

Università degli Studi di Napoli Federico II



**Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale**

**Laurea Magistrale
in Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio**

**“Vulnerabilità alle flash floods in area
urbana di pedoni e veicoli. Un caso di
studio”**

Relatore

CH.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

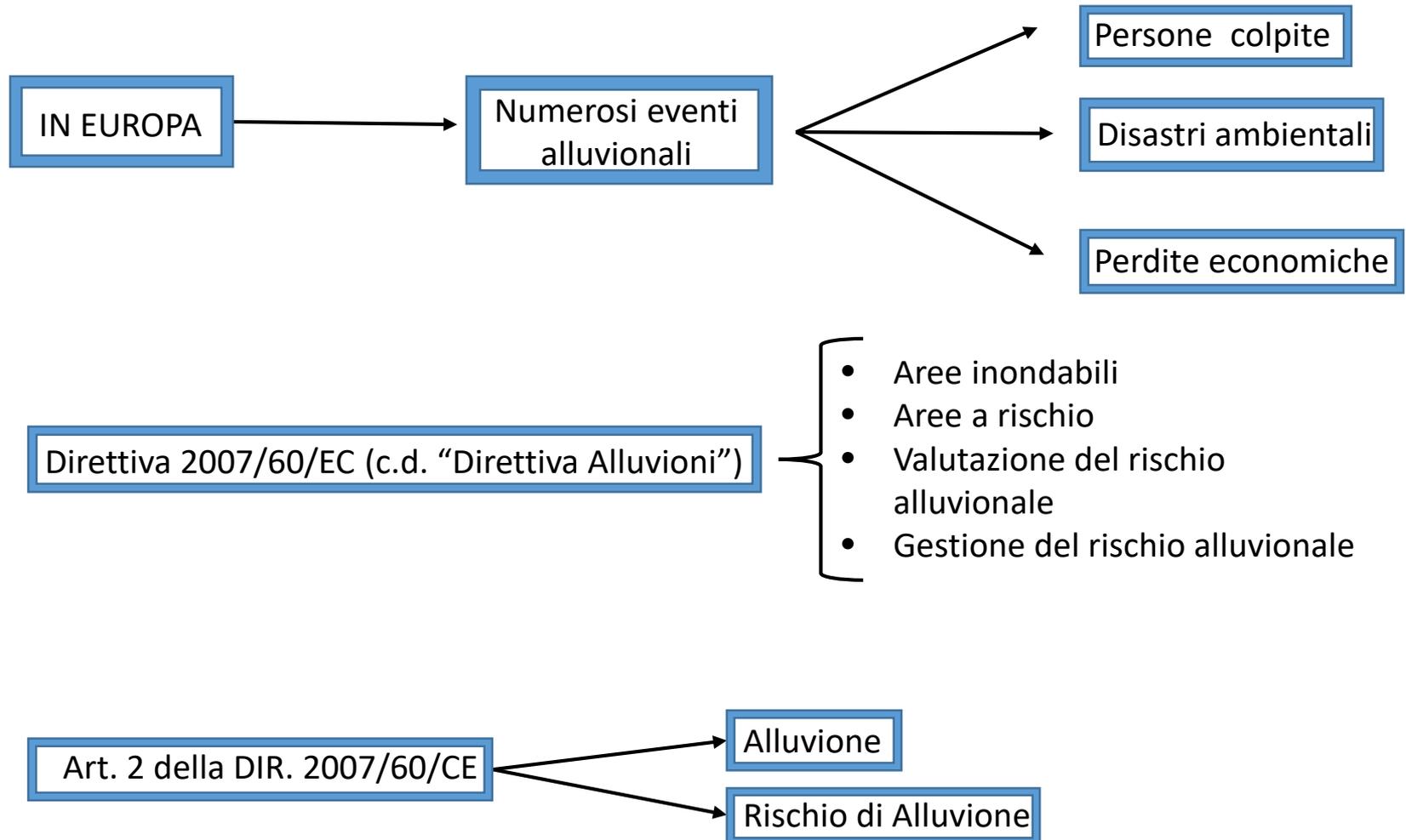
CH.mo Prof. Ing. Francesco De Paola

Candidata

Ilenia Salvatore

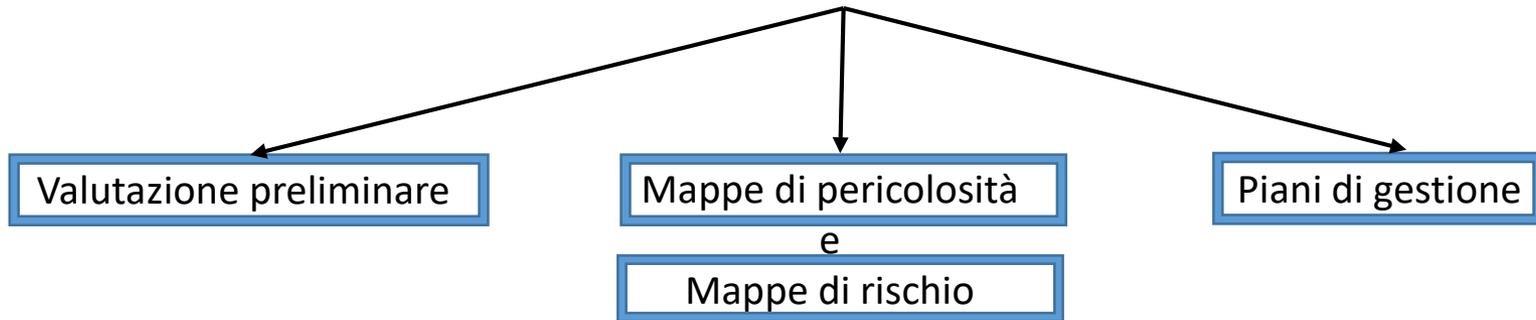
M67/387

DIRETTIVA 2007/60/EC



ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2007/60/CE (Floods Directive –FD)

Si richiede la realizzazione di tre prodotti:



Lo scopo di questa fase è la valutazione del livello di rischio su tutto il territorio e di selezione delle aree per le quali realizzare la mappatura e redigere piani di gestione del rischio.

Le mappe di pericolosità devono coprire le aree che potrebbero essere inondate secondo differenti scenari e devono indicare l'estensione dell'inondazione; le mappe di rischio devono mostrare le potenziali conseguenze negative associate alle inondazioni in conseguenza degli scenari adottati.

Questi devono riportare gli obiettivi della gestione del rischio di inondazione nelle aree interessate e le misure necessarie per il raggiungimento di tali obiettivi.

MAPPE DI PERICOLOSITÀ

La pericolosità (P) è la probabilità di accadimento di un evento alluvionale ed è riferita a un certo intervallo temporale t e ad una certa area:

$$P_t = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t \quad \text{oppure} \quad T = \frac{t}{\ln(1 - P_t)} \quad \bullet \quad T \text{ [anni]}$$

Attraverso la distribuzione spaziale di h e v, si valuta l'intensità e la magnitudo degli eventi.

Le aree soggette ad inondazione vengono caratterizzate secondo 3 differenti probabilità di evento (Classi di Pericolosità):

- Aree ad elevata probabilità di inondazione: P3
T=20-50 anni;
- Aree a moderata probabilità di inondazione: P2
T=100-200 anni
- Aree a bassa probabilità di inondazione: P1
T=300-500 anni.

Classi di pericolosità

MAPPE DI RISCHIO

Il "rischio di alluvioni" non è altro che "la combinazione della probabilità di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e l'attività economica derivanti da tale evento".

Utilizzando la formulazione di RISCHIO (R) in termini di rischio totale (Varnes, 1984) così come assunto nel DPCM 1998 si ha:

$$R = P \times E \times V$$

- P = pericolosità
- E = valore esposto
- V = vulnerabilità

Moderato (R1)	Danni marginali di tipo sociali, economici, ambientali
Medio (R2)	Danni minori ad edifici, infrastrutture, ambiente, che non pregiudicano l'incolumità degli individui, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
Elevato (R3)	Danni funzionali ad edifici, infrastrutture, che pregiudicano l'incolumità degli individui, l'agibilità degli edifici.
Molto elevato (R4)	Danni gravi che possono determinare la perdita di vite umane e feriti gravi.

VULNERABILITÀ ASSOCIATA ALLA PRESENZA UMANA E AI VEICOLI: LITERATURE REVIEW

La valutazione della vulnerabilità richiede la conoscenza dei valori di altezza idrica e di velocità del flusso.

Per identificare la vulnerabilità associata alla presenza umana, si fa riferimento a valori di velocità e profondità che determinano “instabilità” rispetto alla posizione di equilibrio (eretta).

1. “Human stability in high flood hazard zone”

(S.R. Abt, R.J. Wittier, A. Taylor, and D.J. Love (1989))



Figura 1: Fonte:human stability in a high flood hazard zone. abt. et al 1989

2. Progetto RESCDAM (Karvonen et al.,2000)

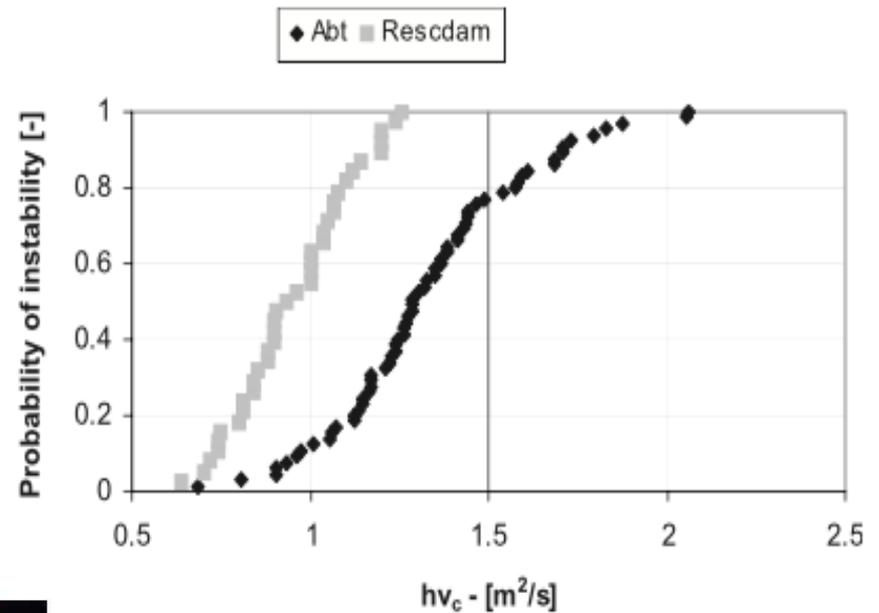


Figura 3 Distribuzione del Prodotto Critico Profondità-Velocità per i dati disponibili

$$hv_c = 0.004Lm + 0.2$$

- L= altezza del soggetto umano;
- m= massa corporea del soggetto.

Figura 2 Le due figure mostrano il soggetto in un canale: test con soggetto in piedi (a sinistra), test con soggetto in movimento (a destra) (fonte:BBC 999)

3. "Human instability in flood flows", S.N. Jonkman and E. Penning-Rowse, 2008

Si distinguono due meccanismi idrodinamici che possono causare instabilità nei pedoni:

- **INSTABILITA' AL RIBALTAMENTO/ RIBALTAMENTO**



Si uguagliano il momento resistente dato dal peso immerso e il momento dato dalla forza di drag (trascinamento) (D), (per calcolare i momenti si presume che il soggetto si appoggi in avanti e ruoti attorno al tallone):

$$(W - B - Li)d = D \frac{H}{2}$$

Esplicitando le varie forze:

$$W = \rho g (H_p d l)$$

$$B = \rho g (H d l)$$

$$L_l = \frac{1}{2} \rho U^2 C_l H_p l$$

$$D = \frac{1}{2} \rho U^2 C_D H_p l$$

Sostituendo le varie forze, si ottiene la seguente *condizione di equilibrio*:

$$[(\rho_p g H_p d l) - (\rho g H d l) - \frac{1}{2} \rho U^2 C_l H_p l] d = (\frac{1}{2} \rho U^2 C_D H_p l) \frac{H}{2}$$

E' stato possibile successivamente definire un parametro che consenta di valutare la *vulnerabilità dei pedoni* parzialmente immersi nella corrente: il parametro di mobilità per le persone θ_p [-]:

$$\theta_p = \frac{2d}{H_p} \frac{H_p - H}{H}$$

Definendo θ_p dalla condizione di equilibrio, è possibile ricavare la relazione seguente:

$$\frac{U^2}{g H} \left(\frac{H}{2d} C_D - C_l \right) = \frac{2d}{H_p} \frac{H_p - H}{H}$$

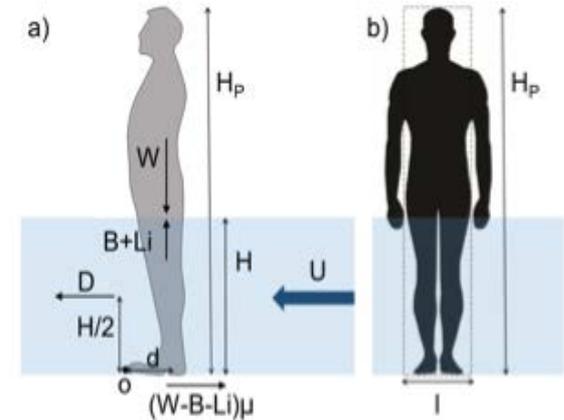


Figura 4: Rappresentazione di un pedone parzialmente immerso in un flusso e delle forze idrodinamiche (Foster e Cox 1973, Karvonen et al., 2000, Jonkman e Penning-Rowse 2008 e Xia et al., 2014).



- **INSTABILITA' DI ATTRITO/ SCIVOLAMENTO**



Si uguaglia il peso immerso W meno la spinta di galleggiamento e la forza di lift, moltiplicati per il coefficiente di attrito radente, alla forza di drag:

$$(W - B - Li)\mu = D \frac{H}{2}$$

Esplicitando le varie forze, si ottiene la seguente *condizione di equilibrio*:

$$[(\rho_p g H_p d l) - (\rho g H d l) - \frac{1}{2} \rho U^2 C_l H_p l] \mu = \frac{1}{2} \rho U^2 C_D H_p l$$

Definendo θ_p dalla condizione di equilibrio, è possibile ricavare la relazione seguente:

$$\frac{U^2}{g H} \left(\frac{C_D}{\mu} - C_l \right) = \frac{2d}{H_p} \frac{H_p - H}{H} = \theta_p$$

Si nota che il parametro θ_p è lo stesso per i due meccanismi di instabilità, ma diversa è la sua dipendenza dai coefficienti idrodinamici.

4. "Vehicles, pedestrians and flood risk: a focus on the incipient motion due to the mean flow", Arrighi, 2016

I meccanismi idrodinamici che determinano il raggiungimento di una condizione di instabilità di un veicolo sono :

- **INSTABILITA' AL GALLEGGIAMENTO**

Si verifica quando gli effetti di galleggiamento e sollevamento superano il peso del veicolo

- **INSTABILITA' ALLO SCORRIMENTO**

Si verifica quando la forza resistente D supera la forza di attrito dei pneumatici (ossia il prodotto del coefficiente d'attrito radente e la risultante della forza normale, costituita dal peso del veicolo meno la spinta di galleggiamento e la forza lift)

$$D > (W - B - L_i) \mu$$

Esplicitando le varie forze:

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D (H_v - h_c) l U^2$$

$$W = \rho_c g (H_v - h_c) l L$$

$$B = \rho g (H - h_c) l L$$

$$L_i = \frac{1}{2} \rho C_L l U^2$$

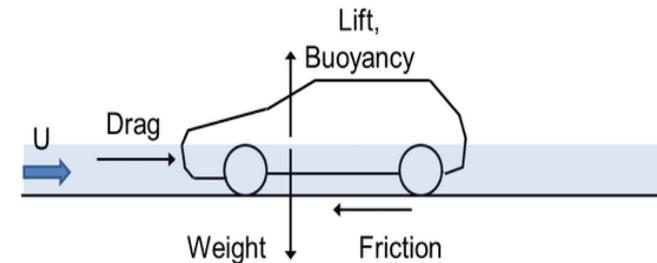


Figura 5: Forze che agiscono su un veicolo stazionario (fermo) parzialmente immerso

E' stato possibile successivamente definire un parametro che consenta di valutare la *vulnerabilità dei veicoli* parzialmente immersi nella corrente: il parametro di instabilità per i veicoli θ_v [-]:

$$\theta_v = \frac{2 L}{H_v - h_c} \left(\frac{\rho_c (H_v - h_c)}{\rho (H - h_c)} - 1 \right)$$

Sostituendo le seguenti forze ed effettuando alcune semplificazioni, si ottiene la seguente *relazione*:

$$\left(\frac{C_D}{\mu} + C_L \frac{L}{H_v - h_c} \right) \frac{U^2}{g (H - h_c)} = \frac{2 L}{H_v - h_c} \left(\frac{\rho_c (H_v - h_c)}{\rho (H - h_c)} - 1 \right)$$

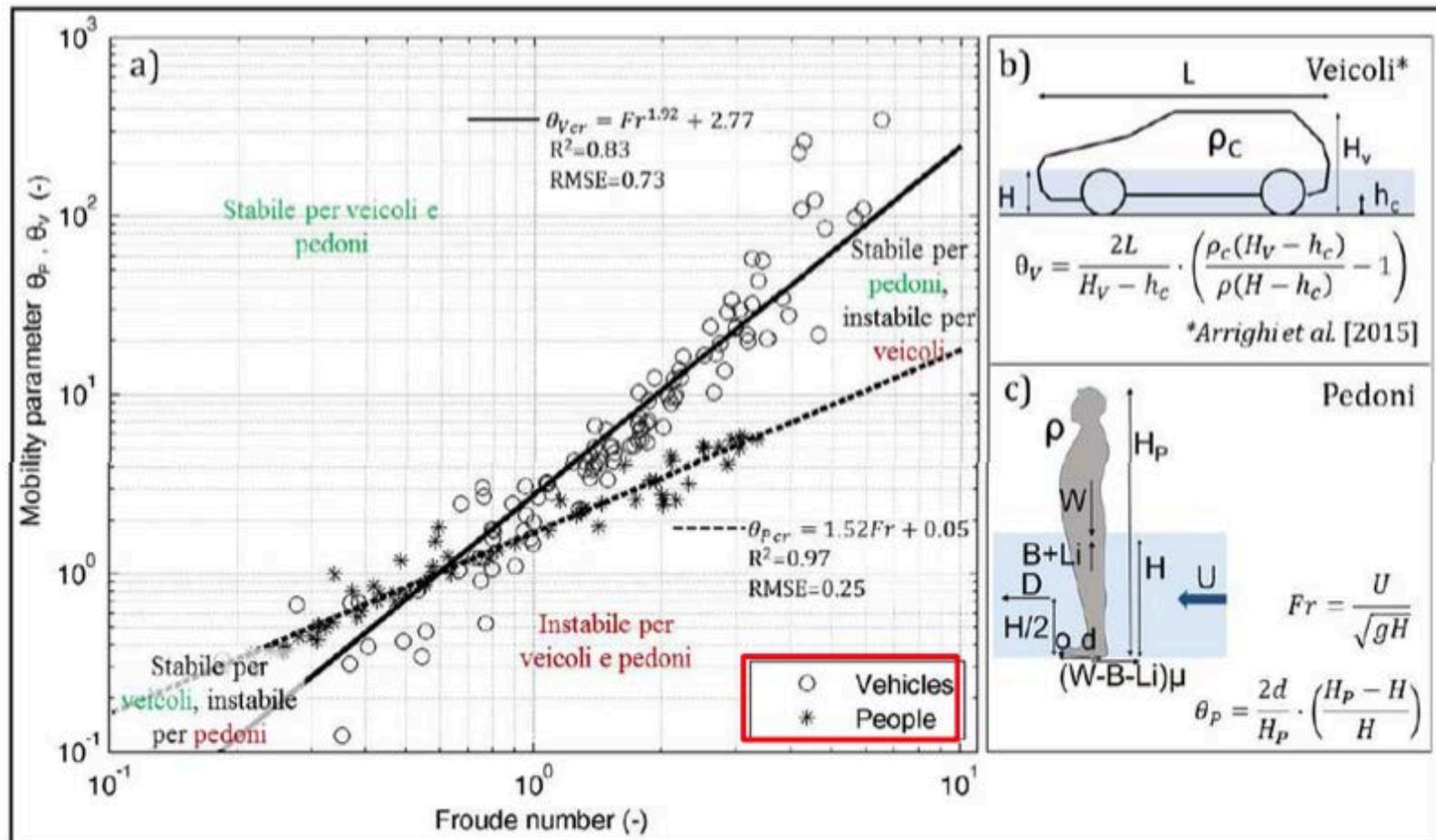


Figura 6: Il pannello (a) raffigura le due soglie di instabilità per veicoli (linea continua) e pedoni (linea tratteggiata) ricavate dall'applicazione dei parametri adimensionali agli esperimenti selezionati, il pannello (b) illustra lo schema geometrico per il calcolo del parametro di mobilità del veicolo (Arrighi et al. 2015) e il pannello (c) quello per i pedoni (adattato da Arrighi et al. 2016).

CASO DI STUDIO: COMUNE DI SARNO

Sarno è un comune italiano di 31.497 abitanti della provincia di Salerno, in Campania.

Il 5 maggio 1998 il comune fu colpito, insieme ai vicini centri di Quindici, Bracigliano e Siano, da un fenomeno gravoso, caratterizzata da colate rapide di fango, che interessò la metà del territorio comunale, a causa delle piogge persistenti che da giorni stavano interessando l'Appennino campano.



- Furono **160 le vittime complessive**, di cui **137 solo nel comune di Sarno.**
- **2 milioni di metri cubi di materiale** furono mobilizzati e avviati verso valle.
- Le colate di fango raggiunsero una **velocità dell'ordine dei 10 m/s.**
- Furono **distrutte 180 case** e **danneggiate oltre 450**

Figura 12 a) Foto aerea dell'area di studio prima dell' evento tragico del 1998 b) Foto aerea dell'area di studio dopo l'evento tragico del 1998



Figura 13: Colata di fango in ambito urbano.

fonte-<https://www.ildenaro.it/alluvione-sarno-20-anni-geologi-rischio-ancora-alto/>

• Bacini idrografici

In questo studio sono stati individuati 12 bacini idrografici con le relative sezioni di chiusura. Per ciascun bacino, sono state ricavate le seguenti caratteristiche:

- A_m = area del bacino;
- L = lunghezza effettiva dell'asta principale;
- H = differenza di quota tra l'estremità di monte e quella di valle dell'asta principale;
- l = lunghezza di ruscellamento;
- V_{max} = volume massimo mobilitato;
- V_{min} = volume minimo mobilitato.

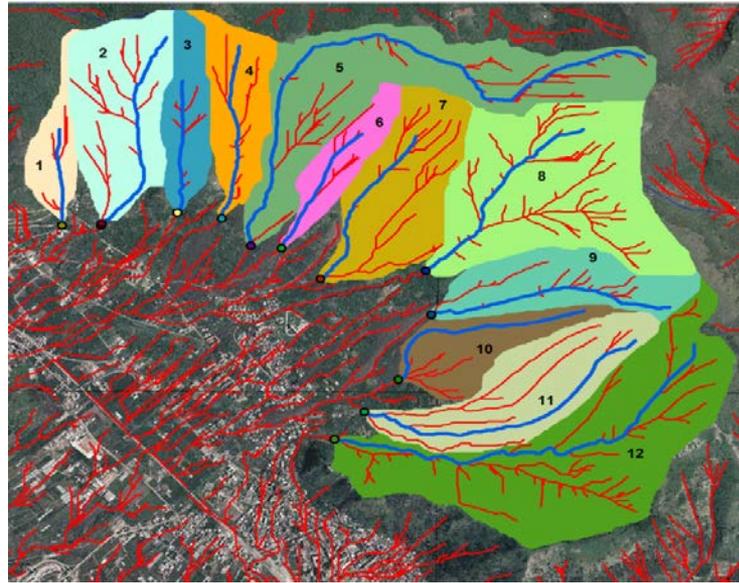


Figura 14: Bacini idrografici e sezioni di chiusura nell'area oggetto di studio

Bacino	A_m	l	L	H	V_{min}	V_{max}
	[ha]	[km]	[km]	[km]	[mc]	[mc]
1	20.36	0.22	0.79	0.37	4709.21	14127.63
2	69.41	0.20	1.66	0.65	16057.41	48172.22
3	31.13	0.30	1.06	0.44	7200.37	21601.10
4	41.22	0.22	1.40	0.57	9536.20	28608.61
5	125.39	0.25	4.03	0.94	29007.69	87023.08
6	25.57	0.20	1.08	0.43	5914.54	17743.62
7	69.16	0.17	1.34	0.49	15997.82	47993.45
8	127.90	0.29	1.63	0.65	29587.62	88762.86
9	51.21	0.26	1.68	0.69	11846.33	35538.98
10	38.27	0.27	1.50	0.48	8853.98	26561.95
11	71.52	0.15	2.10	0.64	16544.43	49633.28
12	161.72	0.18	2.85	0.74	37411.07	112233.20

- **Valutazione della portata al colmo**

Ipotesi:

- **Idrogramma triangolare**
- **L'onda del flusso dei detriti ha la stessa forma dei flussi simulati.**
- **Concentrazione volumetrica dei sedimenti sia costante.**

$$Q_T = \frac{V_T}{V_R} Q_R$$

dove:

Q_T = portata del flusso detritico [m³/s]

V_T = volume del flusso di detriti [m³]

V_R = volume di acqua che contribuisce al flusso di detriti [m³]

Q_R = portata di picco della fase liquida [m³/s]

In particolare V_T è dato da:

$$V_T = V_S + V_R + V_W$$

$$V_R = \frac{1 - (1 - S) \cdot C_V - \frac{C_V}{c^*} \cdot S}{C_V} \cdot V_S$$

$$V_W = \frac{(1 - c^*)}{c^*} \cdot S \cdot V_S$$

C^* = concentrazione volumetrica del sedimento asciutto

V_S = volume della fase solida

S = grado di saturazione dei sedimenti

C_V = concentrazione volumetrica media dei sedimenti

V_W = volume dell'acqua interstiziale della massa movimentata

$$C_V = \frac{V_S}{V_S + V_R + V_W}$$

In particolare:

C=Coeff. di afflusso
 A_m =Estensione bacino [ha]
 I_{dT} =Intensità media delle precipitazioni [mm/h], d è la durata e T periodo di ritorno

I_d =Intensità di pioggia di durata d [mm/h]

$$Q_R = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I_{dT} \cdot A_m$$

$$I_{dT} = K_T \cdot I_d \cdot I_{dT} = K_T \cdot I_d \quad I_d = \frac{\mu_{I_0}}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta}$$

Fattore di crescita $K_T = K_1 + K_2 \cdot \ln T$

$$t_c = \frac{l}{v} + \frac{1}{72} \cdot \frac{L^{1.6}}{H^{0.6}}$$

$$\beta = C_1 - D \cdot z$$

Quota media s.l.m.m.

$$Q_R = \frac{1}{360} \frac{C \cdot A_m \cdot (K_1 + K_2 \cdot \ln T) \cdot \mu_{I_0}}{\left[1 + \frac{\left(\frac{l}{v} + \frac{1}{72} \cdot \frac{L^{1.6}}{H^{0.6}}\right)^\beta}{d_c}\right]}$$

Dopo aver effettuato le opportune sostituzioni e assumendo di $V_R = Q_R \times t_c$, viene fuori la Q_T :

$$Q_T = \frac{RC}{360} \frac{C \cdot A_m \cdot (K_1 + K_2 \cdot \ln T) \cdot \mu_{I_0}}{\left[1 + \frac{\left(\frac{l}{v} + \frac{1}{72} \cdot \frac{L^{1.6}}{H^{0.6}}\right)^\beta}{d_c}\right]} + \frac{RC}{3600} \frac{V_s}{\left(\frac{l}{v} + \frac{1}{72} \cdot \frac{L^{1.6}}{H^{0.6}}\right)} \cdot \left[1 + \frac{(1 - c^*)}{c^*} \cdot S\right]$$

Per ottenere una descrizione probabilistica della portata della colata di fango, sono stati seguiti i seguenti passi:

1. N = 1000 realizzazioni causali del vettore dei parametri incerti indipendenti = [C, c^* , v, S, Vs];
2. Per ogni realizzazione del vettore, la portata Q_T è stata calcolata tramite l'equazione sopra riportata;
3. Dato un certo valore di Q_d e dividendolo in 9 intervalli, è stata valutata la probabilità che la funzione di stato $G \geq 0$ ($G = Q_d - Q_T$).

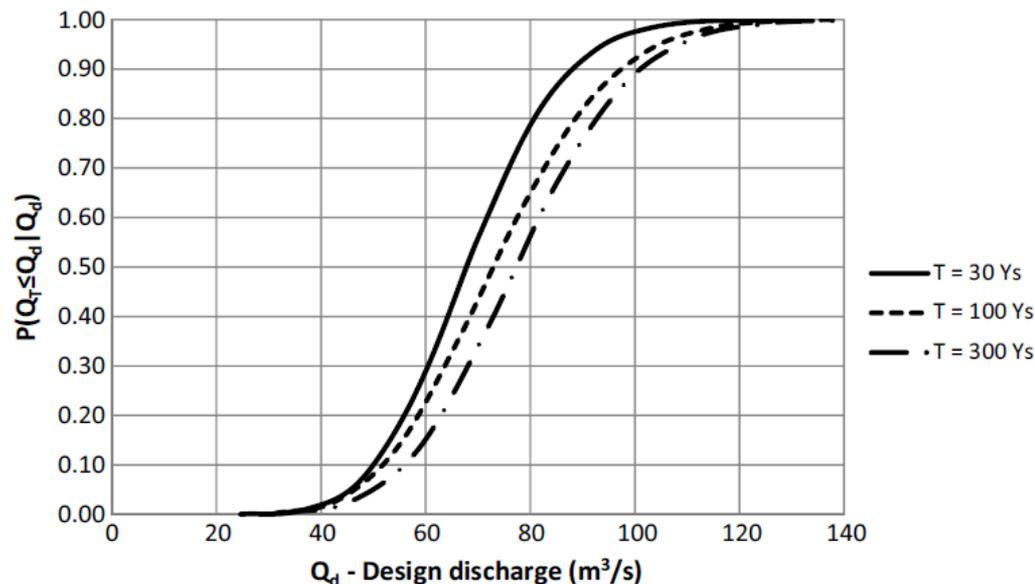


Figura 15: Grafico $Q_d - ps$ relativo ai tre Periodi di Ritorno esaminati.

SIMULAZIONE - FLO 2D

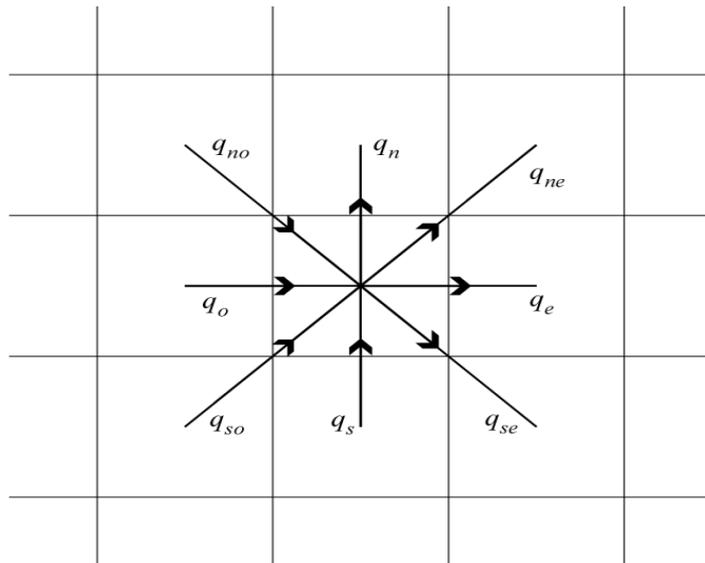
• **Modellazione numerica bidimensionale: codice di calcolo utilizzato**

Per poter modellare il mud flood è stato utilizzato il codice di calcolo FLO – 2D (distribuito da FLO-2D Software Inc), il quale risulta essere un modello di inondazione che tiene conto della conservazione dei volumi.

La modellazione bidimensionale si realizza attraverso un'integrazione numerica dalle equazioni di continuità e del moto nella forma completa (equazione dell'onda dinamica), note anche come equazioni di De Saint Venant:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV}{\partial x} = i$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t}$$



In cui:

- h è il battente idrico;
- V è la velocità mediata lungo la verticale;
- i è l'intensità della precipitazione (che può essere nulla);
- S_f è la pendenza della linea dell'energia (friction slope component) determinata sulla base dell'equazione di Manning;
- S_0 è la pendenza di fondo (del terreno);
- g è l'accelerazione di gravità;
- con x indichiamo la direzione lungo la quale integrare le equazioni di De Saint Venant.

Figura 16: Le otto direzioni di flusso considerate da FLO-2D

SIMULAZIONE - FLO 2D

- ***Costruzione del modello***

Innanzitutto sono stati caricati all'interno del programma il DEM, l'ortofoto georeferenziata e lo shape file contenente la cartografia IGM dell'area di studio.

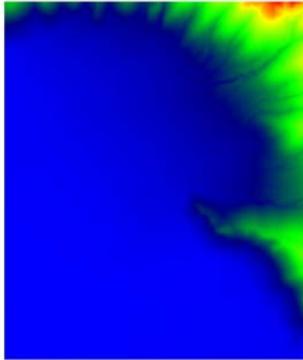


Figura 17 : DEM dell'area in esame.



Figura 18: Ortofoto dell'area in esame

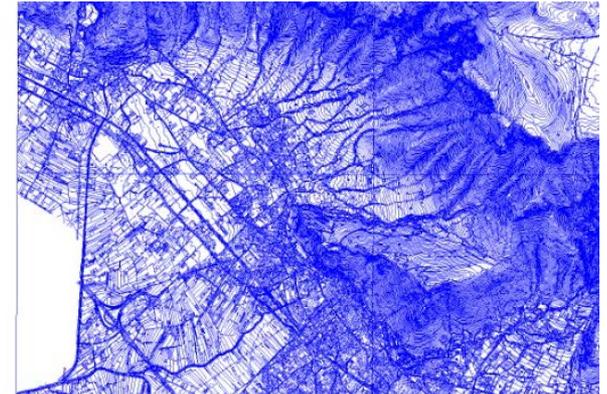


Figura 19: Cartografia IGM dell'area in esame.

Per poter simulare il mud flood è stato necessario implementare i valori delle concentrazioni volumetriche dei sedimenti $C_v (=0.35)$ e i parametri reologici relativi proprio al sito d'esame, per calcolare rispettivamente lo sforzo tangenziale e la viscosità dinamica:

$$\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$$

$$\eta = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$$

dove:

- α_1 , α_2 , β_1 e β_2 sono coefficienti empirici definiti in laboratorio attraverso un'analisi reologica del materiale depositato dalla colata;
- C_v è la concentrazione volumetrica dei sedimenti (O'Brien e Julien, 1988).

Definiti poi tutti i parametri d'ingresso necessari al codice di calcolo, è possibile simulare le colate.

Mud and Sediment Transport

Mud / Debris
 Sediment Transport
 None

Hyperconcentrated Sediment Flow Parameters

Viscosity vs Sediment Concentration: Coefficient: Exponent:

Yield Stress vs Sediment Concentration: Coefficient: Exponent:

Sediment Specific Gravity:

Laminar Flow Resistance:

Sediment Routing

Yang:

Specific Gravity:

Sediment D50 Size (mm):

SEDTRAN.OUT Report Node:

Dry Specific Weight:

Sediment Gradation Coefficient:

Use Size Fraction

Global Fine Sediment Volumetric Concentration:

Transport Equations

ID	Bed Thick.	Conc.

Routing Fractions

Diameter	Percentage

Use Sediment Supply Rating Curve

Nodes

Node	Chan/FP	Coef.	Exp.

Routing Fractions

Diameter	Percentage

Maximum Scour Depth (optional):

Debris Basin Parameters

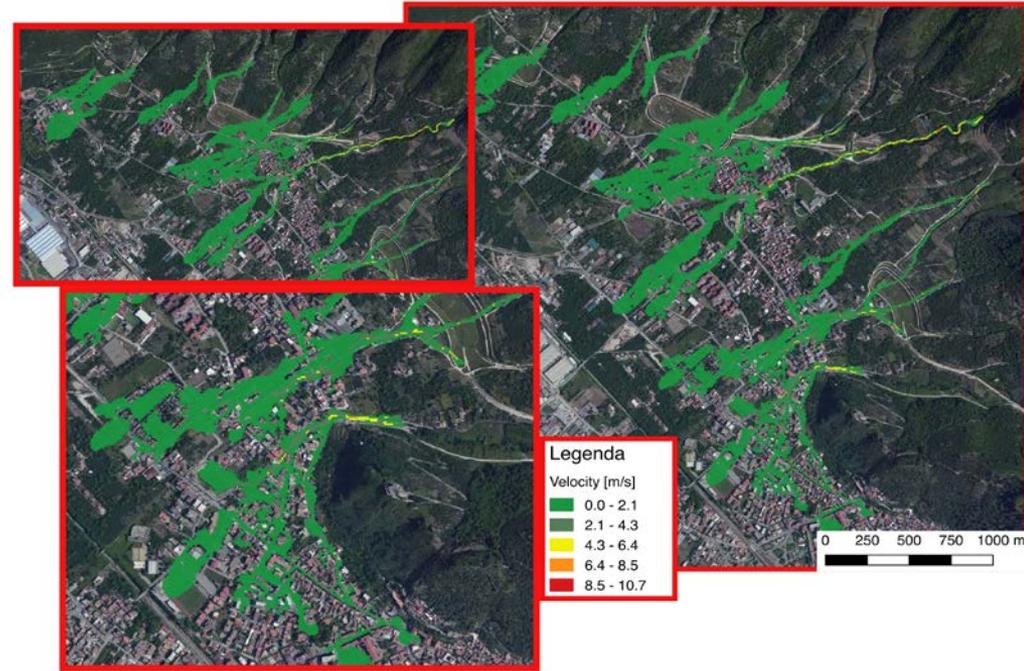
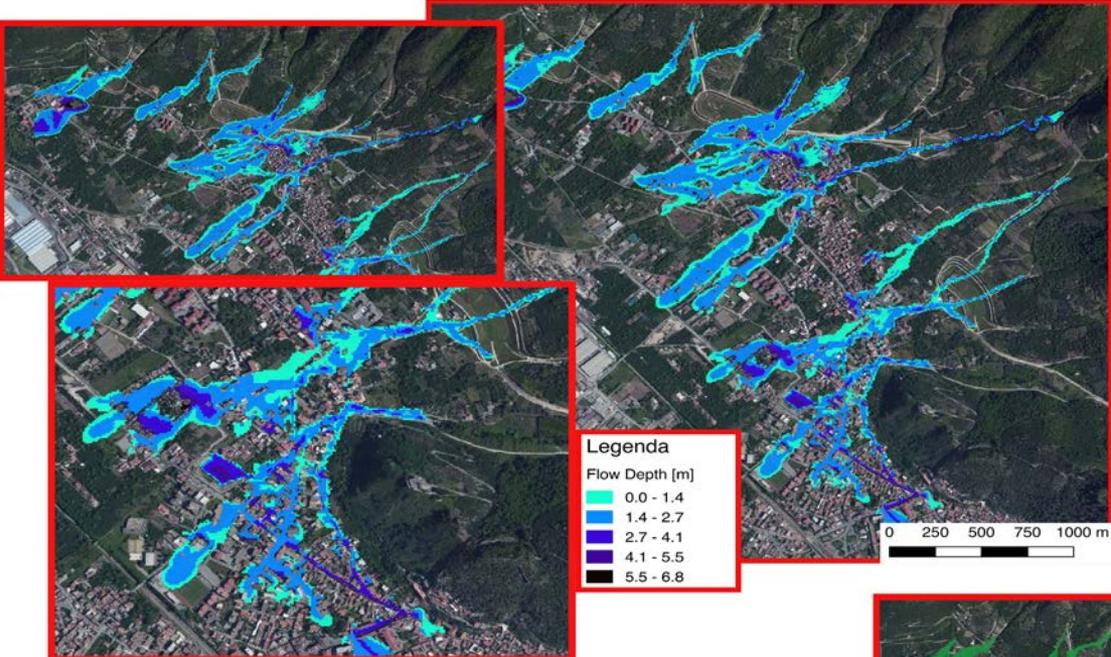
Debris Basin Grid Element:

Debris Basin Volume:

Rigid Bed Nodes

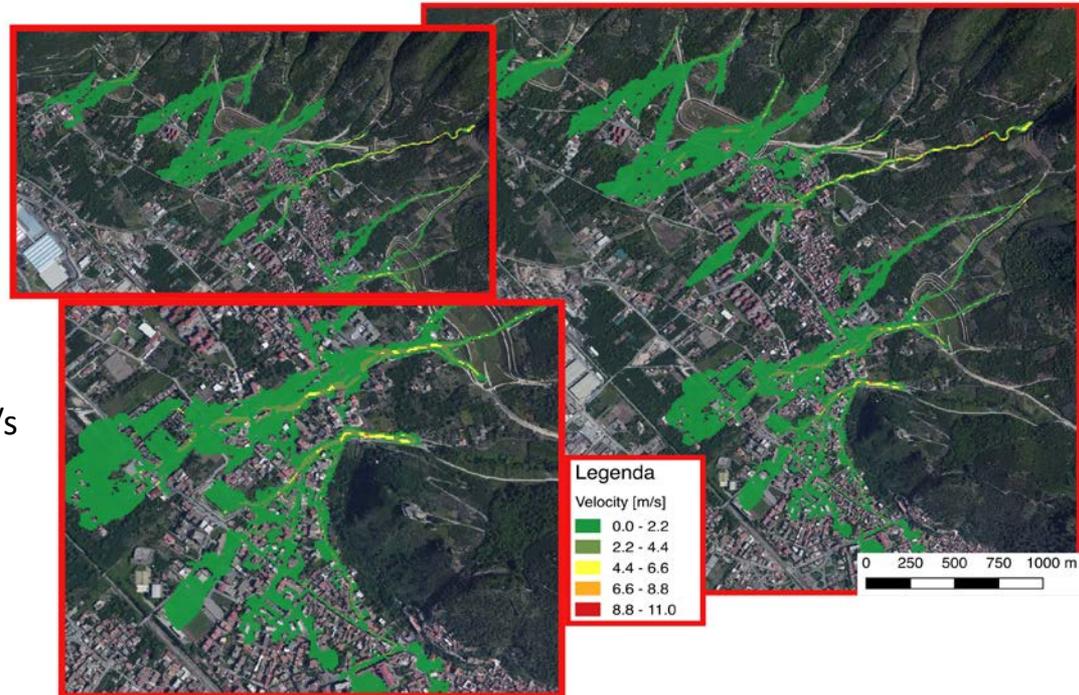
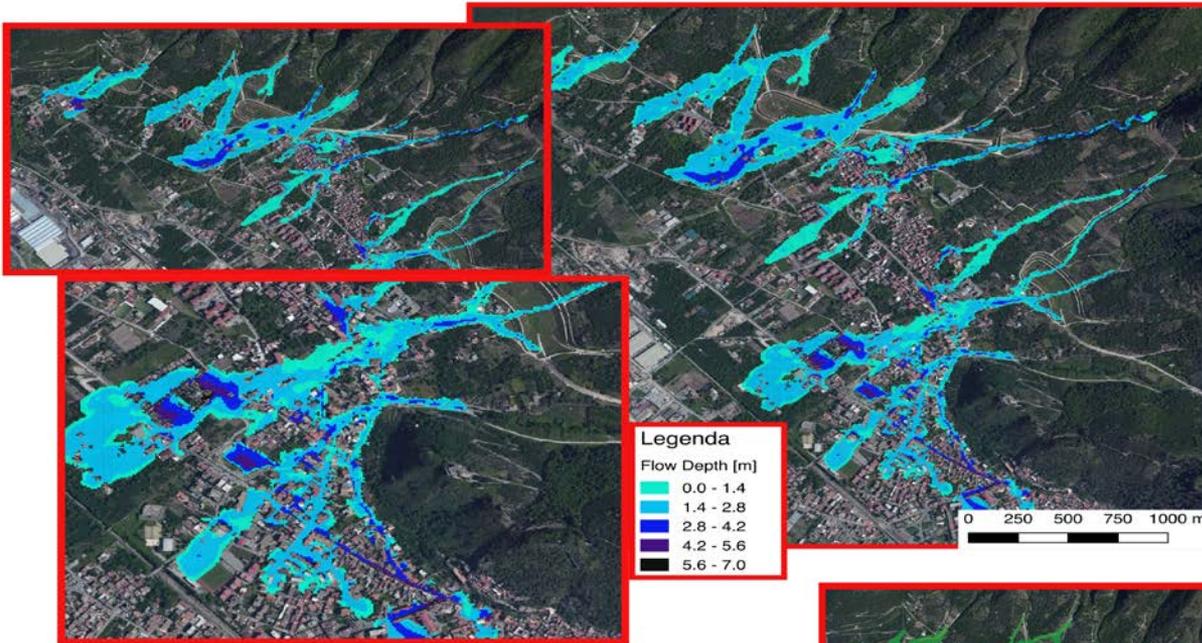
Node:

T = 30 ANNI



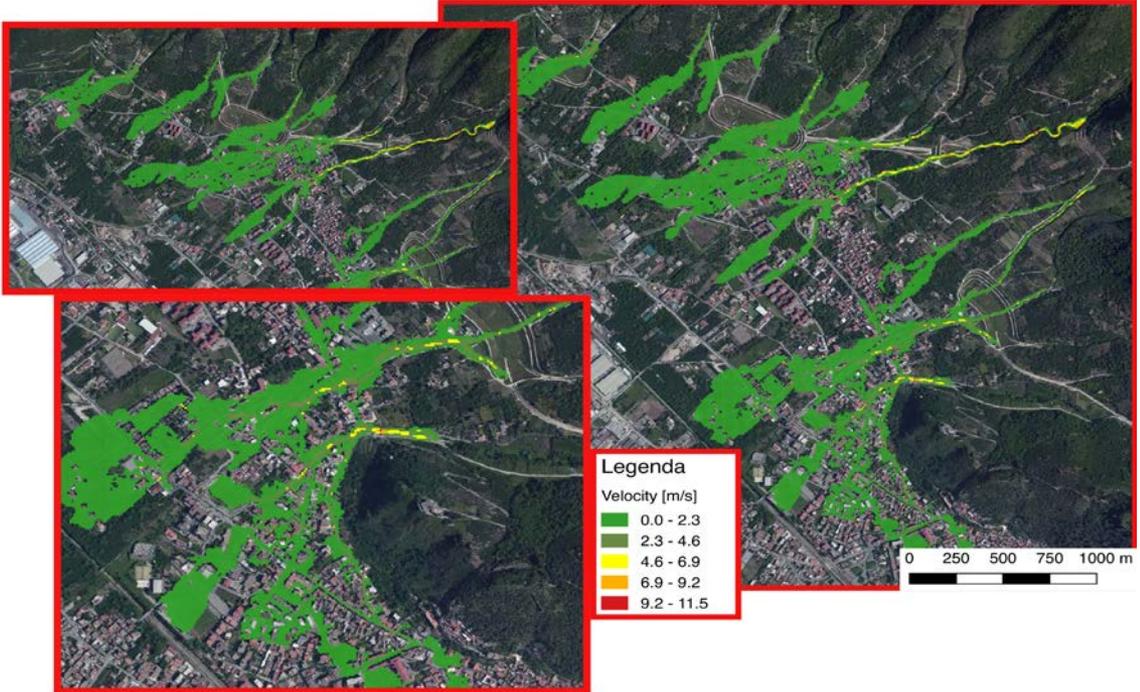
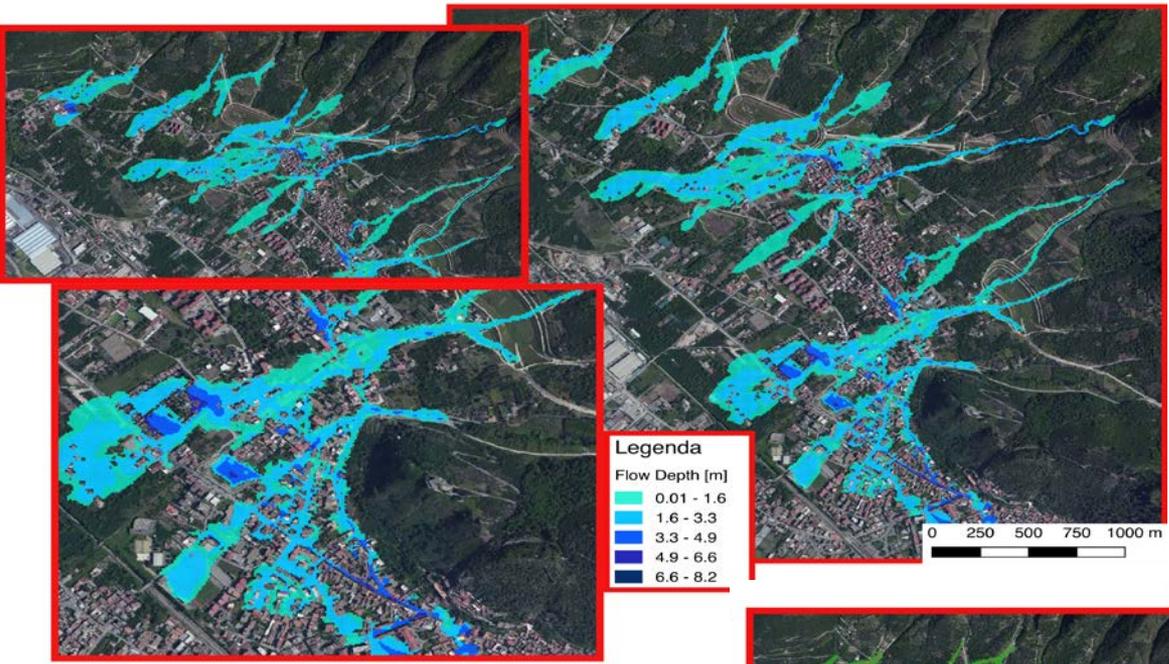
Per lo scenario T=30 anni, h=6.82 m e v=10.66 m/s.

T = 100 ANNI



Per lo scenario T=100 anni, h=6.98 m e v=10.98 m/s

T = 300 ANNI



Per lo scenario T=300 anni, $h=8.21$ m e $v=11.51$ m/s.

VULNERABILITA' DEI PEDONI

Si è ritenuto necessario considerare lo studio svolto da Ramsbottom et al. (2004) e Penning-Rowse et al. (2005), i quali hanno proposto per la popolazione un'equazione semiquantitativa che lega l' *indice di pericolo da inondazione (Flood Hazard Rating)* con l'altezza e la velocità dell'acqua oltre che con un fattore connesso alla quantità di sedimento trasportato (Debris Factor - DF) – da HR Wallingford:

$$HR = Hazard\ Rating = h(v + 0.5) + DF$$

$h \times (v + 0.5)$	Grado di rischio di alluvione	Descrizione
0.75 – 1.5	Moderato	Classe 1 :Dangerous for some (i.e. children) Pericoloso per alcuni (cioè bambini)"Pericolo: zona di alluvione con acqua alta o veloce"
1.5 - 2.5	Significativo	Classe 2: Dangerous for most people Pericoloso per la maggior parte delle persone "Pericolo: zona di alluvione con acqua che scorre veloce e profonda"
>2.5	Estremo	Classe 3: Dangerous for all Pericoloso per tutti "Pericolo estremo: zona di alluvione con acqua profonda e veloce"

dove:

- HR = (flood) Hazard Rating – Classi di Pericolosità;
- h = depth of flooding – profondità dell'inondazione [m];
- v = velocity of floodwaters – velocità delle inondazioni [m/s];
- DF = Debris Factor – fattore detriti [m²/s] (= 0 /0.5/ 1 dipende dalla probabilità che i detriti causino un rischio significativamente maggiore).

Per il nostro caso di studio è stato preso in considerazione un valore intermedio pari a 0.5 m²/s

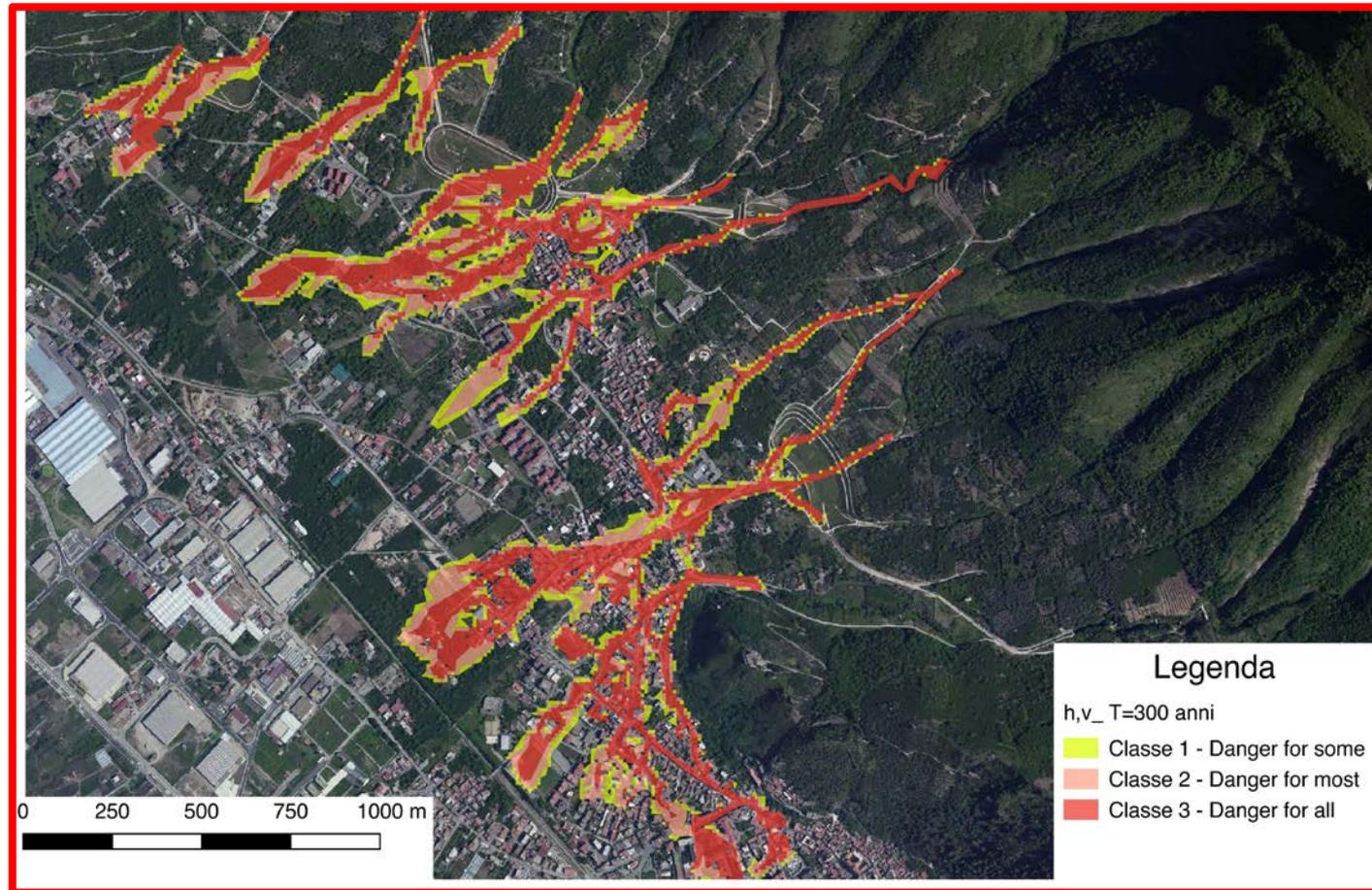


Categories of flood hazard:



Note: The table gives values of flood hazard (= d·(v+0.5) + DF)

MAPPA DI VULNERABILITA'



Classe di pericolosità	Area colpita [ha]	Abitanti Vulnerabili
1	18.78	147.9
2	20.61	162.3
3	48.15	379.1

• **Valutazione del numero di morti/feriti**

E' stato possibile, inoltre, stimare il **numero di morti e feriti** generati dall'evento alluvionale, attraverso l'utilizzo di una metodologia ricavata dall' "*Estimating Injury and Loss of Life in Floods: A Deterministic Framework*" di EDMUND PENNING-ROUSELL, PETER FLOYD , DAVID RAMSBOTTOM , SURESH SURENDRAN:

$$N(I) = N \cdot X \cdot Y$$

- N (I) è il numero di morti/feriti per un generico evento alluvionale;
- N è la popolazione presente nella pianura alluvionale;
- X è la frazione di popolazione esposta a subire morte/infortuni (per una data alluvione);
- Y è la percentuale delle persone a rischio di morte/infortuni.

In particolare:

$$X = HR * AV$$

- HR (Hazard Rating): indica la classificazione del pericolo;
- AV: vulnerabilità dell'area.

Andando a quantificare anche il tasso di mortalità $FR = 2 \times HR$, si stima il numero di morti (C):

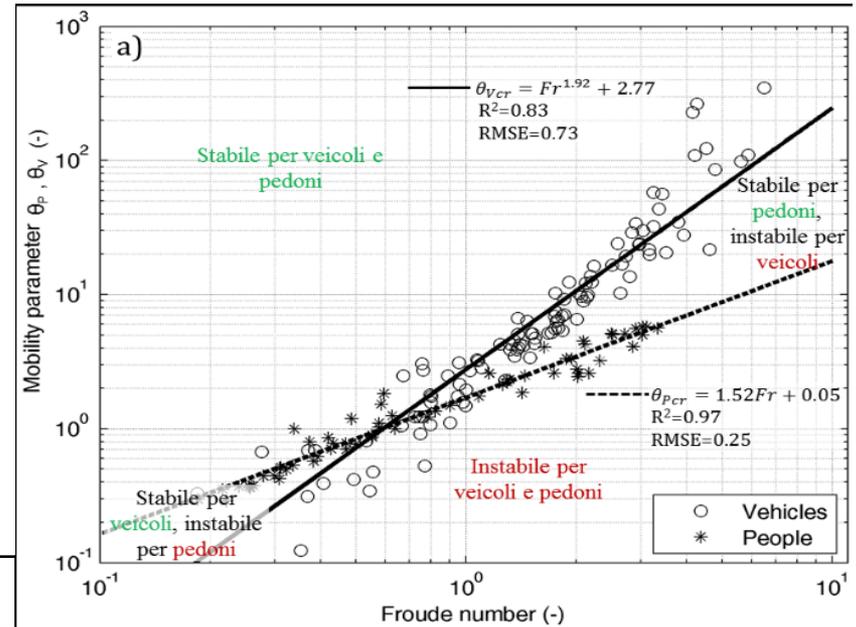
$$C = FR * N(I)$$

Applicando questa procedura al caso di studio e considerando che la dimensione della popolazione colpita, è tale da poter affermare che le percentuali di persone anziane e inferme non siano significativamente diverse dalla media nazionale (national average), si stima il numero di morti per lo scenario T=300anni:

N(ZE)	HR	P1	P2	Y = P1 + P2 [%]	N (I)	FR = 2* HR [%]	C = FR* N(I)
147.9	1.5	25	25	50	73.95	3	2
162.3	2.5	25	25	50	81.15	5	4
379.1	20.25	25	25	50	189.55	40.5	77
						TOT	83

- Si è potuto, inoltre, utilizzare un parametro che consenta di valutare la vulnerabilità dei pedoni parzialmente immersi nella corrente: parametro di mobilità per le persone θ_p [-], il quale tiene conto sia delle caratteristiche dell' alluvione che di quelle dei soggetti:

$$\theta_p = \frac{2d}{H_p} \frac{H_p - H}{H}$$

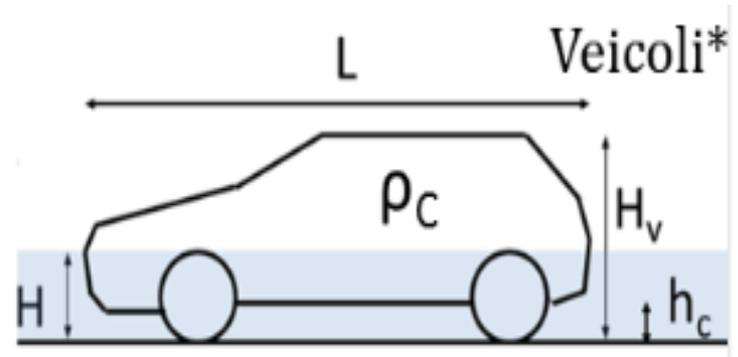


θ_p	d_{medio} [m]	$H_{p_{\text{medio}}}$ [m]	H [m]	V [m/s]	$F_r = U/(gH)^{1/2}$	
2	0.37	1.6	0.3	0.03	0.017	STABILITA'
0.77	0.37	1.6	0.6	0.8	0.32	INSTABILITA'
0.37	0.37	1.6	0.9	2.5	0.84	INSTABILITA'
0.16	0.37	1.6	1.2	4.2	1.22	INSTABILITA'
0.03	0.37	1.6	1.49	4.6	1.21	INSTABILITA'
-0.24	0.37	1.6	3.3	5.3	0.93	INSTABILITA'
-0.31	0.37	1.6	4.9	1.9	0.27	INSTABILITA'
-0.35	0.37	1.6	6.6	2.0	0.23	INSTABILITA'
-0.37	0.37	1.6	8.2	3.2	0.35	INSTABILITA'

VULNERABILITA' DEI VEICOLI

Per la valutazione della vulnerabilità dei veicoli si utilizza un parametro adimensionale di instabilità dei veicoli θ_v [-]:

$$\theta_v = \frac{2L}{H_v - h_c} \left(\frac{\rho_c (H_v - h_c)}{\rho (H - h_c)} - 1 \right)$$



In particolare si considera:

PARAMETRI	
h_c [m]	0.25
P_v [kg]	18000
L [m]	4
L [m]	1.6
H_v [m]	1.5
Densità_v [kg/m ³]	1000
Densità_w [kg/m ³]	1875
g [m/s ²]	9.81

θ_v	H [m]	v [m/s]	F_r	
36.5	0.6	0.8	0.32	STABILITA'
17.1	0.9	2.5	0.84	STABILITA'
9.6	1.2	4.2	1.22	STABILITA'
5.7	1.49	4.6	1.21	STABILITA'
-1.5	3.3	5.3	0.93	INSTABILITA'
-3.17	4.9	1.9	0.27	INSTABILITA'
-4.0	6.6	2.0	0.23	INSTABILITA'
-4.5	8.2	3.2	0.35	INSTABILITA'



CONCLUSIONI

- Le alluvioni sono fenomeni naturali difficilmente governabili. Tuttavia alcune attività umane (come la crescita degli insediamenti umani e l'incremento delle attività economiche nelle pianure alluvionali, nonché la riduzione della naturale capacità di ritenzione idrica del suolo a causa dei suoi vari usi) e i cambiamenti climatici contribuiscono ad aumentarne la probabilità e ad aggravarne gli impatti negativi.
- Le alluvioni possono provocare vittime, l'evacuazione di persone e danni all'ambiente, e quindi compromettere gravemente lo sviluppo economico e mettere in pericolo le attività economiche della Comunità.
- L'elaborato di tesi ha riguardato principalmente la stima della vulnerabilità di pedoni e veicoli in ambito urbano, ed essa ha evidenziato un'area con forti vulnerabilità connesse, come prevedibile, agli elevati valori di h e v , dovuti soprattutto all'impermeabilità dei suoli e all'inefficienza e scarsa manutenzione delle fognature.
- Il modello di simulazione FLO-2D ha fornito i valori di h e v , che sono stati necessari per la stima dell'Hazard Rating per l'area investita dalla mud flood del numero di abitanti ritenuti vulnerabili all'evento di inondazione, per ogni classe di pericolosità.
- E' stato valutato anche il numero di morti e in particolare si è potuto affermare che l'evento avvenuto a Sarno è risultato essere di intensità addirittura maggiore rispetto allo scenario analizzato di $T=300$ anni, essendo state 137 le vittime effettive, rispetto alle 83 calcolate.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE