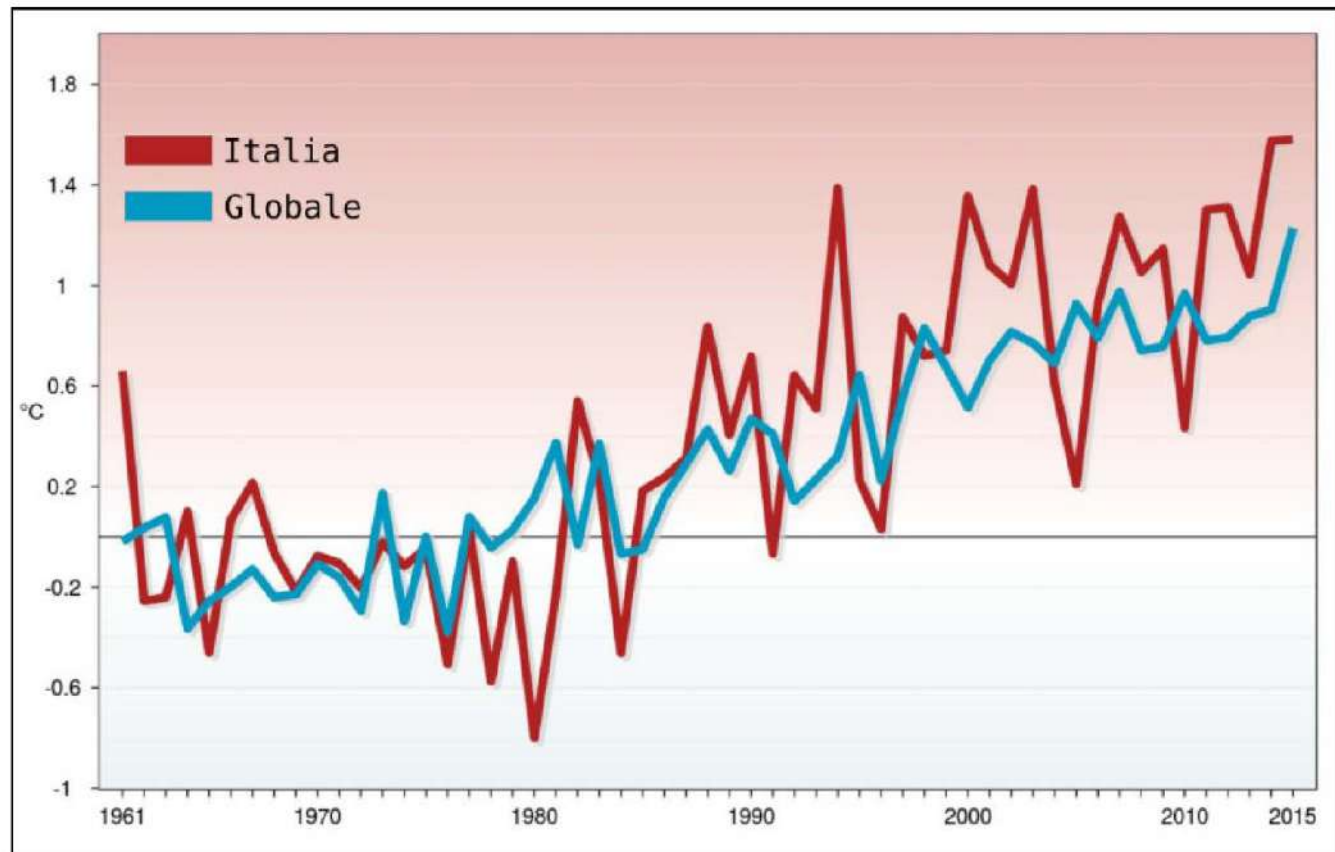
Sembra di leggere uno scenario dell'IPCC di qualche anno fa sui possibili effetti del riscaldamento globale. Non stiamo però parlando del futuro ma di **impatti già presenti**.

Qualche grafico dà l'idea dei mutamenti in atto.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia

Il grafico qui sotto, mostra la serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990:



IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia

A livello globale (terraferma e oceani) – ricorda il report – il 2015 è stato l'anno più caldo dal 1880 ad oggi.

Sulla terraferma, l'anomalia della temperatura media globale rispetto al trentennio climatologico di riferimento 1961-1990 è stata di +1.23 °C ed è la più alta della serie a partire dal 1961.

Dal 1986, l'anomalia termica media globale sulla terraferma è stata sempre positiva.

Tutti gli anni successivi al 2000 e il 1998 sono i più caldi dell'intera serie storica.

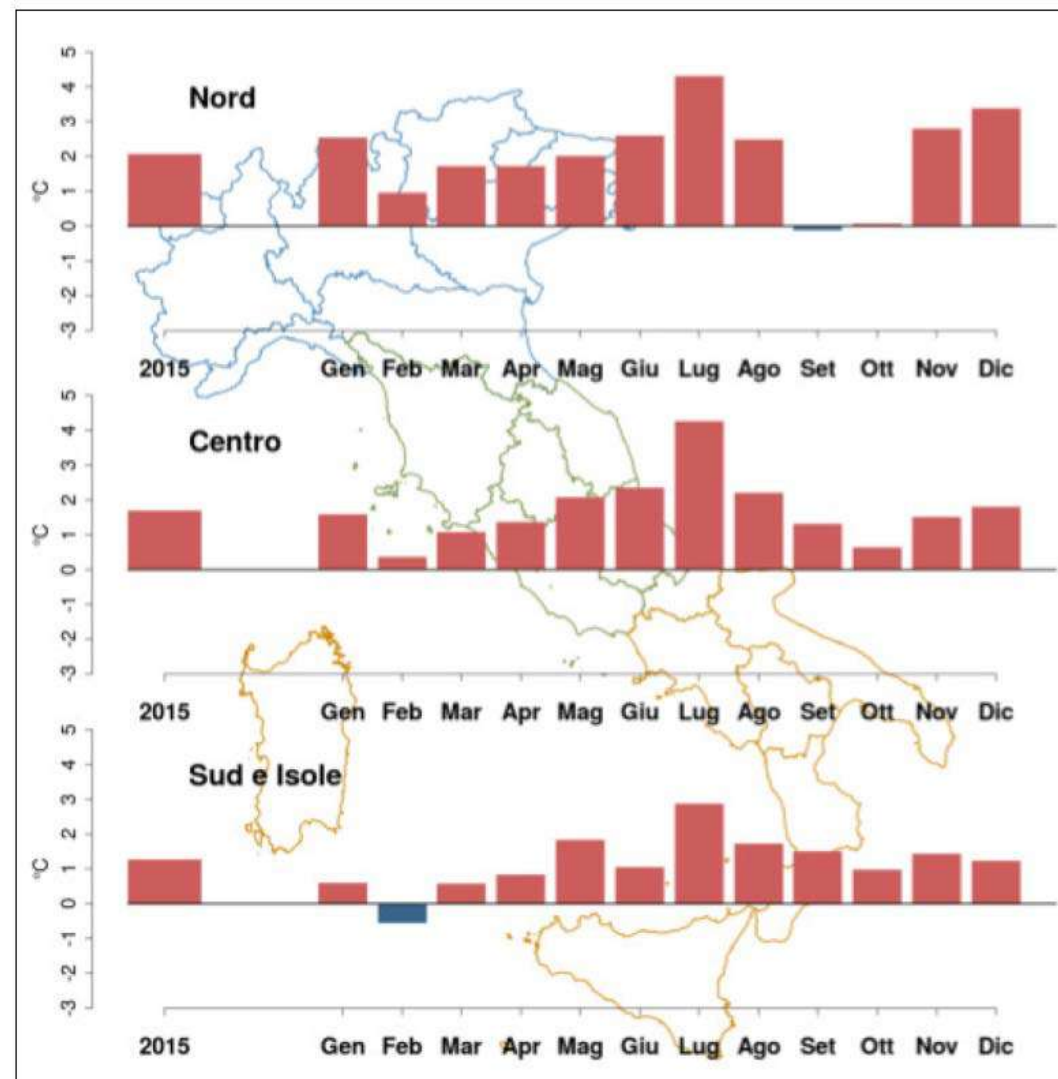
In Italia, il valore della temperatura media nel 2015 è stato il più elevato dell'intera serie dal 1961, appena superiore a quello del 2014. L'anomalia media annuale è stata di +1.58 °C e va attribuita a tutte e quattro le stagioni, con l'anomalia più marcata in estate (+2.53 °C).

Dall'analisi della serie storica dell'ultimo mezzo secolo, all'inizio degli anni '80 prende avvio il periodo con rateo di riscaldamento più elevato. La stima aggiornata del rateo di variazione della temperatura media in Italia dal 1981 al 2015 è $+0.33 \pm 0.06$ °C / 10 anni, a cui corrisponde, nello stesso periodo, un aumento di 1.12 ± 0.20 °C; quello della temperatura minima è $+0.30 \pm 0.05$ °C / 10 anni, quello della temperatura massima di $+0.37 \pm 0.08$ °C / 10 anni.

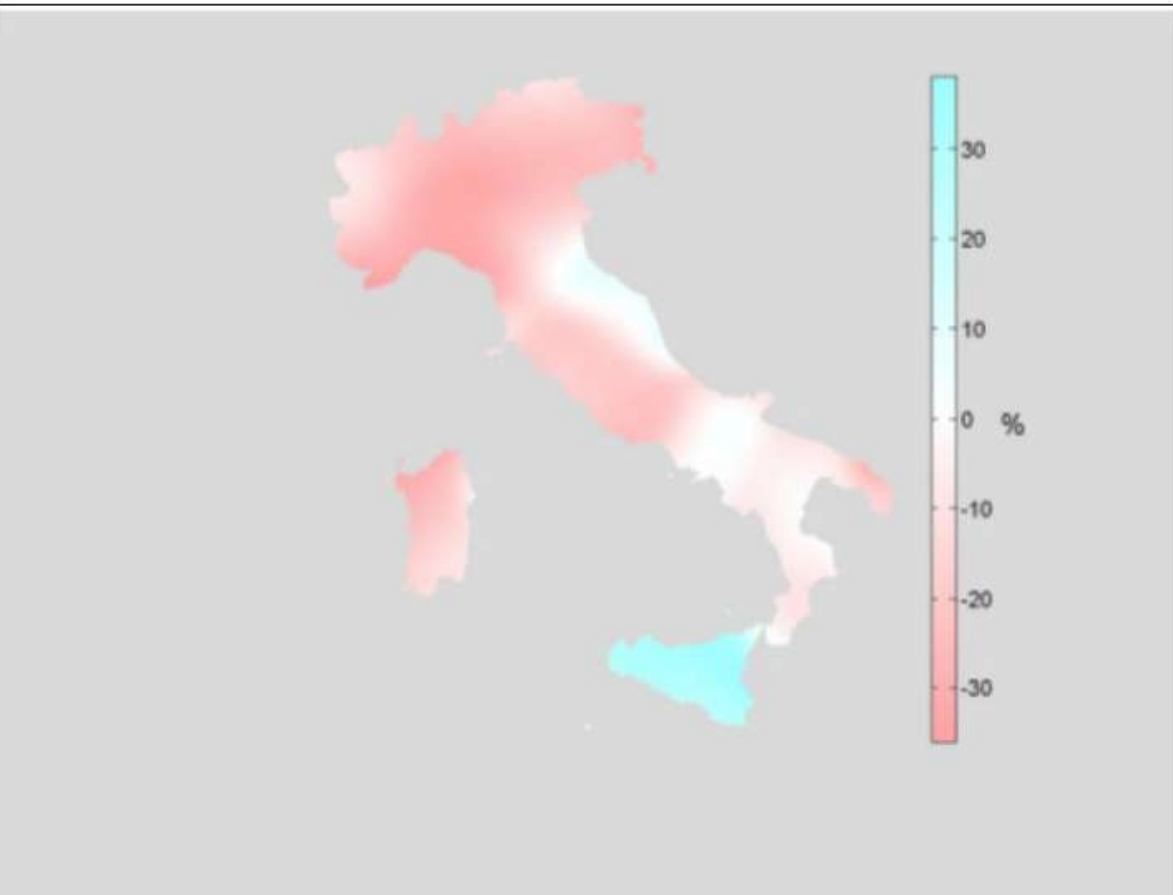
IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia

Distinguendo tra macro-aree geografiche (vedi grafico a lato) l'anomalia della temperatura media annuale è stata, in media, di +2.07 °C al Nord, +1.70 al Centro e +1.28°C al Sud e sulle Isole. Tutti i mesi del 2015 sono stati più caldi della norma, ad eccezione di settembre al Nord e febbraio al Sud e sulle Isole; al Centro, le anomalie sono state positive in tutti i mesi.



La situazione in Italia: Effetti sulle piogge

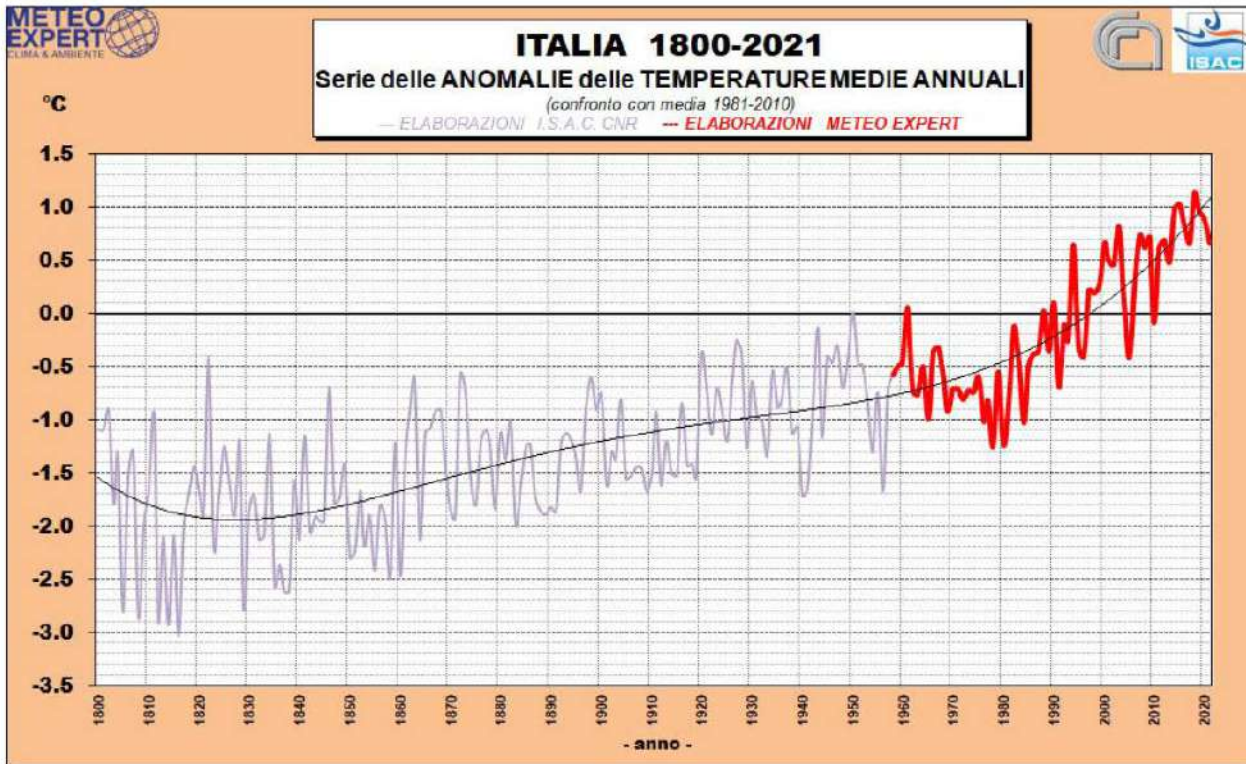


Quest'altro grafico mostra l'anomalia della precipitazione cumulata annuale 2015, espressa in valori percentuali, rispetto al valore normale 1951-1980:

- Le precipitazioni cumulate annuali del 2015 in Italia sono state complessivamente inferiori alla media climatologica del 13% circa. Al Nord e al Centro il 2015 è stato nettamente meno piovoso della norma (rispettivamente -21% e -17%), al Sud e sulle Isole pressoché nella norma, con la notevole eccezione della Sicilia che è stata teatro di un numero significativo di eventi estremi, soprattutto nel mese di ottobre.
- L'altra faccia delle anomalie di precipitazione è rappresentata dai periodi di siccità, che nel 2015 si sono manifestati in particolare negli ultimi mesi dell'anno, avviando un periodo caratterizzato da gravi condizioni di deficit idrico soprattutto sulle regioni settentrionali.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia nel 2021



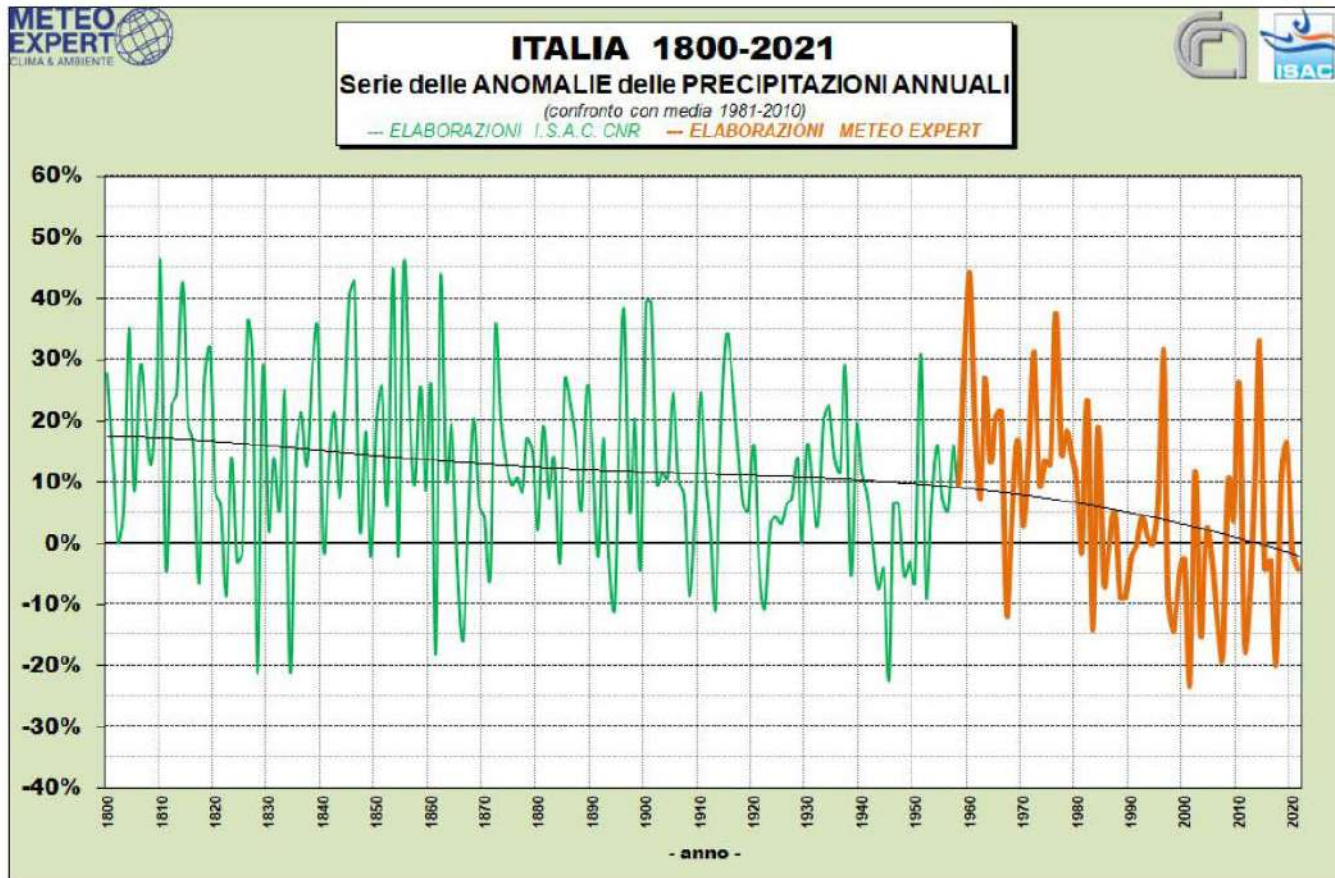
La serie secolare formata dai dati passati del CNR uniti alle elaborazioni di Meteo Expert degli ultimi decenni

Il 2021 è stato il 12° anno più caldo della serie storica e complessivamente meno piovoso, ma con grandi differenze tra Nord e Sud

Si riscontra una distribuzione abbastanza uniforme dell'anomalia delle temperature sul territorio, ma con scarti lievemente più elevati al Centro-Sud (da +0.7°C a + 0.8°C) rispetto a quelli del Nord (da +0.5°C a +0.6°C). Il risultato finale di +0.7°C, determinato dalla combinazione di 4 mesi sotto la media (il trimestre primaverile e il mese di ottobre) e i restanti 8 mesi sopra la media, colloca il 2021 al di fuori della top ten degli anni più caldi, più esattamente al 12° posto.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia nel 2021



La serie secolare formata dai dati passati del CNR uniti alle elaborazioni di Meteo Expert degli ultimi decenni

A differenza delle temperature, le **precipitazioni** mostrano un diverso comportamento fra le regioni meridionali, dove sono state mediamente più abbondanti della norma, e le regioni del Centro-Nord, dove invece si è avuto un sostanziale deficit. L'andamento nel corso dell'anno vede **solo 3 mesi più piovosi della media**, in particolare gennaio con il doppio delle precipitazioni normali, e tutti gli altri mesi più o meno marcatamente sotto la media.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

La situazione in Italia nel 2021

Il clima del 2021: per l'Italia un anno caldo e meno piovoso, ma con grandi differenze tra Nord e Sud

Il clima del 2021 in l'Italia ha seguito la tendenza degli ultimi decenni: l'anno, nel complesso, si chiude infatti più o meno in linea con il trend climatico, ossia con un'**anomalia termica positiva (+0.7°C)** e un **leggero deficit pluviometrico (-4%)**.

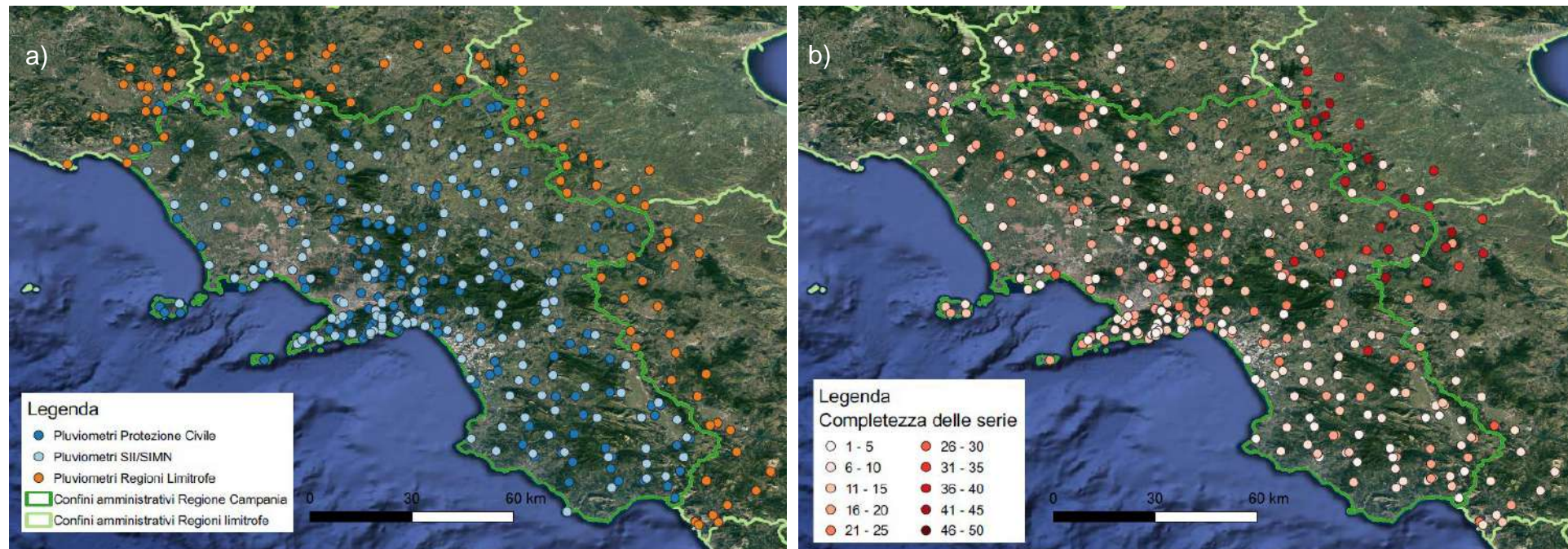
	ANOMALIE ANNO 2021	
	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITAZIONI
ITALIA	+0.7	-4%
Nordovest	+0.6	-6%
Nordest	+0.5	-17%
Centro	+0.7	-15%
Sud	+0.8	+8%
Sicilia	+0.7	+40%
Sardegna	+0.7	+25%

Anomalie calcolate rispetto alla media climatica del trentennio 1981-2010

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo



- Figura 1 - a) Distribuzione spaziale delle stazioni pluviometriche posizionate all'interno dei limiti amministrativi della Regione Campania e nelle immediate vicinanze. I cerchi blu scuro rappresentano l'attuale rete di monitoraggio gestita del Dipartimento della Protezione Civile della Regione Campania e Puglia, i cerchi azzurri rappresentano la rete antecedente il 1999 gestita dall'Ufficio Dipartimentale SII/SIMN di Napoli e i cerchi arancioni indicano le stazioni pluviometriche delle regioni limitrofe presenti in una fascia di 30km dai confini amministrativi della regione; b) Localizzazione delle stazioni mediante cerchi

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

Region	Managing Center	Number of stations	Temporal coverage
Campania	Civil Protection Multirisk Functional Centre of the Campania Region ¹	173	1994-2018
	Civil Protection Functional Centre of the Apulia Region ²	8	1970-2018
	SII/SIMN Departmental Bureau of Naples ³	142	1970-1999
	SII/SIMN Departmental Bureau of Pescara ⁴	3	1970-1993
Basilicata	Civil Protection Centre of the Basilicata Region ⁵	23	1970-2015
Lazio	Civil Protection Functional Centre of the Lazio Region ⁶	11	2005-2018
	SII/SIMN Departmental Bureau of Naples ³	6	1970-1999
Molise	Civil Protection Centre of the Molise Region ⁷	7	2002-2018
	SII/SIMN Departmental Bureau of Naples ³	10	1928-1999
	SII/SIMN Departmental Bureau of Pescara ⁴	13	1928-1993
Puglia	Civil Protection Functional Centre of the Apulia Region ²	32	1970-2018

Tab. 1 Regions of South Italy considered in the consolidated database with the related Managing Centres, the temporal coverage and number of rain gauges managed by each Centre.

1 Civil Protection of Campania Region: data provided by the Department for Territorial Policies – General Directorate for Public Works and Civil Protection - U.O.D. 53.08.05 Functional Centre

2 Civil Protection of Apulia Region: Hydrological Annals - Part I

3 Civil Protection of Campania Region: Hydrological Annals

4 Civil Protection of Abruzzo and Molise Regions: Hydrological Annals

5 Manfreda, S., Sole, A., & De Costanzo, G. (2015)

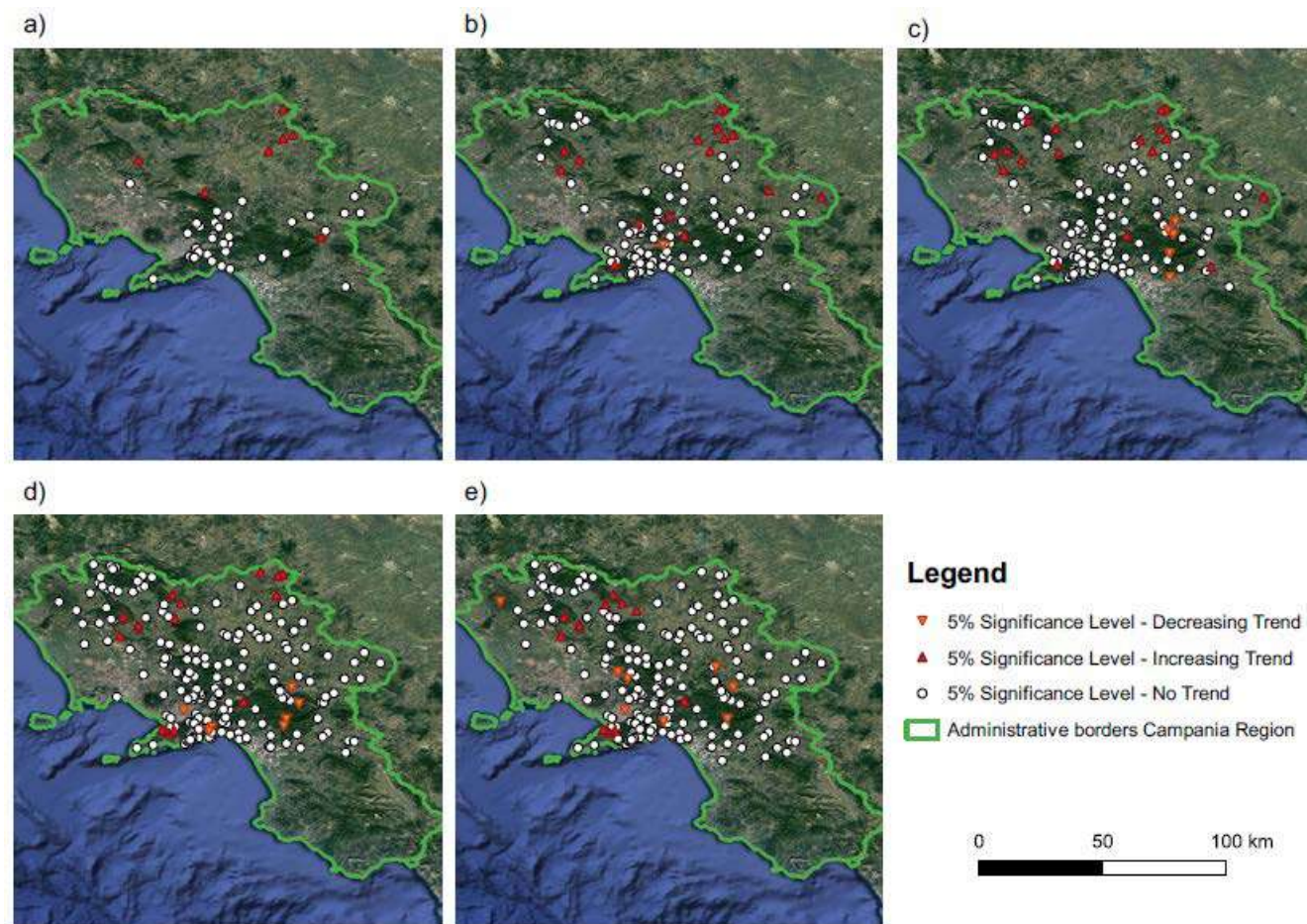
6 Civil Protection of Lazio Region: data provided by the Functional Centre

7 Civil Protection of Molise Region: data provided by the Functional Centre

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo



Maps of the trends for the annual maximum rainfall detected with Mann-Kendall test at 95% confidence level for the five durations: a) 1h, b) 3h, c) 6h, d) 12h, e) 24h.

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

Dall'analisi della Fig. 3 si deduce che gli anni di *change-point* più probabili per le serie delle piogge orarie estreme analizzate sono: 1998 per la durata di 1 ora, 1998 e 2004 per la durata di 3 ore, 1988 e 2003 per 6 ore, 1999 e 2003 per 12 ore, 1990 e 1999 per la durata di 24 ore.

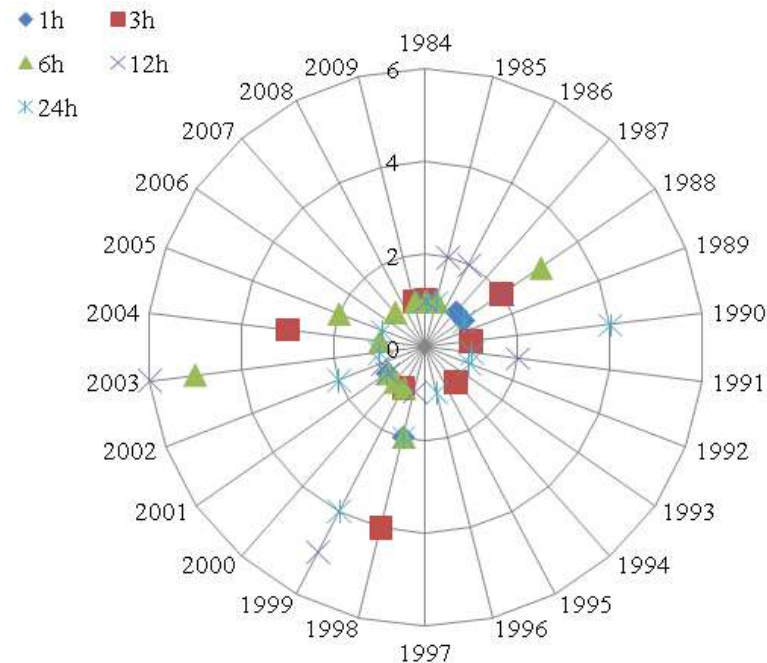
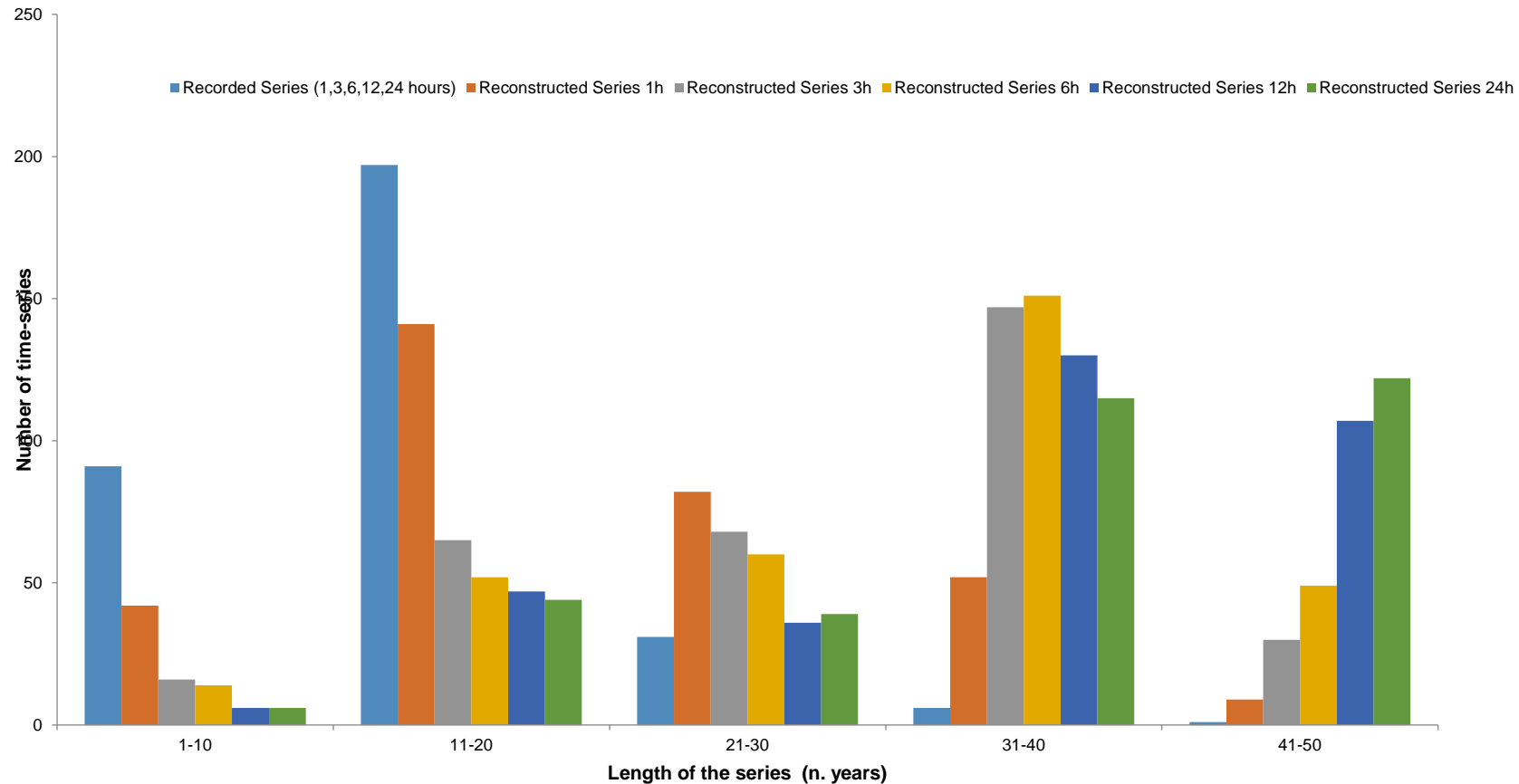


Figura 3 - Grafico che associa a ciascun anno di osservazione il numero di stazioni che presentano quell'anno come *change-point*, rilevato mediante il test di Pettitt

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

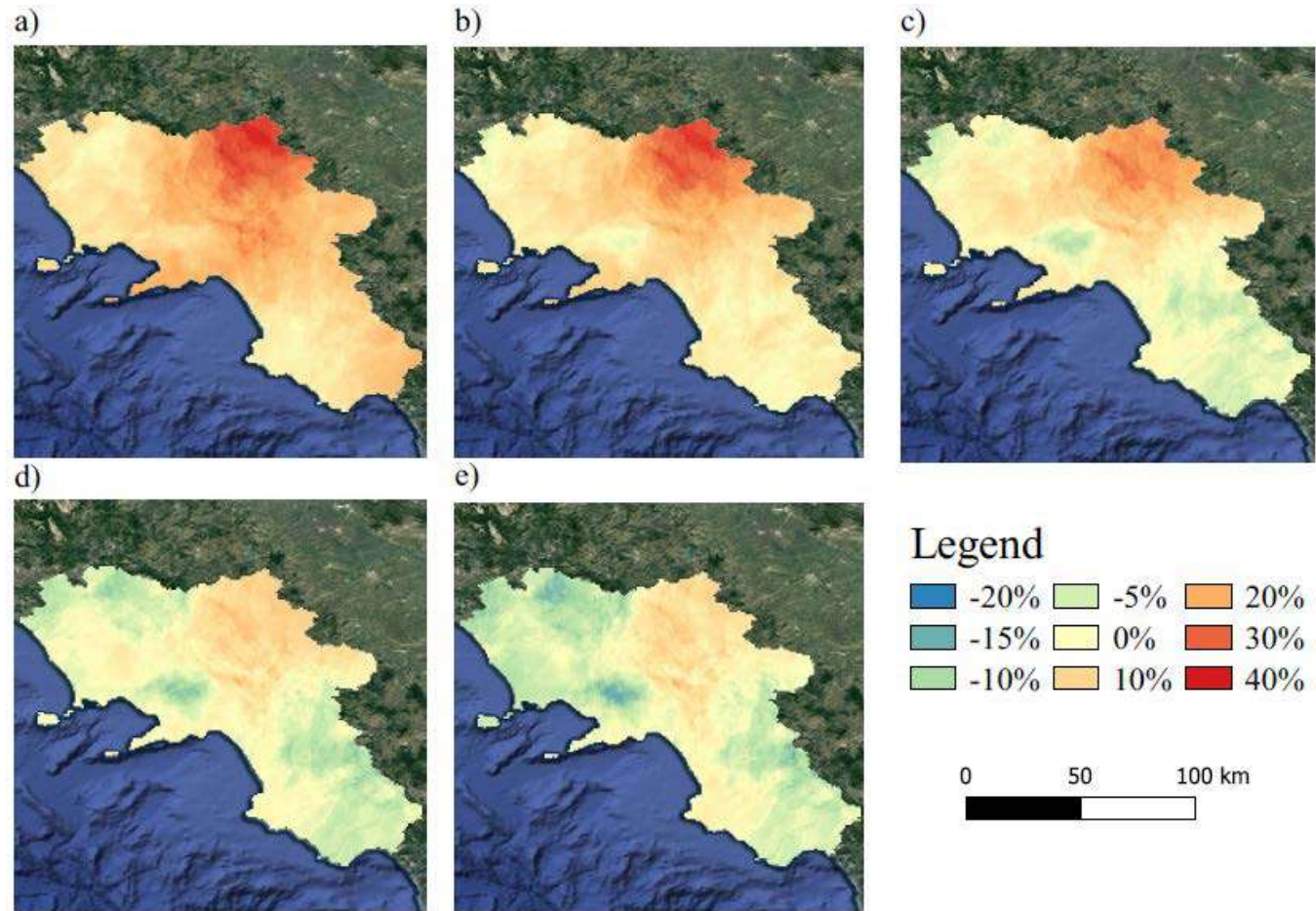


Number of series per length class in the observed and reconstructed databases for each duration.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo



Map of relative difference (1970-1990 and 1991-2018 periods) in percentage spatially interpolated for the five durations:

a) 1h, b) 3h, c) 6h, d) 12h, e) 24h.

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

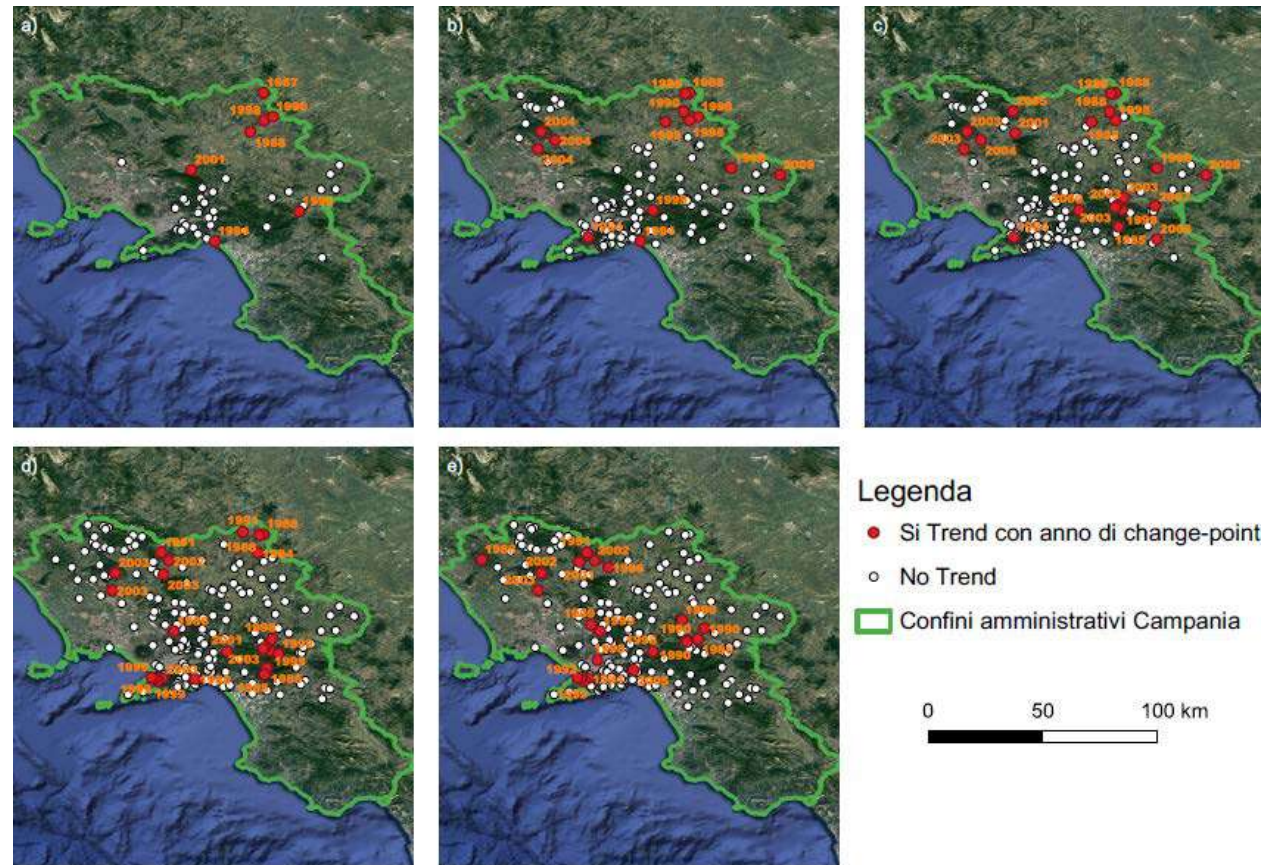


Figura 4 - Rappresentazione spaziale delle stazioni (cerchio rosso) per le quali è stato rilevato, mediante il test di Pettitt con un livello di significatività del 5%, un *change-point*, indicando (in arancione), inoltre, l'anno di cambiamento più probabile per le cinque durate: a) 1h, b) 3h, c) 6h, d) 12h ed e) 24h

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

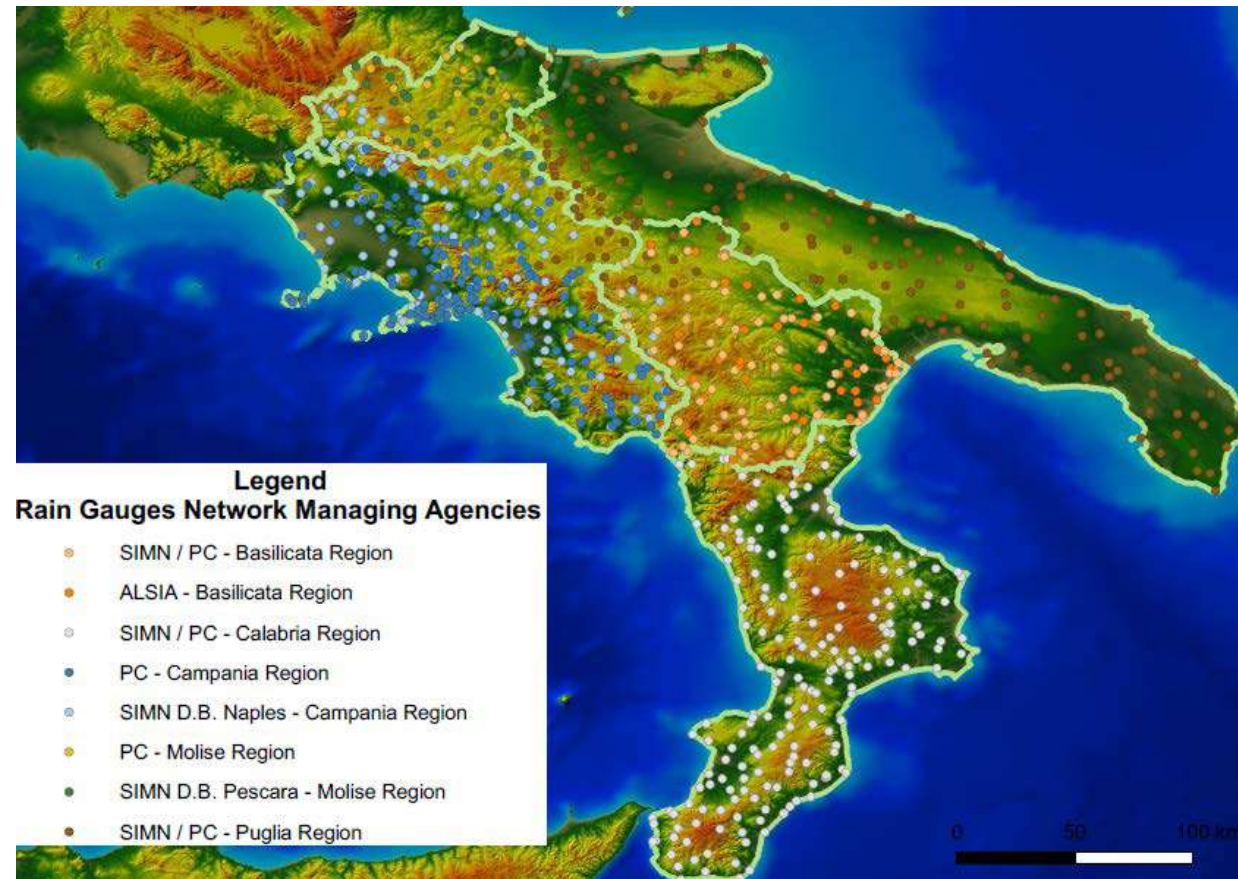


Figure 1 - Spatial distribution of the rainfall stations over the Southern Italy with references to the local Monitoring Agency involved in data collection and management tasks (SIMN stands for National Hydrographic and Mareographic Service; PC stands for Civil Protection; ALSIA is the acronym of Lucanian Agency for Development and Innovation in Agriculture).

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

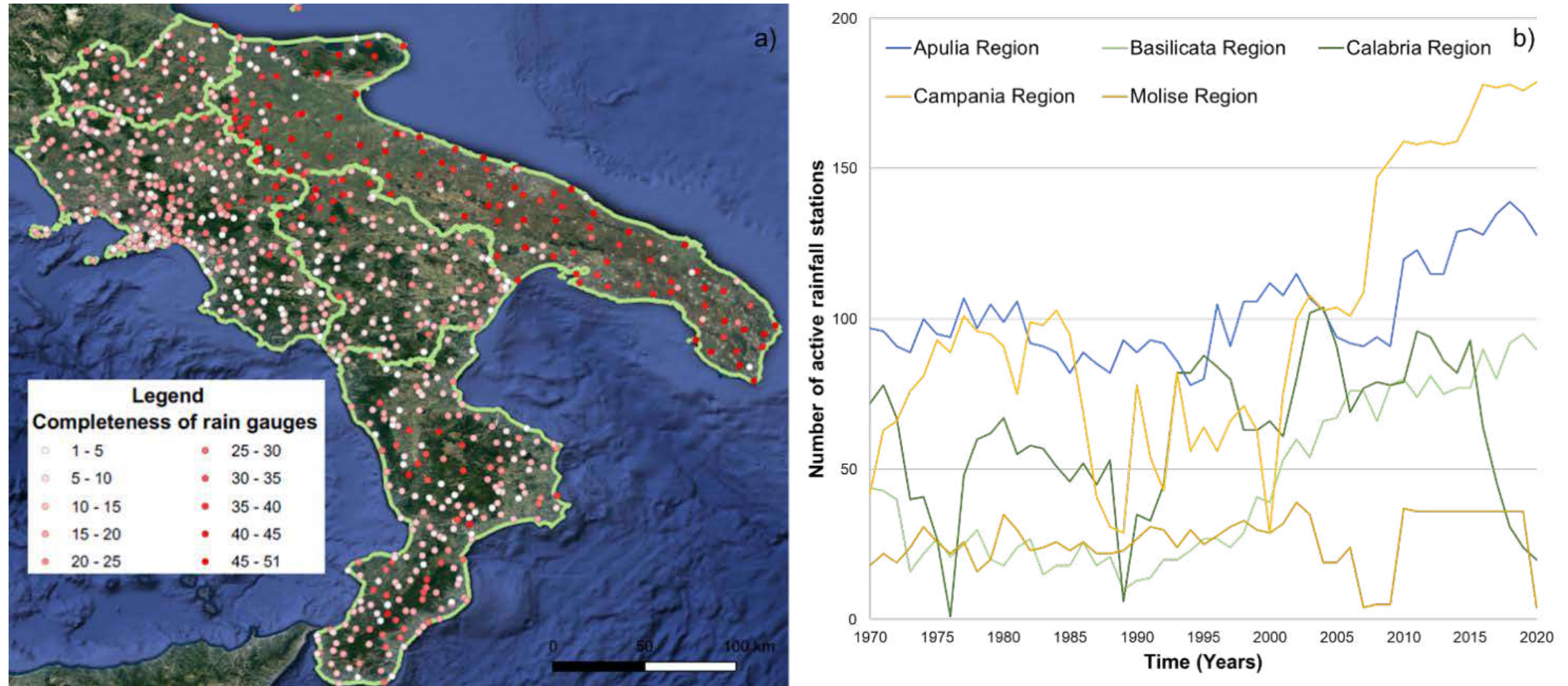


Figure 2 - a) Spatial distribution of the rain gauges over the Southern Italy. The colour refers to the length of the time series (i.e., the number of years with recorded annual maxima in the period 1970-2020); b) Number of active rainfall stations per year for the five considered regions.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

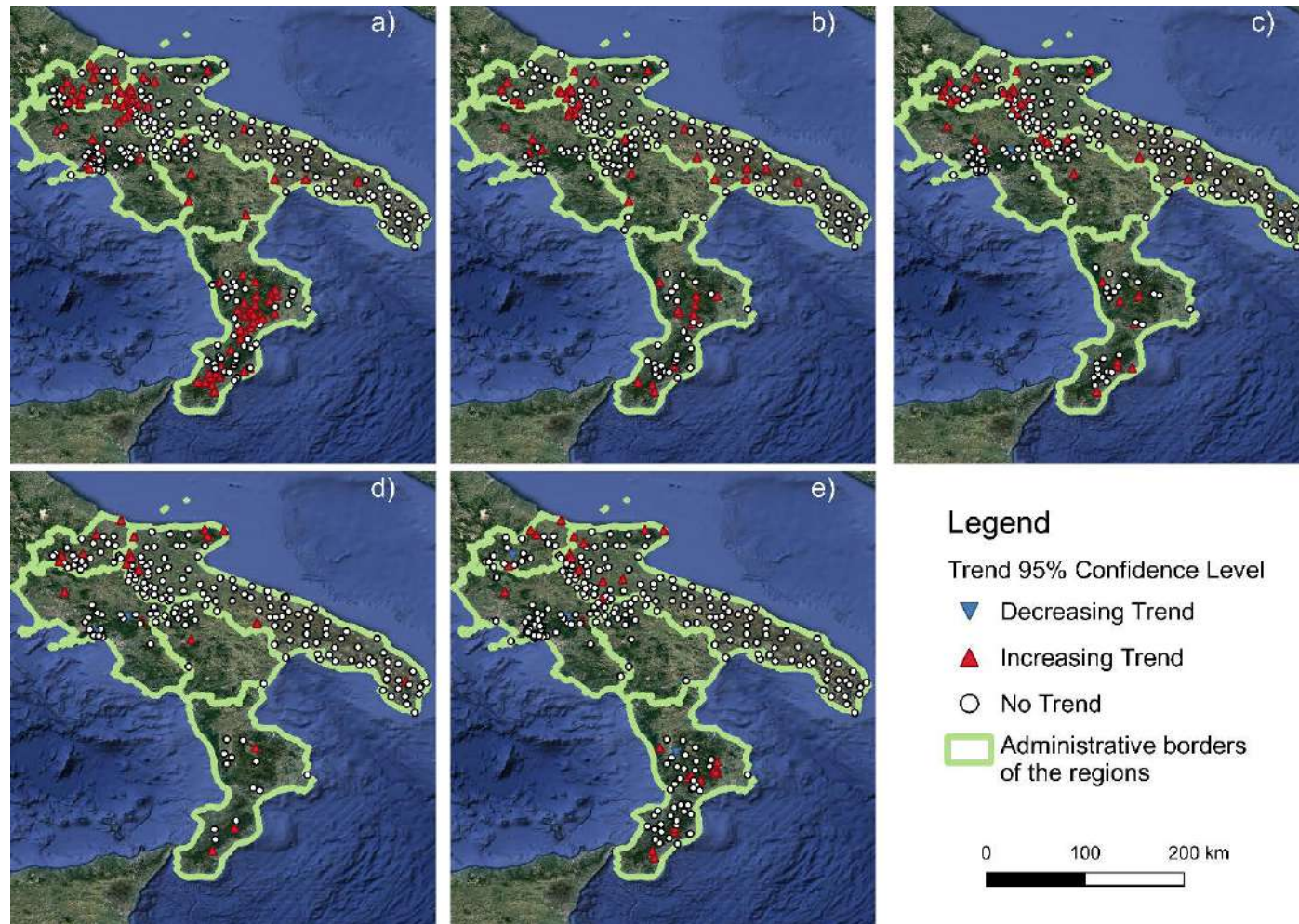


Figure 8 - Maps of the local trends for the rainfall annual maxima detected with Mann-Kendall (MK) trend test at 5% significance level for the five durations: a) 1h, b) 3h, c) 6h, d) 12h, e) 24h. The red triangle shows an increasing trend, the inverted blue triangle shows a decreasing trend, while the white circle represents no statistically significant trend.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Studi condotti presso il DICEA

Variazioni delle Massime precipitazioni che possono realizzarsi in brevi intervalli di tempo

Table 1: Maximum Annual Precipitation (MAP) variation for different return periods under different scenarios carried out by using the “modified VA.PI” curve as reference

Maximum annual rainfall depth (mm) variation for different return periods									
T (years)	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
	EM (%)	±STD (%)	CV (-)	EM (%)	±STD (%)	CV (-)	EM (%)	±STD(%)	CV (-)
5	5.0	9.1	1.8	4.0	12.5	3.1	8.4	9.6	1.1
10	7.0	11.1	1.6	5.7	14.7	2.6	8.5	12.0	1.4
20	10.0	19.0	1.9	8.7	22.0	2.5	8.5	15.1	1.8
50	16.5	40.7	2.5	16.0	43.4	2.7	8.4	20.6	2.5
100	24.6	68.7	2.8	25.7	71.4	2.8	8.5	25.9	3.0

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E GLI EVENTI ESTREMI

Avino, Luigi Cimorelli, Pierluigi Furcolo, Leonardo Valerio Noto, Anna Pelosi, Domenico Pianese, Paolo Villani, Salvatore Manfreda,
Are rainfall extremes increasing in southern Italy?,
Journal of Hydrology, bVolume 631, 2024, 130684,

[Angelo Avino](#), [Salvatore Manfreda](#), [Luigi Cimorelli](#), [Domenico Pianese](#)
Trend of annual maximum rainfall in Campania region (Southern Italy)
First published: 02 December 2021
Hydrological Processes - ISSN 0022-1694,

Grazie per l'attenzione!