

POLITECNICO DI TORINO



Collegio di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi di un database esteso di eventi di natura
idro-meteorologica**

Relatore

Prof. Piero Boccardo

Correlatore

Prof. Francesco Laio

Candidato

Chiara Ferraris

Anno Accademico 2018/2019

Abstract

For many years now, scientists and climatologists argue the existence of a climate change, supporting the idea that this is reflecting in the magnitude and frequency of extreme events and in patterns of rainfall. In opposition to this are people who show a great skepticism about the global warming. With this assumption, the present work concerns the analysis of a collection of more than 6400 hydro-meteorological disasters that have occurred globally, between 1997 and 2018. The information derives from a data interpolation, resulting from multiple sources, whose selection criteria are based on the impact of weather phenomena, on the environment and the population.

The main objective of the study is to verify which are the dynamics that correlate the impact of extreme events with socio-economic aspects. The investigation of data is performed on a global scale and is developed as a multi-step analysis. The first phase concerns a qualitative observation, in which the socio-economic parameters are examined by means of detailed maps. The second phase consists on the analysis of the trends, in order to observe the variation of events, both in terms of frequency and impact. Firstly, the results show, in most cases, a stationarity in the number of events. The impact assessment, on the other hand, shows that human losses have declined, while global economic damage has shown significant growth. Following the first observations, the results have been correlated with socio-economic indicators, confirming the hypothesis of a correlation between the population limited information about risks and the number of victims, and between the wealth of a country and the value of the recorded damage. On the basis of these indicators, the trends obtained previously have been reconfirmed.

The result leads to assume a reduction in the vulnerability, probably relating to adaptation strategies and the improvement in the field of communication, and, at the same time, an increase of recorded damage, influenced by economic development, which increased the exposed goods value. The final results support the idea of a complex tie between extreme events and social and economic dynamics, underlining the need for a more in-depth analysis, depending on the degree of development of each country.

Indice	
Indice delle figure	vii
Indice delle tabelle	xv
Introduzione	1
Struttura della tesi	2
1. Eventi catastrofici: l'influenza dei cambiamenti climatici	5
1.1 Le teorie alla base del cambiamento climatico	5
1.2 La percezione del cambiamento	9
1.3 Sviluppo e sistemi di allerta	10
2. Creazione della base di dati	15
2.1 Descrizione delle fonti	15
2.1.1 EM-DAT	16
2.1.2 Dartmouth Flood Observatory	19
2.1.3 ReliefWeb	22
2.1.4 Dati ausiliari	24
2.2 Elaborazione delle informazioni e generazione della base di dati	29
2.2.1 Tipologie di fenomeno analizzate	29
2.2.2 Raccolta dei dati	32
2.2.3 Pre-processamento dei dati	35
3. Analisi della distribuzione spaziale degli eventi	39
3.1 Distribuzione degli eventi	39
3.1.1 Le tempeste	41
3.1.2 Le alluvioni	44
3.1.3 I movimenti di versante	46
3.1.4 I terremoti	48
3.2 Distribuzione spaziale degli effetti dei disastri: numero di morti	50

3.3 Distribuzione spaziale degli effetti dei disastri: numero di persone coinvolte	52
3.4 Distribuzione spaziale degli effetti dei disastri: danni economici	54
3.5 Relazione tra popolazione, eventi e superficie.....	56
4. Analisi della distribuzione temporale degli eventi	65
4.1 Eventi a scala globale	65
4.2 Eventi a scala continentale	65
4.3 Analisi per le diverse tipologie di evento.....	67
4.3.1 Le tempeste.....	68
4.3.2 Le alluvioni.....	69
4.3.3 I movimenti di versante	70
4.3.4 I terremoti	70
4.4 Analisi degli effetti degli eventi a scala globale	71
4.4.1 Morti.....	71
4.4.2 Persone coinvolte.....	73
4.4.3 Danno	74
4.5 Analisi degli effetti degli eventi a scala globale per tipologia di evento	75
4.5.1 Morti.....	75
4.5.2 Persone coinvolte.....	78
4.5.3 Danno	80
4.6 Analisi degli effetti degli eventi a scala continentale	83
4.6.1 Morti.....	83
4.6.2 Persone coinvolte.....	86
4.6.3 Danno	89
5. L'effetto degli eventi estremi e fattori socio-economici	93
5.1 Popolazione urbana	93
5.1.1 Morti e popolazione urbana.....	94

5.1.2 Persone coinvolte e popolazione urbana.....	96
5.1.3 Danno e popolazione urbana	97
5.2 Indice di sviluppo umano (HDI).....	101
5.2.1 Morti e HDI.....	102
5.2.2 Persone coinvolte e HDI	104
5.3 Prodotto Interno Lordo (PIL).....	106
5.3.1 Danno e PIL.....	107
6. Interpretazione dei risultati.....	111
Conclusioni	115
Appendice A.....	117
Bibliografia.....	123

Indice delle figure

Figura 1. Ricerca degli eventi dal Database dei disastri di EM-DAT	18
Figura 2. Pagina di download del Global Active Archive of Large Flood Events	20
Figura 3. Informazioni chiave fornite nella sezione “disastri” di ReliefWeb	22
Figura 4. Carta tematica del Ciclone Tropicale Gaja sviluppata da ECHO	23
Figura 5. Piano di risposta umanitaria 2018-2021 per l’Afghanistan	24
Figura 6. Esempio della ricerca dell’indicatore di reddito da World Bank	25
Figura 7. Pagina per scaricare gli indicatori di sviluppo dal portale del Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo	27
Figura 8. Esempio di download dal portale del SEDAC	28
Figura 9. Pagina per la consultazione di immagini satellitari ad alta risoluzione di Sentinel Hub EO-Browser	34
Figura 10. Esempio dell’alluvione nel 2018 sul Lago Travis in Texas	34
Figura 11. Esempio dell’alluvione dell’ottobre 2018 in Europa, Isola di Maiorca	35
Figura 12. Rappresentazione degli eventi tramite l’utilizzo delle informazioni di latitudine e longitudine, con ArcMap 10.5	36
Figura 13. Rappresentazione degli eventi tramite l’utilizzo dello strumento di geocoding fornito da ArcMap 10.5	37
Figura 14. Distribuzione degli eventi in funzione della latitudine	40
Figura 15. Mappa con griglia latitudine-longitudine	40
Figura 16. Mappa delle tempeste suddivise per sottocategoria verificatesi nell’intervallo 1997-2018	41
Figura 17. Dettagli delle zone maggiormente colpite da fenomeni di tempesta	43
Figura 18. Mappa delle alluvioni in funzione della causa scatenante, verificatesi nell’intervallo 1997-2018	44
Figura 19. Dettaglio delle zone maggiormente colpite da fenomeni di alluvione	46
Figura 20. Mappa dei movimenti di versante suddivisi per sottocategoria, verificatisi nell’intervallo 1997-2018	47
Figura 21. Dettaglio delle zone maggiormente colpite da movimenti di versante	48

Figura 22. Mappa dei terremoti in funzione della magnitudo, verificatisi nell'intervallo 1997-2018.....	49
Figura 23. Dettaglio delle zone maggiormente colpite da terremoti.....	50
Figura 24. Mappa del numero totale di morti registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018.....	51
Figura 25. Dettaglio dei paesi dell'America con il maggior numero di morti registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018	51
Figura 26. Dettaglio dei paesi asiatici con il maggior numero di morti registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018	52
Figura 27. Mappa del numero totale di persone coinvolte registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018.....	52
Figura 28. Dettaglio dei paesi dell'Asia con il maggior numero di persone coinvolte registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018	53
Figura 29. Dettaglio dei paesi dell'America con il maggior numero di persone coinvolte registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018	53
Figura 30. Mappa del danno totale registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018	54
Figura 31. Dettaglio dei paesi europei con il maggior danno registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018.....	55
Figura 32. Dettaglio dei paesi dell'America con il maggior danno registrato, tra il 1997 ed il 2018	55
Figura 33. Dettaglio dei paesi dell'Asia che hanno subito maggiori danni, tra il 1997 ed il 2018	56
Figura 34. Mappa delle classi di densità di popolazione, mediata tra il 1997 ed il 2018.	56
Figura 35. Mappa delle classi di densità degli eventi per popolazione, espressa in centinaia di milioni di persone, mediata tra il 1997 ed il 2018	57
Figura 36. Mappa delle classi di densità degli eventi per superficie, espressa in centinaia di migliaia di km ² , mediata tra il 1997 ed il 2018	57
Figura 37. Dettaglio sugli stati europei: a. densità di popolazione; b. densità degli eventi sulla popolazione espressa in centinaia di milioni di persone; c. densità degli eventi sulla superficie, espressa in centinaia di migliaia di km ²	59

Figura 38. Dettaglio sugli stati africani: a. densità di popolazione; b. densità degli eventi sulla popolazione espressa in centinaia di milioni di persone; c. la densità degli eventi sulla superficie, espressa in centinaia di migliaia di km ²	60
Figura 39. Mappe di confronto tra densità di popolazione.....	61
Figura 40. Mappe di confronto tra classi di densità di eventi per popolazione.....	62
Figura 41. Mappe di confronto tra classi di densità di eventi per superficie.....	64
Figura 42. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, a scala globale	65
Figura 43. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in Africa	66
Figura 44. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in America	66
Figura 45. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in Asia...	66
Figura 46. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in Europa	67
Figura 47. Numero di eventi di natura idro-meteorologica, dal 1997 al 2018, in Oceania	67
Figura 48. Sottocategorie di tempesta dal 1997 al 2018, a scala globale	68
Figura 49. Numero di tempeste dal 1997 al 2018, a scala globale	68
Figura 50. Cause principali di alluvione, dal 1997 al 2018, a scala globale	69
Figura 51. Numero di alluvioni dal 1997 al 2018, a scala globale	69
Figura 52. Numero di movimenti di versante dal 1997 al 2018, a scala globale	70
Figura 53. Numero di terremoti dal 1997 al 2018, a scala globale	71
Figura 54. Numero di vittime causate da eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018 .	71
Figura 55. Numero delle vittime causate da eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018, senza l'evento eccezionale del 2008	72
Figura 56. Numero di persone colpite da eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018 .	73
Figura 57. Danni prodotti da eventi estremi idro-meteorologici dal 1997 al 2018	74
Figura 58. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento	76
Figura 59. Numero medio di morti, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento	76

Figura 60. Numero medio annuo di vittime di fenomeni di tempesta, dal 1997 al 2018	77
Figura 61. Numero medio annuo di vittime di fenomeni di alluvione, dal 1997 al 2018	77
Figura 62. Numero medio annuo di vittime di movimenti di versante, dal 1997 al 2018	78
Figura 63. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento	78
Figura 64. Numero medio di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento	79
Figura 65. Numero medio annuo di persone coinvolte da fenomeni di tempesta, dal 1997 al 2018	79
Figura 66. Numero medio annuo di persone coinvolte da fenomeni di alluvione, dal 1997 al 2018	80
Figura 67. Numero medio annuo di persone rimaste coinvolte da movimenti di versante, dal 1997 al 2018	80
Figura 68. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento ..	81
Figura 69. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento	81
Figura 70. Danno medio annuo registrato per fenomeni di tempesta, dal 1997 al 2018	82
Figura 71. Danno medio annuo registrato per fenomeni di alluvione, dal 1997 al 2018	82
Figura 72. Danno medio annuo registrato per i movimenti di versante, dal 1997 al 2018	83
Figura 73. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per continente	83
Figura 74. Numero medio di morti, tra il 1997 ed il 2018, per continente	84
Figura 75. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Africa	84
Figura 76. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in America	85
Figura 77. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Asia	85
Figura 78. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Europa	85
Figura 79. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Oceania	86

Figura 80. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per continente	86
Figura 81. Numero medio di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per continente	87
Figura 82. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Africa	87
Figura 83. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in America	88
Figura 84. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Asia...	88
Figura 85. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Europa	88
Figura 86. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Oceania	89
Figura 87. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per continente.....	89
Figura 88. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per continente.....	90
Figura 89. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Africa.....	90
Figura 90. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in America.....	91
Figura 91. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Asia.....	91
Figura 92. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Europa.....	91
Figura 93. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Oceania	92
Figura 94. Mappa su classi di percentuale di popolazione urbana dei paesi.....	93
Figura 95. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana	94
Figura 96. Numero di vittime medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana.....	95
Figura 97. Numero medio annuo di morti su classi di popolazione urbana tra il 1997 e il 2018, con retta di regressione lineare per la classe 25-50%.....	95
Figura 98. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana.....	96
Figura 99. Numero di persone coinvolte medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana	96
Figura 100. Numero medio annuo di persone colpite su classi di popolazione urbana tra il 1997 ed il 2018, con retta di regressione lineare per la classe 25-50%	97

Figura 101. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per classi di popolazione urbana.....	97
Figura 102. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per classi di popolazione urbana.....	98
Figura 103. Danno medio annuo su classi di popolazione urbana tra il 1997 ed il 2018, con retta di regressione lineare per la classe 75-100%.....	98
Figura 104. Confronto tra popolazione urbana, morti e persone colpite in Asia	99
Figura 105. Confronto tra popolazione urbana, morti e persone colpite in Africa.....	100
Figura 106. Confronto tra popolazione urbana e danno medio in Europa	100
Figura 107. Confronto tra popolazione urbana e danno medio in America	101
Figura 108. Mappa su classi di Human Development Index (HDI, espresso in percentuale)	102
Figura 109. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi HDI.....	102
Figura 110. Numero di vittime medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di HDI	103
Figura 111. Numero medio annuo di morti su classi di HDI tra il 1997 ed il 2018, con le rette di regressione lineare per le classi 40-60% e 60-80%	103
Figura 112. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di HDI.....	104
Figura 113. Numero di persone coinvolte medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di HDI.....	104
Figura 114. Numero medio annuo di persone coinvolte su classi di HDI tra il 1997 ed il 2018, con le rette di regressione lineare per le classi 40-60% e 60-80%.....	105
Figura 115. Confronto tra Human Development Index, numero medio di morti e numero medio di persone colpite in Africa ed Asia	106
Figura 116. Mappa su classi di Prodotto Interno Lordo (PIL)	107
Figura 117. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per classi di PIL	107
Figura 118. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per classi di PIL	108
Figura 119. Danno medio annuo su classi di PIL tra il 1997 ed il 2018, con la retta di regressione lineare per la classe con PIL > 1.000 miliardi di USD	108

Figura 120. Confronto tra PIL e danno medio in America	109
Figura 121. Confronto tra PIL e danno medio in Europa.....	109
Figura 122. Confronto tra PIL e danno medio in Asia	110

Indice delle tabelle

Tabella 1. Campi di informazione, forniti per ogni evento, da EM-DAT	18
Tabella 2. Campi di informazione riportati per ogni evento dal Dartmouth Flood Observatory.....	21
Tabella 3. Esempio di informazioni fornite per ciascun indicatore da World Bank	25
Tabella 4. Descrizione dei parametri raccolti da World Bank	26
Tabella 5. Numero di catastrofi per continente	35
Tabella 6. Densità del numero di eventi per superficie continentale	39
Tabella 7. Le cinque catastrofi con più morti, tra il 1997 ed il 2018	73
Tabella 8. Le cinque catastrofi che hanno recato maggior danno tra il 1997 ed il 2018, espressi in miliardi di dollari correnti	75
Tabella 9. Percentuale di vittime, persone coinvolte e danni, avvenuti tra il 1997 ed il 2018, per tipologia di evento	75
Tabella A 1. Grandezze calcolate nell'applicazione del test t di Student.....	117
Tabella A 2. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di eventi, tra il 1997 ed il 2018, a scala globale e continentale	117
Tabella A 3. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di eventi, tra il 1997 ed il 2018, per tipologia di evento.....	117
Tabella A 4. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di terremoti, tra il 1997 ed il 2018, a scala globale e continentale	117
Tabella A 5. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, a scala globale	118
Tabella A 6. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, per tipologia di evento.....	118
Tabella A 7. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, per continente	118

Tabella A 8. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, secondo gli indicatori di popolazione urbana, HDI e PIL	119
---	-----

Introduzione

L'oggetto del presente studio è la creazione di una base di dati di eventi estremi di natura idro-meteorologica, relativa ad un intervallo di tempo compreso tra il 1997 ed il 2018, e la sua analisi, volta ad evidenziare e sintetizzare eventuali modelli spaziali e tendenze temporali in essa presenti.

L'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) definisce un evento meteorologico estremo come “un evento raro che si verifica in un determinato luogo in un certo periodo dell'anno” [1]. Sebbene in questo modo la definizione di tali fenomeni non risulti univoca, tuttavia i loro effetti e le loro conseguenze, sfortunatamente, sono chiari e facilmente identificabili. La definizione di “evento estremo” è, infatti, strettamente correlata al suo impatto sull'ambiente, sulle strutture e sulla vita delle persone.

La prima parte dell'attività svolta ha riguardato la creazione della base di dati relativa agli eventi estremi; tali eventi sono stati selezionati, in particolare, in funzione del loro impatto sull'economia e sulla popolazione delle nazioni colpite. La raccolta dei dati è stata eseguita considerando la distribuzione degli eventi globalmente ed ha comportato principalmente l'utilizzo di due fonti, ovvero il database dei disastri di *EM-DAT* [2] e l'archivio delle alluvioni del *Dartmouth Flood Observatory* [3]. I dati estratti da queste due fonti sono state in seguito trattate in maniera opportuna e, infine, integrate utilizzando informazioni estratte dal portale *ReliefWeb* [4]. L'esito di questa prima fase si è tradotto in una raccolta di oltre 6400 catastrofi idro-meteorologiche.

La fase successiva del lavoro è stata finalizzata all'indagine esplorativa e analisi dei dati contenuti nella base di dati al fine di identificare e analizzare eventuali tendenze nell'occorrenza e pattern nella distribuzione spaziale degli eventi catastrofici di natura idro-meteorologica negli ultimi ventidue anni e negli impatti correlati ad essi. Si è cercato inoltre di interpretare i risultati ottenuti tenendo conto delle più recenti teorie che cercano di spiegare il rapporto fra cambiamento climatico e disastri naturali. Inoltre, come affermato anche in una recente pubblicazione del WMO (*World Meteorological Organization*, 2018) [5], ove si pone l'attenzione sull'aumento della probabilità che eventi estremi accadano (e almeno in parte, si afferma, per effetto dei cambiamenti del

clima di origine antropogenica) e sulla conseguente crescita degli impatti collegati, le dinamiche che caratterizzano gli eventi catastrofici risultano spesso complesse e poco chiare, così come gli stessi fattori che ne aumentano o riducono la probabilità di accadimento e gli impatti in certe aree. Allo scopo di analizzare quest'ultimo aspetto legato ai fenomeni estremi, si è scelto infine di analizzare la relazione fra le caratteristiche degli eventi raccolti e opportuni indicatori socio-economici su base nazionale, quali la popolazione, il reddito ed il livello di sviluppo umano.

Struttura della tesi

Il lavoro di tesi è articolato in sei capitoli.

Nel primo capitolo vengono riassunte e analizzate le principali teorie che tentano di spiegare il rapporto fra cambiamento climatico e occorrenza degli eventi disastrosi.

Il secondo capitolo è dedicato alla descrizione dettagliata delle principali fasi che sono state necessarie per la realizzazione del database di eventi idro-meteorologici estremi. Nel capitolo sono inoltre citati e descritti i criteri di ricerca delle informazioni e le fonti sfruttate.

Nel terzo e quarto capitolo i dati relativi agli eventi raccolti nella base di dati sono stati analizzati tenendo in considerazione sia la dimensione spaziale che quella temporale. In primo luogo, vengono riassunti gli esiti dello studio della distribuzione spaziale degli eventi e dei loro impatti, analizzati e mappati a livello nazionale. Successivamente, vengono discussi i risultati ottenuti durante l'analisi statistica dei dati, svolta allo scopo di individuare la presenza di eventuali tendenze nella distribuzione temporale degli eventi e dei loro impatti

Nel quinto capitolo si riassumono i risultati ottenuti dall'analisi del rapporto tra la distribuzione spazio-temporale degli eventi considerati e alcuni indicatori socio-economici specificatamente selezionati.

Nel sesto capitolo vengono analizzati complessivamente i risultati e i valori ottenuti, analizzandoli criticamente alla luce delle teorie e delle interpretazioni presentate nel primo capitolo.

In ultimo, vengono esposte le conclusioni, tenendo conto dei presupposti di

partenza, e le proposte di miglioramento ed approfondimento per un futuro sviluppo del lavoro.

1. Eventi catastrofici: l'influenza dei cambiamenti climatici

Un'approfondita valutazione degli impatti dovuti all'aumento delle temperature sugli eventi estremi viene esposta nel documento "*Global Warming of 1.5 °C*", pubblicato dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e presentato l'8 ottobre 2018 ad Incheon, Corea del Sud [6]. Il report è stato redatto con lo scopo di limitare la crescita delle temperature, in quanto, tale aumento si starebbe già riflettendo nelle condizioni meteorologiche estreme, nell'innalzamento del livello del mare e nello scioglimento dei ghiacciai. Tale studio afferma che gli impatti dei cambiamenti climatici si manifestano in ogni continente abitato e negli oceani, e che, nonostante ciò, la loro distribuzione ed i loro effetti non sono globalmente uniformi. La proposta del report ha quindi lo scopo di ridurre la crescita della temperatura media, che potrebbe incrementare il rischio di future ondate di calore e di forti piogge; questo perché il riscaldamento oceanico, potrebbe influire sulle tempeste tropicali incrementandone l'intensità, e portare ad un ulteriore incremento dell'umidità in atmosfera, che determinerebbe una maggior frequenza nelle precipitazioni.

1.1 Le teorie alla base del cambiamento climatico

Il riscaldamento globale, a differenza di buona parte dei fenomeni concordati dalla maggioranza degli scienziati, dopo anni di meticolosi studi, è ancora un argomento suscettibile, che spesso provoca scompigli e polemiche. C'è infatti chi nega il cambiamento climatico o che concorda solo in parte con l'esistenza dei suoi effetti, influenzando così l'opinione pubblica. Le correnti negazioniste possono essere raggruppate in tre principali correnti di pensiero. Chi sostiene che il cambiamento climatico e le relative conseguenze siano il frutto di un eccessivo allarmismo, a sostegno del fatto che non ci siano stati cambiamenti significativi e che le misure relative alle temperature degli anni passati siano state manipolate. Ci sono poi coloro che accettano il riscaldamento globale, ma dubitano dell'attribuzione dei suoi effetti all'attività umana. Infine, c'è chi, pur appoggiando l'ipotesi di una variazione nel clima, non ritiene che questo possa essere una minaccia, ma che, talvolta, da queste variazioni se ne possano trarre dei benefici. In merito a ciò, vengono esposti i principali punti a sostegno delle due teorie, sulla base di un elenco esaustivo, di oltre 180 punti, compilato dal fisico John

Cook [7], il quale, per ogni voce fornisce una spiegazione approfondita.

- La scienza del clima afferma che gli eventi meteorologici estremi siano amplificati, in frequenza ed intensità, dal riscaldamento globale. I negazionisti sostengono invece che i principali fenomeni di siccità verificatisi nell'ultimo secolo, a livello regionale, siano in realtà diminuiti e che la percezione di una crescita degli eventi estremi sia il solo frutto di un'insistente informazione mediatica. Sebbene l'individuazione dei trends richieda tempo e non sia possibile stabilire un nesso tra il riscaldamento globale ed il singolo evento estremo, l'aumento delle temperature dell'aria e del mare sembra provocare una serie di effetti che incrementano la probabilità di accadimento di questi fenomeni. Ad esempio, gli scienziati del clima, sostengono che la crescita dell'evapotraspirazione dei suoli e delle piante influisca direttamente sugli eventi di siccità e che la crescita del vapore acqueo in atmosfera faccia sì che le precipitazioni estreme aumentino, comportando modifiche nei regimi delle piogge. Per cui, questi cambiamenti non vengono considerati come la diretta causa degli eventi estremi, ma come fattori che ne potrebbero aumentare la probabilità di accadimento. A prova di ciò, pare che le precipitazioni intense siano aumentate in frequenza e forza del 20% e che il riscaldamento degli oceani abbia portato ad un incremento degli uragani in numero ed intensità. Inoltre, i dati da satellite disponibili dal 1981 hanno mostrato un aumento della velocità del vento per i sistemi ciclonici di categoria più alta.
- Gli scienziati dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), a seguito di uno studio approfondito sull'attuale situazione climatica, attribuiscono buona parte delle responsabilità all'attività umana. A tali affermazioni seguono però numerose polemiche da parte degli scettici, ovvero accuse di divulgare false informazioni, generando un eccessivo allarmismo e sovrastimando gli effetti negativi dei cambiamenti climatici, come l'esagerato innalzamento del livello del mare o l'aumento delle temperature. In opposizione alla corrente scettica, numerosi articoli hanno documentato come le previsioni IPCC tendano invece a sottostimare la risposta climatica.

Per esempio, l'aumento del livello medio del mare per il periodo 1993-2008

misurato da satellite è stato di 3.4 mm per anno, mentre l'IPCC TAR (Third Assessment Report) stimava solo 1.9 mm. C'è chi sostiene invece che queste stime siano esagerate e a prova di ciò, afferma che le misure in realtà non mostrano alcuna variazione. Gli scienziati suggeriscono che la scala temporale dell'osservazione sia determinante nell'effettuare queste misure. In una serie temporale breve possono esserci periodi di qualche anno nei quali il livello marino sembra non aumentare. Tuttavia, esistono modelli in grado di ricostruire l'andamento storico globale, e, su una grande scala, dal 1880 all'inizio del 1900 risulta che il livello sia invece aumentato di circa 1 mm all'anno, crescendo a 2 mm all'anno durante l'ultimo secolo e a 3 mm all'anno negli ultimi anni.

Per quanto riguarda la crescita delle temperature, una delle principali strategie utilizzate dai negazionisti è quella di sostenere che non ci sia alcun riscaldamento in atto e che le temperature attuali non siano affatto insolite, ma anzi, le temperature che hanno caratterizzato anni come il 1998 siano simili a quelle odierne. Tale affermazione non rispecchia i risultati degli ultimi studi, secondo i quali la rapidità del cambiamento è in ascesa. Recenti dati della NASA e della *National Oceanic and Atmospher Administration* (NOAA), hanno classificato il 2018 al quarto posto, dopo 2016, 2017 e 2015, tra gli anni più caldi della storia recente (dal 1880) [8]. Quello che sostengono gli scienziati è che le temperature non aumentano sempre con lo stesso ritmo, anzi, talvolta ci sono delle "pause" che portano all'innalzamento e alla decrescita delle temperature per mesi o anni. Questa variabilità può accelerare o rallentare il riscaldamento. Il 1998, oltretutto, è stato un anno particolarmente caldo, dopo il quale le temperature non sono aumentate di molto. Dal 2013, invece, c'è stata una rapida crescita, giustificata dagli scienziati come il risultato di un lungo periodo simile alla Niña, un processo che ha portato al raffreddamento delle temperature superficiali del Pacifico con l'immagazzinamento del calore proprio sotto la superficie dell'Oceano, ma che ora sembra essersi invertito, con conseguente rilascio del calore e forte aumento della temperatura. Spesso viene fatto riferimento anche al periodo del Medioevo, quando, secondo alcuni, faceva più caldo di quanto faccia ora. Da una ricostruzione globale è stato invece dimostrato

che le temperature odierne sono superiori a quelle del passato, e che, al tempo, le condizioni di caldo era concentrate solo in alcune aree specifiche.

Allo stesso modo, lo scioglimento dei ghiacciai è risultato superiore del 40% di quanto previsto dai modelli climatici citati dall'IPCC AR4. Oltretutto, i negazionisti sostengono che i ghiacciai stiano crescendo. Questa teoria deriva però da informazioni relative all'estensione del ghiaccio marino sulla superficie dell'Oceano, che non permettono di conoscerne lo spessore ed il volume. Misure effettuate con radar e laser altimetrici da satellite hanno invece evidenziato che il ghiaccio marino artico sta diventando sempre più sottile.

- Spesso viene fatto ricorso alle teorie di cospirazione. Alcuni negazionisti sostengono che le principali organizzazioni scientifiche di tutto il mondo abbiano collaborato, manipolando i dati climatici per sopprimere le temperature negli anni '30 e '40, rendendo così insolite le temperature odierne. Queste accuse derivano, specialmente, dal fatto che i dati risalenti a così tanto tempo fa si basano su misurazioni difficili da confrontare, perché relative a diversi momenti della giornata o effettuate a diverse altitudini. Per questo motivo la NASA, più di 15 anni fa, ha migliorando la comprensione dei dati, rivelando una tendenza al riscaldamento, e mettendo un picco delle temperature sul 1998 anziché, come era stato fatto in precedenza, sul 1934.

Un altro fronte sul quale i negazionisti sono soliti attaccare, è quello dei modelli di previsione del cambiamento climatico. L'insinuazione è che tali modelli siano inaffidabili sia nella riproduzione degli scenari passati che di quelli futuri. È vero che i modelli di previsione hanno dei limiti, in quanto esistono delle notevoli difficoltà nella previsione, ciononostante i principali indicatori che regolano il clima sono ben compresi e i modelli sono in un processo di continuo sviluppo che consente loro di basarsi su un numero di approssimazioni sempre minore.

- A sostegno del fatto che le attuali temperature non siano da considerarsi eccezionali e tanto meno attribuibili all'attività umana è il fatto che già durante la rivoluzione industriale la terra abbia vissuto periodi più caldi. Tuttavia, il 97% degli esperti climatici concorda sul fatto che l'uomo stia causando il

riscaldamento globale, affermando che il suo contributo è una certezza scientifica. Inoltre i modelli risultano incapaci di predire il recente riscaldamento senza considerare il contributo dovuto alla CO₂, che sta aumentando rapidamente, raggiungendo livelli mai visti in precedenza.

- In ultimo, alcuni scettici sostengono che il riscaldamento globale non rappresenti un male, ma anzi possa in qualche modo essere un bene per il pianeta. Al contrario, gli scienziati del clima ritengono che gli impatti negativi ci siano e che si riflettano sull'agricoltura, la salute e l'ambiente, superando qualsiasi aspetto positivo che possa derivarne. Tra i principali effetti dei cambiamenti climatici sull'ecosistema c'è il problema dell'adattamento di piante ed animali, che necessita scale temporali più o meno lunghe a seconda della specie. In uno scenario futuro, la conseguenza sarebbe quindi l'estinzione di massa di un'ampia varietà di esseri viventi, basti pensare agli orsi polari o alla barriera corallina. Diverse misurazioni hanno inoltre consentito di osservare che una deforestazione naturale possa essere portata dall'aumento dei livelli di anidride carbonica in atmosfera che, oltre ad amplificare il riscaldamento, causerebbe la morte precoce delle piante. I negazionisti sostengono invece che la CO₂ rappresenti un alimento vegetale, e che il suo aumento favorisca la crescita degli alberi, che a loro volta ritarderebbero il riscaldamento globale. Le conseguenze dell'aumento di CO₂ sono effettivamente complesse; la favorita crescita degli alberi, si traduce in una maggiore capacità di trattenere il carbonio, e quindi di rimuoverlo dall'atmosfera, ma, al contempo, ad un rapido sviluppo delle piante consegue una mortalità precoce.

1.2 La percezione del cambiamento

L'attuale situazione climatica è quindi da tempo argomento di discussione, tanto che la percezione pubblica viene fortemente influenzata dai media. Secondo un sondaggio internazionale di *YouGov* [9], una delle principali società di ricerche di mercato globali, che ha coinvolto 300.00 persone e 28 paesi, l'opinione pubblica non è univoca. I risultati dell'indagine possono essere raggruppati in quattro categorie: chi crede che il clima stia cambiando e che l'uomo ne sia il principale responsabile (35%-71%), chi sostiene che ci sia un cambiamento ma che l'uomo sia solo una delle varie cause (23%-48%), chi invece

crede nel riscaldamento globale, ma non attribuisce le responsabilità all'attività umana (1%-9%) ed infine coloro che pensano che il clima non stia cambiando (0%-6%). A registrare percentuali maggiori nell'ultima classe sono Stati Uniti, Arabia Saudita, Australia, Francia e Finlandia (3-6%); mentre a pensare prevalentemente che l'uomo sia causa dei cambiamenti climatici sono India, Thailandia, Spagna, Indonesia, Italia, Vietnam e Filippine (62-71%). Le percentuali conclusive mostrano quindi che, nonostante il cambiamento climatico sia percepito dalla maggior parte della popolazione, è pur sempre presente una parte del pensiero comune che si discosta. In una seconda parte dell'indagine, è stato chiesto agli intervistati quali conseguenze si aspettassero a seguito di tali cambiamenti. I risultati hanno mostrato una divergenza tra Oriente ed Occidente. Sembra infatti che nei paesi orientali, come Filippine, Vietnam, India e Qatar, siano più propensi a pensare che l'impatto del riscaldamento globale graverà sulle loro vite, a causa di danni all'economia globale, scomparsa di città a causa dell'innalzamento del livello del mare e guerre localizzate. All'opposto, i paesi dell'Europa del Nord, come la maggior parte dei paesi intervistati, ritengono sia ancora possibile rimediare al cambiamento climatico adottando misure drastiche. Questo dimostra che la percezione del cambiamento e dei rischi che ne potrebbero conseguire è variabile, sia su base geografica, che su base culturale.

1.3 Sviluppo e sistemi di allerta

Come gli stessi studi, relativi al cambiamento climatico, affermano, l'incremento delle temperature può aumentare la probabilità che si verifichino eventi estremi, ma è difficile trovare una diretta correlazione tra il singolo evento e l'aumento delle temperature. Nella valutazione di questi fenomeni idro-meteorologici è quindi necessario tenere conto di altri aspetti, come i fattori socio-economici, determinanti nella definizione dell'impatto di un evento sulla popolazione, lo sviluppo nel campo dell'emergenza e la risposta della popolazione stessa.

Un recente studio ha dimostrato come lo sviluppo economico mondiale abbia determinato il declino globale della vulnerabilità alle inondazioni fluviali tra il 1980 ed il 2010, traducendosi in una diminuzione delle perdite, in termini di vite umane e di prodotto interno lordo esposti [10]. Questo ha dimostrato che i livelli di vulnerabilità nei paesi a basso e alto reddito stanno convergendo, a causa di una forte tendenza dei paesi

in via di sviluppo nella riduzione di questo parametro. Inoltre, lo studio sottolinea quanto il rischio di alluvione sia strettamente legato al comportamento umano e come strategie efficaci possano contenerlo. Sembra quindi che la vulnerabilità di persone e beni sia direttamente correlata al livello di sviluppo di una società e alle misure adottate nella prevenzione del rischio. A tal proposito, lo studio prende in analisi il PIL pro capite. A valori più elevati di PIL sono associati maggiori investimenti nelle misure di riduzione del rischio, una migliore qualità degli edifici e una migliore comunicazione. I risultati mostrano che tassi di mortalità media pari a 0,03-0,1% (300-1000 decessi per milione di persone esposte) sono molto comuni tra i paesi con un PIL pro capite di \$ 10.000 (PPA) o inferiore. Inoltre le strategie efficaci di adattamento al rischio non sono accessibili in egual maniera a tutte le comunità, poiché richiedono approcci diversificati, come misure strutturali di protezione, sistemi di allarme, pianificazione del territorio e protezione sociale, e molto spesso necessitano di grossi investimenti di capitale, sia per la costruzione e che per la manutenzione. Questo dimostra che le dinamiche variano a seconda di quelle che sono le disponibilità di ciascun paese.

Dunque, determinanti nell'impatto degli eventi idro-meteorologici estremi, sono le misure di protezione ed i sistemi di avviso preventivo (*Early Warning System*), che, in molti casi, possono consentire la messa in sicurezza di intere popolazioni. Nel caso specifico delle alluvioni, l'uso di satelliti e di EWS ha recentemente consentito notevoli miglioramenti nella capacità di fornire informazioni efficaci sulla probabilità e la gravità delle inondazioni imminenti e sull'estensione dell'area interessata [11]. Inoltre, i modelli numerici di previsione meteorologica sono migliorati al punto da consentire l'installazione di sistemi idrometeorologici in grado di prevedere il flusso fluviale e le alluvioni diversi giorni prima, o persino settimane, in vista di un evento. Le iniziative che lavorano nel campo della previsione sono molte, di seguito ne vengono riportati alcuni esempi:

- l'EFAS (*European Flood Awareness System*) e il GloFAS (*Global Flood Awareness System*), entrambi operano con l'obiettivo di fornire informazioni probabilistiche tempestive sulle alluvioni alle autorità nazionali. Un esempio di applicazione del progetto EFAS è il suo contributo nelle alluvioni del 2014 nelle aree balcaniche, che ha facilitato una coerente risposta all'emergenza. Ugualmente il GloFAS,

nell'agosto 2016, è stato in grado di fornire informazioni sulla previsione dell'inondazione lungo il fiume Gange in India, con alcune settimane di anticipo;

- l'HEPEX (*Hydrologic Ensemble Prediction Experiment*), riunisce idrologi, meteorologi e ricercatori con lo scopo di sviluppare tecniche di previsione idrologica avanzate;
- il servizio di gestione delle emergenze *Copernicus*, il quale integra le misure di telerilevamento e i dati disponibili in situ per fornire informazioni geospaziali tempestive e accurate in situazioni di emergenza e di crisi umanitaria;
- il Dartmouth Flood Observatory, che lavora nel campo del monitoraggio delle inondazioni e produce mappe, fornendo una panoramica dell'impatto e dell'estensione delle inondazioni.

Negli ultimi anni, il numero di EWS è notevolmente aumentato anche per le frane, grazie ai progressi compiuti nel campo dell'elettronica, della comunicazione e dei programmi per il monitoraggio [12]. Inoltre, le innovazioni nelle tecnologie satellitari e nel telerilevamento hanno notevolmente migliorato la capacità delle misurazioni. Questi EWS si basano sul controllo continuo di indicatori pertinenti, come spostamenti, precipitazioni e livello delle acque sotterranee, tipici precursori dell'attivazione di frane. Quando i valori di questi indicatori superano le soglie predefinite, gli allarmi vengono trasmessi direttamente a una catena di persone incaricate di decidere il livello di avviso e / o di emergenza che deve essere trasmesso alle parti interessate. In alcuni casi, gli avvisi possono anche essere trasmessi automaticamente. Il livello più alto di allarme può portare a avvisi di emergenza per la popolazione, evacuazioni o l'uso di sirene e messaggi di altoparlanti per costringere le persone a trasferirsi in un posto più sicuro.

L'implementazione di un EWS dipende dal contesto, dagli scenari di disastro considerati e dal grado di consapevolezza delle parti interessate, comprese le popolazioni. A tal proposito, il modo in cui gli individui percepiscono e rispondono al rischio è una grande limitazione nella valutazione del rischio stesso. Le recenti innovazioni nella modellistica consentono però di integrare i complessi comportamenti umani, e creare scenari molto più realistici degli impatti dei fenomeni idrologici e meteorologici, facilitando la ricerca di possibili soluzioni di adattamento [13]. Allo stesso

tempo, la risposta della popolazione è determinata dal grado di incertezza delle previsioni, che talvolta comporta il rischio di emettere un falso allarme. Poiché la risposta del pubblico agli avvisi meteorologici e la loro percezione del rischio, sono un elemento chiave del loro successo, è necessaria una comunicazione efficace. Tuttavia, la crescita dell'informazione al pubblico degli ultimi anni è stata facilitata dai servizi meteorologici, disponibili sul web, dall'adozione di applicazioni per smartphone, e dalla venuta dei social, come i messaggi di Twitter, automaticamente schermati e georeferenziati che permettono di identificare e localizzare eventi di alluvione in tutto il mondo. Twitter viene già utilizzato come strumento operativo per la risposta alle inondazioni da parte di alcune istituzioni, come la *Croce Rossa* delle Filippine, facilitando quindi la comprensione della percezione, degli impatti e della risposta alle alluvioni nel momento in cui si verificano. Un secondo esempio è il Servizio Meteorologico "*Met Office*", nel Regno Unito, il quale, tra le varie fonti, utilizza anche un'analisi soggettiva dei dati derivanti da post sui social media, per cercare di valutare la qualità degli avvisi.

Ne consegue quindi che esiste una dipendenza dell'esposizione con i modelli di sviluppo regionale e nazionale, supportando l'idea che ci siano diversi meccanismi in gioco nella valutazione degli impatti e che ci sia una connessione complessa tra riscaldamento globale, eventi estremi e società. Per questo motivo tali fenomeni devono essere collocati nel loro contesto a lungo termine e studiati in ogni loro aspetto.

2. Creazione della base di dati

La prima parte dell'attività svolta è stata finalizzata alla creazione della base di dati contenente gli eventi idro-meteorologici estremi avvenuti globalmente nel periodo 1997-2018. In particolare:

- il database creato raccoglie unicamente eventi estremi di tipo idro-meteorologico, ovvero eventi che hanno riportato conseguenze tali da essere classificati come disastrosi (hanno recato danni all'ambiente, alle strutture, all'agricoltura o che hanno colpito direttamente la popolazione, con conseguente presenza di vittime, dispersi o sfollati);
- il database tratta fenomeni innescati in condizioni meteorologiche estreme, con un decorso variabile da alcune ore (piogge intense o torrenziali) a più giorni (uragani), e fenomeni idrologici, causati cioè dalle acque superficiali e sotterranee, come avviene per esempio nel caso delle inondazioni, le alluvioni e le frane. Vengono inoltre considerate unicamente le catastrofi di tipo naturale, pertanto restano esclusi i disastri provocati dall'uomo o relativi ad incidenti industriali, come, per esempio, allagamenti prodotti dalla rottura o dal rilascio di dighe. Infine, non vengono trattati ai fini della raccolta degli eventi come incendi boschivi, inondazioni provocate dallo scioglimento delle nevi o periodi di siccità;
- il database non include gli eventi occorsi in paesi e isole caratterizzate da una superficie inferiore ai 600 km².

2.1 Descrizione delle fonti

I criteri utilizzati nella classificazione di un disastro di natura idro-meteorologica possono essere svariati e dipendono dallo scopo della classificazione stessa e dalla specifica applicazione di interesse. Spesso la catalogazione di un evento come estremo o disastroso è legata alla stima dei danni da esso causati, per esempio alle infrastrutture o all'agricoltura; talvolta, invece, può essere legata all'estensione dell'area geografica coinvolta o al superamento di un certo numero di decessi o di persone sfollate coinvolte nell'evento.

Sono ad oggi disponibili diversi database che raccolgono e descrivono i disastri naturali avvenuti, che tengono in considerazione differenti periodi e aree geografiche, dalla locale, nazionale a quella globale. Per gli scopi del presente studio si è scelto di fare riferimento essenzialmente a due specifici database di disastri caratterizzati entrambi da copertura globale e basati su analoghi criteri di selezione degli eventi: l'*Emergency Events Database* (EM-DAT) e il *Global Active Archive of Large Flood Events* prodotto dal *Dartmouth Flood Observatory*. Sono state inoltre reperite dagli archivi *ReliefWeb* delle informazioni aggiuntive, usate allo scopo di integrare le basi di dati principali.

2.1.1 EM-DAT

L'*Emergency Events Database* (EM-DAT, <https://www.emdat.be>) è un database globale sui disastri naturali e tecnologici, che comprende dati sull'occorrenza e sugli effetti di oltre 21.000 catastrofi avvenuti globalmente, dal 1900 ad oggi. Il database è gestito dal CRED (*Center for Research on the Epidemiology of Disasters*), situato presso l'*Université catholique de Louvain* a Bruxelles. Il CRED fu istituito nel 1973 come istituzione senza scopo di lucro, diventando nel 1980 centro di collaborazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e promuovendo attivamente, durante gli anni '90, l'*IDNDR* (*International Decade for Natural Disaster Reduction*). Inoltre, il centro fa parte di un'ampia rete internazionale costituita da istituzioni accademiche, organizzazioni non governative e agenzie internazionali che rappresentano una risorsa importante nelle sue attività. Collabora con enti internazionali come l'*Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* (OCHA), l'*European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations* (ECHO), il Movimento Internazionale della Croce Rossa e della Mezzaluna Rossa, l'*USAID's Office of U.S. Foreign Disaster Assistance* (OFDA) e con agenzie non governative come il Comitato Internazionale della Croce Rossa (ICRC). Le sue attività promuovono la ricerca, la formazione e le competenze tecniche sulle emergenze umanitarie, in particolare in materia di sanità pubblica ed epidemiologia, fornendo una vasta gamma di dati sui problemi di salute derivanti da catastrofi e conflitti.

Nel 1988, con la realizzazione del database di *EM-DAT*, il CRED ha voluto supportare l'azione umanitaria a livello sia nazionale che internazionale,

razionalizzando il processo decisionale per la prevenzione delle catastrofi, e fornire una base obiettiva per la valutazione della vulnerabilità e la definizione delle priorità. Le fonti dalle quali *EM-DAT* reperisce le informazioni sono numerose. Questo, talvolta, comporta delle incongruenze nei numeri riportati. Pertanto, il CRED ha stabilito un metodo di classificazione basato sull'affidabilità e sulla completezza dei dati forniti dalle varie fonti. Nella maggior parte dei casi, un disastro viene inserito in *EM-DAT* solo se almeno due fonti segnalano il verificarsi del disastro in termini di decessi e / o persone colpite. Tuttavia, la priorità viene data alle agenzie delle Nazioni Unite, dei governi e della Croce Rossa e Mezzaluna Rossa Internazionale, in quanto, la maggior parte delle altre fonti di segnalazione non copre tutti i disastri o comunque presenta limiti politici che potrebbero influenzare le cifre. Inoltre, tutti i disastri riportati da *EM-DAT* sono conformi ad almeno uno dei tre seguenti criteri: dieci o più persone morte registrate a seguito dell'evento, cento o più persone coinvolte (ferite o sfollate) oppure dichiarazione di uno stato di emergenza e/o ricorso di assistenza internazionale. Qualora, per un disastro, non vengano fornite cifre precise per la classificazione del fenomeno secondo tali criteri, *EM-DAT* prende in considerazione l'evento solo se significativo, ad esempio se identificato come "il peggior disastro del decennio" o "il disastro con maggior danni nel paese". I dati vengono, per di più, revisionati su base giornaliera, anche se le informazioni accessibili al pubblico vengono aggiornate ogni 3 mesi, solo una volta che tutti i dati sono stati convalidati e sottoposti a controlli incrociati con fonti diverse. Considerando che le informazioni vengono costantemente riviste per incongruenze, ridondanza e incompletezza, è garantita una discreta affidabilità del database.

È possibile accedere ai dati relativi agli eventi presenti nel database direttamente dalla barra del menu principale della piattaforma online di *EM-DAT*. Dalla finestra di ricerca, è possibile consultare profili, tabelle di riepilogo, analisi e mappe già elaborate e direttamente scaricabili. I dati grezzi sono invece consultabili alla voce *Disaster List* (Fig. 1) applicando opportuni filtri relativi alla località, in termini di continenti, regioni o nazioni, alla finestra temporale di interesse per la consultazione dei dati, e alle varie tipologie di evento, a scelta tra disastri naturali o tecnologici. I risultati della ricerca sono presentati sotto forma di tabella e per ciascun evento vengono riportate le informazioni

riassunte nella Tabella 1.

Figura 1. Ricerca degli eventi dal Database dei disastri di EM-DAT. Disponibile online:
<https://www.emdat.be>

Tabella 1. Campi di informazione, forniti per ogni evento, da EM-DAT

Campo	Descrizione del campo
Data di inizio e di fine	Vengono fornite in formato giorno/mese/anno e rappresentano le date nelle quali si è verificato, ed è terminato, il disastro. La data di inizio è ben definita per tutte le catastrofi di impatto improvviso, ma quando le situazioni di catastrofe si sviluppano gradualmente il campo del giorno può essere lasciato in bianco.
Stato	Nome della nazione nella quale si è verificato il disastro.
Codice ISO 3166	Codice di tre lettere relativo allo stato, attribuito dall'Organizzazione Internazionale della Standardizzazione.
Località	Specifiche geografiche (ad esempio nome di una città, villaggio, dipartimento, provincia, stato o distretto).
Latitudine	Coordinate Nord-Sud, quando disponibili (utilizzate per terremoti, vulcani e alluvioni).
Longitudine	Coordinate Est-Ovest, quando disponibili (utilizzate per terremoti, vulcani e alluvioni).
Intensità	L'intensità di un disastro specifico. Si esprime in km ² per alluvioni, incendi, siccità, infestazioni di insetti, in scala Richter per i terremoti, in °C per gli eventi di temperature estreme, in km/h per le tempeste, in curie per le radiazioni, e in m ³ per la fuoriuscita di sostanze chimiche.
Tipo di disastro	I disastri possono essere naturali o tecnologici.
Disastro/i	Gli effetti secondari e / o associati o le conseguenze di un evento

associato/i	primario.
Morti totali	Numero di persone che hanno perso la vita a causa dell'evento o che sono risultate disperse.
Persone colpite totali	Numero di sfollati e feriti, cioè coloro che hanno sofferto per lesioni fisiche, traumi o malattie che hanno richiesto assistenza medica immediata dopo o durante l'emergenza. Questo numero è spesso segnalato ed è ampiamente utilizzato per comunicare la gravità di un disastro. Ci sono però ambiguità nelle definizioni e nei diversi criteri, i diversi metodi di stima possono produrre numeri diversi, talvolta incomparabili. Quando viene riportato solo il numero di famiglie colpite o di case danneggiate, EM-DAT moltiplica tale cifra in funzione della dimensione media di una famiglia (5 persone nei paesi in via di sviluppo, e 3 nei paesi industrializzati).
Danno totale ('000 USD, valore corrente)	Perdite dirette, ed indirette, relative al settore sociale, delle infrastrutture, della produzione e dell'ambiente. Non sono inclusi i costi di ricostruzione, in quanto questi devono tenere conto dei costi attuali e di acquisto dei beni, nonché dei costi aggiuntivi delle misure di prevenzione e mitigazione per ridurre i danni causati dalle future catastrofi.
Nome del disastro	Qualsiasi specifica relativa al disastro che ne consenta l'identificazione (ad esempio il nome di un ciclone tropicale o il nome delle malattie nel caso delle epidemie).
Codice identificativo	Numero di otto cifre unico per ogni evento di disastro, definito da EM-DAT, costituito dall'anno e da un numero progressivo di 4 cifre.

2.1.2 Dartmouth Flood Observatory

La seconda fonte utilizzata per la raccolta degli eventi è il *Global Active Archive of Large Flood Events*, del *Dartmouth Flood Observatory* (DFO). Tale archivio offre la possibilità di consultare una raccolta di eventi alluvionali, registrati a partire dal 1985. L'Osservatorio è stato fondato nel 1993 dal Professor Robert Brakenridge e l'attuale direttore è il Dottor Albert Kettner. Originariamente faceva parte del Dipartimento di Geografia del *Dartmouth College*, Hannover (NH, USA), ma nel 2010 è stato trasferito all'Università del Colorado, entrando a far parte dell'INSTAAR (*Institute of Arctic and Alpine Research*), CSDMS (*Community Surface Dynamics Modeling System*). Il progetto, basato su dati satellitari acquisiti nell'ambito delle missioni della NASA, dall'Agenzia Spaziale Giapponese (JAXA) e dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Inoltre, il DFO, collabora attivamente con le agenzie di soccorso, con i gestori delle emergenze, con il settore assicurativo e con i media, durante i principali eventi di alluvione. Gli obiettivi

del *Dartmouth Flood Observatory* sono plurimi. In particolare, dal 2000, il DFO osserva i cambiamenti delle acque superficiali, compresi i cambiamenti dovuti a inondazioni, siccità, e alla presenza di zone umide, litorali, laghi e bacini idrici. Per le inondazioni di entità maggiore, il DFO fornisce mappe delle aree alluvionate, ottenute dall'analisi di immagini satellitari, che possono essere usate a supporto delle attività svolte dalle organizzazioni umanitarie (<https://floodobservatory.colorado.edu/Archives/MapIndex.htm>).

Per quel che riguarda le informazioni presenti nel *Global Active Archive of Large Flood Events*, le fonti di informazione sono governative, strumentali e di telerilevamento, e vengono aggiornate su base continuativa, con l'immediata aggiunta dei nuovi eventi di alluvione. La base di dati degli eventi registrati (<https://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>) ha copertura globale, raccoglie eventi alluvionali di una certa portata valutati rispetto alla presenza di danni significativi alle strutture o all'agricoltura, e ai tempi di ritorno. Il database viene aggiornato in continuo e comprende ad oggi oltre 4800 eventi di alluvione avvenuti a partire dal 1985 (Fig. 2).

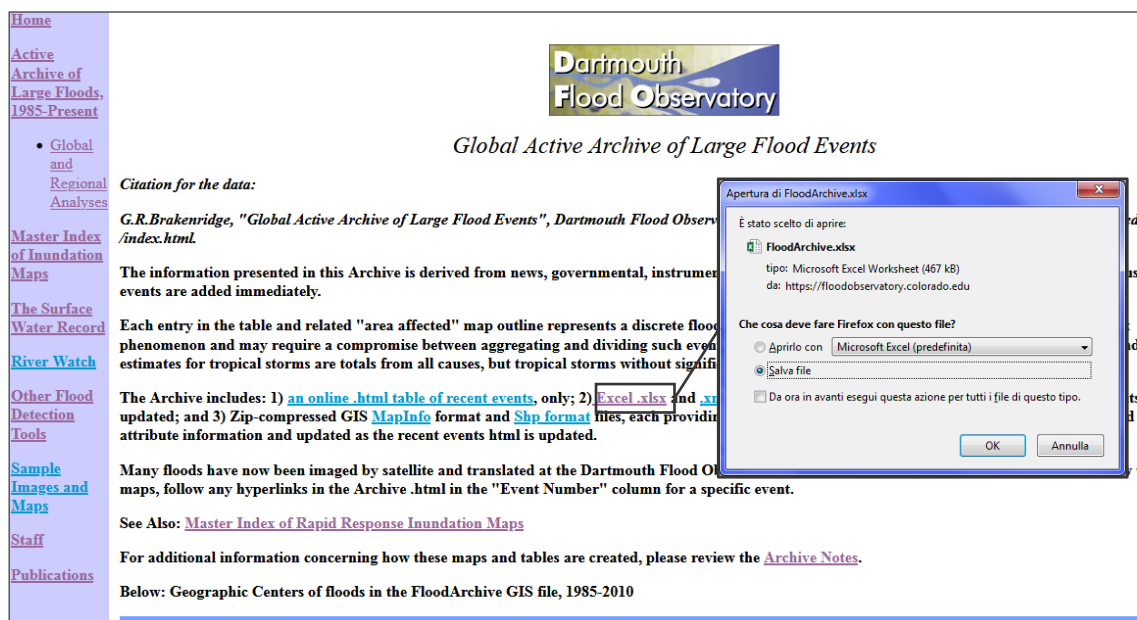


Figura 2. Pagina di download del *Global Active Archive of Large Flood Events*. Disponibile online:

<https://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>

Per ciascun evento incluso nel database vengono riportate le informazioni riassunte nella Tabella 2.

Tabella 2. Campi di informazione riportati per ogni evento dal *Dartmouth Flood Observatory*

Campo	Descrizione del campo
ID	Numero identificativo assegnato ad ogni alluvione che viene inserita nell'archivio
Glide Number	Codice univoco, comune a livello globale per i disastri proposto <i>dall'Asian Disaster Reduction Center</i> (http://www.glide-number.net/glide/public/about.jsp)
Stato	Paese principale colpito dall'alluvione
Stato secondario	Paese secondario colpito dall'alluvione.
Area	Estensione geografica dell'alluvione, intesa come l'area che comprende le regioni coinvolte [km ²].
Latitudine e longitudine	Coordinate che definiscono il baricentro dell'estensione geografica relativa alle aree colpite.
Data di inizio e di fine (giorno/mese/anno)	La data di inizio dell'alluvione, talvolta, nelle notizie non viene menzionata una data di inizio specifica. Se viene indicato solo il mese il DFO prende come giorno la metà di quel mese. Le date di fine sono invece spesso difficili da determinare. Viene fatta una stima basata su un giudizio qualitativo sull'evento alluvionale.
Fonte	Fonte dell'informazione come Floodlist (http://floodlist.com/)
Morti	In linea generale, i dispersi non vengono conteggiati nel totale dei morti, e quando il numero è espresso in "decine" o "centinaia", viene sommato il 10% del numero dato.
Sfollati	Il conteggio delle persone sfollate, talvolta è rappresentato dal numero di persone evacuate a seguito dell'alluvione, mentre in altri casi è rappresentato dal numero di persone rimaste senza un'abitazione. Quando l'unica informazione disponibile è il numero di case distrutte viene fatta una stima, supponendo che ogni famiglia sia composta da una media di quattro persone.
Causa principale	Viene selezionata una causa tra: pioggia forte, ciclone tropicale, ciclone extra-tropicale, pioggia monsonica, neve, rottura o rilascio di diga, breve e intensa pioggia, maremoto.
Severità	Per ogni alluvione viene attribuita una classe di severità, su una scala che va da 1 a 2. Ad una classe 1 corrispondono i grandi eventi alluvionali, con danni significativi alle strutture o all'agricoltura, incidenti mortali o tempi di ritorno decennali o ventennali. Sono attribuiti ad una classe 1,5 gli eventi che hanno interessato una regione geografica di estensione superiore a 5000 km ² , con un intervallo di ricorrenza stimato di oltre 2 decenni ma inferiore a 100 anni o un intervallo di ricorrenza locale di uno o due decenni. Infine, alla classe 2 vengono assegnati gli eventi estremi con un intervallo di ricorrenza stimato superiore a 100 anni.

Si osservi che per gli eventi alluvionali registrati nell'archivio viene fornito un dato

di estensione geografica relativo però alla totalità dell'area che comprende le regioni colpite, e non la specifica area alluvionata. Tale informazione è distribuita in formato vettoriale idoneo al trattamento nei comuni software GIS. Si noti inoltre che la copertura delle notizie disponibili, raccolte dal DFO ai fini della creazione del database, risulta essere variabile da nazione a nazione; per esempio, in certi casi si è visto che le notizie relative ai paesi caratterizzati da un minore livello di sviluppo tecnologico tendono ad arrivare più tardi e ad essere meno dettagliate.

2.1.3 ReliefWeb

Il portale di *ReliefWeb* rappresenta la principale fonte di informazione sulle crisi umanitarie e sulle catastrofi globali dal 1996, nonché un servizio appartenente all'*Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* (OCHA). Sin dal suo lancio, nell'ottobre del 1996, *ReliefWeb* ha avuto un importante ruolo nello scambio e nella condivisione delle informazioni in caso di emergenza. Tuttavia, nel 2015 c'è stato un implemento dei contenuti, cominciando a fornire notizie umanitarie in tutto il mondo, 24 ore su 24, 7 giorni su 7. Questo è stato reso possibile grazie alla gestione del sito Web da parte di tre uffici, con fuso orari diverso, che ne hanno consentito il continuo aggiornamento: Bangkok (Thailandia), Nairobi (Kenya) e New York City (Stati Uniti).

India: Floods - Nov 2018 Glide: TC-2018-000413-IND

Overview

Following the Southwest Monsoon season (25 May - 21 October this year) heavy rains triggered floods in Kerala State (India), resulting in casualties and damage. According to the national authorities, as of 6 November, the death toll stands at 504, 3.4 million people were displaced in 12,300 relief camps, more than 110,000 houses were damaged and 23 million people affected. (ECHO, 9 Nov 2018)

The cyclone Gaja has set the tone towards the end of North East monsoon in India. A low pressure intensified into a cyclone made its landfall during the early hours on 16 November 2018 had hit six districts in the southern state, Tamil Nadu, namely Nagapattinam, Tiruvarur, Thanjavur, Pudukottai, Dindigul and Ramnad. The wind speeds reached as high as 120 kmph during its landfall. A major disaster was averted due to the elaborate preparedness measures taken by the government supported by the civil society organizations. Approximately 150,000 vulnerable people were evacuated to relief camps along the coastal areas and fishermen were not allowed to go fishing. Despite elaborate preparedness measures, the wind speed and heavy rains have caused deaths, damages to houses and public infrastructure. (IFRC, 23 Nov 2018)

On 15 December, Tropical cyclone PHETHAI formed over the southern Bay of Bengal and started moving north-west toward Andhra Pradesh State with maximum sustained winds of 83 km/h (ECHO, 17 Dec 2018). On 17 December, it made landfall close to Katrenikona town (coastal north-east Andhra Pradesh) as a tropical storm. One person was reportedly killed in the East Godavari District (ECHO, 18 Dec 2018).

Affected countries

India

Maps & Infographics

India, Sri Lanka – Tropical Cyclone GAJA - Emergency Response Coordination Centre (ERCC) - DG ECHO Daily Map | 13/11/2018

[VIEW ALL MAPS & INFOGRAPHICS](#)

Most read reports

1. Caritas: [Flood victims rejoiced to get their refurbished house](#). 22 Nov 2019
2. Caritas: [It's not just a shelter but dream come true](#). 17 Nov 2019
3. Govt. India: [Study Report on Gaja Cyclone 2018](#). 24 Oct 2019
4. ACT Alliance: [India: Cyclone Gaja Emergency Response in Tamil Nadu- RRF No.20/2018](#). 5 Dec 2018
5. IFRC: [India: Cyclone Gaja Emergency Plan of Action \(EPoA\) - DREF Operation n° MDRIN021, Final Report](#). 31 May 2019

Figura 3. Informazioni chiave fornite nella sezione “disastri” di ReliefWeb. Disponibile online:

<https://reliefweb.int/disasters>

Attraverso questi servizi è possibile, specialmente per gli operatori umanitari, reperire informazioni affidabili e tempestive sulle crisi umanitarie, così da attuare decisioni informate e pianificare una risposta efficace. In particolare, è presente una sezione dedicata ai disastri naturali, che consente di consultare le informazioni individualmente per paese, tipo di disastro o anno. Per ogni evento sono rese disponibili varie informazioni chiave, come report, analisi, i comunicati stampa e mappe tematiche (Fig. 3) che consentono di reperire informazioni come la durata di un fenomeno, di individuarne la causa principale e di osservare quanti paesi sono stati coinvolti.

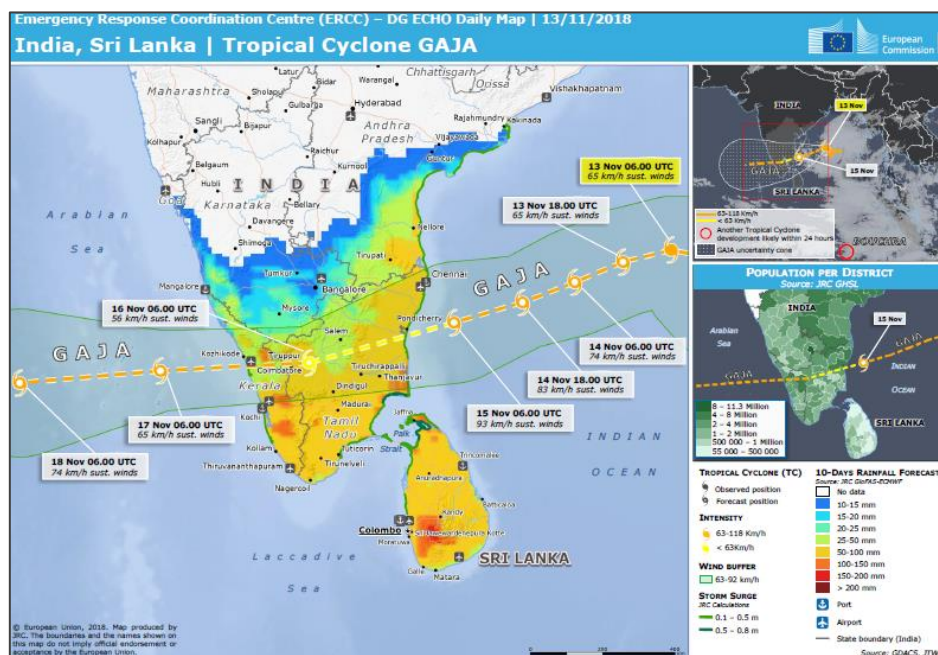


Figura 4. Carta tematica del Ciclone Tropical Gaja sviluppata da ECHO (Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations). Disponibile online:

https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ECDM_20181113_TC_GAJA.pdf

In Figura 4 è riportato un esempio di mappa di sintesi dell'evento prodotta, relativo al ciclone tropicale Gaja in India. Nella carta viene tracciata la traiettoria del Ciclone, indicati i mm di pioggia a seconda delle aree coinvolte, l'intensità definita in km/h, la velocità del vento e alcune informazioni relative alla popolazione. In altri casi queste informazioni sono incentrate sulle crisi umanitarie, e quindi riportano informazioni relative all'impatto degli eventi sulla popolazione ed ai finanziamenti, supportando obiettivi e piani di risposta umanitaria. La Figura 5 illustra un esempio di piano di risposta per l'Afghanistan relativo al periodo 2018-2021. Rappresenta una sintesi dei conflitti all'interno del paese, cioè di tutti quei campi in cui serve aiuto, sia in termini di

assistenza, per esempio per mancanza di accesso ai servizi o via di un disastro naturale, sia in termini economici.



Figura 5. Piano di risposta umanitaria 2018-2021 per l'Afghanistan. Disponibile online:

https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/afg_hrp_2019_q3_report_20191112.pdf

2.1.4 Dati ausiliari

Alla prima fase di creazione del database, segue un'ulteriore raccolta di informazioni, attraverso la quale vengono reperiti alcuni indicatori socio-economici.

2.1.4.1 World Bank

Una delle principali risorse di informazioni statistiche a livello globale è *World Bank* [14]. La banca è coordinata dal *Development Data Group*, che collabora a stretto contatto con diverse organizzazioni per fornire statistiche nazionali e internazionali e garantire l'alta qualità e l'integrità dei dati. Tra le principali comunità statistiche in collaborazione con *World Bank* sono comprese le agenzie delle Nazioni Unite (UN), l'*Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD), l'*International Monetary Fund* (IMF) e le banche di sviluppo regionale. Gran parte dei dati prodotti provengono dai sistemi statistici dei paesi membri e la loro qualità dipende dal rendimento di questi sistemi nazionali. Per poter assicurare coerenza e affidabilità dei dati, la banca segue pratiche e metodologie standard. Talvolta, questi criteri sono difficilmente applicabili nei paesi in via di sviluppo, dove gli investimenti, insufficienti nei sistemi statistici nazionali, limitano

le attività e portano a dati di scarsa qualità. Per questi motivi, *World Bank* si impegna ad aiutare i paesi in difficoltà con investimenti nel rafforzamento del sistema statistico internazionale e nella compilazione di set di dati globali.

I prodotti finali possono coprire un'ampia gamma di interessi e sono facilmente accessibili, soprattutto attraverso l'uso di mappe, diagrammi e grafici. La banca dati consente di consultare le informazioni, o a scala nazionale o per tipologia di indicatore, offrendo modelli di elaborazione dei dati, come, per esempio, i trend su scala globale (Fig. 6).



Figura 6. Esempio della ricerca dell'indicatore di reddito da *World Bank*. Disponibile online:

<https://data.worldbank.org/indicator>

World Bank consente, inoltre, di reperire le informazioni in formato Excel, suddividendo i dati, per paese e per anno, e associando ad ogni nazione il corrispettivo codice ISO 3166 come indicato nell'esempio in Tabella 3.

Tabella 3. Esempio di informazioni fornite per ciascun indicatore da World Bank. Disponibile online:

<https://data.worldbank.org/indicator>

Nome del paese	Codice ISO	Nome indicatore	Valore annuale dell'indicatore
Afghanistan	AFG	Densità di popolazione [persone/km ²]	29,6497 (anno 1997)

Le informazioni raccolte dalla base di dati, nel presente studio, si riferiscono alla popolazione e alle caratteristiche economiche di ciascun paese. Tali parametri vengono riportati e descritti in Tabella 4.

Tabella 4. Descrizione dei parametri raccolti da *World Bank*

Parametro	Descrizione del parametro
Popolazione	La popolazione totale è la somma tutti i residenti, indipendentemente dallo status giuridico o dalla cittadinanza, stimata a metà anno. I dati, revisionati nel 2019, partono dal 1960 fino ad arrivare al 2018, e derivano da più fonti (DESA, relazioni di censimento e pubblicazioni statistiche dagli uffici statistici nazionali, <i>Eurostat</i> , <i>UNSD</i> , <i>International Database U.S. Census Bureau</i> e <i>Statistics and Demography Programme, Secretariat of the Pacific Community</i>).
Densità di popolazione	La densità di popolazione viene calcolata come la popolazione totale divisa per km ² di area terrestre, intesa come l'area totale di un paese, ad esclusione dell'area soggetta a corpi idrici interni (principali fiumi e laghi). Nel calcolo dei valori, disponibili a partire dall'anno 1961, sono stati presi in considerazione i dati forniti dal <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (FAO).
Popolazione urbana e rurale	La popolazione urbana si riferisce alle persone che vivono nelle aree urbane come definito dagli uffici statistici nazionali, mentre la popolazione rurale è calcolata come la differenza tra popolazione totale e popolazione urbana. L'aggregazione della popolazione urbana e rurale potrebbe non sommarsi alla popolazione totale a causa delle diverse coperture nazionali. Le stime partono dal 1960 e si basano sulla revisione del 2018 del <i>World Urbanization Prospects, United Nations Population Division</i> .
Superficie terrestre	Area totale di un paese, espressa in km ² , ad esclusione dei corpi idrici come i principali fiumi e i laghi. I dati vengono raccolti dal <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (FAO) attraverso questionari annuali.
Prodotto Interno Lordo (PIL)	Valore di tutti i beni e dei servizi finali prodotti sul territorio in un dato tempo, aggregato ai prezzi di mercato, espresso in \$ correnti internazionali. <i>World Bank</i> fa riferimento all' <i>International Comparison Program database</i> e fornisce le informazioni a partire dal 1990.

3.1.4.2 Human Development Report Office (HDRO)

Nella specifica ricerca dei parametri di natura sociale, viene consultato l'*Human Development Report Office* (HDRO), appartenente all'*United Nations Development Programme* (UNDP) [15]. L'Ufficio realizza rapporti, dall'inizio degli anni '90, sullo sviluppo umano. Il programma si propone principalmente di contribuire all'espansione delle opportunità, delle scelte e della libertà, promuovendo nuove idee innovative,

sostenendo cambiamenti politici concreti e sfidando costruttivamente politiche e approcci che limitano lo sviluppo umano.

Parlando di “sviluppo umano”, si fa riferimento ad un insieme di parametri che caratterizzano la vita delle persone. Uno degli aspetti determinanti è la ricchezza economica che può caratterizzare la vita degli esseri umani; la crescita del reddito, per esempio, è considerata un mezzo per lo sviluppo. Sono, tuttavia, sinonimo di progresso anche la prospettiva di una vita lunga, sana e creativa, con la possibilità di fruire dell’istruzione e di avere accesso alle risorse necessarie ad un tenore di vita dignitoso. I dati forniti dall’ufficio offrono una panoramica dello stato di sviluppo in tutto il mondo, osservando le tendenze a lungo termine degli indicatori su più dimensioni e per ogni nazione.

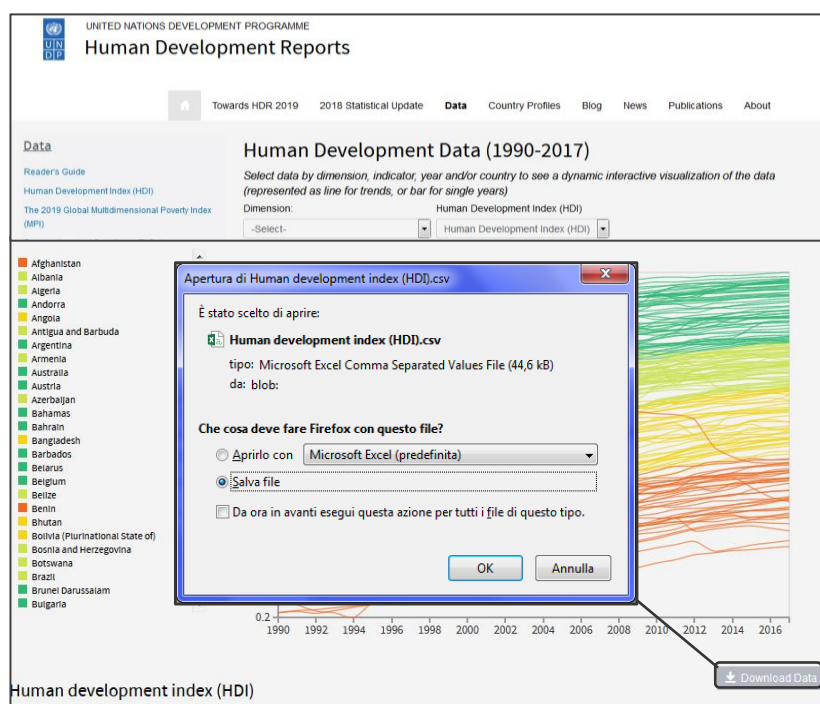


Figura 7. Pagina per scaricare gli indicatori di sviluppo dal portale del Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo. Disponibile online: <http://hdr.undp.org/en/data>

L’HDRO consente di consultare un file Excel (Fig. 7), nel quale vengono riportati i valori di HDI (*Human Development Index*) su base annuale, per ogni nazione. Questo parametro deriva da una media geometrica di tre indici:

- lo standard di vita medio, basato sul PIL pro capite nazionale a parità di acquisto (PPA), che tiene quindi conto dei diversi costi di vita di ciascun paese;
- la longevità, funzione dell’aspettativa di vita alla nascita;

- l'istruzione, misurata in termini di anni di scolarizzazione per gli adulti (età pari o superiore a 25 anni) e agli anni di scolarizzazione previsti per i bambini in età infantile.

2.1.4.3 Socio-economic Data and Applications Center (SEDAC)

Per quel che riguarda i dati cartografici, è stato consultato il portale del SEDAC (*Socio-economic Data and Applications Center*) [16]. Il SEDAC è un centro dati del sistema EOSDIS (*Earth Observing System Data and Information System*) della NASA, gestito dal CIESIN (*Center for International Earth Science Information Network*) alla *Columbia University*. Il principale obiettivo del SEDAC è quello di sintetizzare i dati e le informazioni delle scienze della terra e di quelle socioeconomiche. Il centro dispone di una ricca banca dati elaborabili, come mappe di popolazione, o relative all'agricoltura e al clima, con informazioni sia a livello globale, che a livello nazionale.

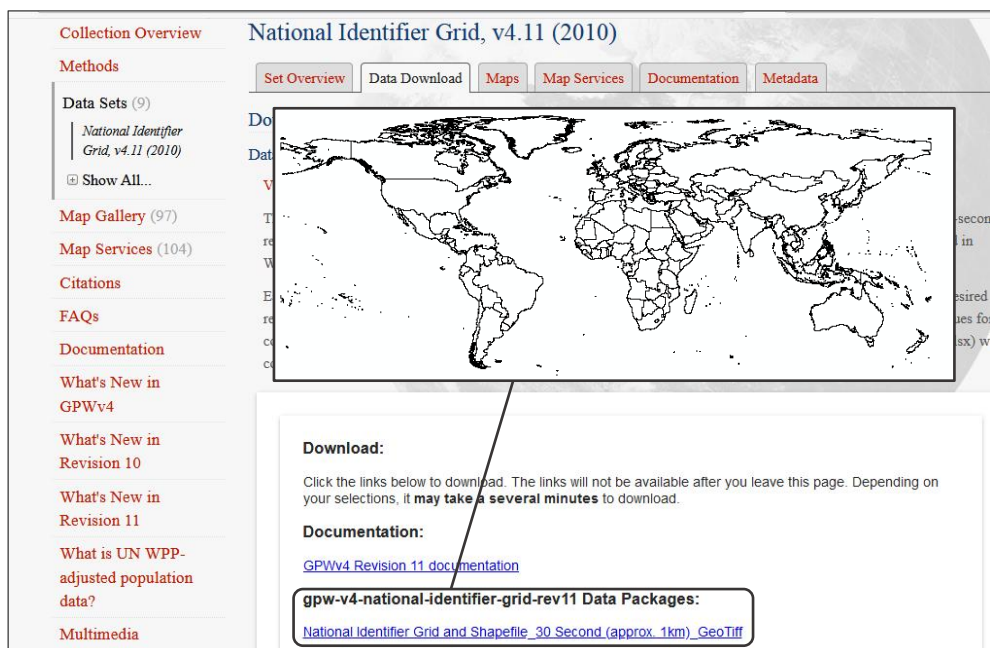


Figura 8. Esempio di download dal portale del SEDAC. Disponibile online:

https://sedac.ciesin.columbia.edu/downloads/data/gpw-v4/gpw-v4-national-identifier-grid-rev11/gpw-v4-national-identifier-grid-rev11_30_sec_tif.zip

2.2 Elaborazione delle informazioni e generazione della base di dati

2.2.1 Tipologie di fenomeno analizzate

La base di dati creata nella prima fase dello studio raccoglie eventi estremi di tipo idro-meteorologico, ovvero tempeste, alluvioni e movimenti di versante.

2.2.1.1 *Le tempeste*

I principali fenomeni meteorologici riportati nel database sono le tempeste. Le tempeste rappresentano un disturbo delle normali condizioni atmosferiche, che si manifesta con venti di forza o direzioni insolite, spesso accompagnati da pioggia, neve, grandine, tuoni e fulmini e talvolta anche trasporto di sabbia. In funzione del meccanismo di sviluppo, della struttura, della posizione geografica e della scala spaziale si possono distinguere tre diverse sottocategorie di tempesta [17].

- Le *tempeste tropicali* sono tempeste rotanti, di raggio variabile tra i 100 ed i 500 km, che si originano a latitudini tropicali e subtropicali, caratterizzate da bassa pressione nel centro e con durata variabile tra alcuni giorni ed un paio di settimane. Possono provocare venti superficiali molto intensi, forti piogge e fulmini. In funzione della zona di occorrenza, viene assegnata alle tempeste tropicali una diversa terminologia: nel Nord Atlantico e nel Pacifico nord-orientale, sono chiamate “uragani”, nel nord-ovest del Pacifico sono chiamati “tifoni” e nell'Oceano Indiano e nell'emisfero meridionale sono semplicemente chiamati “cicloni”. Perché si possano sviluppare è necessario che la superficie dell'oceano sia molto calda rispetto all'aria soprastante e che questa abbia un'alta umidità. Questo significa che i cicloni tropicali, spostandosi verso l'interno, perdono di intensità. Ciò li rende principalmente un pericolo per le regioni oceaniche e costiere, nonché per le piccole isole. Sono, per l'appunto, una delle principali cause di danno proprio nelle regioni costiere subtropicali, in particolare nei paesi in via di sviluppo, dove spesso le infrastrutture non sono resistenti all'intensità dei venti che si verificano;
- le *tempeste extra-tropicali* sono grandi sistemi meteorologici rotanti di bassa pressione, con raggio variabile tra i 100 ed i 2000 km. Si verificano nelle zone

extra-tropicali, a più di 30° di latitudine dall'equatore, accompagnati da fronti freddi e caldi. L'intensità di un ciclone extra-tropicale è strettamente correlata alla forza del jet stream che si trova in atmosfera, a circa 10 km di altitudine, e che si trova al massimo della sua potenza nei mesi invernali. I principali pericoli associati sono i venti forti e le precipitazioni intense. Inoltre, i fronti collegati a tali cicloni possono talvolta diventare molto lenti, rimanendo nella stessa posizione per molte ore e, potenzialmente, alcune giornate, con conseguenti accumuli di pioggia ed inondazioni. Oltretutto, questi sistemi ciclonici posseggono una notevole capacità di spostarsi nell'entroterra e, poiché alcuni risultano inoltre essere molto grandi, spesso colpiscono vaste aree;

- le *tempeste convettive* sono il prodotto di una rapida ascesa localizzata di aria, dovuta al riscaldamento vicino alla superficie terrestre e al raffreddamento nella parte superiore, che produce spesso precipitazioni, tuoni e fulmini, ma di durata relativamente breve. Nella loro forma più semplice, le tempeste convettive consistono in un'unica cella convettiva, che può variare da alcune centinaia di metri a diversi chilometri, comprendente una colonna d'aria ascendente e una discendente. Tuttavia, possono crearsi sistemi convettivi complessi di più celle, in grado di persistere per molto più tempo. Le tempeste convettive si verificano principalmente sulla terra nei tropici in estate o sul mare negli extra-tropici in inverno. I venti associati hanno una durata relativamente breve e quindi gli impatti sono molto localizzati. A causa della loro piccola scala e della loro durata relativamente breve, tali eventi sono difficili da osservare e, pertanto, è difficile la piena conoscenza della loro frequenza e distribuzione spaziale. Inoltre, è molto probabile che vi siano segnalazioni insufficienti a riguardo, in particolare nelle aree scarsamente popolate.

2.2.1.2 *Le alluvioni*

Le alluvioni sono eventi di natura idrologica che si manifestano per l'accumulo dell'acqua a seguito di fenomeni di precipitazione intensa. Tali fenomeni possono manifestarsi a causa dell'esondazione da un canale di ruscello o dal letto di un fiume, per l'aumento dei livelli idrici lungo la costa, nei laghi o nei bacini idrici, o ancora, per il ristagno dell'acqua, in zone dove il deflusso è impossibilitato, a seguito di precipitazioni molto

intense. I principali fattori che determinano le inondazioni sono generalmente legati a forti piogge, all'improvviso scioglimento della neve in primavera e ai regimi di flusso elevati. Le alluvioni possono anche essere generate da guasti infrastrutturali (ad es. rotture o rilasci di dighe). In questo studio vengono considerate solo le inondazioni innescate da fenomeni meteorologici, come piogge intense, piogge monsoniche e tempeste. Le piogge intense o torrenziali sono la principale causa di alluvione, e differiscono tra loro dalla quantità di pioggia che si accumula all'ora. Si tratta di precipitazioni caratterizzate dalla caduta di una quantità significativa di pioggia nell'arco in poche ore, con conseguenti inondazioni e rischio di frana. La terminologia "pioggia intensa" può assumere diverse accezioni, ma nella maggior parte dei casi si fa riferimento ad un tasso di caduta maggiore o uguale a 7,6 mm di acqua all'ora, su piccola scala spaziale. Si parla invece di "pioggia torrenziale" quando vengono superati i 350 mm in 24 ore e di "pioggia estremamente torrenziale" quando vengono superati i 500 mm in 24 ore [18].

In funzione alla forma sotto la quale si manifestano, le alluvioni possono essere descritte secondo tre principali sottocategorie:

- le *alluvioni fluviali* avvengono quando il deflusso, a causa di piogge eccessive, non sempre riesce ad infiltrarsi nel terreno, ed in queste occasioni va a contribuire ad un rapido aumento dei livelli fluviali, con conseguente superamento della capacità, esondazione dalle sponde e inondazione delle aree circostanti;
- in caso di piogge forti ed improvvise possono svilupparsi alluvioni di breve durata che prendono il nome di *flash flood*. Fattori determinanti per questo tipo di fenomeno sono le caratteristiche topografiche, come la pendenza, o quelle di copertura del suolo. Le precipitazioni localizzate intense, la rapida formazione di alluvioni e l'elevata velocità che può raggiungere l'acqua, possono essere particolarmente minacciose per la popolazione a rischio e altamente distruttive;
- le *inondazioni costiere* sono combinazioni dell'alta marea, della tempesta e del moto ondoso. Rappresentano uno dei rischi più significativi per la vita e per le infrastrutture, con impatti sociali, economici e ambientali di vasta portata.

2.1.2.3 I movimenti di versante

Infine, l'ultima tipologia di fenomeno considerata sono i movimenti di versante, che racchiudono una grande varietà di fenomeni, come la caduta di blocchi di roccia, le colate di fango e le frane. Questi possono essere correlati a inondazioni, siccità, incendi, terremoti e altri tipi di catastrofi. In questo lavoro vengono presi in considerazione solo i dissesti di tipo idrogeologico. Tali eventi sono classificabili in tre categorie: frane, colate di fango e valanghe.

- Le *frane* e le *colate di fango* sono spesso innescate da forti piogge, in quanto le precipitazioni influiscono sulla stabilità dei versanti, provocando, talvolta, il movimento di materiale terroso o roccioso, con l'ulteriore spinta da parte della forza di gravità;
- le *valanghe* possono essere costituite da una massa di materiale terroso sciolto, neve o ghiaccio che scivola, scorre o cade rapidamente lungo una montagna sotto la forza di gravità, a seguito di una precipitazione significativa.

2.2.2 Raccolta dei dati

I dati contenuti nell'archivio *EM-DAT* sono stati considerati il punto di partenza per la creazione della base di dati oggetto del presente studio. Infatti, rispetto alle altre fonti, la base di dati *EM-DAT* è risultata essere quella caratterizzata dal maggior numero di informazioni, sia in termini quantitativi che qualitativi. Ai fini della creazione della base di dati si è scelta una finestra temporale estesa 22 anni, dal 1997 al 2018. La copertura geografica della base di dati generata è globale. In particolare, l'estrazione delle informazioni dagli archivi *EM-DAT* è stata svolta a livello nazionale, scegliendo, come già discusso, disastri di natura idrologica (alluvioni e frane) e disastri meteorologici (tempeste). Sempre da *EM-DAT*, sono state raccolte inoltre informazioni relative ai terremoti avvenuti nello stesso periodo scelto, al fine di generare un dataset da usare in seguito a scopo comparativo, che sia stato generato impiegando gli stessi criteri usati per definire gli eventi idro-meteorologici. Infatti, altre banche dati, specifiche per i terremoti, prendono in considerazione tipologie di impatto degli eventi differenti rispetto a *EM-DAT*.

Gli eventi estratti dall'archivio *EM-DAT* sono stati poi integrati con le informazioni aggiuntive derivanti dalle altre fonti prese in considerazione. Più precisamente, molti eventi segnalati da *Reliefweb* e dal *Dartmouth Flood Observatory* sono risultati coincidenti con gli eventi disastrosi già riportati da *EM-DAT*, ma una buona parte di questi è risultata mancante e quindi è stata inserita. Pertanto, viene fatta un'interpolazione dei dati al fine di raccogliere la maggior parte delle informazioni analizzabili. Questa seconda fase di raccolta ha inizio dal *Global Active Archive of Large Flood Events* del *Dartmouth Flood Observatory*. Un'informazione piuttosto utile fornita dall'archivio sono le cause principali di alluvione, come per esempio piogge intense, cicloni tropicali o piogge monsoniche. Attraverso questa indicazione è più semplice avere un riscontro con le informazioni di *EM-DAT* e riuscire a combinare causa ed effetto. Spesso, però, le notizie non riportano una data specifica di inizio, in questi casi il DFO esegue una stima qualitativa. Tenendo conto di queste approssimazioni, sulla base del periodo di accadimento e della durata, è stata osservata la corrispondenza degli eventi del *Dartmouth Flood Observatory* con il database di *EM-DAT*.

L'ultima fonte utilizzata per la raccolta è *ReliefWeb*. La sezione relativa ai disastri di *Reliefweb* offre l'opportunità consultare report ed informazioni come mappe che consentono di integrare informazioni mancanti negli eventi precedentemente raccolti. Tuttavia, tali indicazioni sono più dettagliate per gli eventi recenti. Nonostante il numero di disastri reperiti da *ReliefWeb* sia stato inferiore rispetto a quello delle altre fonti, la consultazione del sito è comunque stata utile per il completamento di alcuni campi mancanti, come la data o le cause.

Questa ricerca combinata ha permesso di completare le informazioni mancanti e di incrementare il numero di eventi, superando complessivamente 7200 catastrofi. A questo punto è stato necessario ripulire e completare i dati. Posto che *EM-DAT* raccoglie informazioni a livello nazionale, quando una stessa catastrofe colpisce diversi paesi, l'evento viene duplicato e riportato per ciascuno di essi. Per rimediare a ciò, si è fatto riferimento al numero di identificazione che *EM-DAT* assegna ad ogni fenomeno disastroso. Pertanto, ogni alluvione, tempesta e dissesto idrogeologico è stato raggruppato secondo tale codice, prestando particolare attenzione alle tempeste tropicali ed extra-tropicali, che, nel loro sviluppo, possono investire diversi paesi.

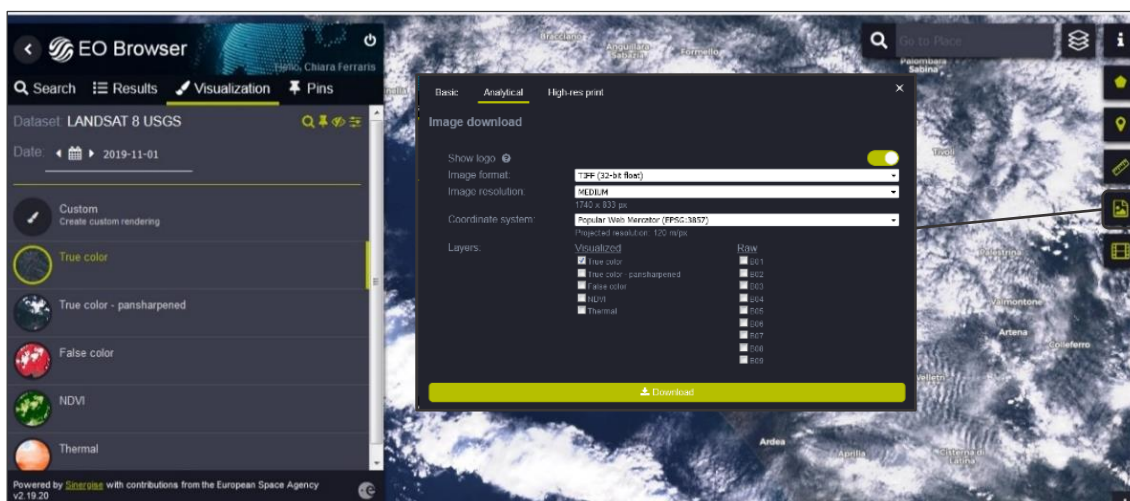


Figura 9. Pagina per la consultazione di immagini satellitari ad alta risoluzione di Sentinel Hub EO-Browser. Disponibile online: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Infine, data l'incompletezza di alcuni dati, come la mancanza del giorno di inizio o di fine dell'evento, sono state analizzate le immagini acquisite da satellite. Questo succede, per esempio, in caso di fenomeni che si sviluppano gradualmente nel tempo il cui inizio non è ben definito, contrariamente alle piogge intense improvvise, la cui manifestazione è palese. Nello specifico, attraverso *Sentinel Hub EO-Browser* [19] è possibile visualizzare immagini derivanti da differenti satelliti (Sentinel-1, Sentine-2, Sentinel-3, Landsat, Envisat Meris, MODIS). Questa piattaforma online consente di scaricare immagini ad alta risoluzione in formato TIFF, per periodi di tempo differenti, visualizzabili e confrontabili in ArcMap (Fig. 9).

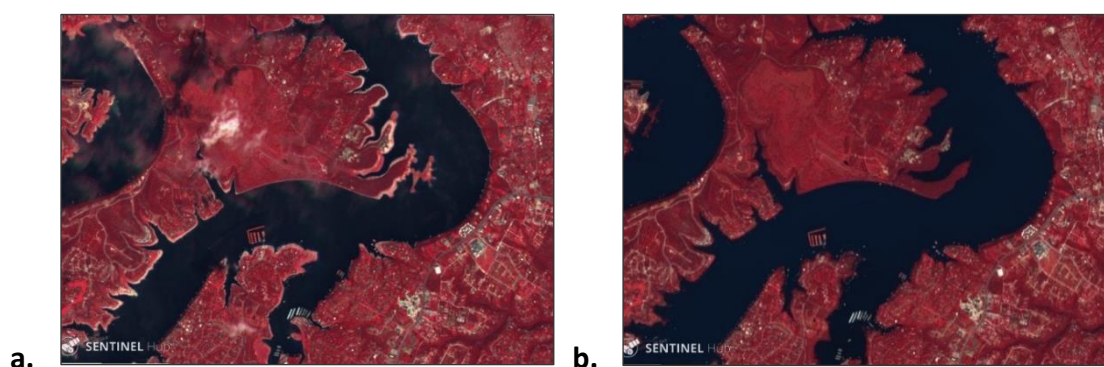


Figura 10. Esempio dell'alluvione nel 2018 sul Lago Travis in Texas: **a.** situazione precedente al fenomeno di alluvione, in data 12-10-18; **b.** scenario a seguito dell'alluvione, in data 27-12-18. Le immagini derivano dal dataset Sentinel-2 L1C e sono rappresentate in falsi colori. Disponibili online: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

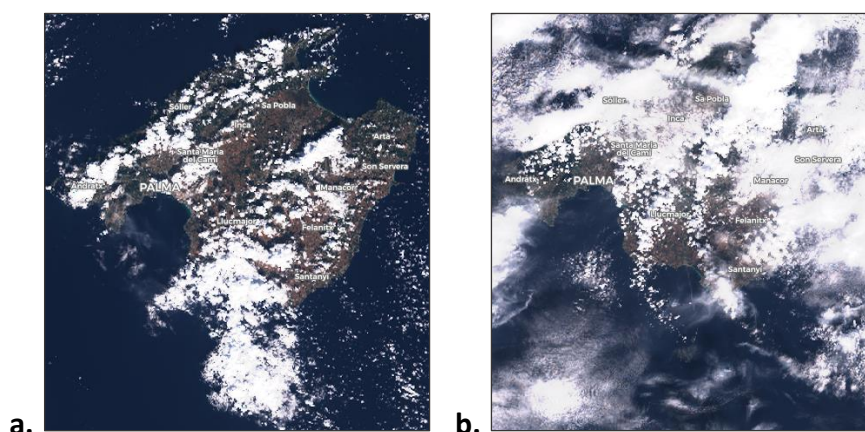


Figura 11. Esempio dell’alluvione dell’ottobre 2018 in Europa, Isola di Maiorca: **a.** situazione precedente al fenomeno di alluvione, in data 5-10-18; **b.** copertura del cielo durante l’evento, in data 10-12-18. Le immagini derivano dal dataset Sentinel-2 L1C. Disponibili online: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

In questo modo è possibile analizzare la presenza di aree alluvionate, l’ampiezza dei corsi d’acqua o dei singoli bacini e valutare l’effettiva durata di un evento di inondazione (Fig. 10), o confermare la possibile avvenuta di un evento di pioggia in funzione della copertura del cielo e dello spostamento delle nuvole nel corso dei giorni (Fig. 11).

A seguito della pulizia dei dati grezzi, i disastri totali sono risultati essere 6409 (77% da *EM-DAT*, 21% dal *Dartmouth Flood Observatory* e 2% da *ReliefWeb*). Per sintesi, gli eventi vengono raggruppati per continente (Tabella 5). Nel specifico caso della Russia, considerando che più di tre quarti della superficie totale appartengono al continente asiatico, è stato deciso di attribuire i relativi eventi all’Asia.

Tabella 5. Numero di catastrofi per continente

Continente	No. eventi
Africa	1141
America	1562
Asia	2813
Europa	575
Oceania	318

2.2.3 Pre-processamento dei dati

Successivamente alla raccolta e all’elaborazione dei dati, è stato eseguito il pre-processamento delle informazioni al fine di renderle più facilmente sfruttabili nei comuni software GIS.

Per prima cosa è stato reperito un dato cartografico di base dei limiti amministrativi a livello globale, dal portale SEDAC, ottenendo quindi una rappresentazione poligonale in formato shapefile dei confini nazionali, dove, per ogni poligono, viene assegnato il codice ISO 3166 relativo allo stato associato. Una volta inserito tale dato in un documento *ArcMap*, è stato possibile procedere con la rappresentazione spaziale degli eventi. *ArcMap* offre la possibilità di trasformare le informazioni in punti georeferenziati. Tuttavia, parlando di disastri naturali, un singolo punto non può rappresentare l'estensione di un evento estremo, per di più se questo ha colpito più aree. Per questo motivo ogni disastro, che durante la sua evoluzione ha investito più paesi, è stato rappresentato puntualmente per ogni nazione coinvolta. I dati relativi alle alluvioni del *Darhmouth Flood Observatory*, sono forniti di coordinate. Per cui, una volta inserite le informazioni delle inondazioni in *ArcMap*, sotto forma di tabella, con l'utilizzo del comando "*Display XY Data*", si attribuisce al campo "X" la longitudine e al campo "Y" la latitudine (Fig. 12). Il risultato è una rappresentazione puntuale nel sistema di riferimento WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), il sistema di coordinate di riferimento utilizzato dal Sistema di Posizionamento Globale (GPS).

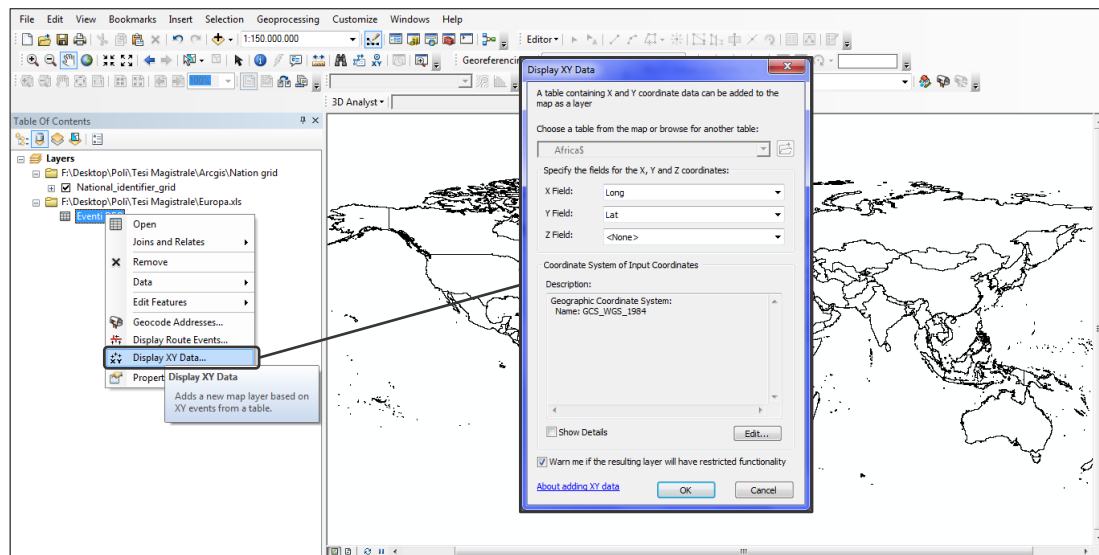


Figura 12. Rappresentazione degli eventi tramite l'utilizzo delle informazioni di latitudine e longitudine, con *ArcMap 10.5*

Per i restanti disastri, in mancanza di coordinate geografiche, sono state utilizzate le informazioni relative alle località colpite. Quest'operazione è stata resa possibile dal comando di *ArcMap*: il *geocoding*. Tale funzione consente di utilizzare informazioni

come città, stati e paesi, nonché entità naturali, come bacini o regioni ecologiche, e di convertirle in coordinate (X; Y) rappresentabili in una mappa.

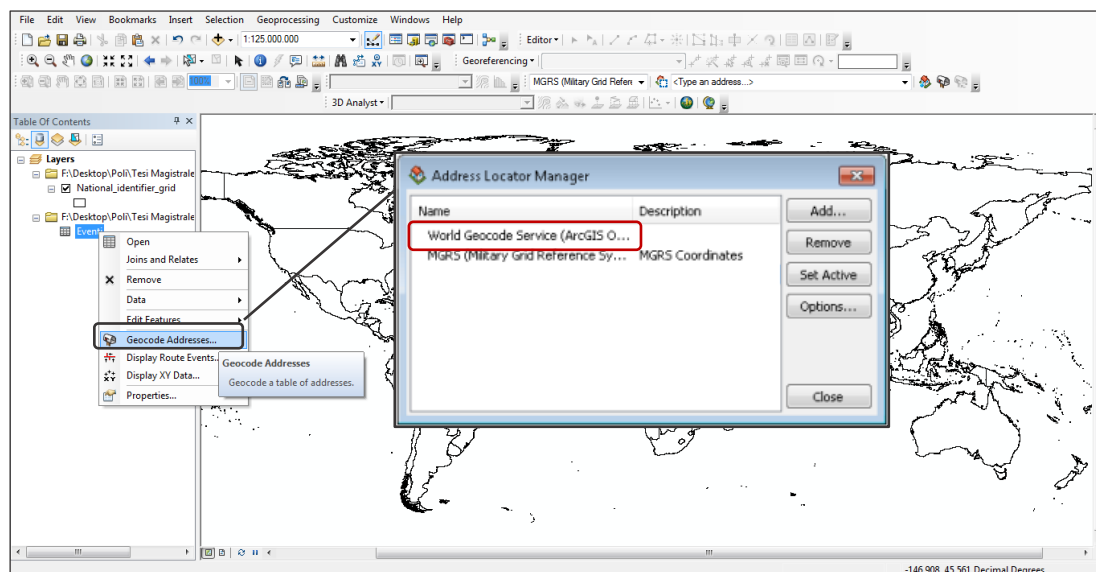


Figura 13. Rappresentazione degli eventi tramite l'utilizzo dello strumento di geocoding fornito da ArcMap 10.5

Pertanto, i dati rimanenti sono stati inseriti nuovamente in formato tabulare in ArcMap e mappati attraverso il comando “Geocode Addresses” (Fig. 13). Successivamente è stato necessario selezionare un *Address Locator*, dal quale sono dipese le regole di analisi per la geo-codifica. In questo caso si è ricorso al *World Geocoding Service*, disponibile solo per *ArgGIS Online*. Questo consente di trovare indirizzi o luoghi nel mondo, attingendo a dati e a dizionari geografici di portata globale. Siccome ad ogni indirizzo possono essere attribuite posizioni differenti, vengono generati dei punteggi di precisione (da 0 a 100), che consentono all'*Address Locator* di selezionare il migliore. I risultati possono quindi essere mappati (M=*Matched*), offrire diverse possibilità di indirizzo (T=*Tied*) oppure non essere geo-codificati (U=*Unmatched*). Quest'operazione è stata limitata dal fatto che *EM-DAT*, dal quale derivano la maggior parte dei disastri senza coordinate, riporta le specifiche geografiche in termini di città, villaggi, dipartimenti, province o distretti, e nella maggior parte dei casi ad un singolo evento associa più di una località. Il risultato del *geocoding* si origina quindi dalla selezione di più informazioni e dalla trasformazione di un'area più o meno vasta in un singolo punto. A ragion di ciò, una volta terminata l'operazione, gli eventi sono stati controllati uno ad uno, e, qualora le coordinate non combaciassero con la località, sono state manualmente modificate.

Rispetto alle alluvioni del *Dartmouth Flood Observatory*, che possiedono informazioni geografiche più precise, questi ultimi sono da considerarsi una rappresentazione approssimata delle principali località investite dagli eventi.

3. Analisi della distribuzione spaziale degli eventi

I dati relativi agli eventi raccolti nella base di dati sono stati analizzati tenendo in considerazione sia la dimensione spaziale che quella temporale. In questo capitolo si riassumono i risultati ottenuti dall'indagine preliminare relativa alla distribuzione spaziale dei fenomeni raccolti (3.1), tenendo anche in considerazione le informazioni demografiche (Fonte: *World Bank*) ed i danni derivati (Fonte: *EM-DAT*), in termini di perdite economiche ed umane (3.2, 3.3, 3.4, 3.5). Questa prima analisi ha permesso di esaminare i pattern di distribuzione degli eventi estremi accaduti nel periodo di osservazione e degli impatti causati da tali eventi.

3.1 Distribuzione degli eventi

Come prima analisi dei dati, si è scelto di calcolare la densità degli eventi per continente, espressa come il rapporto tra il numero totale di eventi, avvenuti nella finestra temporale di osservazione presa in considerazione (1997 – 2018), e la rispettiva superficie, espressa in km².

Tabella 6. Densità del numero di eventi per superficie continentale

Continente	Superficie continentale [km ²]	No. eventi	Densità di popolazione [persone · km ⁻²]	Densità eventi [n · km ⁻²]
Africa	30.034.939	1.141	32,92	3,80x10 ⁻⁵
America	40.236.606	1.562	22,51	3,88 x10 ⁻⁵
Asia	49.030.080	2.813	85,03	5,74 x10 ⁻⁵
Europa	6.103.345	575	96,38	9,42 x10 ⁻⁵
Oceania	8.559.270	318	4,11	3,72 x10 ⁻⁵

Una distribuzione omogenea degli eventi dovrebbe restituire valori di densità pressoché simili, tuttavia, da questa prima operazione, risulta che il maggior numero di catastrofi naturali si è verificata in Europa ed in Asia, che sono, oltretutto, i continenti con la densità di popolazione più elevata (Tabella 6). Sebbene l'Africa, l'Oceania e l'America, abbiano mostrato valori simili nel numero di eventi per km², i loro valori di densità di popolazione sono differenti. Queste osservazioni suggeriscono l'esistenza di particolarità nella distribuzione degli eventi che richiedono ulteriori indagini, che tengano anche conto delle diverse tipologie di fenomeno.

In Figura 14 viene riportata un'ulteriore rappresentazione degli eventi in funzione dei valori di latitudine. Questa rappresentazione ha permesso di definire quali siano le fasce maggiormente coinvolte.

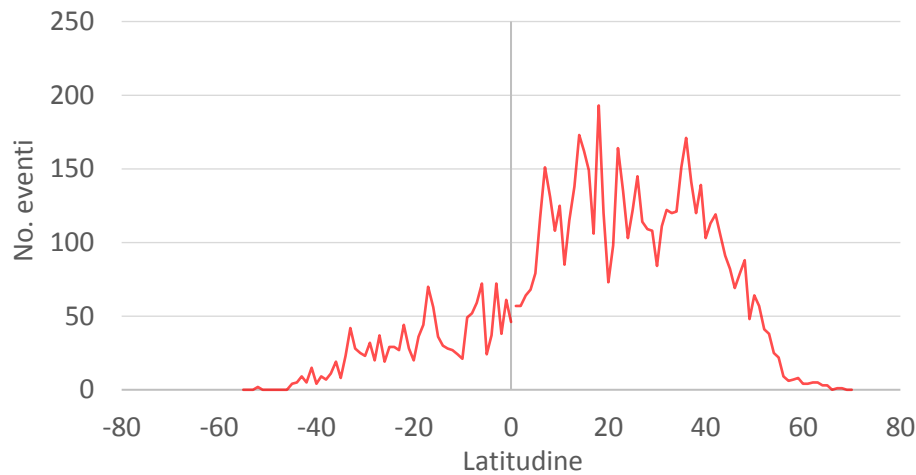


Figura 14. Distribuzione degli eventi in funzione della latitudine

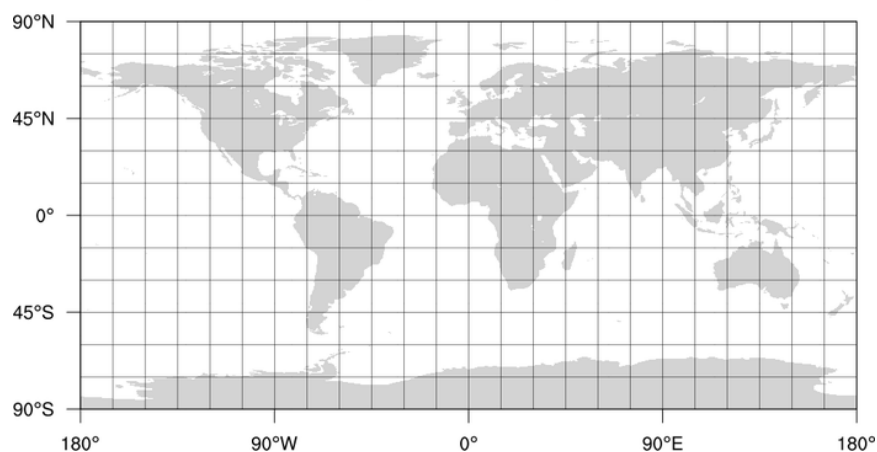


Figura 15. Mappa con griglia latitudine-longitudine. Disponibile online: <https://community.tableau.com/thread/242615>

In particolare, si osserva che i fenomeni esaminati sono avvenuti prevalentemente nell'emisfero settentrionale, con una forte concentrazione tra i 50°N ed i 10°S, dove sono situati gran parte degli stati europei, l'America centro-settentrionale, l'Asia meridionale e l'Africa settentrionale. Lungo le zone tropicali, tra i 10°N ed i 20°S, si sono osservate alcune variazioni, probabilmente legate alle tempeste tropicali che caratterizzano tali latitudini. Si è infine riscontrato un forte calo degli eventi sopra i 50°N, in corrispondenza dei paesi nordici, come Canada, Russia e Norvegia, e sotto i 20° S, dove si trovano le regioni settentrionali di America ed Africa, e l'Oceania.

In seguito, la distribuzione spaziale degli eventi è stata analizzata in dettaglio, con particolare riguardo alla tipologia di catastrofe naturale e alle dinamiche di sviluppo.

3.1.1 Le tempeste

È possibile osservare nella seguente Figura 16 la distribuzione spaziale degli eventi classificati come tempeste nel database creato, suddivisi inoltre nelle tre sottocategorie già descritte in precedenza.

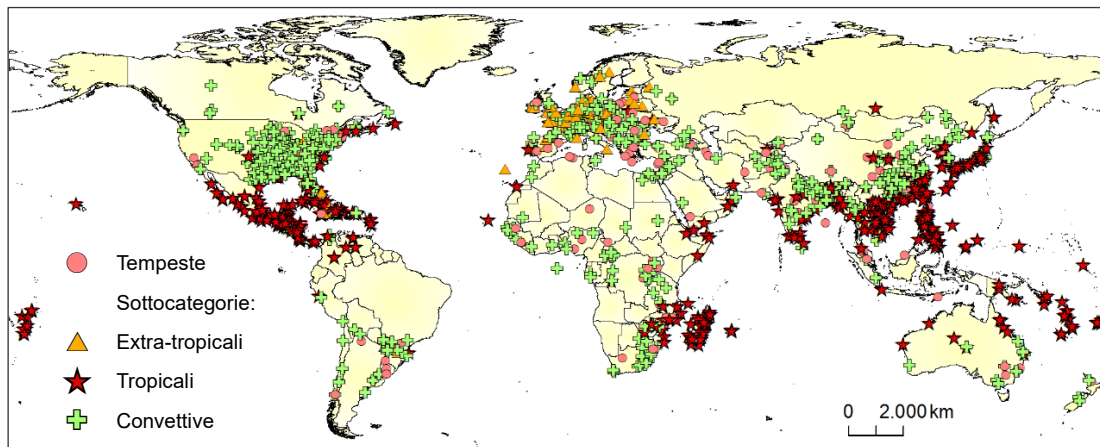
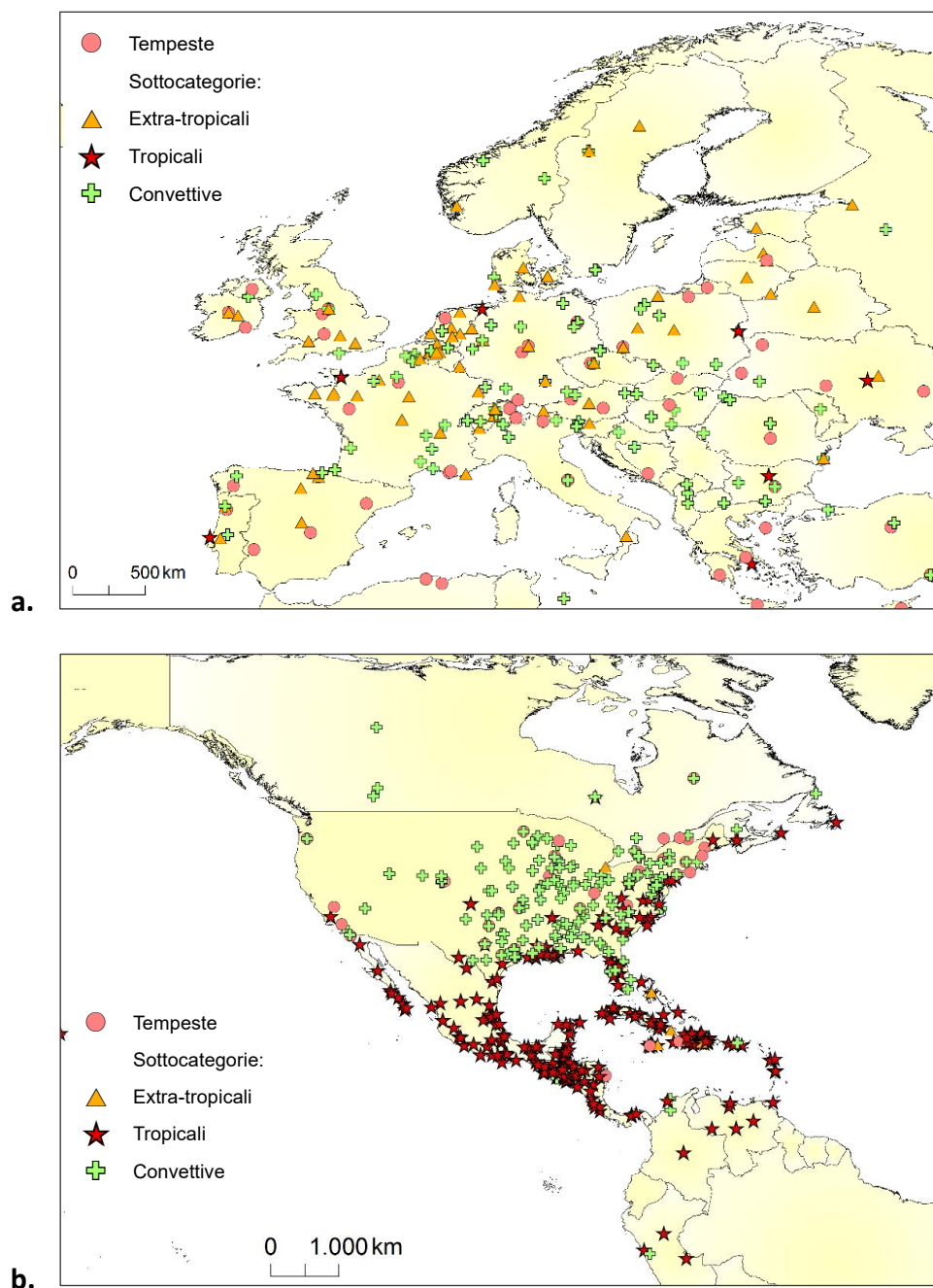


Figura 16. Mappa delle tempeste suddivise per sottocategoria verificatesi nell'intervallo 1997-2018

Da tale rappresentazione è possibile osservare che le tempeste extra-tropicali, che si generano tipicamente oltre 30°N di latitudine, avvengono quasi totalmente negli stati centrali dell'Europa, la cui estensione varia tra i 34°N ed i 71°N (Fig. 17a). Queste tipologie di tempesta sono note per la loro capacità di spostarsi e di investire vaste aree, basti pensare che in certi casi possono raggiungere raggio di influenza pari a 2000 km. Le tempeste extra-tropicali raccolte nel database risultano essere solo 23, tuttavia, considerando la media del numero di paesi colpiti per ciascun evento, risulta che in genere vengono coinvolti cinque stati. Inoltre, il 95% dei disastri di questa tipologia inseriti nel database si sono verificati nel tardo autunno/inverno inoltrato, quando, per definizione, il flusso del jet stream è al massimo della sua potenza. Pertanto, nonostante il loro numero ridotto, questi eventi sembrano essere stati abbastanza violenti da coinvolgere numerose nazioni.

Le tempeste tropicali, invece, tendenzialmente non raggiungono l'Europa, sebbene possano subire un processo noto come “transizione extra-tropicale” e trasformarsi in cicloni extra-tropicali. In totale sono stati identificati 730 cicloni, di cui il 55% si è

verificato in Asia (in particolare nei paesi del sud est asiatico come Filippine, Vietnam, Giappone, Cina e Bangladesh) (Fig. 17c), segue l'America con il 23% (principalmente nei paesi dell'America centrale, Messico, Stati Uniti meridionali, Cuba e Repubblica Dominicana) (Fig. 17b), l'Oceania con il 12% (soprattutto nelle isole del Pacifico come Figi, Vanuatu, Tonga e Australia orientale) (Fig. 17b) ed infine l'Africa con il 10% (principalmente Madagascar e Mozambico) (Fig. 17d). Si osserva, inoltre, che questi fenomeni sono localizzati in zone specifiche, ed in particolar modo nelle regioni costiere e nelle isole, come atteso. Le tempeste tropicali, infatti, si originano dal mare, provocando, nella maggior parte dei casi, inondazioni.



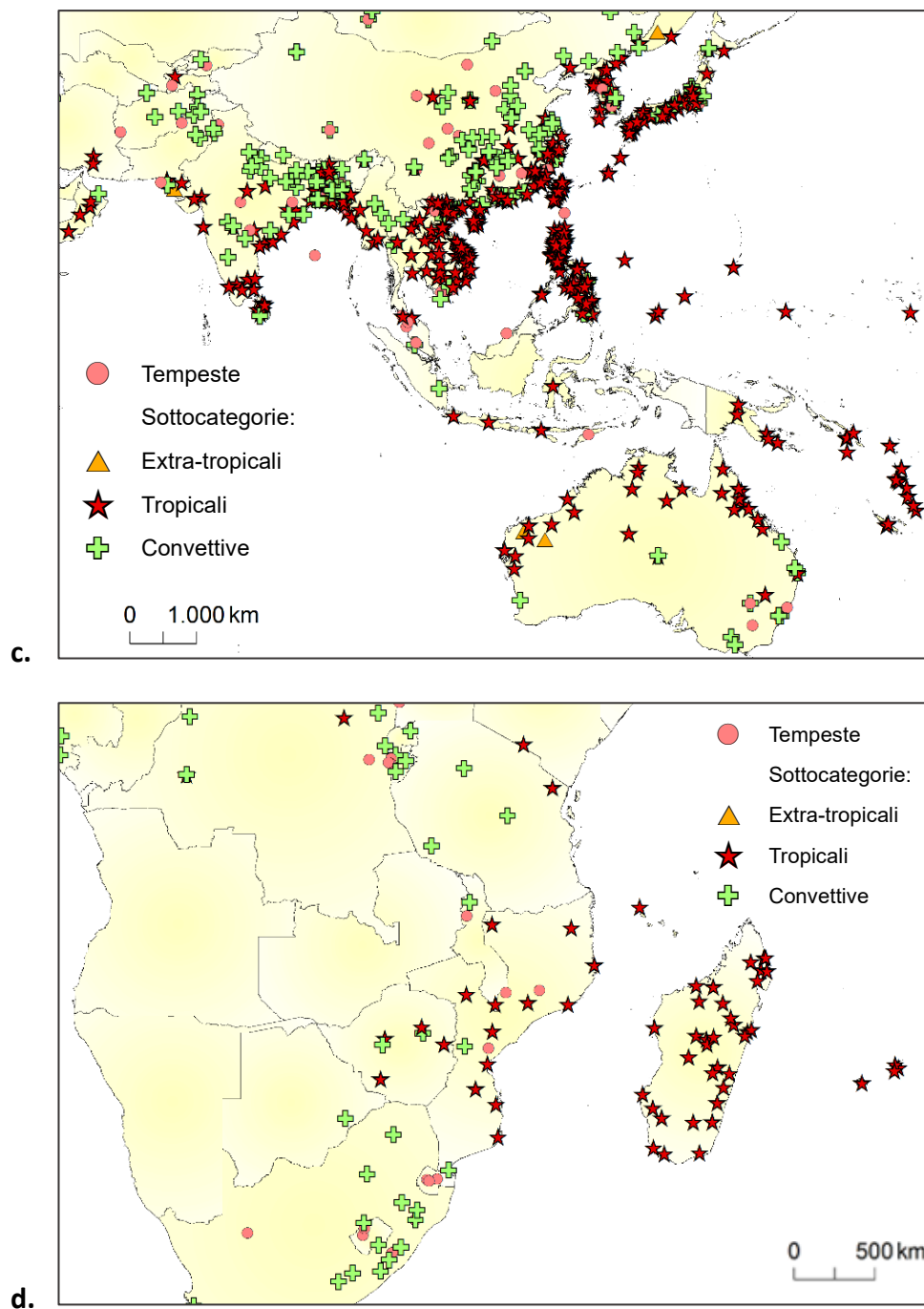


Figura 17. Dettagli delle zone maggiormente colpite da fenomeni di tempesta: **a.** tempeste in Europa; **b.** tempeste in America centro-settentrionale; **c.** tempeste nel Sud-Est asiatico e Oceania; **d.** tempeste nel Sud-Est dell’Africa. Tutte le tempeste sono suddivise per sottocategoria di evento e ricoprono l’intervallo temporale 1997-2018

Infine, le tempeste convettive rappresentano una buona porzione del numero complessivo di tempeste, con ben 642 eventi. A differenza dei precedenti casi, le tempeste convettive hanno effetti localizzati nella maggior parte dei casi, ovvero un singolo evento tendenzialmente colpisce un solo paese. Gli eventi raccolti presentano

una maggior densità in Europa, nel Sud-Est asiatico e in America Settentrionale, e sono spesso collocati nell'entroterra (Stati Uniti, Europa centrale, Cina e India) (Fig. 17a, 17b, 17c, 17d).

3.1.2 Le alluvioni

Le alluvioni totali raccolte sono 5041 e ricoprono più della metà degli eventi complessivi contenuti nel database in esame. Questi fenomeni sono spesso associati ad un evento meteorologico, come tempeste, piogge monsoniche o piogge intense, e sulla base di quest'informazione possono essere rappresentate su una mappa come quella in figura 18.

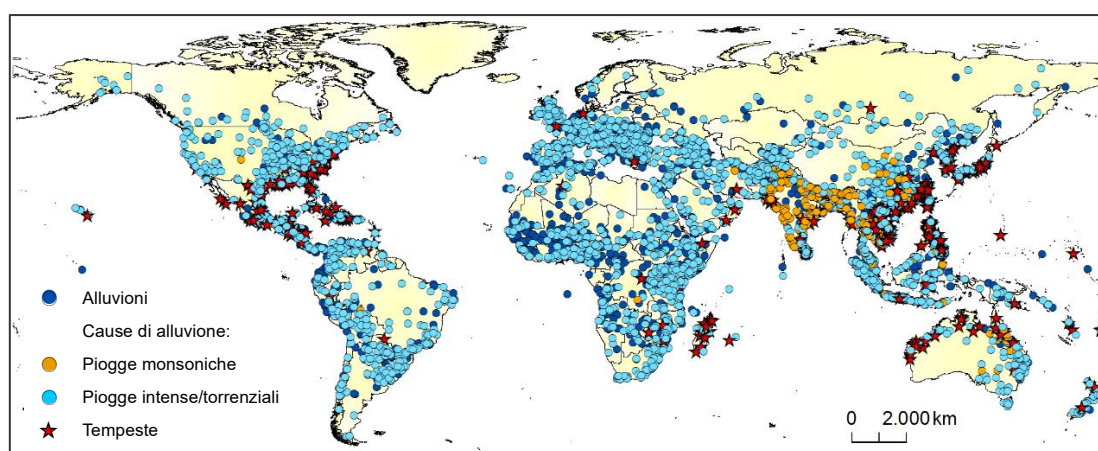


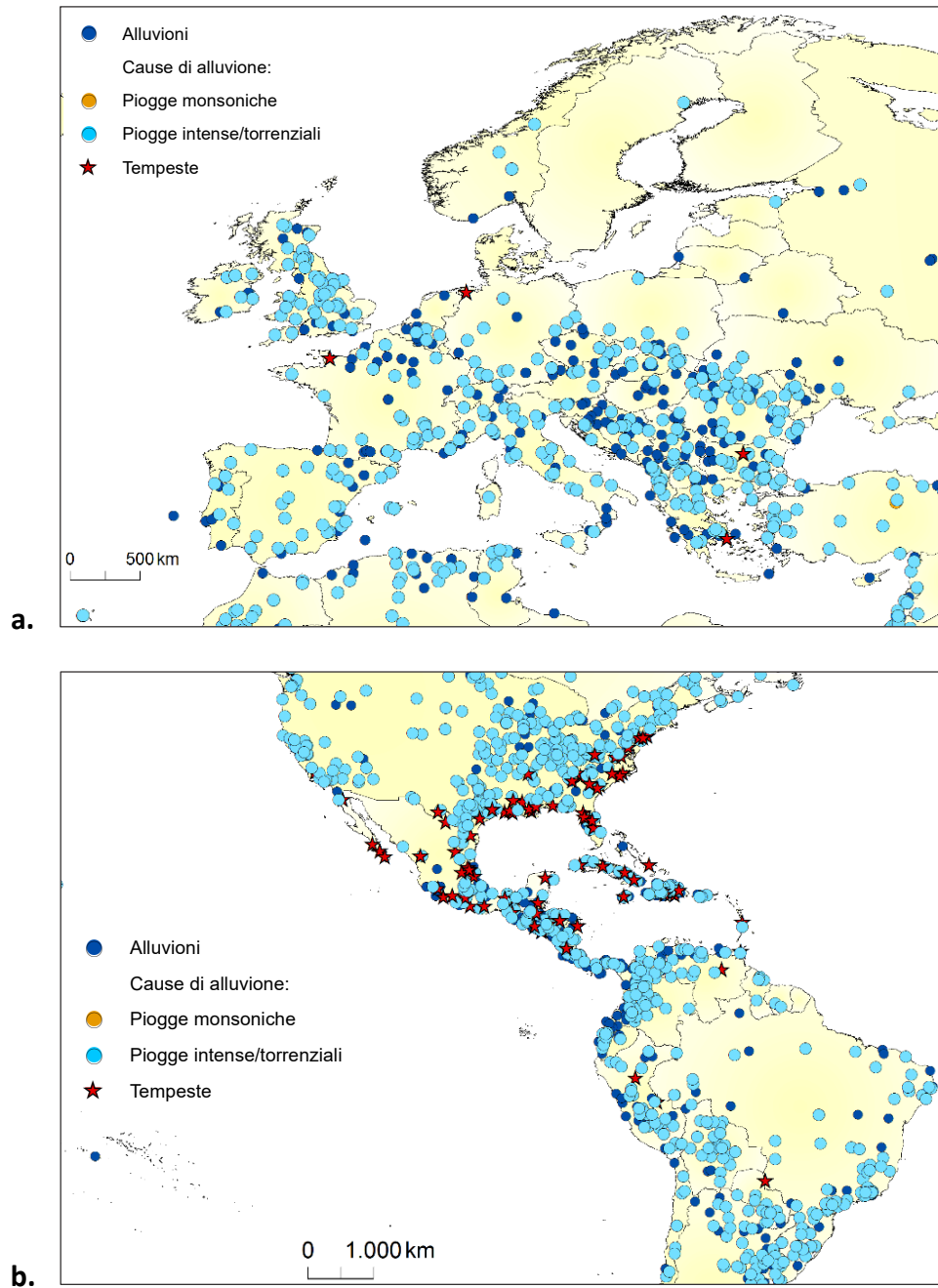
Figura 18. Mappa delle alluvioni in funzione della causa scatenante, verificatesi nell'intervallo 1997-2018

In America settentrionale, buona parte delle alluvioni si è verificata lungo la costa Est, spesso causate da uragani, così come accade negli stati centrali (Cuba, Nicaragua, Guatemala, Honduras, etc.) (Fig. 19b). L'America del Sud, invece, presenta un gran numero di alluvioni in stati come Ecuador, Colombia, Perù, Bolivia e Paraguay, escludendo quasi interamente la regione amazzonica.

In Europa, molte alluvioni si sono verificate nella penisola balcanica. Mentre in Africa, i paesi prevalentemente colpiti sono quelli più prossimi alla zona equatoriale (Kenya, Somalia, Gambia, Guinea, Benin, etc.), e gli stati lungo la costa Sud-Est, dove ricorrono spesso cicloni tropicali (Fig.19d).

L'Asia invece viene stagionalmente colpita da forti piogge monsoniche, che, talvolta, possono essere causa di alluvione. Questo tipo di fenomeno colpisce tipicamente le regioni indiane, del sud-est asiatico (Thailandia, Laos, Cambogia,

Myanmar) e della Cina meridionale, poiché determinato dal monzone, il tipico vento che soffia sull'Oceano Indiano (Fig. 19c). Altre aree fortemente colpite dalle alluvioni sono le Filippine e l'Indonesia. Infine, l'Oceania, presenta qualche fenomeno di inondazione costiera, in particolare lungo le regioni ad est, dove sono soliti verificarsi i tifoni (Fig. 19c).



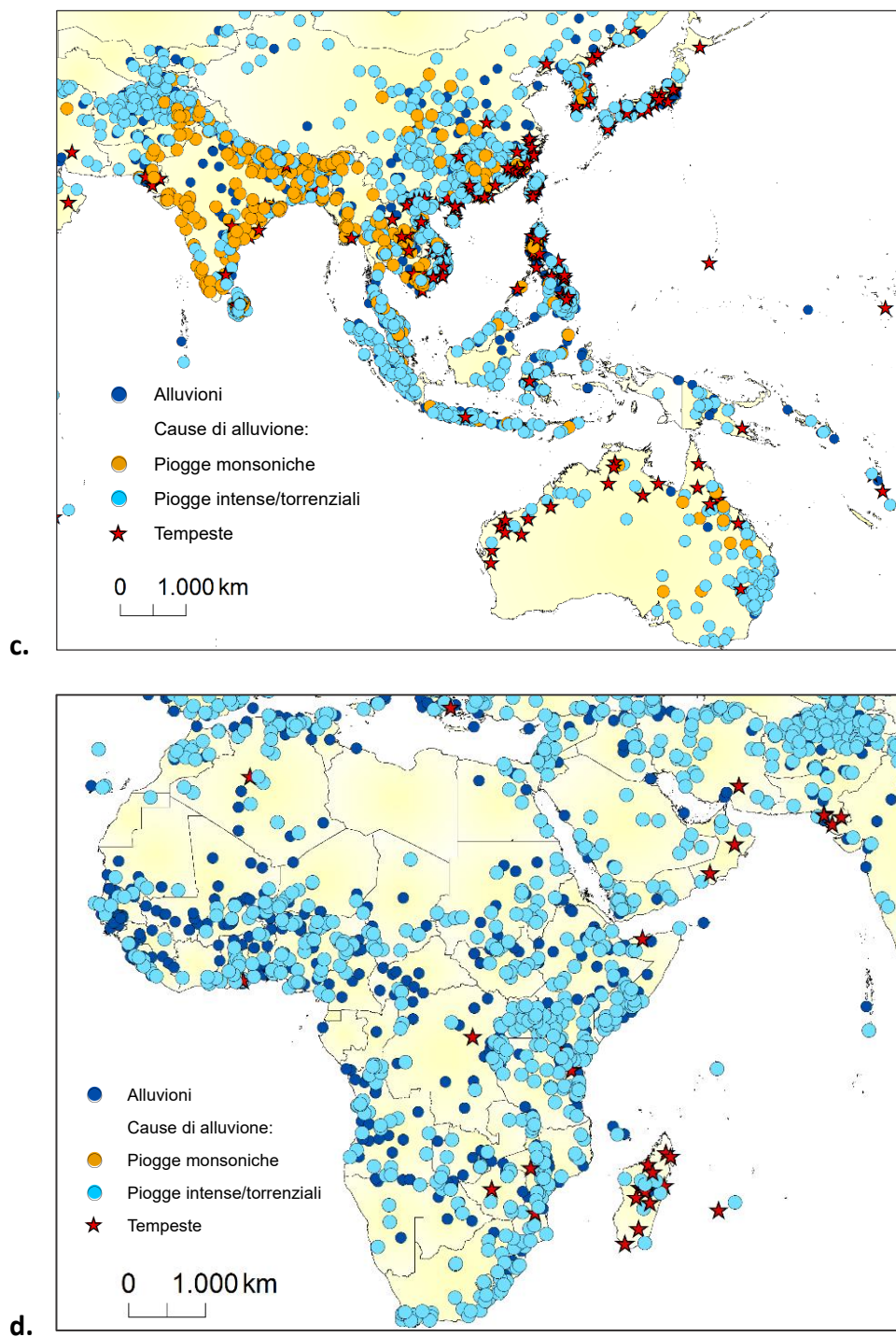


Figura 19. Dettaglio delle zone maggiormente colpite da fenomeni di alluvione: **a.** alluvioni in Europa; **b.** alluvioni nell’America settentrionale e meridionale; **c.** alluvioni nel Sud-Est Asiatico e in Oceania; **d.** alluvioni in Africa. Le alluvioni sono rappresentate in funzione della causa scatenante e ricoprono la serie temporale 1997-2018

3.1.3 I movimenti di versante

I movimenti di versante ricoprono solo il 6% dei disastri totali raccolti, di cui il 79% sono frane, l’8% colate di fango e il 13% valanghe (Fig. 20).

I fenomeni di dissesto idrogeologico come frane e colate di fango avvengono prevalentemente lungo la Cordigliera delle Ande, in America meridionale (Fig. 21a), in corrispondenza della Catena Himalayana (Nepal, Bhutan) e sull'Isola di Giava (Indonesia) (Fig.21c). Le valanghe, con innesco di tipo idrologico, vengono registrate invece in Italia, lungo la Catena Alpina e quella Appenninica (Fig. 21b), in Tagikistan e in Afghanistan (Fig.21c).

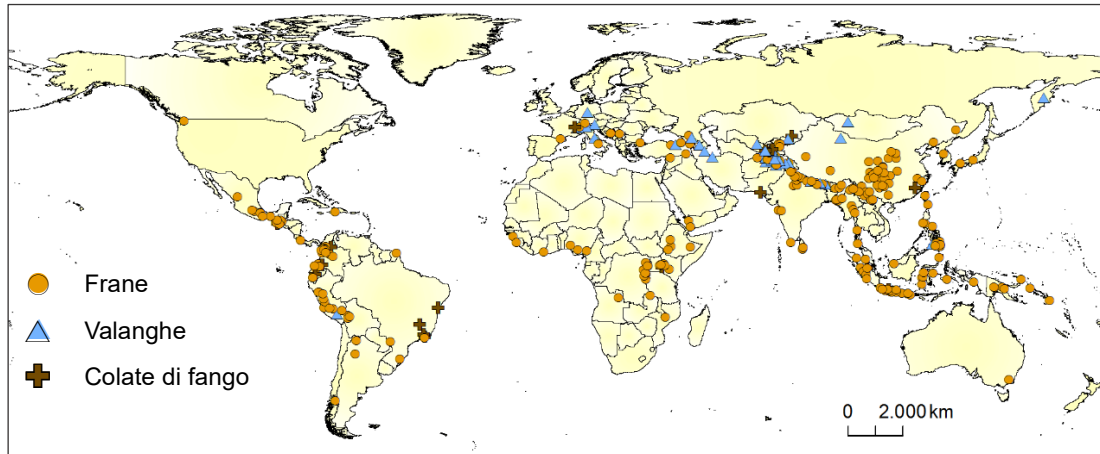
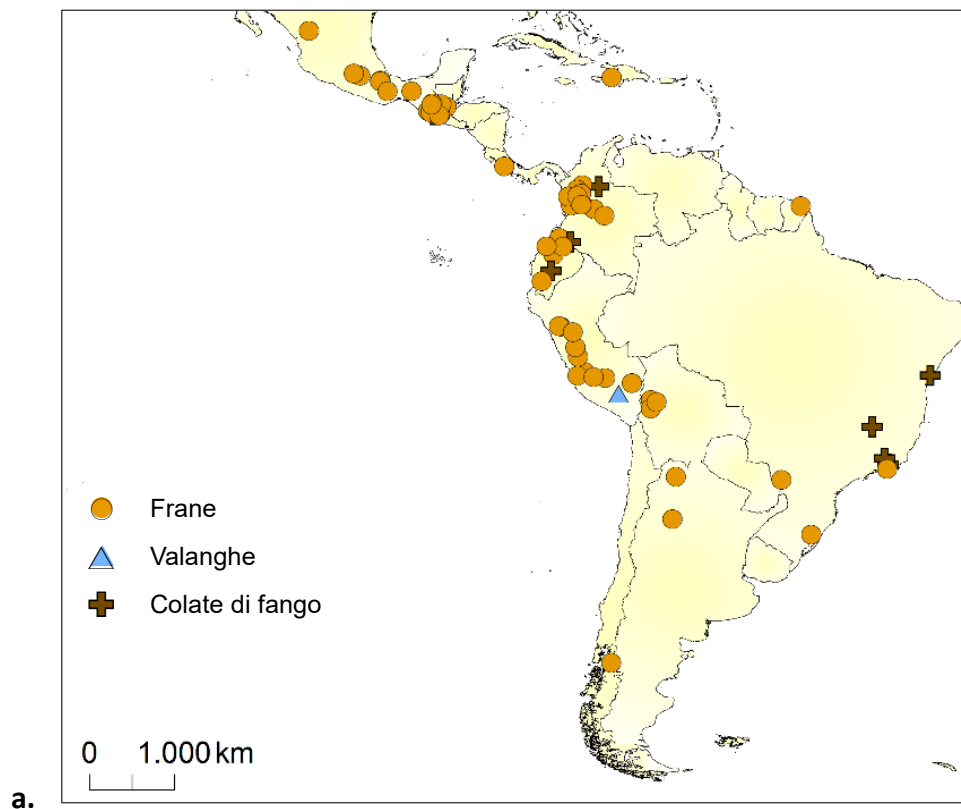


Figura 20. Mappa dei movimenti di versante suddivisi per sottocategoria, verificatisi nell'intervallo 1997-2018



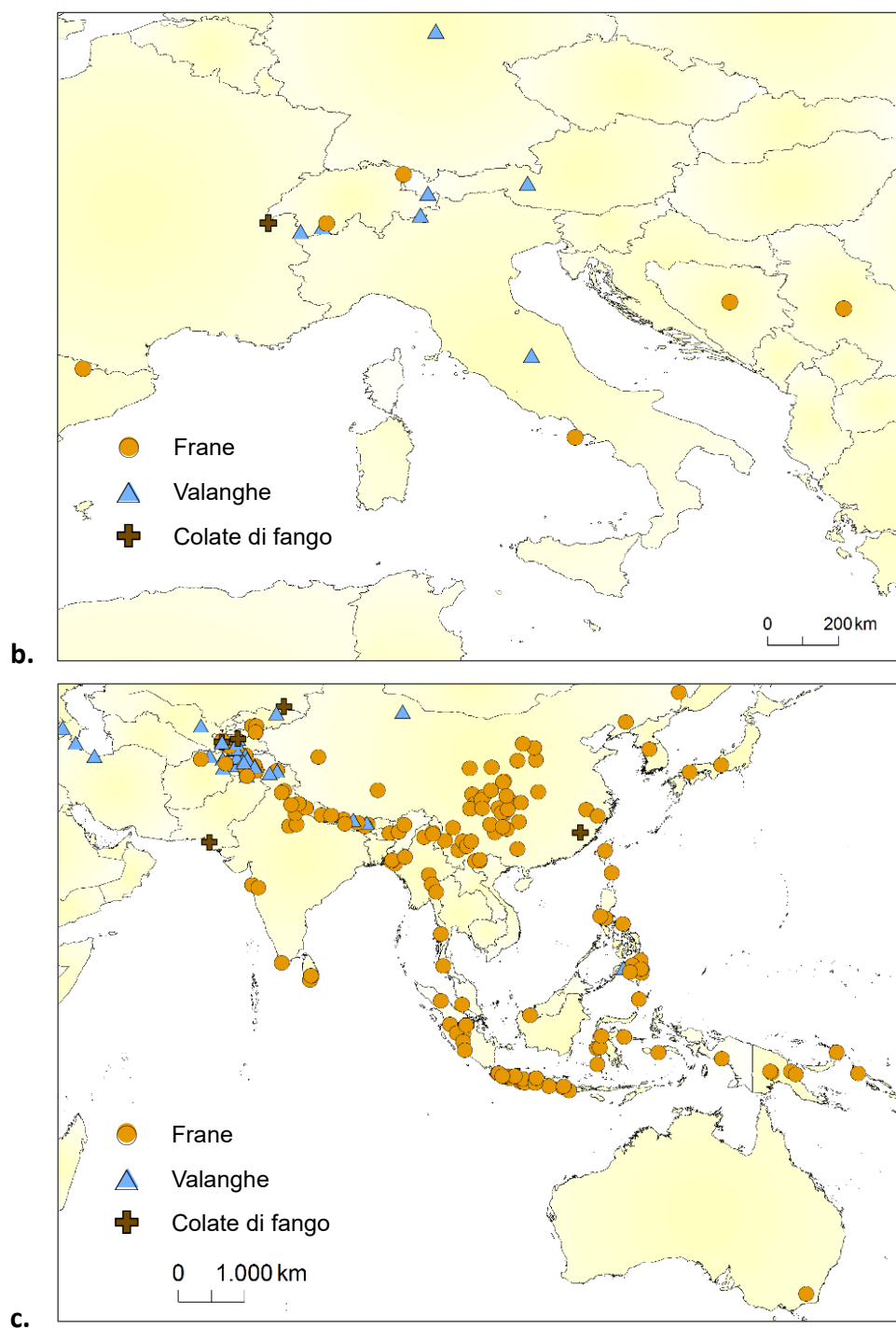


Figura 21. Dettaglio delle zone maggiormente colpite da movimenti di versante: **a.** movimenti di versante in America Latina; **b.** movimenti di versante in Europa; **c.** movimenti di versante nel Sud-Est asiatico. I movimenti di versante sono rappresentati per sottocategoria e ricoprono la serie temporale 1997-2018

3.1.4 I terremoti

Analogamente a quanto fatto per gli eventi idro-meteorologici, anche la distribuzione spaziale dei terremoti registrati da *EM-DAT*, tra il 1997 ed il 2018, è stata analizzata (Fig.

22). Dall'osservazione dai dettagli riportati in Figura 23, è possibile riscontrare che questi fenomeni, analogamente alle catastrofi idro-meteorologiche, sono localizzati in zone specifiche. In particolar modo, si distribuiscono in aree particolarmente popolate, come quelle dell'Asia (Fig. 23c) e dell'America centrale (Fig. 23a).

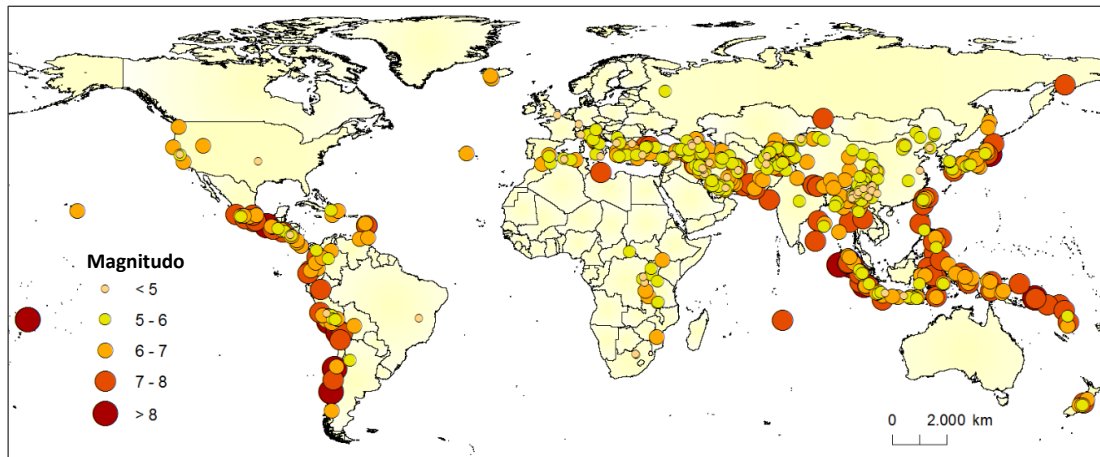
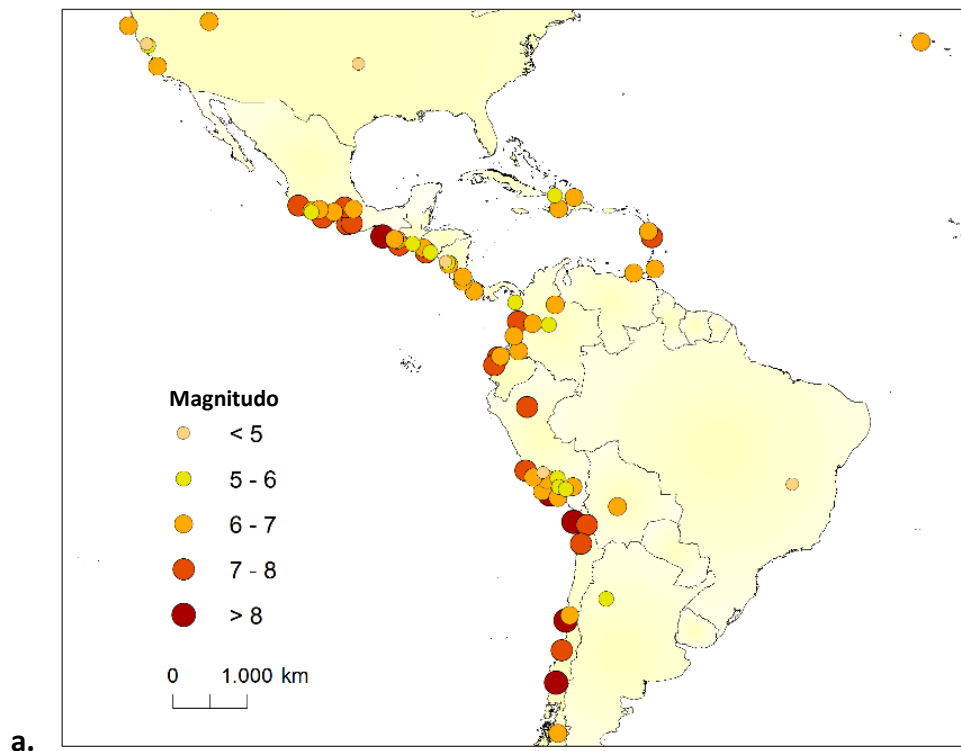


Figura 22. Mappa dei terremoti in funzione della magnitudo (scala Richter), verificatisi nell'intervallo 1997-2018



a.

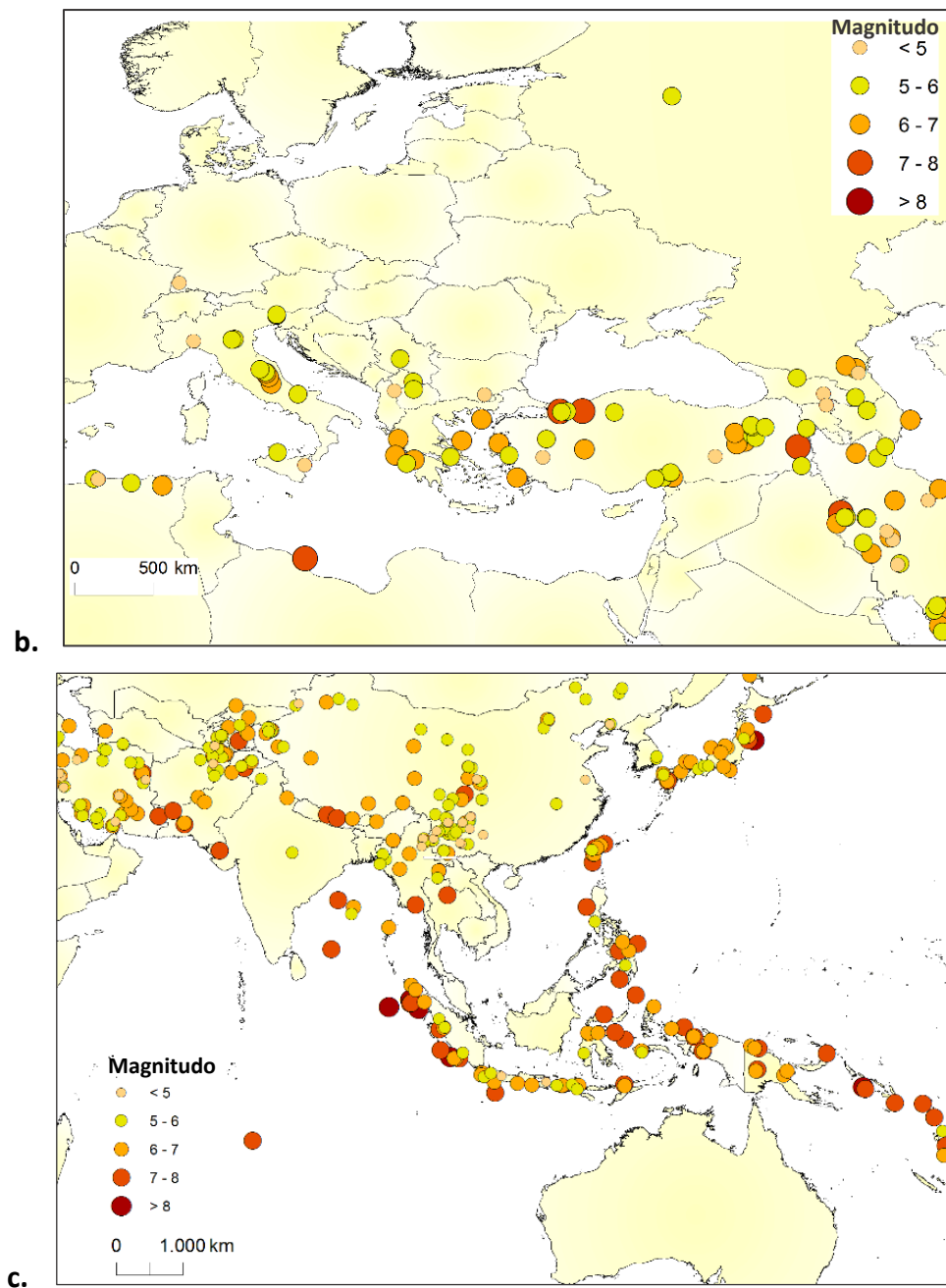


Figura 23. Dettaglio delle zone maggiormente colpite da terremoti: **a.** terremoti nell’America latina; **b.** terremoti nell’Europa meridionale; **c.** terremoti nel Sud-est asiatico. I terremoti sono riportati in funzione della magnitudo (scala Richter) e ricoprono la serie temporale 1997-2018

3.2 Distribuzione spaziale degli effetti dei disastri: numero di morti

Per questo tipo di rappresentazione si è scelto di classificare ogni paese in funzione della somma del numero di vittime provocate da fenomeni idro-meteorologici, nell’intervallo temporale considerato (1997 – 2018) (Fig. 24). In particolare, sono state considerate sei

classi.

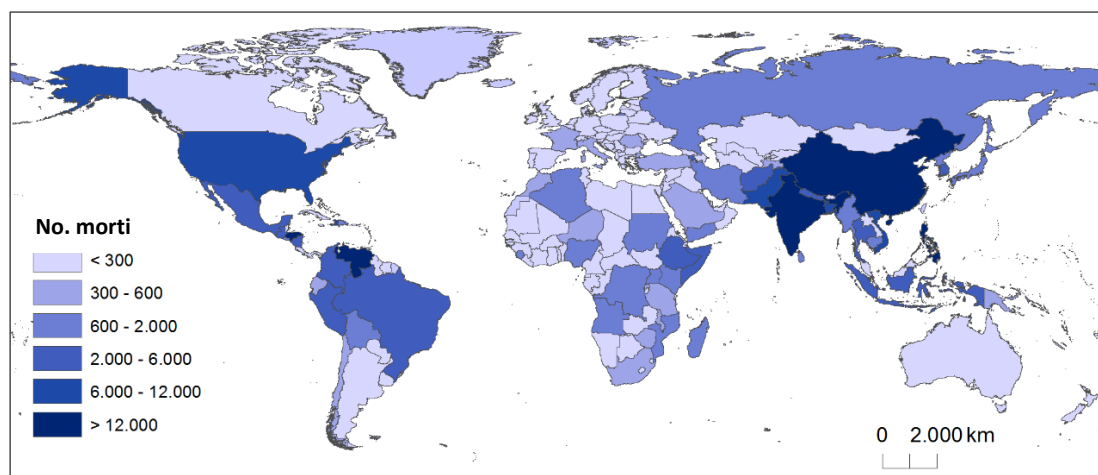


Figura 24. Mappa del numero totale di morti registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

Le zone con maggiori perdite, in termini di vite umane, possono essere raggruppate in due grandi aree. La prima è quella dell'America Centro-settentrionale (Fig. 25), dove gli Stati Uniti, l'Honduras, il Venezuela e Haiti si collocano in una classe medio-alta. Il fatto che valori come quelli degli USA siano comparabili con il numero di vittime registrato nei piccoli paesi del Centro America, sta ad indicare che questi stati sono particolarmente soggetti ad eventi estremi. Infatti, come precedentemente osservato, la Costa Est degli Stati Uniti e l'America centrale sono spesso soggetti ad uragani.

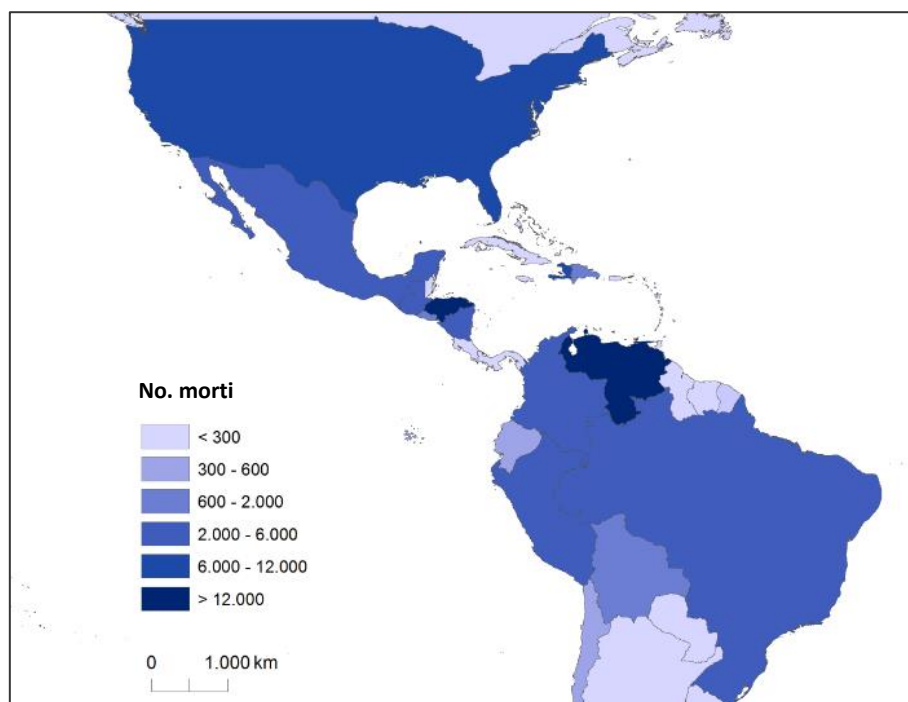


Figura 25. Dettaglio dei paesi dell'America con il maggior numero di morti registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

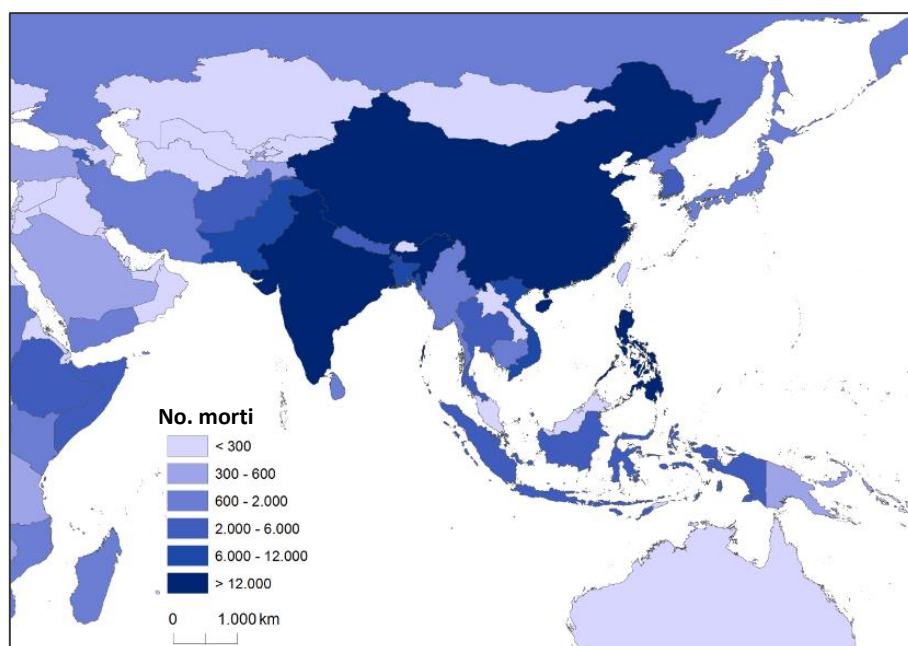


Figura 26. Dettaglio dei paesi asiatici con il maggior numero di morti registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

Ugualmente, i paesi dell'Asia meridionale, come la Cina, l'India, le Filippine ed il Vietnam, rientrano nella classe di mortalità più alta (Fig. 26). Si tenga in considerazione, che questi ultimi sono caratterizzati da una densità di popolazione piuttosto elevata (tra le 100 e le 400 persone/km²), ma soprattutto che sono frequentemente soggetti a tifoni, piogge monsoniche e a dissesti idrogeologici.

3.3 Distribuzione spaziale degli effetti dei disastri: numero di persone coinvolte

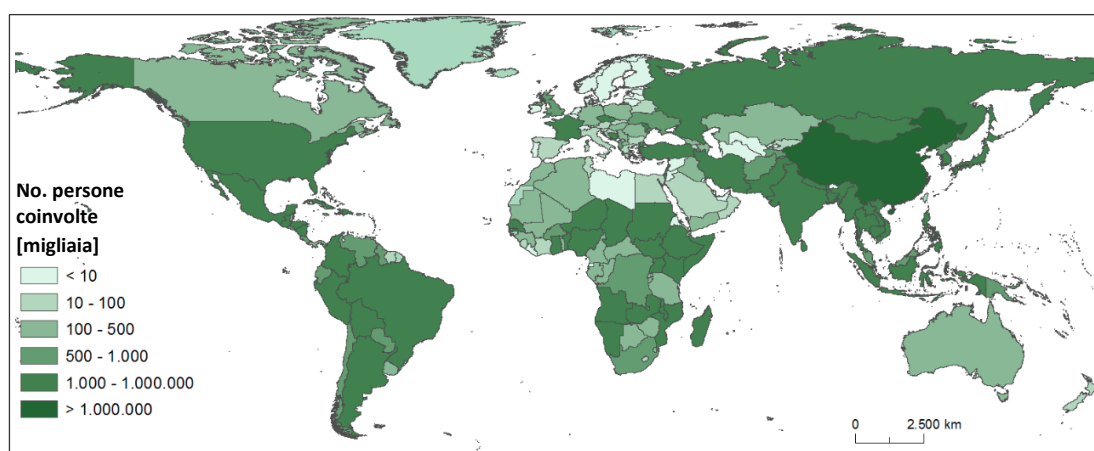


Figura 27. Mappa del numero totale di persone coinvolte (espresso in migliaia di persone) registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

Per gli eventi raccolti sono disponibili anche dati relativi al numero di persone ferite e

sfollate per effetto di tali eventi. Il numero di persone coinvolte per ciascuna nazione, relativo all'intervallo temporale in esame (1997 – 2018) e classificato in sei classi, è rappresentato in Figura 27.

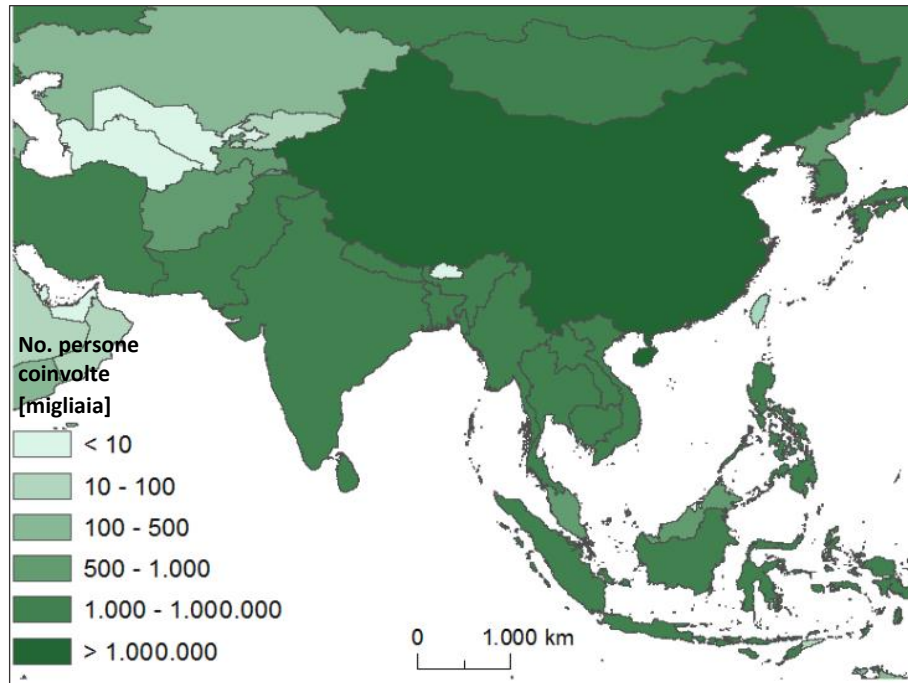


Figura 28. Dettaglio dei paesi dell'Asia con il maggior numero di persone coinvolte (espresso in migliaia di persone) registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

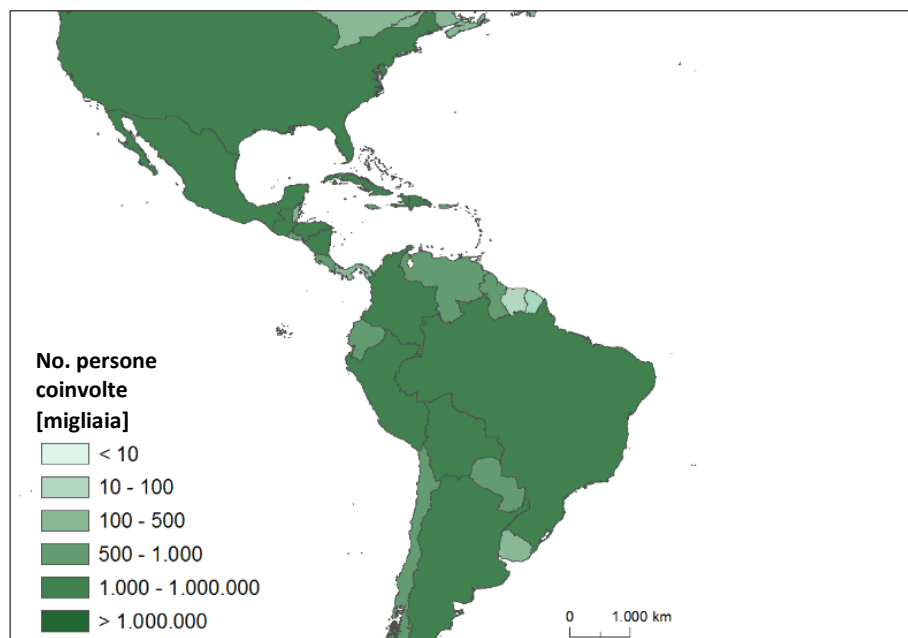


Figura 29. Dettaglio dei paesi dell'America con il maggior numero di persone coinvolte (espresso in migliaia di persone) registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

La distribuzione risulta più uniforme rispetto a quella relativa al numero di vittime. È

possibile osservare che alcuni paesi dell’Africa centrale e meridionale sono caratterizzati da valori che superano il milione di persone. L’Europa, nel complesso, non mostra valori elevati, contrariamente all’America e all’Asia, dove, ancora una volta, si distribuiscono i paesi delle classi più alte (Fig. 28, 29). In particolare, la Cina è l’unica nazione che supera valori dell’ordine dei miliardi.

3.4 Distribuzione spaziale degli effetti dei disastri: danni economici

Una terza tipologia di impatto degli eventi esaminati presa in considerazione è il danno economico, ovvero le perdite economiche subite in seguito ad una catastrofe. Vengono definite sei classi di danno, da una somma delle perdite economiche riportate tra il 1997 ed il 2018, per ciascun paese. Quest’operazione consente di ottenere una rappresentazione globale (Fig. 30), dove si osserva che le zone economicamente più colpite risultano localizzate in regioni specifiche.

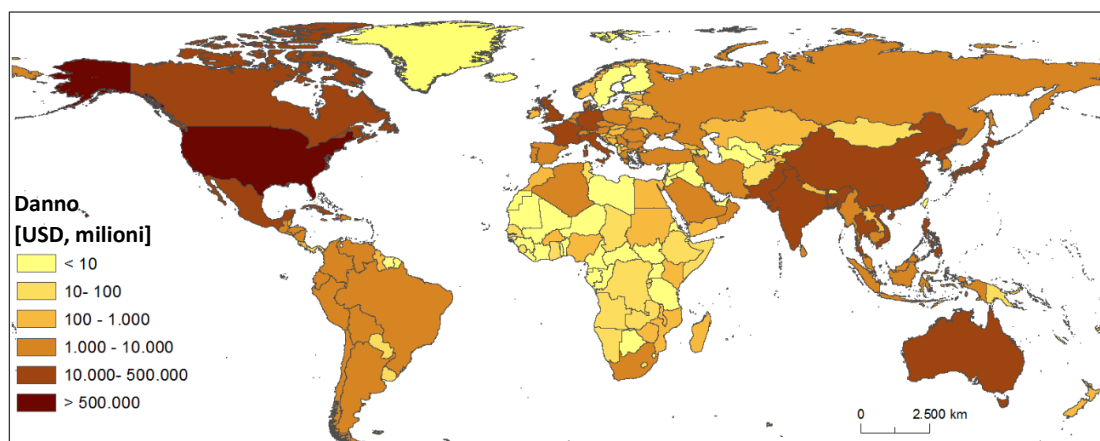


Figura 30. Mappa del danno totale (USD, milioni) registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

In prima analisi, risulta che per gran parte dei paesi africani si osservano classi di danno relativamente basse. Mentre, a presentare i costi maggiori in Europa, sono Francia, Italia, Germania e Regno Unito (Fig. 31). Contrariamente, come si può notare in Figura 32, gli Stati Uniti sono l’unica nazione ad avere un valore del danno complessivo superiore a 500 miliardi di dollari. Tuttavia, anche Canada e Messico riportano perdite economiche non trascurabili. Tra i paesi del continente asiatico (Fig. 33) quelli con maggiori perdite sono l’India, la Thailandia, il Pakistan, la Cina ed il Giappone, ovvero le

aree dove in genere si verificano le tempeste tropicali. Infine, l’Australia è l’unico paese dell’Oceania ad aver subito danni ingenti.

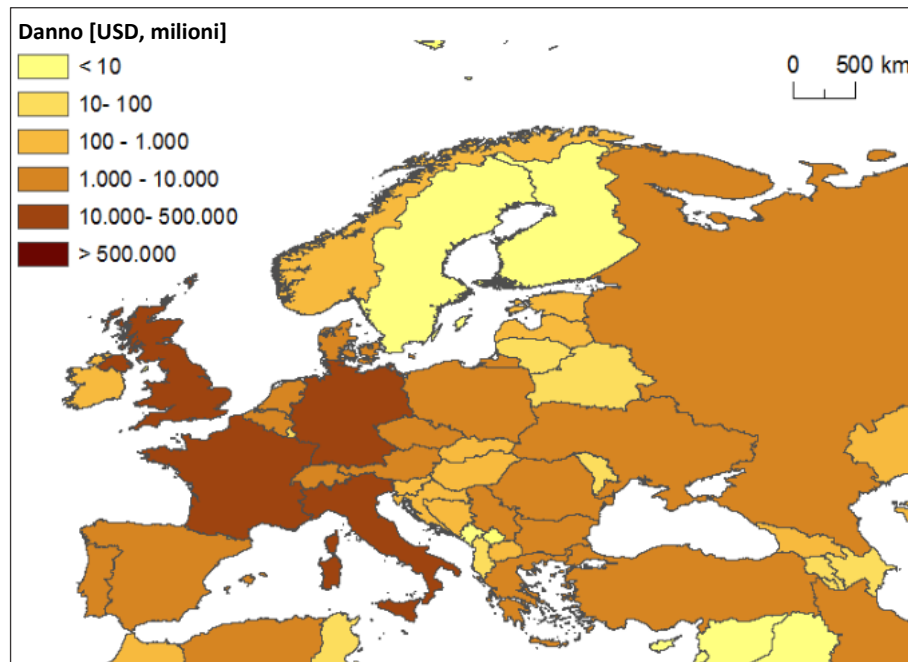


Figura 31. Dettaglio dei paesi europei con il maggior danno [USD, milioni] registrato per fenomeni idro-meteorologici, tra il 1997 ed il 2018

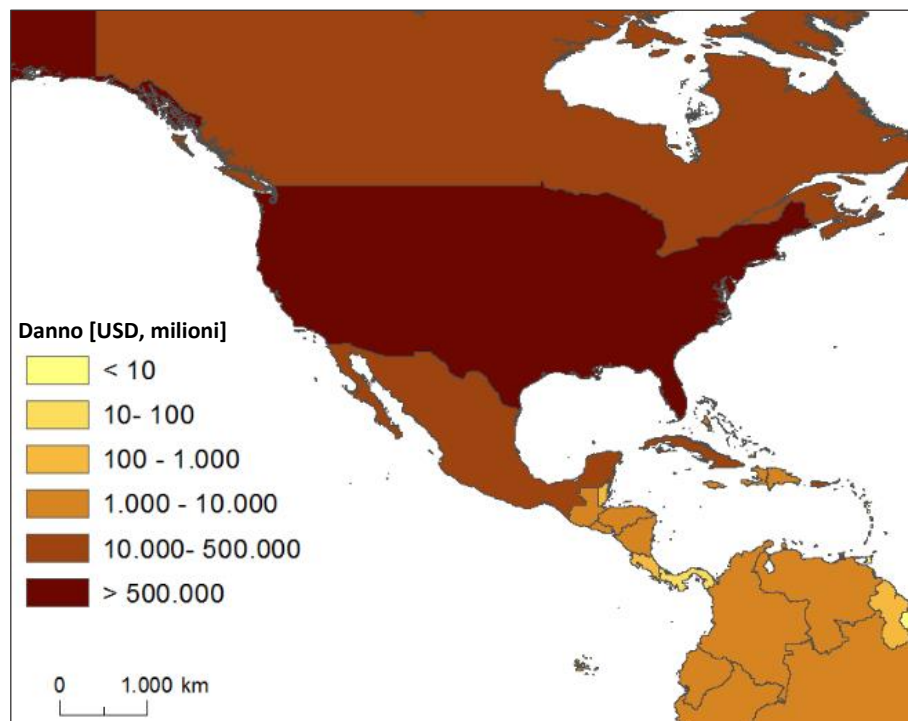


Figura 32. Dettaglio dei paesi dell’America con il maggior danno [USD, milioni] registrato, tra il 1997 ed il 2018

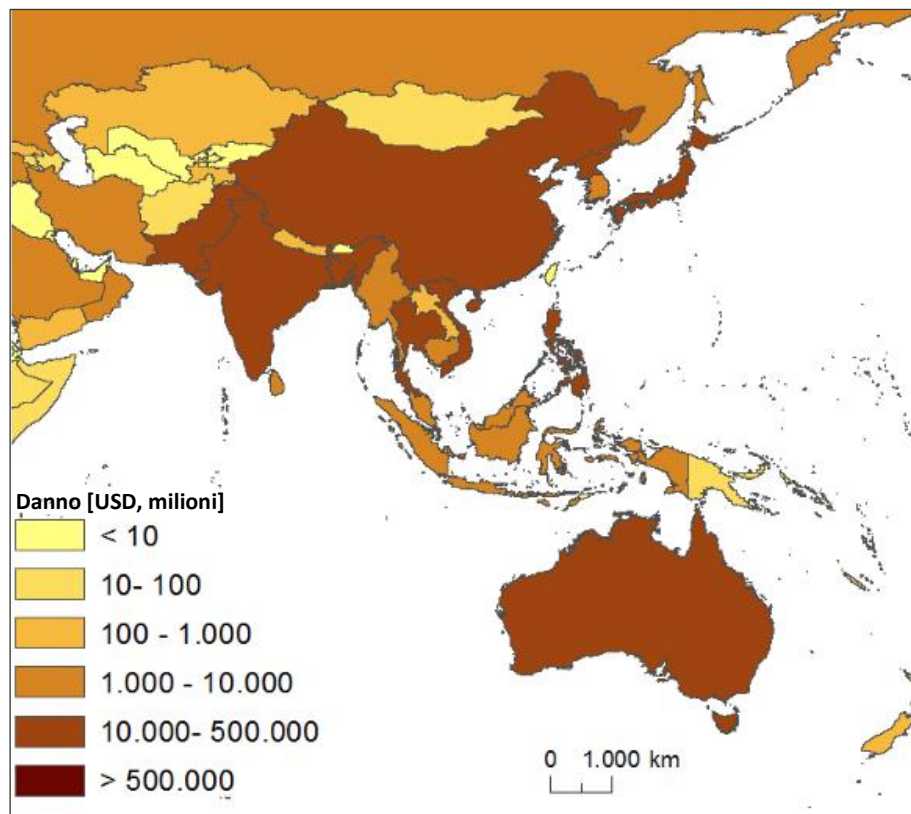


Figura 33. Dettaglio dei paesi dell'Asia che hanno subito maggiori danni [USD, milioni], tra il 1997 ed il 2018

3.5 Relazione tra popolazione, eventi e superficie

Si è cercato infine di realizzare dei prodotti cartografici di sintesi, che mostrassero la distribuzione spaziale di variabili complesse, misurate e disponibili su base nazionale.

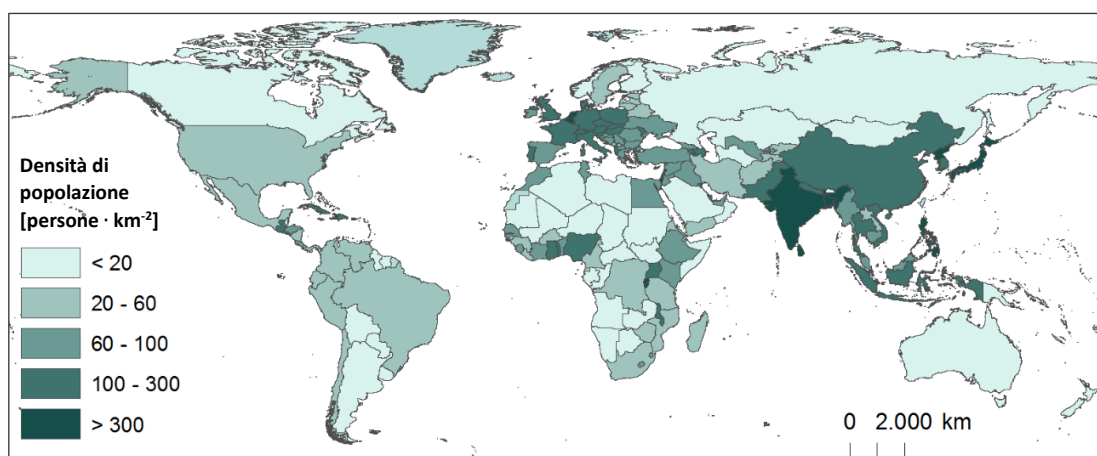


Figura 34. Mappa delle classi di densità di popolazione, mediata tra il 1997 ed il 2018

La prima è la densità di popolazione, definita come il numero di persone per km² di superficie terrestre abitabile (Fig. 34). In Figura 34 è possibile osservare che le regioni

più densamente popolate sono quelle del Sud-Est asiatico e dell'Europa; pochi paesi dell'Africa e dell'America Centrale presentano valori altrettanto alti.

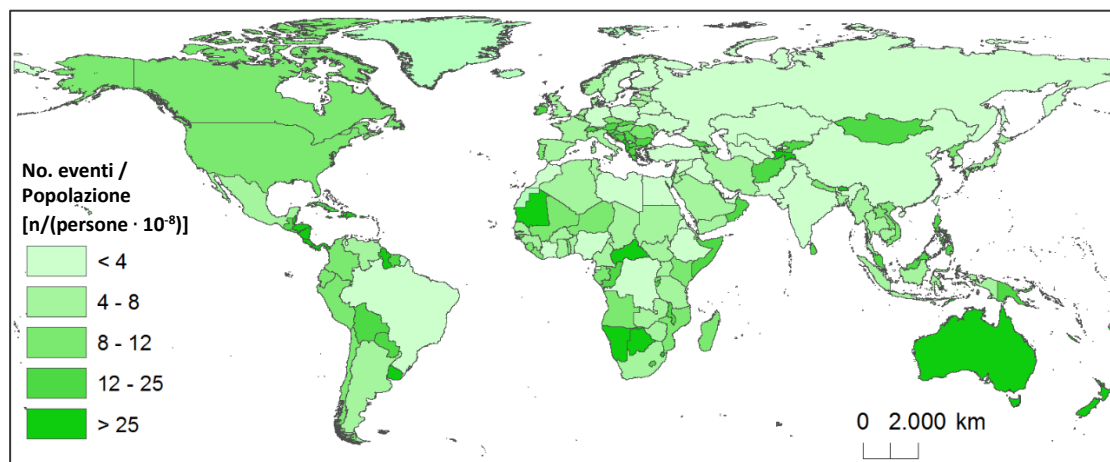


Figura 35. Mappa delle classi di densità degli eventi per popolazione, espressa in centinaia di milioni di persone ($\times 10^{-8}$), mediata tra il 1997 ed il 2018

La seconda è la densità degli eventi, definita come il valore medio, sull'intervallo considerato (1997 – 2018), del rapporto annuo tra il numero di eventi e la popolazione di quello stesso anno, espressa in centinaia di milioni di persone (Fig. 35).

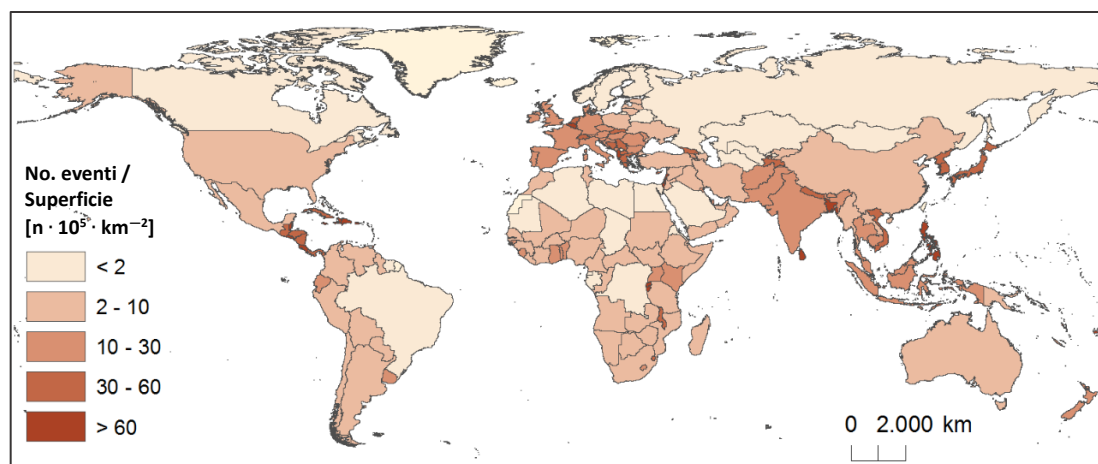
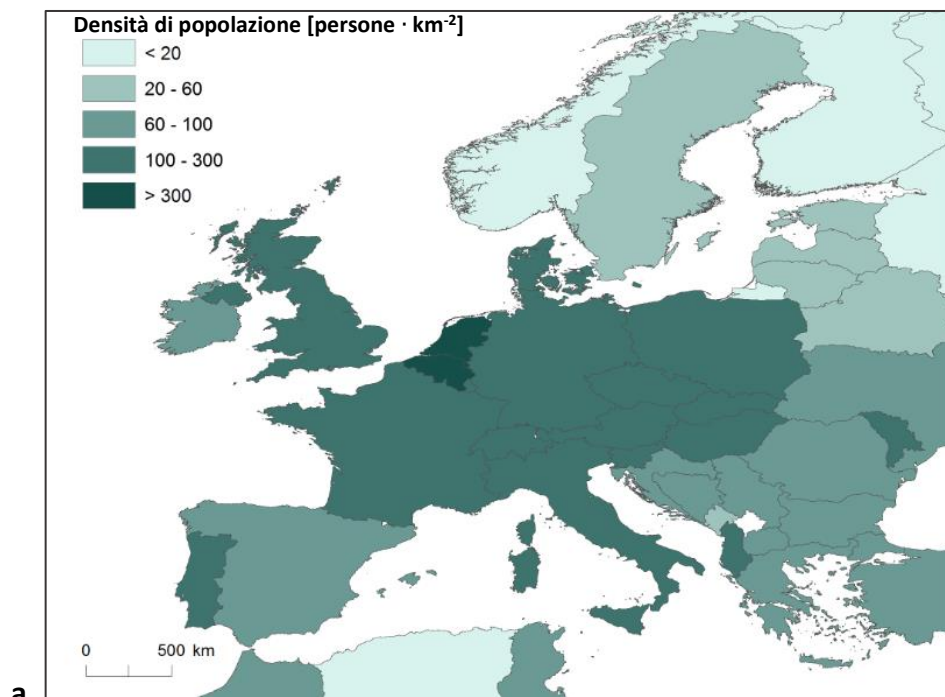


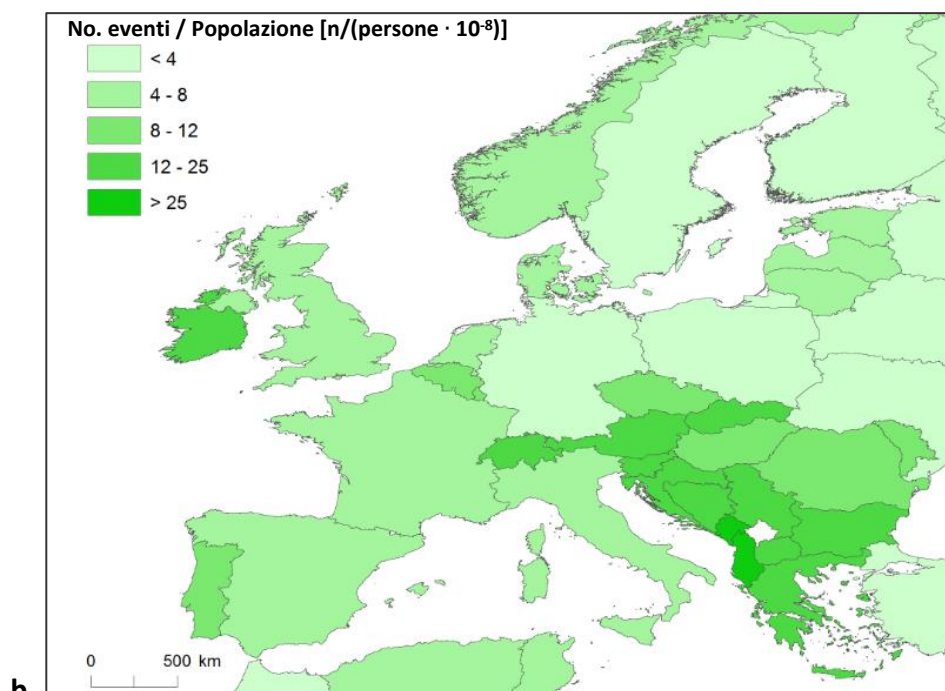
Figura 36. Mappa delle classi di densità degli eventi per superficie, espressa in centinaia di migliaia di km² ($\times 10^{-5}$), mediata tra il 1997 ed il 2018

Infine, la terza è la densità degli eventi per superficie, espressa in centinaia di migliaia di km² (Fig. 36). In Figura 36 è possibile osservare che i paesi con una maggior concentrazione di eventi sono quelli europei, dell'Asia meridionale e dell'America centrale.

Secondo quanto mostrato nelle figure, l'Europa presenta valori di densità di popolazione piuttosto alti, in particolare nei paesi centrali (Francia, Italia, Germania, Austria, Regno unito, Paesi Bassi, Belgio, etc.) (Fig. 37a), dove, tuttavia, la mortalità dovuta agli eventi catastrofici è bassa, ma, al contempo le perdite economiche assumono valori considerevoli. La penisola balcanica presenta una densità di eventi maggiore e infatti è qui che si concentra il maggior numero di alluvioni (Grecia, Albania, Bosnia, Serbia, etc.) (Fig. 37b, 37c).



a.



b.

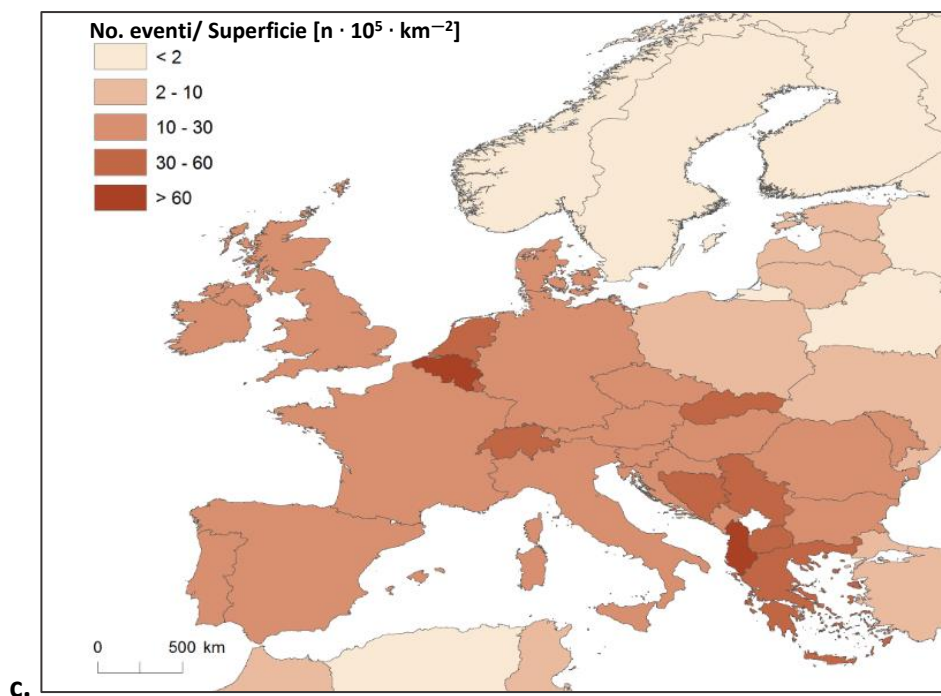
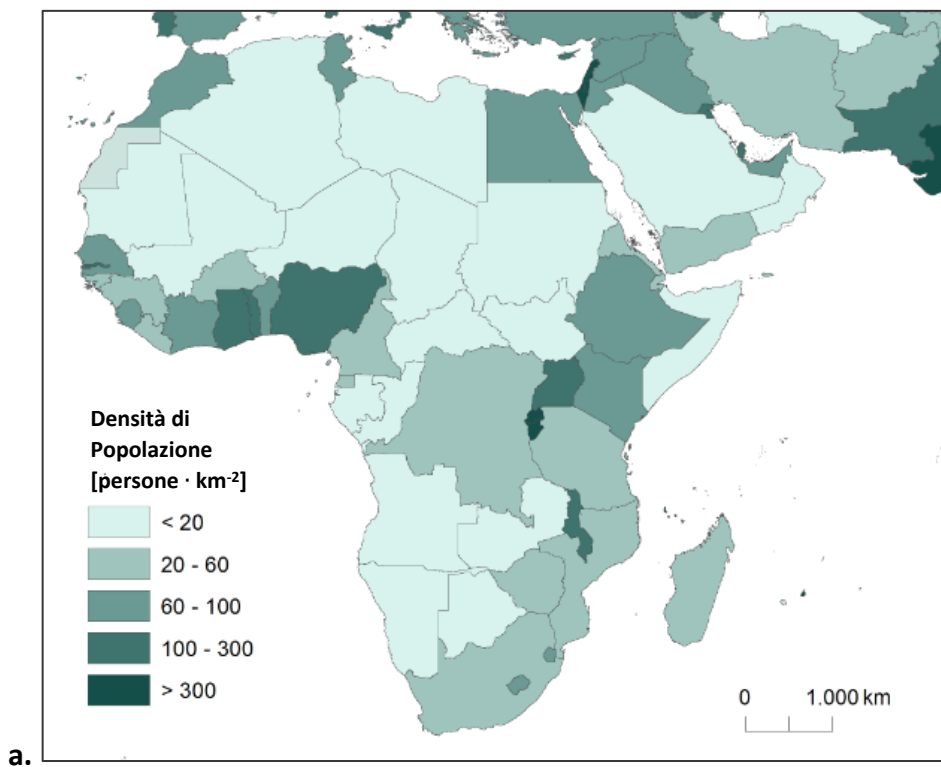


Figura 37. Dettaglio sugli stati europei: **a.** densità di popolazione; **b.** densità degli eventi sulla popolazione espressa in centinaia di milioni di persone; **c.** densità degli eventi sulla superficie, espressa in centinaia di migliaia di km^2 . Tutte le grandezze sono delle medie dei valori compresi tra il 1997 ed il 2018

Alcuni paesi africani, insieme a quelli dell'Oceania, presentano la minor densità di popolazione (Fig. 38a).



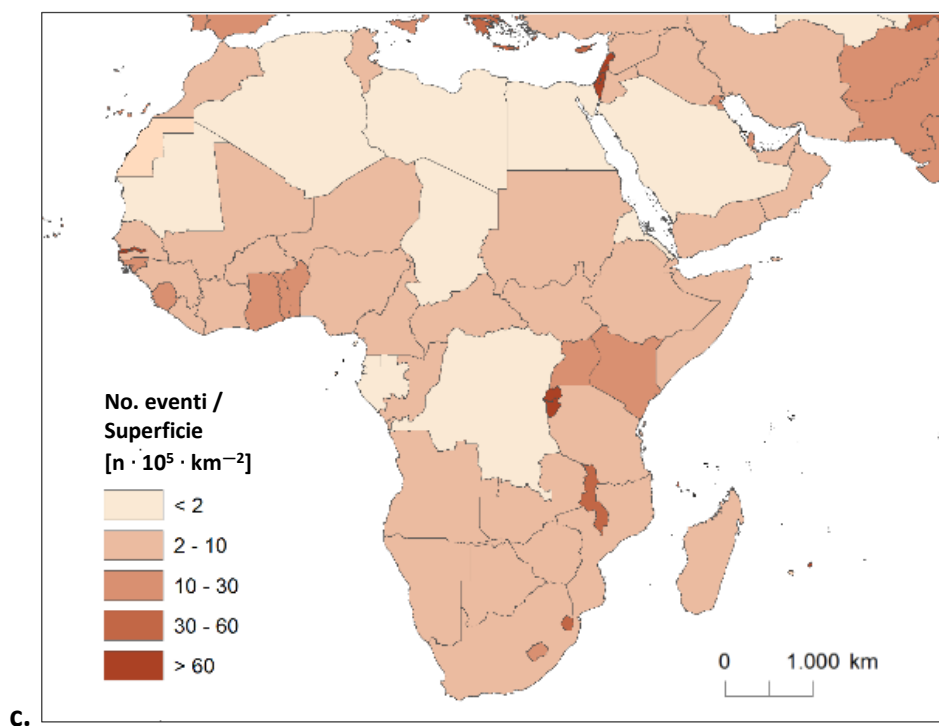
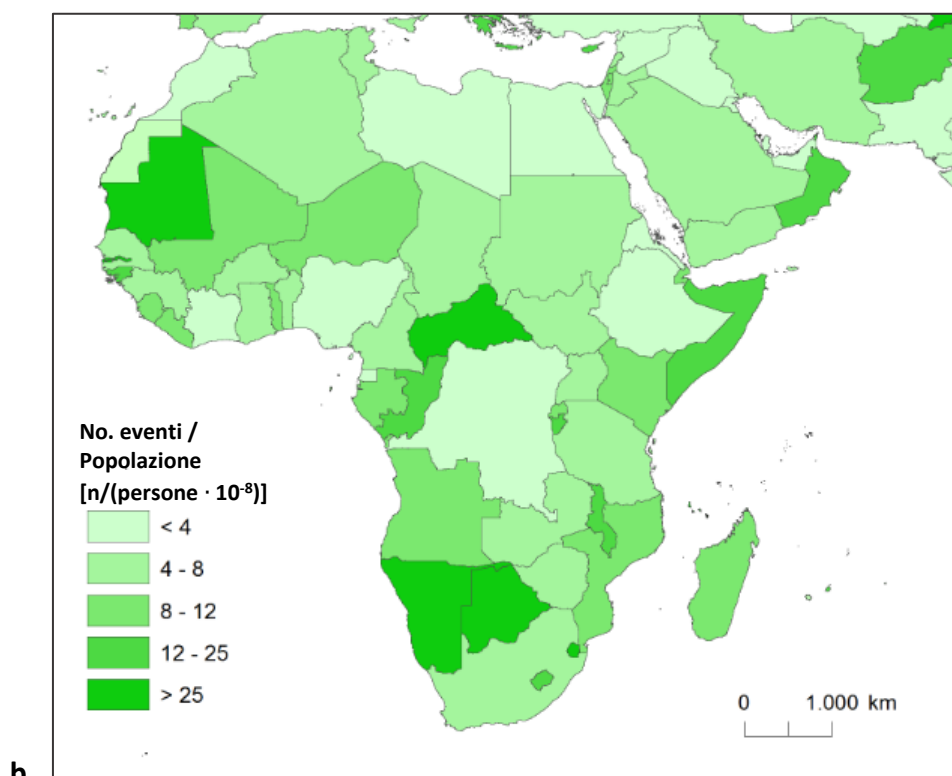


Figura 38. Dettaglio sugli stati africani: **a.** densità di popolazione; **b.** densità degli eventi sulla popolazione espressa in centinaia di milioni di persone; **c.** la densità degli eventi sulla superficie, espressa in centinaia di migliaia di km^2 . Tutte le grandezze sono delle medie dei valori compresi tra il 1997 ed il 2018

Per la maggior parte di queste nazioni, infatti, il numero totale di vittime è ridotto; fanno però eccezione i paesi situati lungo la costa Sud-Est, dove si verifica il maggior numero di cicloni tropicali. Nelle regioni centrali e meridionali si verificano invece, frequentemente, fenomeni di alluvione che comportano un aumentato numero di feriti e sfollati. In particolar modo i fenomeni si localizzano in Namibia, Botswana, Repubblica Centrafricana, Somalia, Repubblica Democratica del Congo e Mauritania (Fig. 38b).

L'Oceania ha una densità di popolazione bassa, tuttavia, in Australia e nelle isole la densità degli eventi ha valori importanti (Fig. 40b), tali aree sono infatti spesso soggette a tifoni.

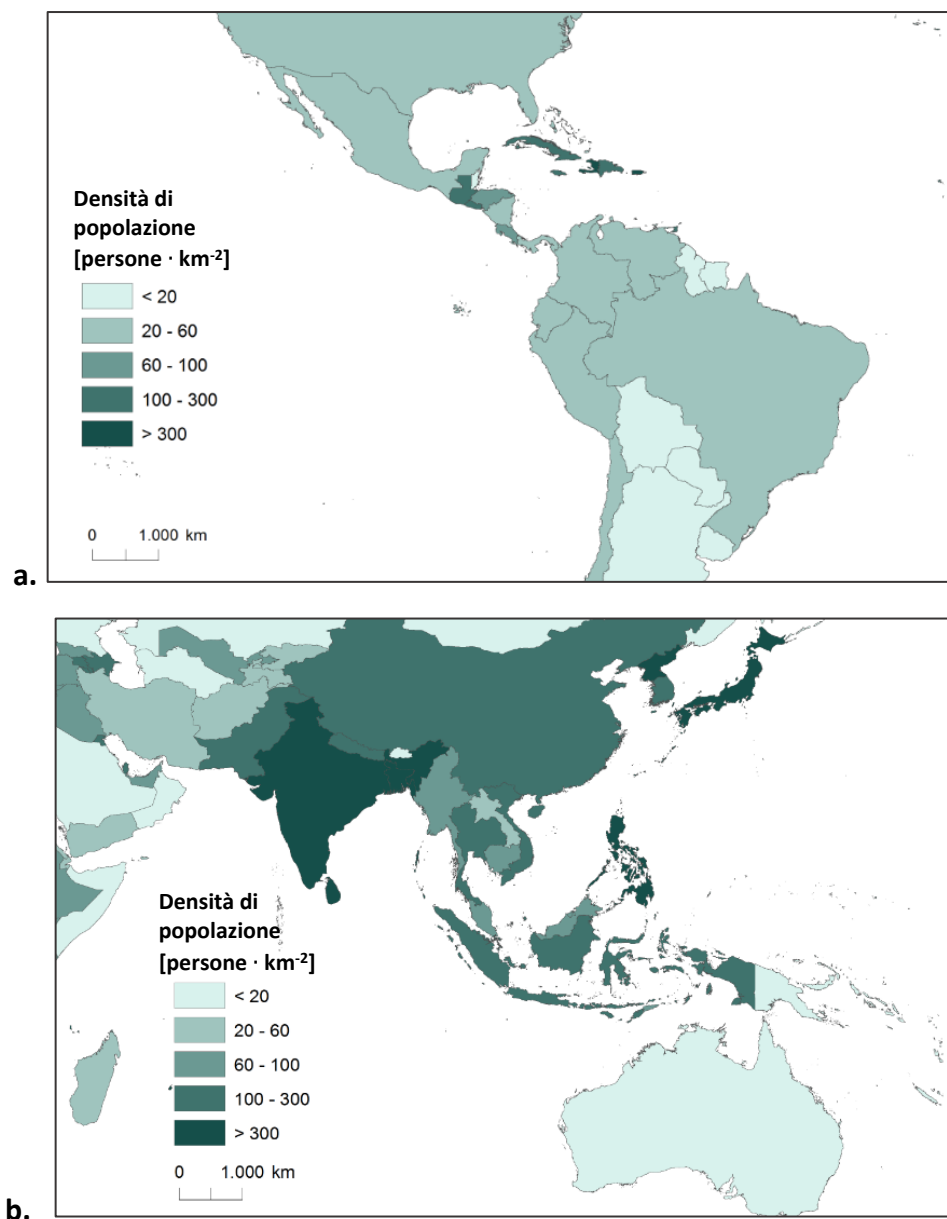


Figura 39. Mappe di confronto tra densità di popolazione: **a.** densità di popolazione in America; **b.** densità di popolazione in Asia. Le grandezze sono delle medie dei valori compresi tra il 1997 ed il 2018

L'America e l'Asia mostrano, nell'intervallo considerato, simili valori di mortalità e danno conseguenti agli eventi catastrofici occorsi. Nel continente americano, sono però presenti stati di grande estensione e per questo motivo, in generale, la densità di popolazione è piuttosto bassa, basti pensare agli Stati Uniti, al Canada o al Brasile (Fig. 39a). Al contrario, l'Asia è il continente più popolato, e, in particolare nella regione a Sud-Est, i paesi presentano valori di densità demografica elevati (Fig. 39b).

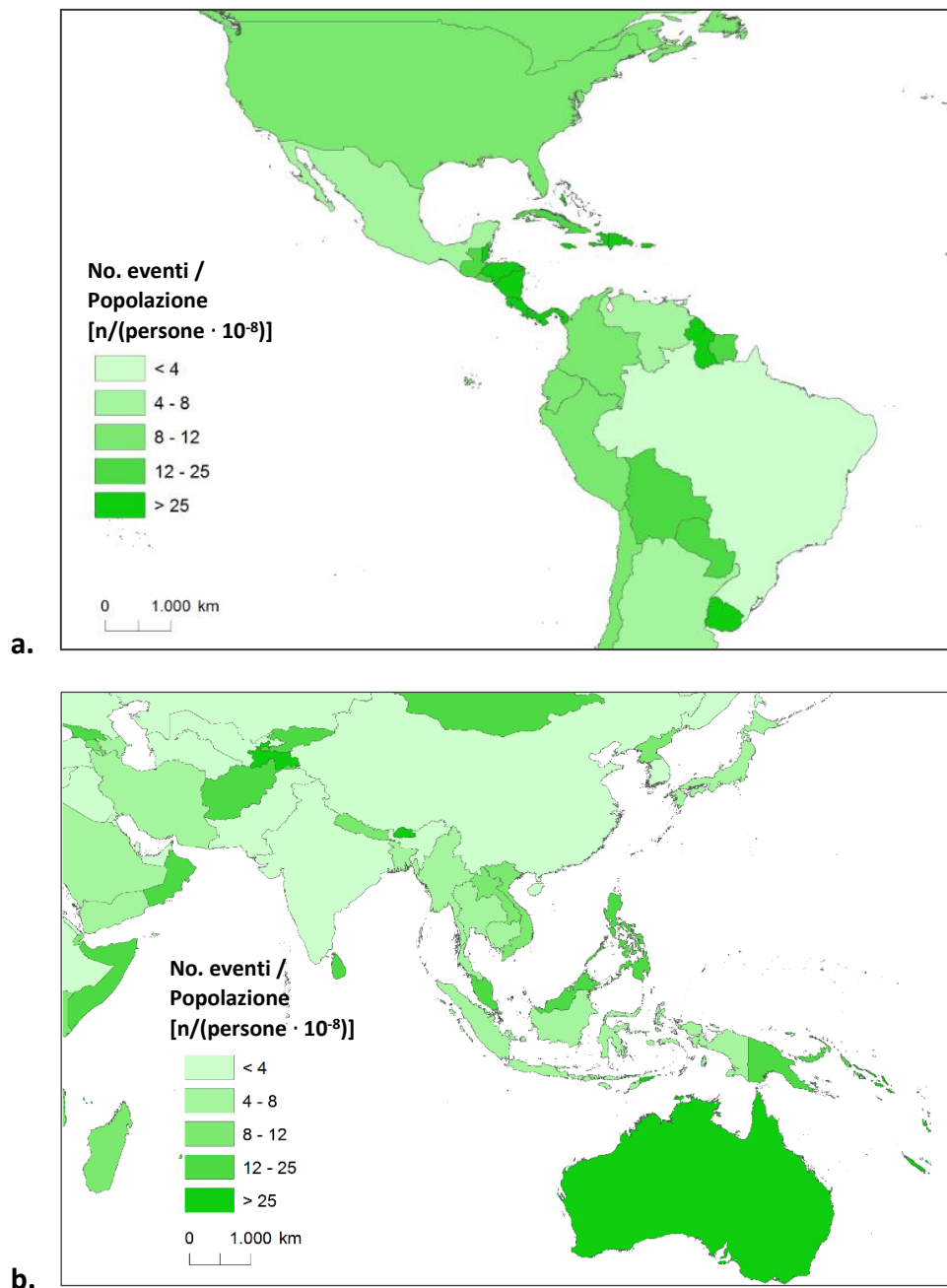
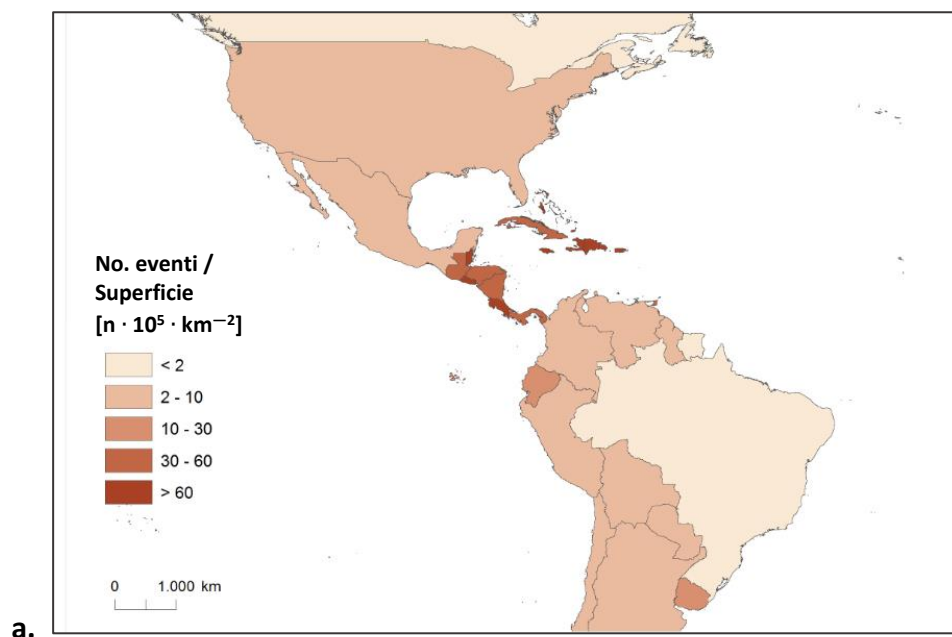


Figura 40. Mappe di confronto tra classi di densità di eventi per popolazione: **a.** densità di eventi per popolazione in America; **b.** densità di eventi per popolazione in Asia. La popolazione è espressa in centinaia di milioni di persone ($\times 10^8$). Le grandezze sono delle medie dei valori compresi tra il 1997 ed il

Confrontando, inoltre, il numero degli eventi per la popolazione, si osserva che i paesi asiatici rientrano in classi molto basse, in particolare India e Cina (Fig. 40b). D'altro canto, in rapporto alla superficie, gli eventi sono numerosi, in particolar modo in India, Pakistan, Bangladesh, Nepal, Thailandia, Indonesia, Filippine, Vietnam, Cambogia, Sri Lanka (Fig. 41b). Tant'è vero che in queste stesse aree il numero di morti è estremamente elevato, così come quello dei feriti e degli sfollati. Lo stesso non si verifica nei paesi a bassa densità di popolazione come la Mongolia, il Tagikistan e il Kirghizistan, dove il numero di vittime è piuttosto ridotto.

Contrariamente, in America, si nota una certa differenza tra gli USA ed i paesi centrali, caratterizzati da una densità degli eventi molto alta, sia in funzione della popolazione (Cuba, Guatemala, Nicaragua, Repubblica Dominicana, Costa Rica, Panama) (Fig. 40a) che della superficie (Haiti, Honduras, Nicaragua, Guatemala, Costa Rica, Repubblica Dominicana) (Fig. 41a). Il numero di vittime ed i danni sono però elevati in entrambe le regioni.

Prendendo in considerazione le due principali nazioni in termini di superficie, gli USA e la Cina (Fig. 41a, 41b), si può osservare che la frequenza con cui si manifestano gli eventi catastrofici risulta la medesima, però il numero di morti è decisamente superiore in Cina, mentre le perdite prevalgono negli USA.



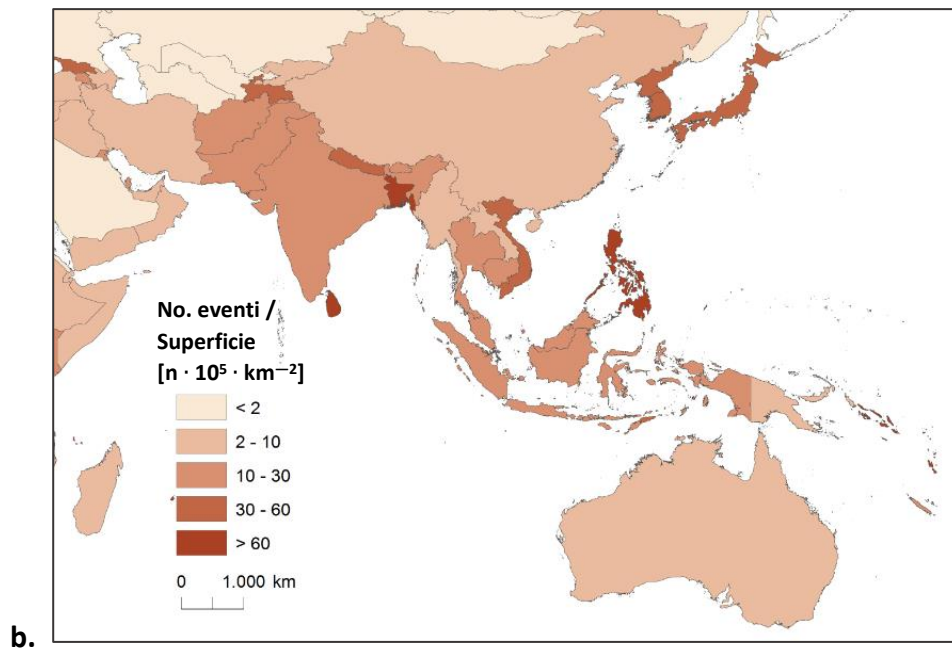


Figura 41. Mappe di confronto tra classi di densità di eventi per superficie: **a.** densità degli eventi per superficie in l’America; **b.** densità degli eventi per superficie in l’Asia. La popolazione è espressa in centinaia di milioni di persone ($\times 10^8$). Le grandezze sono delle medie dei valori compresi tra il 1997 ed il 2018.

Si è osservato inoltre che l’Europa presenta un’elevata densità di popolazione, così come l’Asia, ed una densità degli eventi simile; nonostante ciò, in Europa si riporta un numero più basso di vittime dovuti agli eventi catastrofici. Allo stesso tempo in America, caratterizzata da una densità di popolazione bassa, gli effetti sono considerevoli, sia in termini di vite che di danno. Pertanto, dalle varie osservazioni fatte, si potrebbe dedurre che a elevati valori di popolazione corrispondano alti livelli di esposizione, e quindi elevate probabilità che da una catastrofe si generino vittime. Il fatto però che per alcuni paesi questa associazione non venga rispettata, porta a ritenere necessario un ulteriore approfondimento volto soprattutto a identificare fattori diversi e più complessi per spiegare la distribuzione degli impatti degli eventi estremi a livello geografico.

4. Analisi della distribuzione temporale degli eventi

Dopo aver individuato le aree di maggior distribuzione degli eventi estremi, è stata eseguita un'indagine statistica, con lo scopo di verificare se il numero e l'impatto di tali fenomeni abbia subito variazioni lungo la finestra temporale di osservazione, in particolare tra gli anni 1997 e 2018. A tale scopo, è stata svolta un'analisi della regressione lineare semplice. La significatività della regressione, ovvero delle rette ottenute, è stata valutata con il test *t* di Student (livello significatività del 5%) [20]. Nel seguito, le rette significative, che rivelano pertanto una reale tendenza nei dati osservati, verranno rappresentate con una linea continua (in caso contrario, si utilizza una linea tratteggiata).

4.1 Eventi a scala globale

In prima analisi, vengono studiati gli eventi del database nel loro complesso, al fine di ottenere un'analisi a scala globale. A tal scopo, il numero di eventi annuo, tra il 1997 e il 2018, è stato riportato su un grafico e ed è stata calcolata la retta di regressione lineare (Fig. 42).

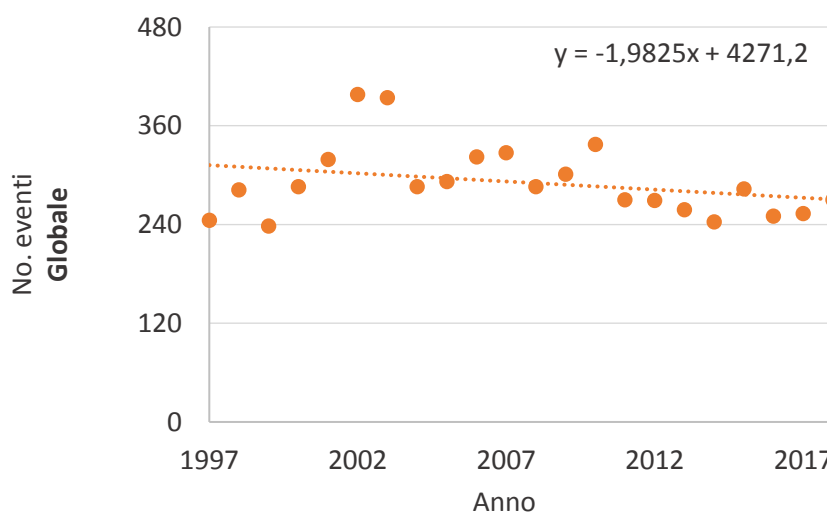


Figura 42. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, a scala globale

Come si può osservare dal grafico in Figura 42, i disastri naturali, tra il 1997 ed il 2018, non presentano una tendenza crescente, ma piuttosto il loro numero sembra essere rimasto stabile; la retta di regressione risulta non significativa (Tabella A2).

4.2 Eventi a scala continentale

La stessa analisi di regressione è stata poi svolta considerando la distribuzione temporale

degli eventi rilevati per ciascun continente.

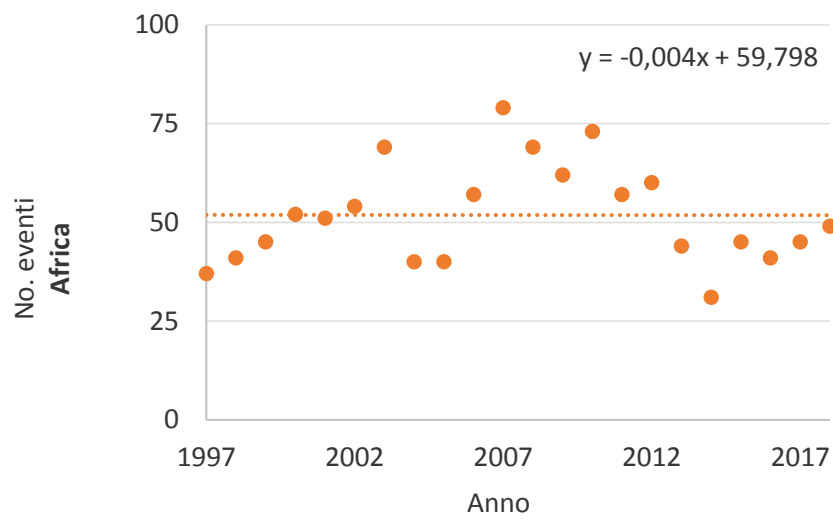


Figura 43. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in Africa

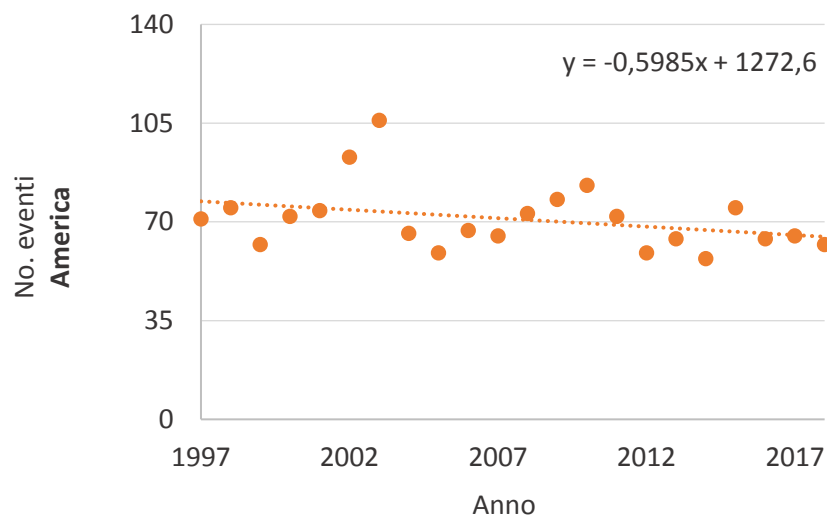


Figura 44. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in America

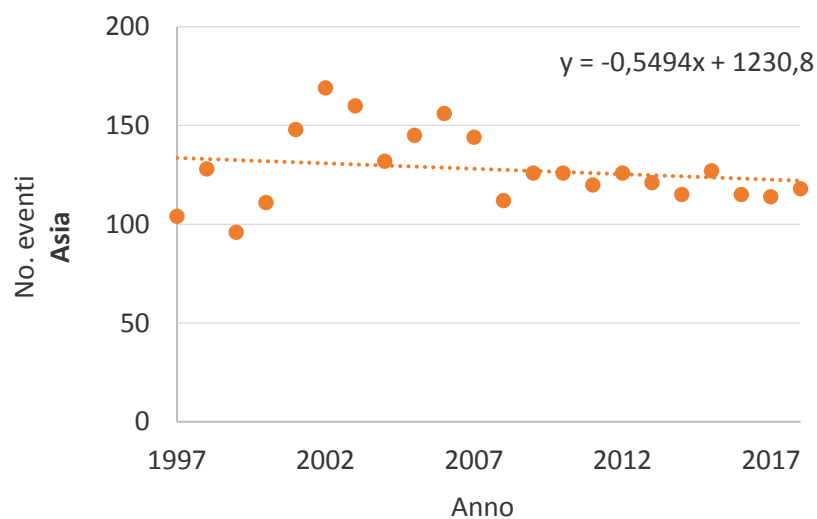


Figura 45. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in Asia

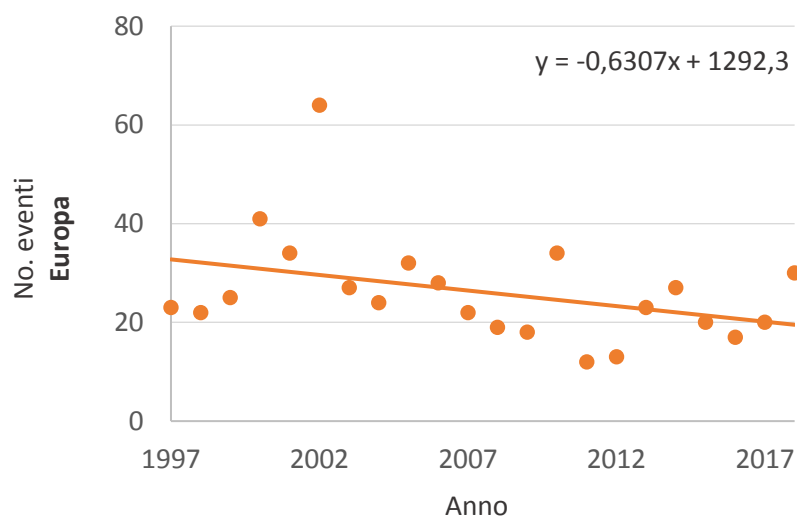


Figura 46. Numero di eventi di natura idro-meteorologica dal 1997 al 2018, in Europa

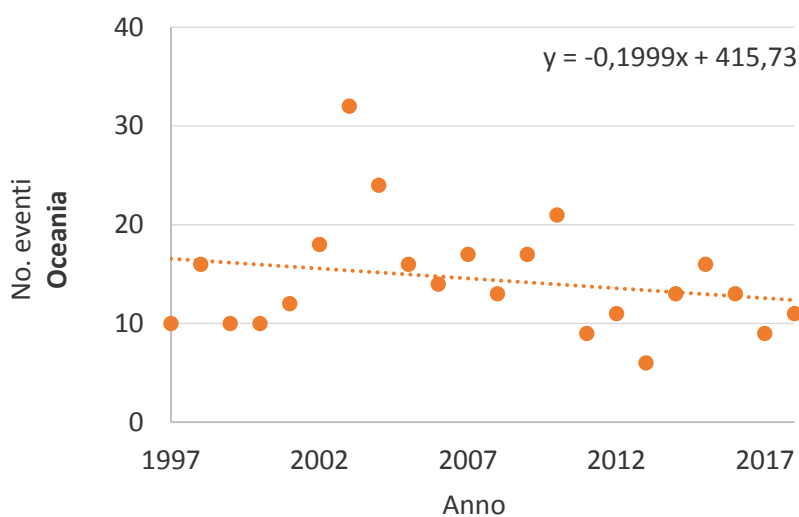


Figura 47. Numero di eventi di natura idro-meteorologica, dal 1997 al 2018, in Oceania

Secondo quanto emerge dai grafici ottenuti (Fig. 43, 44, 45, 46, 47) anche in una visione su scala di continente, il numero di eventi non presenta tendenze crescenti nel tempo. Nel solo caso del continente europeo, la regressione è risultata essere significativa e ha mostrato una tendenza debolmente decrescente (Tabella A2).

4.3 Analisi per le diverse tipologie di evento

Le informazioni relative agli eventi registrati del database sono state poi prese in considerazione separatamente, per le diverse tipologie di disastro, e quindi l'analisi di regressione è stata svolta su scala globale.

4.3.1 Le tempeste

Le tempeste, talvolta, possono essere classificate in sottocategorie: extra-tropicali, tropicali o convettive. A tal proposito, viene realizzato un istogramma, dove queste classi vengono annualmente messe a confronto (Fig. 48).

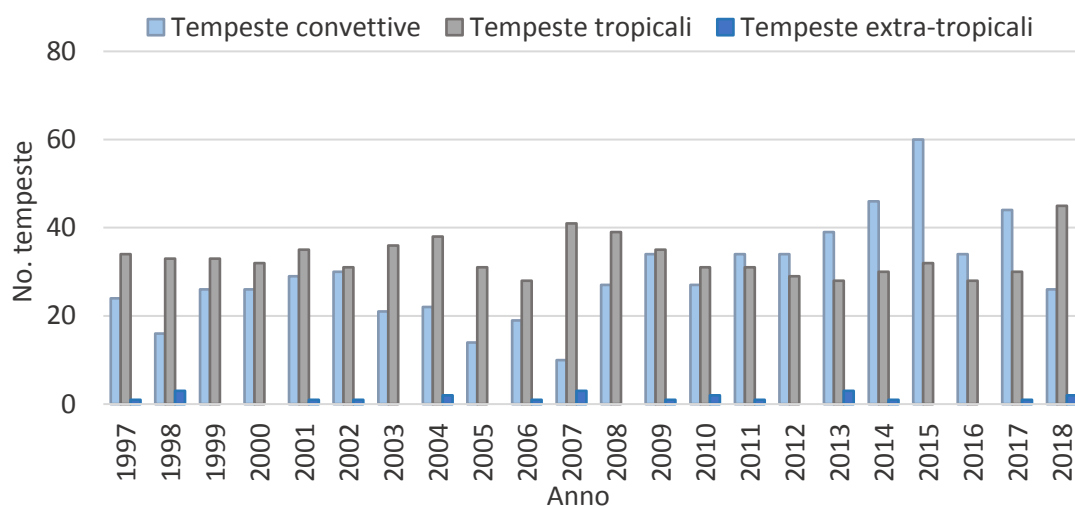


Figura 48. Sottocategorie di tempesta dal 1997 al 2018, a scala globale

I dati suggeriscono una predominanza nel numero delle tempeste tropicali fino al 2010, dopodiché sono state le tempeste convettive a verificarsi con maggior frequenza. In ogni caso, entrambi i fenomeni sono numericamente rilevanti, al contrario delle tempeste extra-tropicali, che rivestono un ruolo trascurabile nel conteggio degli eventi totali. Queste ultime sono infatti limitate alle aree sub-tropicali, e, come si è potuto osservare nel paragrafo 4.1, coinvolgono principalmente i paesi europei.

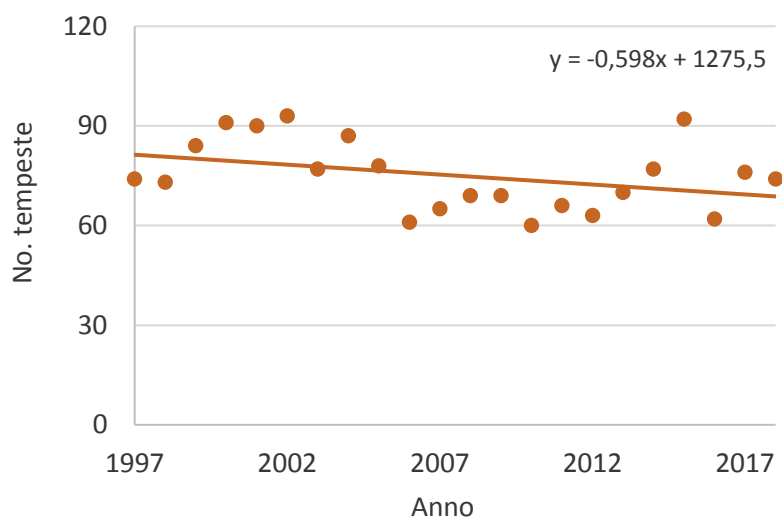


Figura 49. Numero di tempeste dal 1997 al 2018, a scala globale

A seguito di queste considerazioni, è stata realizzata una rappresentazione di insieme (Fig. 49), che suggerisce una diminuzione nel numero annuale di tempeste (Tabella A3).

4.3.2 Le alluvioni

Le alluvioni, sono spesso associate ad eventi meteorologici, come cicloni, forti piogge o sistemi meteorologici stagionali. Pertanto, per i fenomeni dei quali è nota la causa scatenante, viene realizzato un istogramma (Fig. 50).

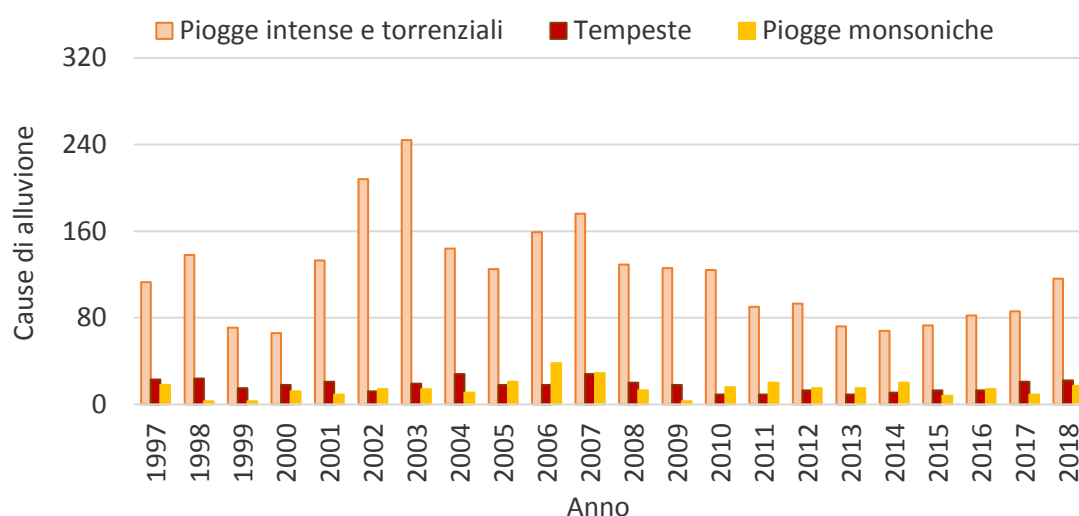


Figura 50. Cause principali di alluvione, dal 1997 al 2018, a scala globale

Il grafico mostra che, globalmente, sono prevalentemente le piogge intense ad indurre il maggior numero di alluvioni. Seguono poi le tempeste, principalmente rappresentate da cicloni, uragani e tifoni, localizzati nelle fasce tropicali, e le piogge monsoniche, tipiche nelle regioni del Sud-Est asiatico.

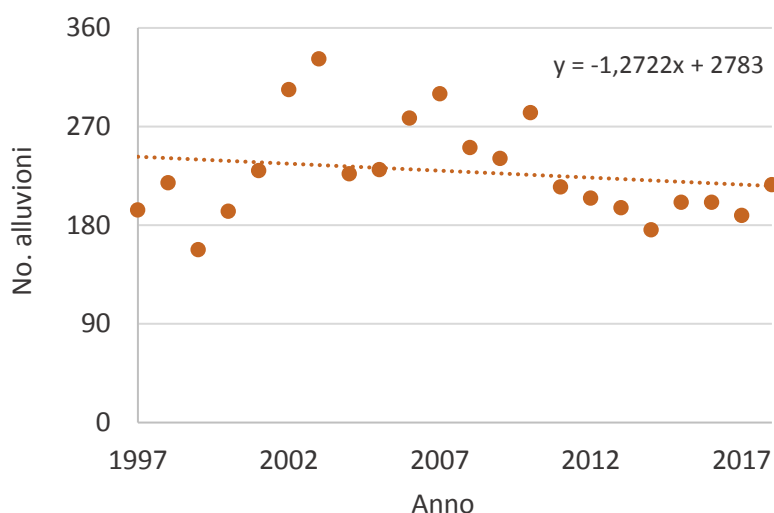


Figura 51. Numero di alluvioni dal 1997 al 2018, a scala globale

Per quel che riguarda il numero di alluvioni annuali, non si riscontra alcuna crescita (Fig. 51, Tabella A3).

4.3.3 I movimenti di versante

Infine, i movimenti di versante, intesi come dissesti idrogeologici, rappresentano la minoranza degli eventi del database. Tali fenomeni possono essere classificati come frane, colate di fango o valanghe. Tuttavia, colate e valanghe sono numericamente inferiori rispetto alle frane, per questo motivo si ritiene opportuno studiare questo tipo di evento nel suo complesso.

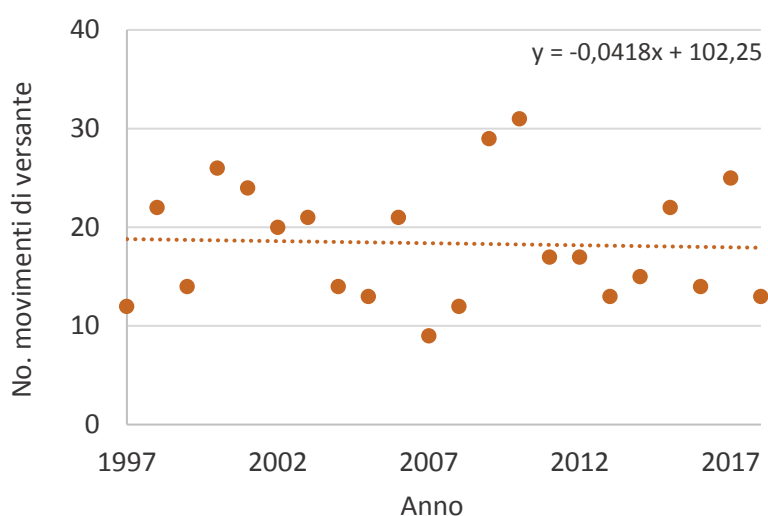


Figura 52. Numero di movimenti di versante dal 1997 al 2018, a scala globale

Dalla rappresentazione in Figura 52 risulta che i dissesti idrogeologici raccolti non abbiano subito alcuna variazione nel corso degli anni.

4.3.4 I terremoti

Dopo aver rappresentato gli eventi idro-meteorologici ed aver osservato che non vi è alcun trend di crescita, lo stesso metodo di analisi viene applicato ai terremoti. Quest'operazione viene fatta a scopo di verifica, in quanto anche i terremoti derivano dal database di *EM-DAT*, e sono perciò classificati secondo i medesimi criteri utilizzati nella creazione del database (severità dell'evento e dell'impatto). Questo tipo di fenomeno, diversamente dagli eventi climatologici, meteorologici ed idrologici, non è influenzato dai cambiamenti climatici e non si manifesta con alcun tipo di ciclicità, pertanto, periodi di maggior frequenza possono alternarsi a periodi di minor frequenza.

I dati (Fig. 53) mostrano che il numero di terremoti, su scala globale, è diminuito significativamente negli anni. A scala continentale, invece, tale riduzione non risulta (Tabella A4). Questi risultati sono interessanti, in quanto paragonabili con alcuni trend ottenuti dalle analisi degli eventi idro-meteorologici, come nel caso particolare delle tempeste, anch'esse in declino.

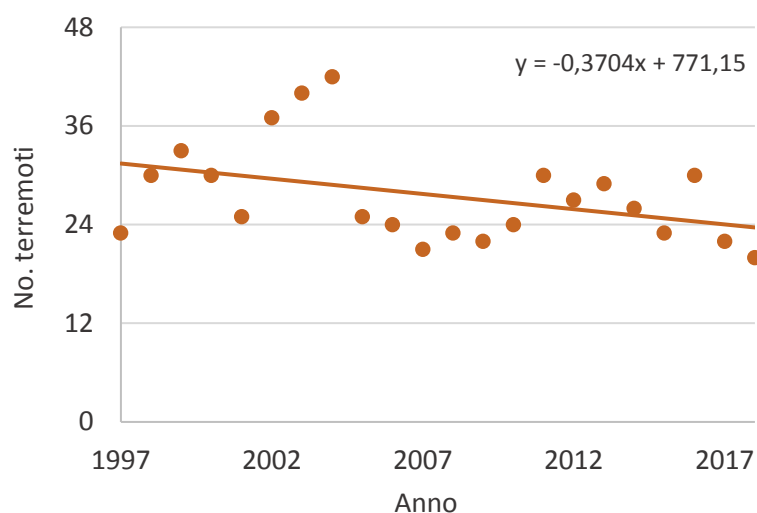


Figura 53. Numero di terremoti dal 1997 al 2018, a scala globale

4.4 Analisi degli effetti degli eventi a scala globale

La grandezza di un evento è strettamente correlata al suo impatto, sulla popolazione e sull'ambiente. A tal proposito, viene svolta un'analisi relativa al costo del danno ed al numero di persone coinvolte secondo il database dei disastri di *EM-DAT*.

4.4.1 Morti

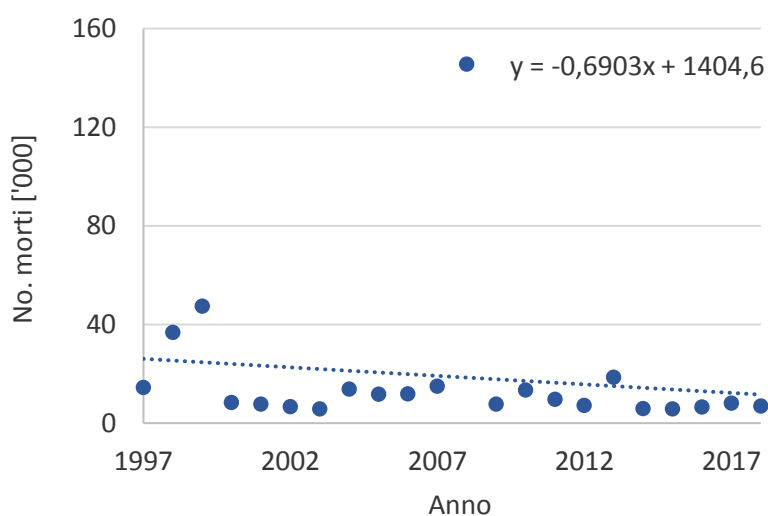


Figura 54. Numero di vittime causate da eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018

Per prima cosa, viene rappresentata la variazione del numero di vittime registrate a seguito di eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018. In quest'informazione rientrano sia i morti che i dispersi (Fig. 54). Il grafico in Figura 54 mostra un picco di 143.320 morti, corrispondente all'anno 2008, dovuto ad un evento eccezionale: un ciclone tropicale che ha causato 138.366 vittime in Myanmar, incrementando così il numero complessivo dei morti di quell'anno. L'entità del disastro, si è mostrata davvero enorme e i sopravvissuti hanno avuto difficoltà a trovare rapidamente rifugio a causa delle estese inondazioni del paesaggio piatto del Delta dell'Irrawaddy. Oltretutto, sembra che le decisioni politiche abbiano avuto un ruolo rilevante dell'impatto del ciclone. Gli esperti lo avevano infatti previsto e con esso, i terribili effetti che ne avrebbero conseguito, specialmente per le condizioni di vita precarie che caratterizzavano il paese. Nonostante tale consapevolezza, il governo del Myanmar consentì solo dopo tre settimane, di far entrare gli operatori umanitari, smuovendo così forti critiche a livello internazionale [21]. Visto che l'unicità di un evento simile rischierebbe di sfalsare i risultati, è stato opportunamente deciso di escludere l'informazione sia in questa, che nelle successive, fase di analisi.

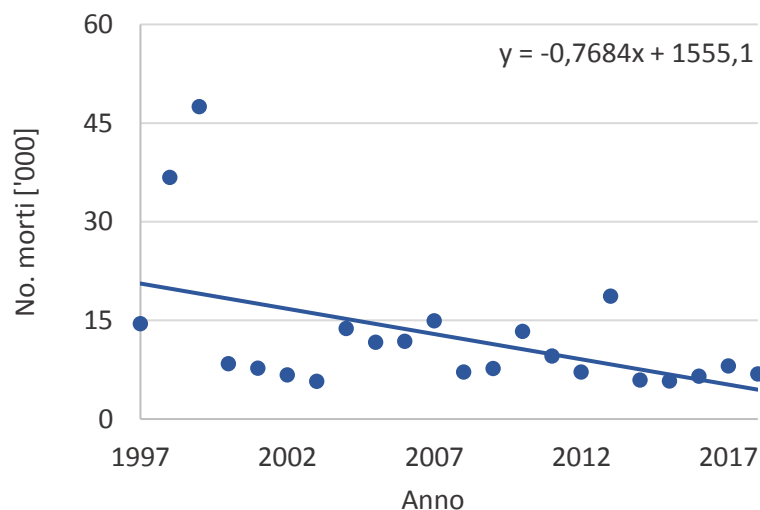


Figura 55. Numero delle vittime causate da eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018, senza l'evento eccezionale del 2008

Conseguentemente, rappresentando il numero di morti senza l'evento di picco (Fig. 55), il trend mostra un declino delle vittime negli anni (Tabella A5). In merito a ciò, nella Tabella 7 vengono riportate le cinque catastrofi che, tra il 1997 ed il 2018, hanno causato più morti secondo il database *NatCatSERVICE* [22].

Tabella 7. Le cinque catastrofi con più morti, tra il 1997 ed il 2018. Fonte: NatCatSERVICE

Paesi colpiti	Evento	Data	Perdite (USD, milioni)	Morti
Myanmar, Thailandia, Sri Lanka	Ciclone tropicale Nargis, onda di tempesta	2-5 maggio 2008	4.000	140.000
India	Ciclone Tropicale	9-11 giugno 1998	1.700	10.000
India	Ciclone Tropicale 05B	28-30 ottobre 1999	2.500	10.000
Paesi del Centro America	Uragano Mitch, alluvione	24 ottobre-8 novembre 1998	5.700	9.068
Filippine, Vietnam, Cina, Palau	Tifone Hayian, onda di tempesta	7-12 novembre 2013	10.400	6.334

L'evento che ha registrato il maggior numero di decessi è appunto il ciclone tropicale Nargis nel maggio 2008, in Asia. Si osserva, inoltre, che, ad eccezione del tifone Hayian nel 2013, i disastri che hanno causato il maggior numero di vittime sono avvenuti alla fine degli anni '90, e, ad esclusione dell'Uragano Mitch, hanno avuto luogo in Asia.

4.4.2 Persone coinvolte

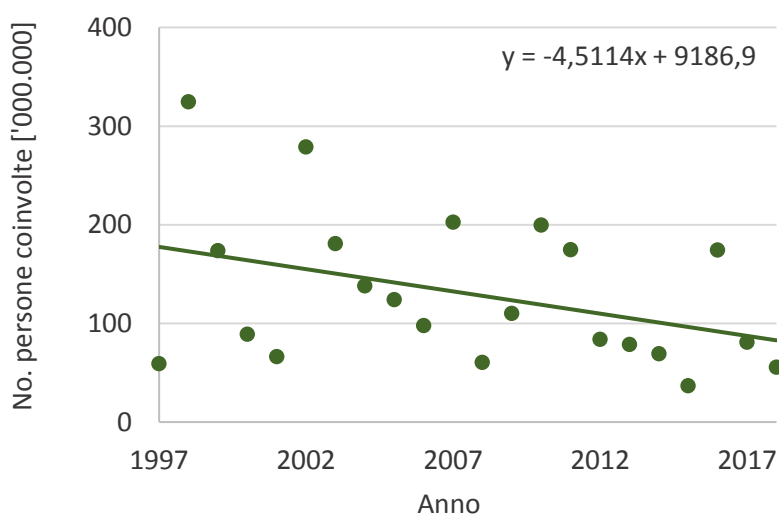


Figura 56. Numero di persone colpite da eventi idro-meteorologici dal 1997 al 2018

Analogamente viene rappresentato il numero di persone coinvolte da fenomeni idro-meteorologici, e quindi di coloro che hanno avuto bisogno di richiedere assistenza

medica o che sono rimasti sprovvisti di abitazione (Fig. 56). Anche in questo caso la tendenza, significativa, risulta in declino (Tabella A5).

4.4.3 Danno

La variazione del danno arrecato dagli eventi considerati, comprensivo dei costi relativi al settore sociale, delle infrastrutture, della produzione e dell'ambiente, viene a sua volta rappresentata nel tempo (Fig. 57).

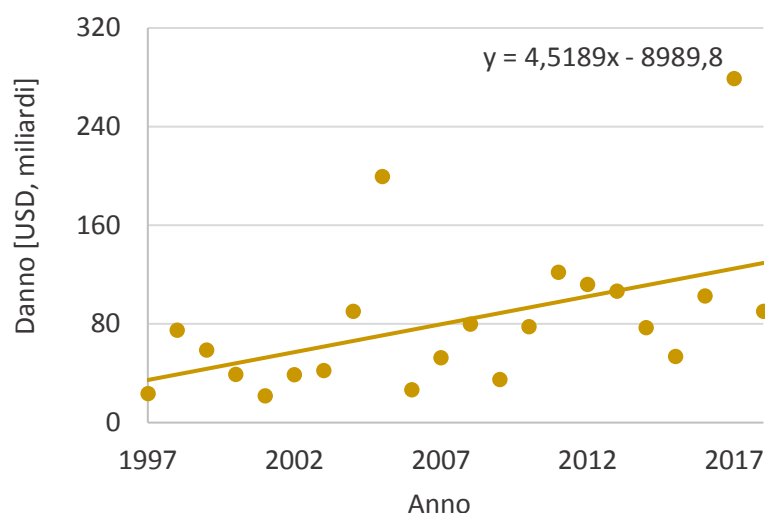


Figura 57. Danni prodotti da eventi estremi idro-meteorologici dal 1997 al 2018

Anche in questo caso la tendenza è risultata significativa, ma, contrariamente al caso relativo all'analisi delle persone coinvolte, sembra aumentare nel tempo (Tabella A5).

Rispetto a ciò, nella Tabella 8 vengono riportate le cinque catastrofi che hanno recato più danni, a livello economico, su scala globale tra il 1997 ed il 2018, secondo il database NatCatSERVICE. In primo luogo, è possibile osservare che tutti gli eventi sono uragani, che hanno colpito gli Stati Uniti e gli stati del Centro America. Tra tutti, il più rilevante risulta essere stato l'Uragano Katrina, con 125.000 milioni di dollari nel 2005, anno nel quale l'andamento riportato in Figura 57 mostra un picco. Inoltre, si può osservare che si è verificata recentemente la maggior parte delle catastrofi più ingenti, più precisamente, nel 2017 sono avvenuti tre uragani di elevata intensità: l'Uragano Harvey, l'Uragano Maria e l'Uragano Irma. Questi tre eventi hanno incrementato di molto il costo del danno di quell'anno.

Tabella 8. Le cinque catastrofi che hanno recato maggior danno tra il 1997 ed il 2018, espressi in miliardi di dollari correnti. Fonte: NatCatSERVICE

Paesi colpiti	Eventi	Data	Perdite (USD, miliardi)	Morti
USA	Uragano Katrina, onda di tempesta	25-30 agosto 2005	157	1.720
USA	Uragano Harvey, onda di tempesta	25 agosto-1 settembre 2017	95	88
USA e Centro America	Uragano Maria, alluvione	19-22 settembre 2017	68,6	3.019
USA e Centro America	Uragano Sandy, onda di tempesta	23-31 ottobre 2012	73,1	207
USA e Centro America	Uragano Irma, onda di tempesta	6-14 settembre 2017	60,6	128

4.5 Analisi degli effetti degli eventi a scala globale per tipologia di evento

A provocare le perdite economiche maggiori sono i cicloni tropicali e gli uragani. Difatti, quasi il 70% dei danni totali, a livello globale, viene associato ai fenomeni di tempesta. Risulta invece che siano le alluvioni ad influire maggiormente sul numero di persone coinvolte (con il 72%) e sul numero di morti (con il 56%). I movimenti di versante, ricoprendo solo una piccola parte degli eventi totali, assumono un ruolo marginale nella valutazione dell'impatto (Tabella 9).

Tabella 9. Percentuale di vittime, persone coinvolte e danni, avvenuti tra il 1997 ed il 2018, per tipologia di evento

Fenomeno	Morti [%]	Persone coinvolte [%]	Danni [%]
Tempeste	37,1	27,8	68,4
Alluvioni	55,8	72,0	31,1
Movimenti di versante	7,1	0,2	0,5

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'analisi dell'andamento dei tre parametri (morti, persone coinvolte e danni) sulla base del tipo di evento.

4.5.1 Morti

Il numero di morti viene rappresentato nel suo complesso, sommando le vittime che sono state registrate tra il 1997 ed il 2018, per ciascuna tipologia di evento (Fig. 58). Secondo quanto mostrato in Figura 58, le alluvioni sono la causa del maggior numero di

morti registrato tra il 1997 ed il 2018. Questo, tuttavia, non implica necessariamente che un fenomeno di alluvione provochi in media più vittime, per esempio, di un uragano. Le alluvioni rappresentano gran parte dei fenomeni idro-meteorologici, di conseguenza, è plausibile che la somma dei morti abbia un valore maggiore in questa classe.

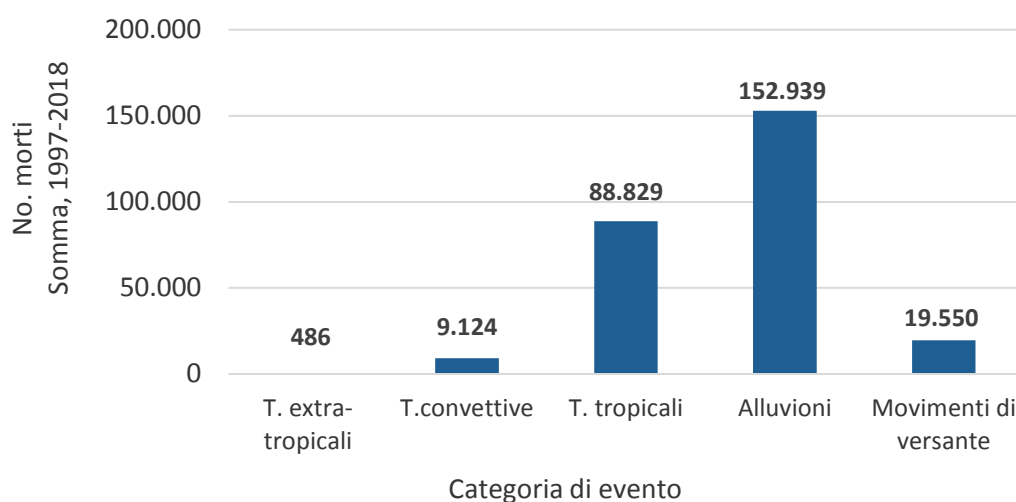


Figura 58. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento

Pertanto, per ovviare a questo problema, si è deciso di mediare il numero delle vittime totali sul numero di eventi totali per ciascuna classe. Il risultato è un ulteriore grafico, dove per ogni categoria di evento viene riportato il numero di morti medio (Fig. 59).

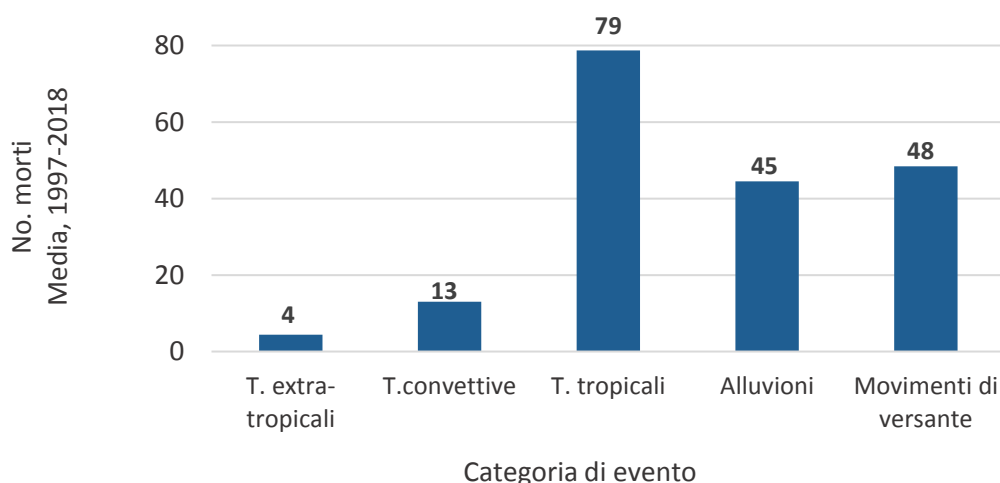


Figura 59. Numero medio di morti, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento

Prendendo in considerazione il grafico dei valori medi, risulta che le tempeste tropicali causano il maggior numero di morti, seguite dai movimenti diversante e dalle alluvioni. Le altre sottocategorie di tempesta presentano invece valori piuttosto bassi. Il fatto che

i cicloni tropicali e gli uragani provochino il maggior numero di morti potrebbe in parte essere legato al loro verificarsi in zone ad elevata densità di popolazione (Centro America e Asia meridionale). Tuttavia, analogamente alle tendenze globali, questi numeri sono diminuiti nel tempo (regressioni significative) sia per le alluvioni che per le tempeste (Fig. 60, 61) (Tabella A6).

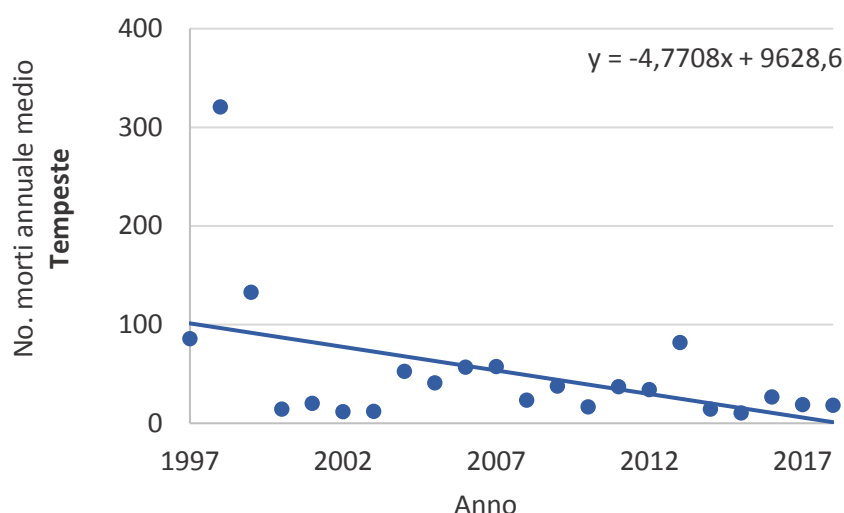


Figura 60. Numero medio annuo di vittime di fenomeni di tempesta, dal 1997 al 2018

La tendenza nell'andamento del numero dei morti a causa delle tempeste è stata calcolata considerando le informazioni nel loro complesso, senza alcuna suddivisione in sottocategorie, vista la scarsa popolazione nelle classi delle tempeste extra tropicali e di quelle convettive. Il grafico (Fig. 60) mostra che, nonostante la prevalenza delle tempeste nel provocare vittime, questa tendenza è in diminuzione.

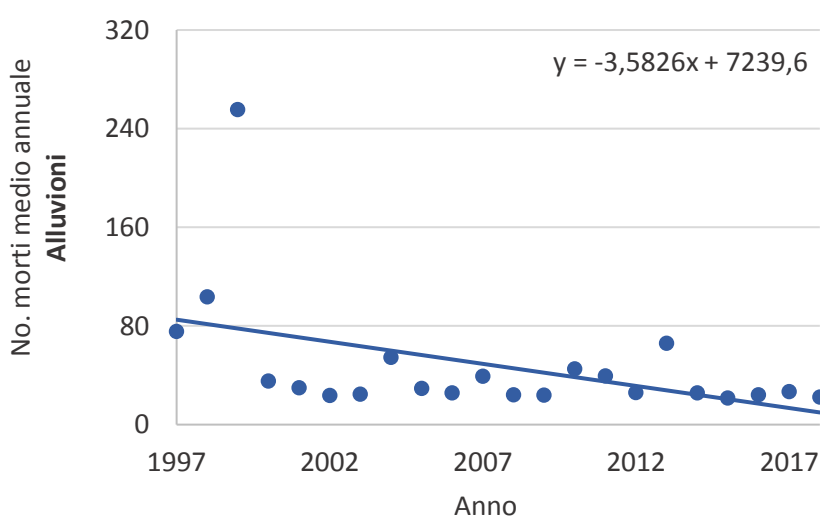


Figura 61. Numero medio annuo di vittime di fenomeni di alluvione, dal 1997 al 2018

Allo stesso modo, le alluvioni mostrano una decrescita nel numero di morti (Fig. 61).

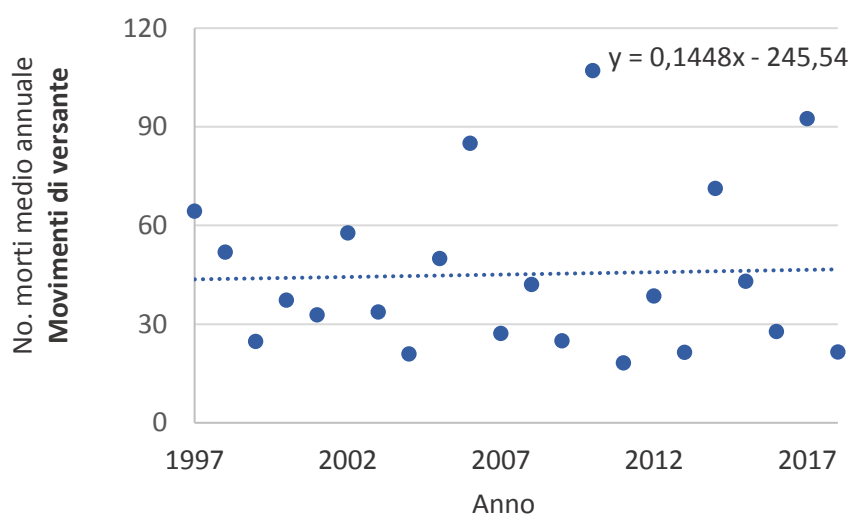


Figura 62. Numero medio annuo di vittime di movimenti di versante, dal 1997 al 2018

Infine, i movimenti di versante non sembrano aver subito variazioni, anzi, i valori sono così ridotti da non avere un particolare peso sul numero complessivo di vittime (Fig. 62).

4.5.2 Persone coinvolte

Anche nel caso del numero di persone coinvolte, le alluvioni rappresentano la classe più numerosa (Fig. 63).

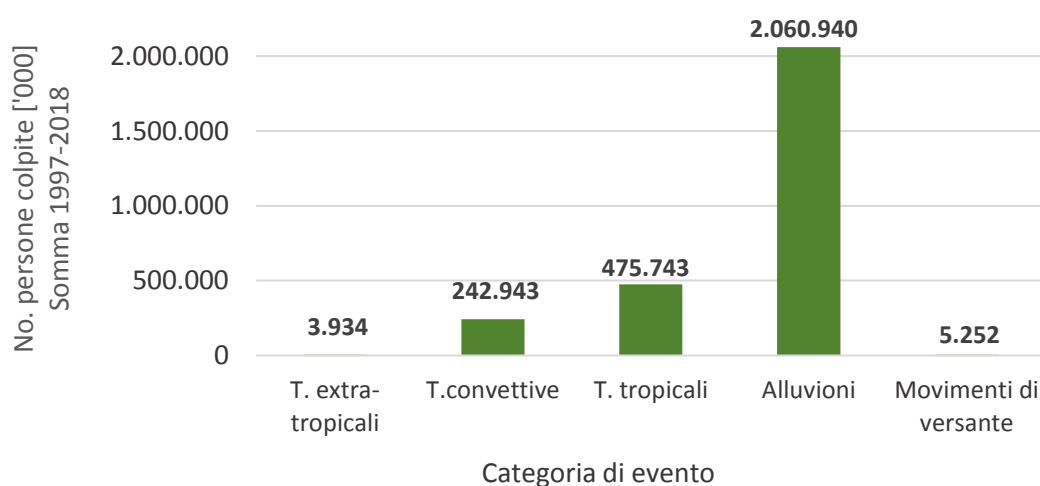


Figura 63. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento

Per ovviare alla prevalenza dei fenomeni di alluvione sulle altre classi, viene nuovamente calcolato un valore medio sul numero di eventi (Fig. 64).

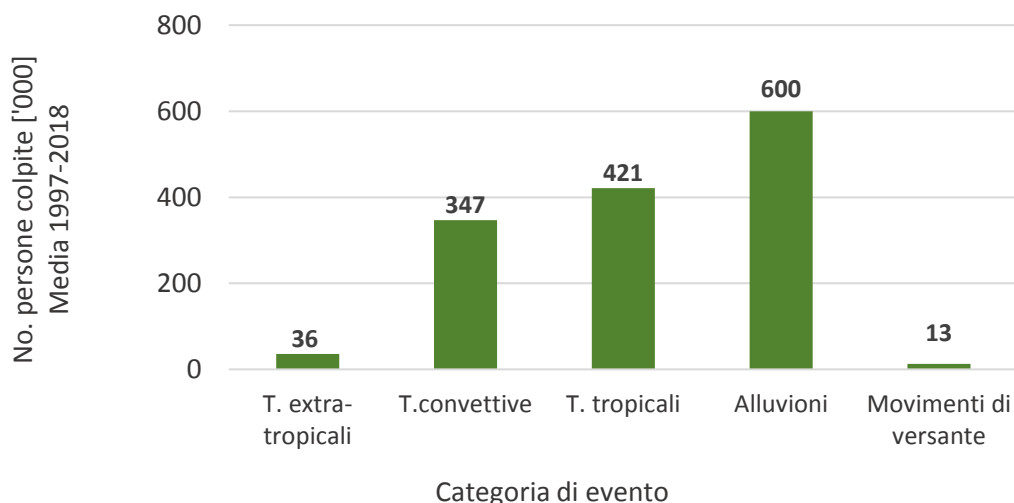


Figura 64. Numero medio di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento

In questo caso, contrariamente al numero di vittime, dove è risultato che, mediamente, i cicloni tropicali abbiano il ruolo principale, sono le alluvioni a predominare, arrivando a raggiungere cifre dell'ordine delle centinaia di migliaia. Probabilmente, essendo le alluvioni distribuite in una fascia di latitudine più ampia rispetto alle tempeste, possono coinvolgere aree più vaste, aumentando quindi la possibilità di investire aree più densamente popolate. Tuttavia, anche gli uragani e le tempeste convettive presentano cifre piuttosto rilevanti.

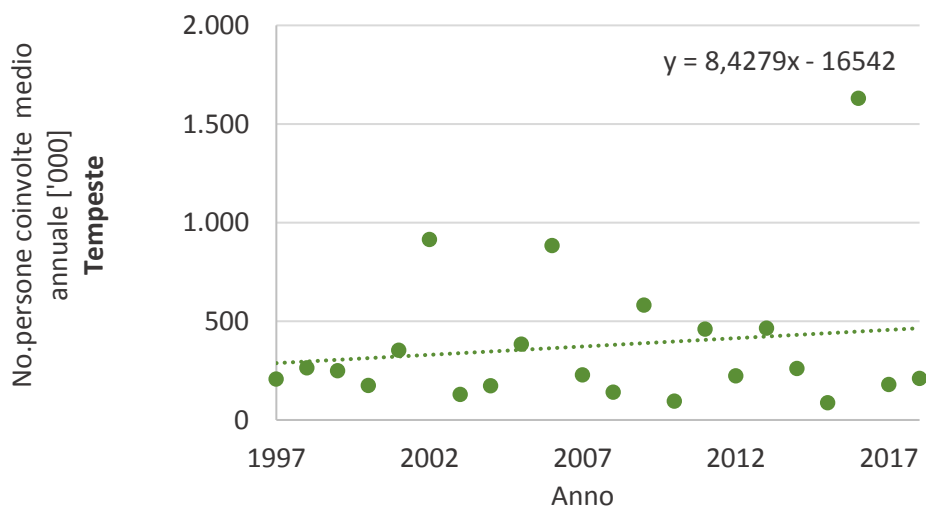


Figura 65. Numero medio annuo di persone coinvolte da fenomeni di tempesta, dal 1997 al 2018

A seguito dell'analisi di regressione, è risultato che la variazione del numero medio di persone coinvolte, nel caso delle tempeste, non presenta particolari tendenze significative (Fig. 65).

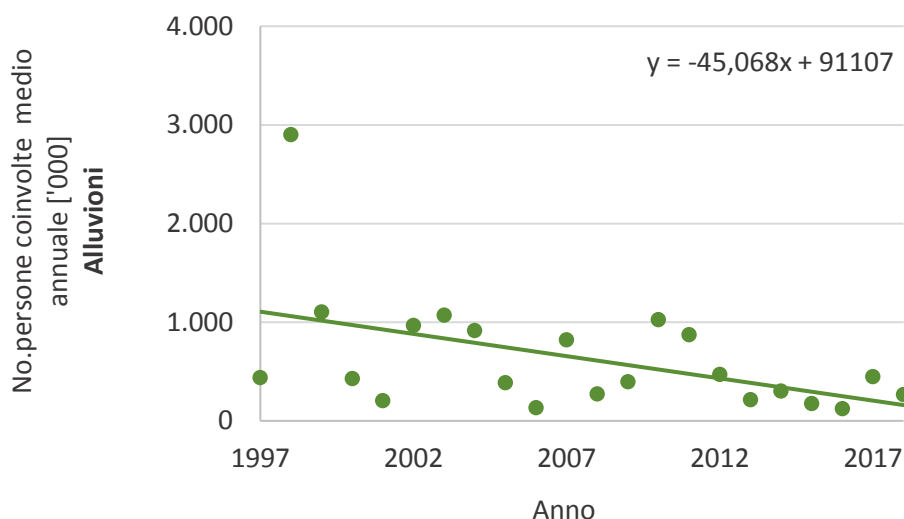


Figura 66. Numero medio annuo di persone coinvolte da fenomeni di alluvione, dal 1997 al 2018

Per le alluvioni, invece, si è potuta osservare una tendenza decrescente (Fig. 66, Tabella A6). Potrebbe risultare interessante indagare il legame fra questa tendenza e lo sviluppo e miglioramento dei sistemi di allerta, che è stato fiorente in questo ambito negli ultimi anni.

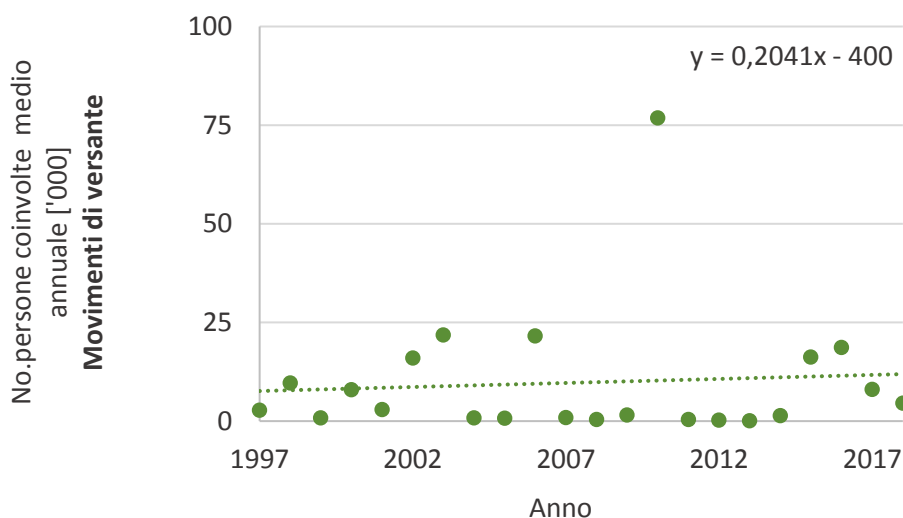


Figura 67. Numero medio annuo di persone rimaste coinvolte da movimenti di versante, dal 1997 al 2018

La rappresentazione del numero dei dissesti idrogeologici non mostra alcuna variazione, tant'è vero che, rispetto alle altre classi di fenomeno, le cifre sono piuttosto ridotte, per cui in una visione di insieme sono trascurabili.

4.5.3 Danno

Per quel che riguarda il danno economico procurato dagli eventi disastrosi, nonostante

nell'intervallo indagato gli uragani siano stati numericamente inferiori alle alluvioni, i loro effetti tuttavia prevalgono in termini di costi complessivi (Fig. 68).

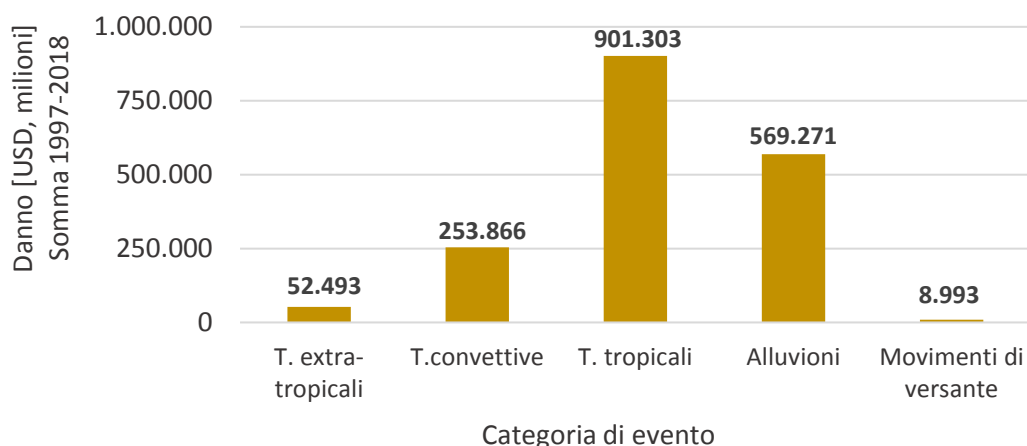


Figura 68. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento

Analogamente a quanto fatto in precedenza, anche i valori di costo del danno sono stati mediati considerando il numero di eventi, al fine di ottenere un costo medio (Fig. 69).

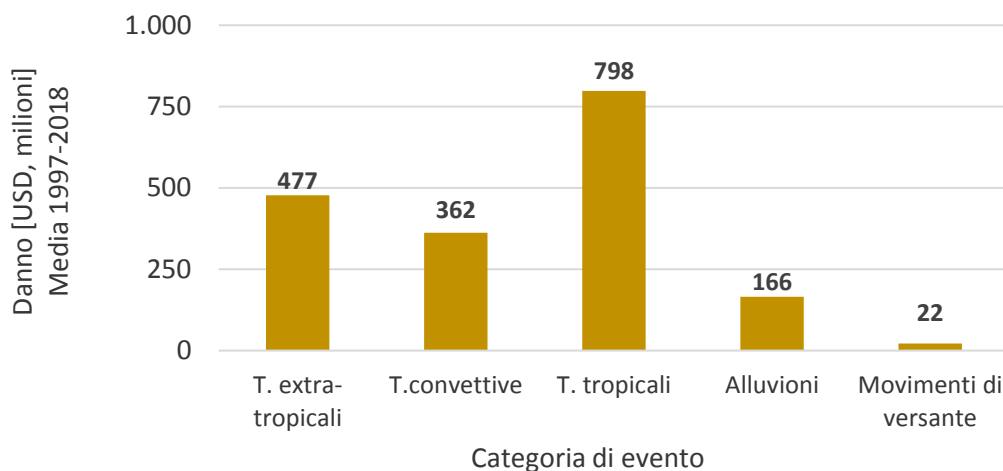


Figura 69. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per categoria di evento

Ad avere un maggior impatto sui costi sono le tempeste extra-tropicali e tropicali, capaci di raggiungere cifre dell'ordine delle centinaia di milioni di dollari, in una sola volta. Ciononostante, anche le tempeste convettive e le alluvioni possono causare danni significativi.

Nel caso delle tempeste, dallo studio di regressione nel caso del danno medio annuo (Fig. 70), concordemente con quanto ottenuto in precedenza, si osserva una

tendenza positiva significativa nell'intervallo temporale analizzato (Tabella A6).

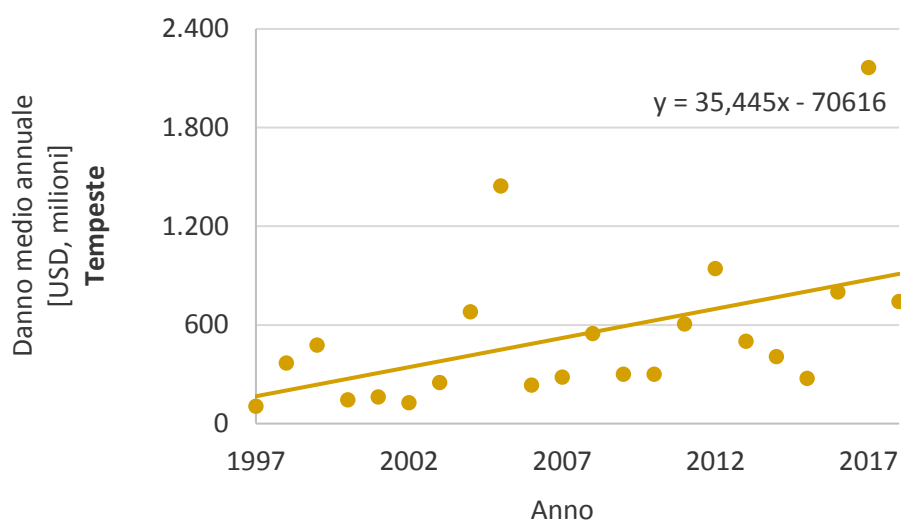


Figura 70. Danno medio annuo registrato per fenomeni di tempesta, dal 1997 al 2018

Non si può però affermare lo stesso per le alluvioni (Fig. 71), per le quali il costo del danno risulta essere rimasto costante e non presenta tendenze significative.

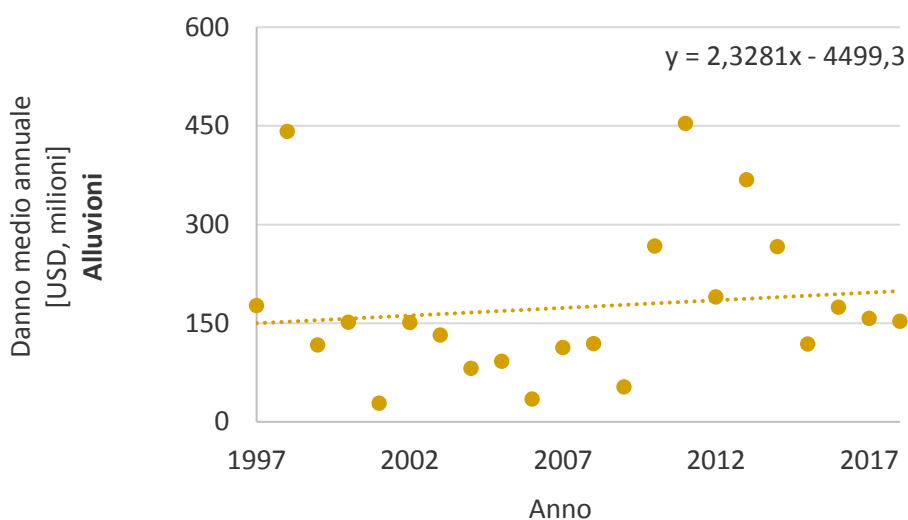


Figura 71. Danno medio annuo registrato per fenomeni di alluvione, dal 1997 al 2018

Per quanto riguarda i movimenti di versante, nonostante il valore del costo sia risultato mediamente ridotto, tuttavia, anche per questa tipologia di eventi, si è potuta osservare una crescita significativa del danno nel tempo (Fig. 72, Tabella A6).

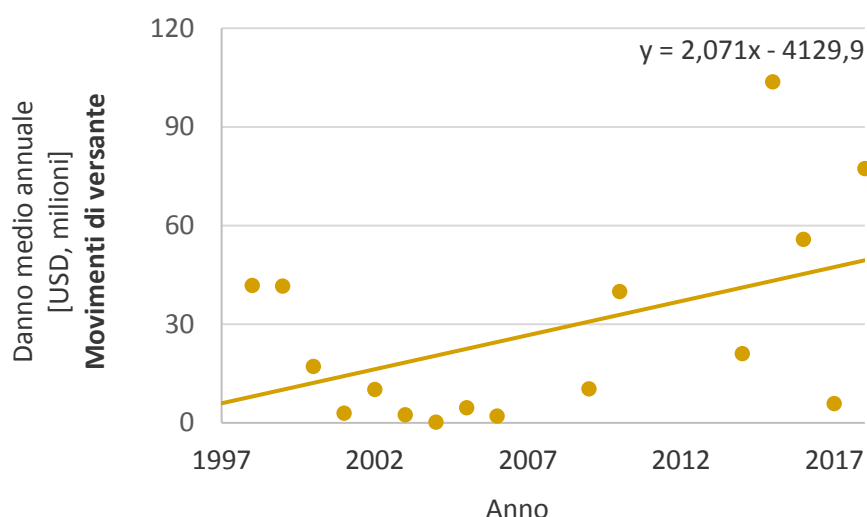


Figura 72. Danno medio annuo registrato per i movimenti di versante, dal 1997 al 2018

4.6 Analisi degli effetti degli eventi a scala continentale

Infine, le variazioni nel tempo degli impatti degli eventi estremi considerati sono state analizzate anche su base continentale, analogamente a quanto fatto per il numero di eventi. Questa analisi è stata condotta allo scopo di individuare, dove possibile, particolari pattern geografici nella distribuzione delle tipologie di effetti derivanti dagli eventi in esame, e allo scopo di verificare, inoltre, la presenza di tendenze specifiche a livello continentale nell'intervallo temporale considerato.

4.6.1 Morti

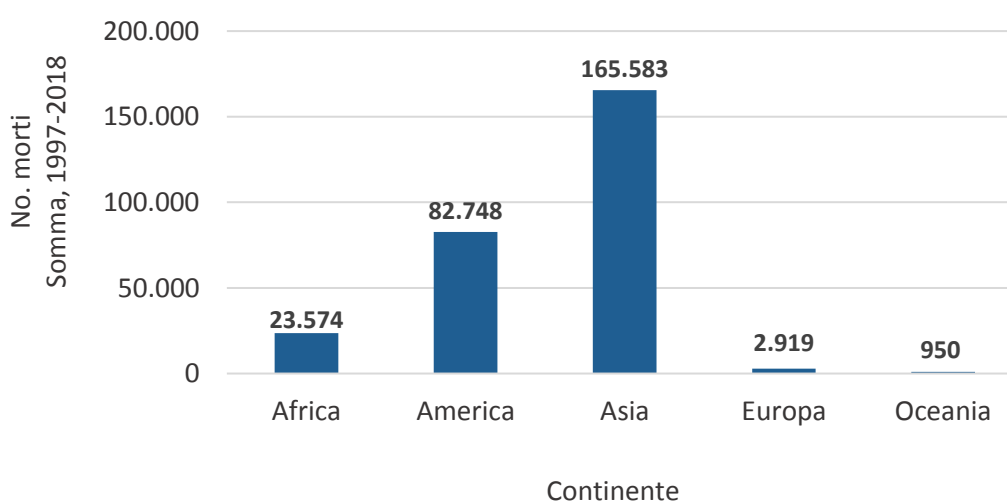


Figura 73. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per continente

Il numero di vittime è risultato essere di gran lunga più elevato in Asia, dove la popolazione supera i 4 miliardi di persone. A seguire vengono l'America, l'Africa e, con

valori nettamente inferiori, l'Europa e l'Oceania (Fig. 73). La classificazione rimane la medesima anche dopo aver mediato il numero di morti sul numero di eventi (Fig.74).

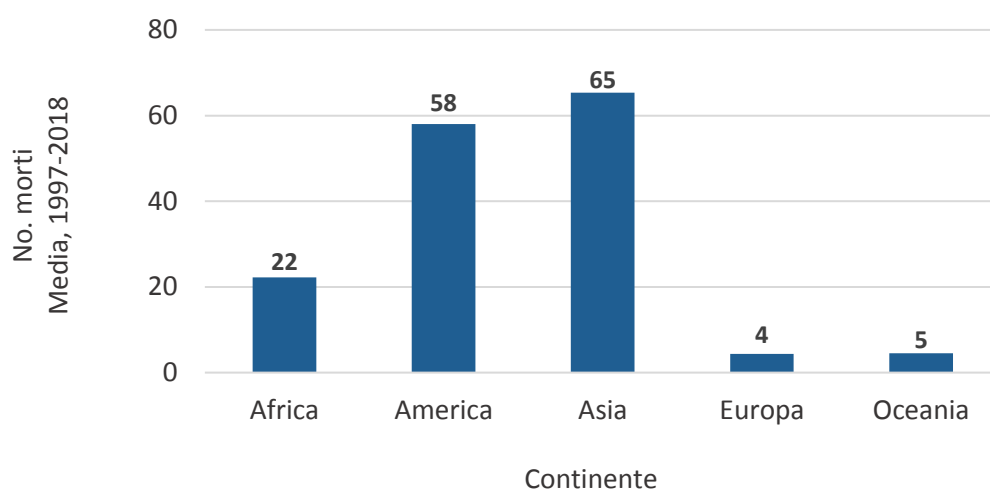


Figura 74. Numero medio di morti, tra il 1997 ed il 2018, per continente

Tuttavia, in questo secondo caso, l'America ha mostrato valori dello stesso ordine di grandezza all'Asia. Questi numeri sono giustificati dagli uragani che si verificano, per la maggior parte, in America Centrale e nel Sud-Est asiatico. Successivamente, per ogni continente, è stato calcolato un valore medio annuale dato dal rapporto tra le vittime ed il numero di eventi.

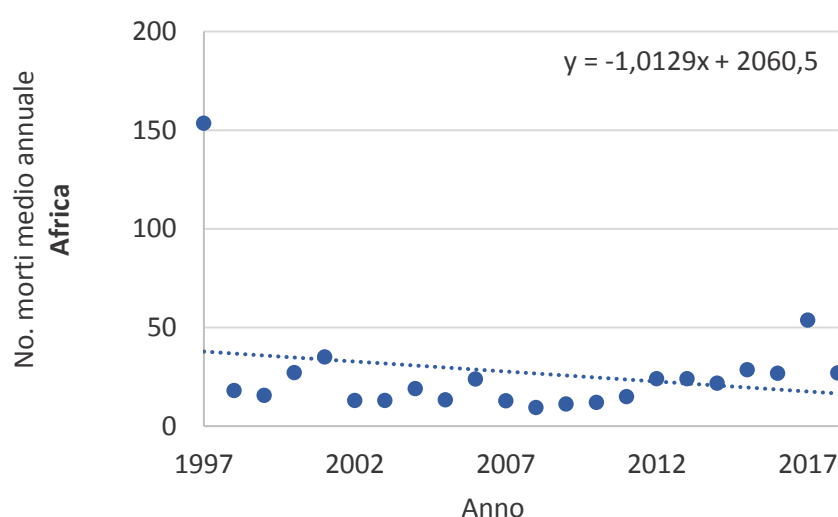


Figura 75. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Africa

Per l'Africa non è stata osservata alcuna tendenza significativa (Fig. 75).

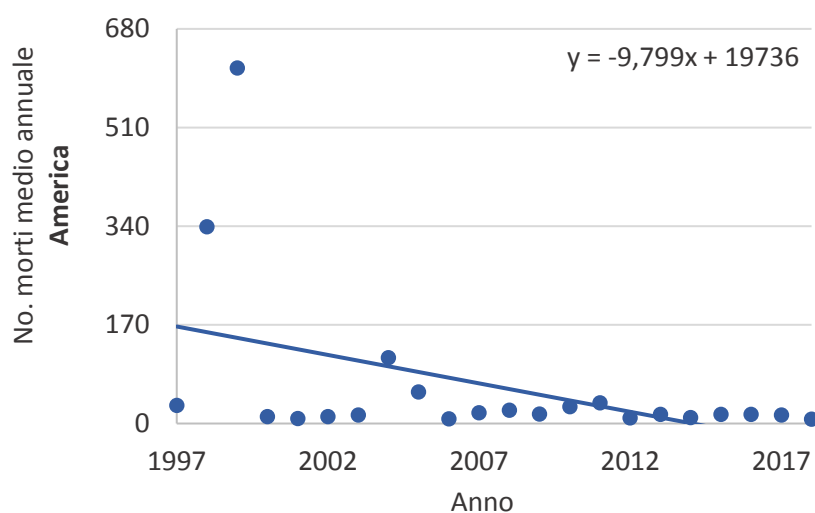


Figura 76. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in America

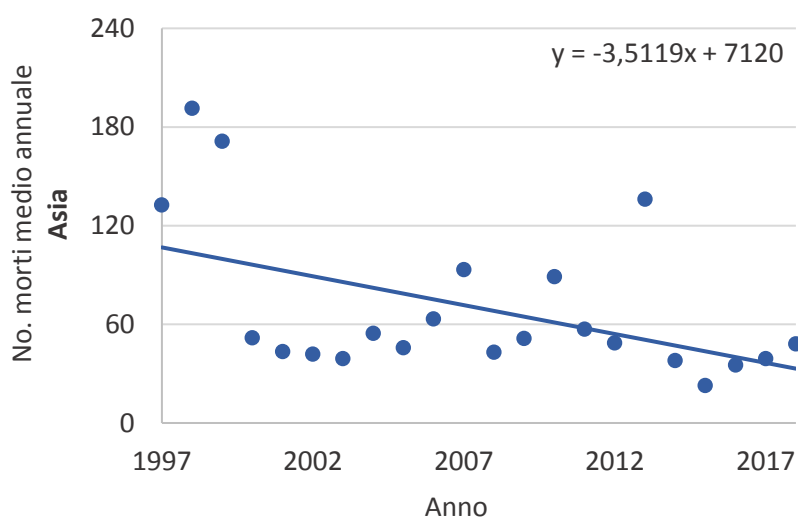


Figura 77. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Asia

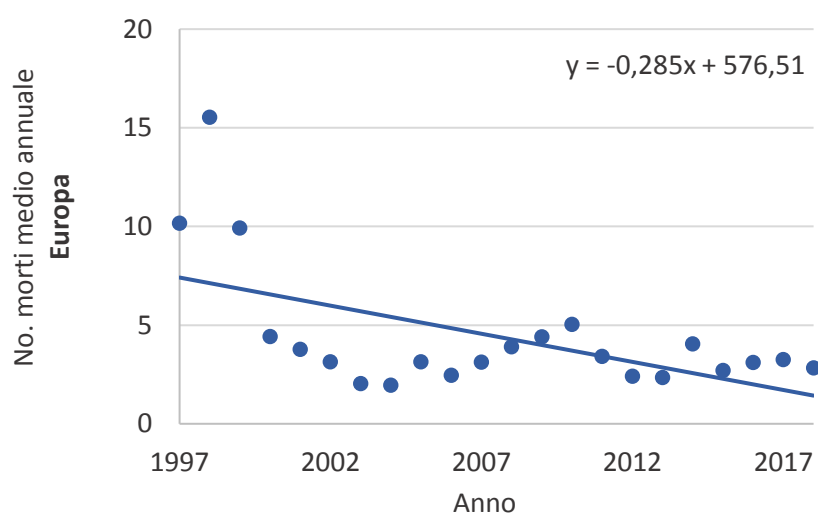


Figura 78. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Europa

Al contrario, nel caso dell'America, dell'Asia e dell'Europa si è osservato che il numero medio del numero dei morti a seguito di eventi catastrofici mostra una generale tendenza decrescente nell'intervallo temporale di osservazione scelto (Fig. 76, 77, 78, Tabella A7).

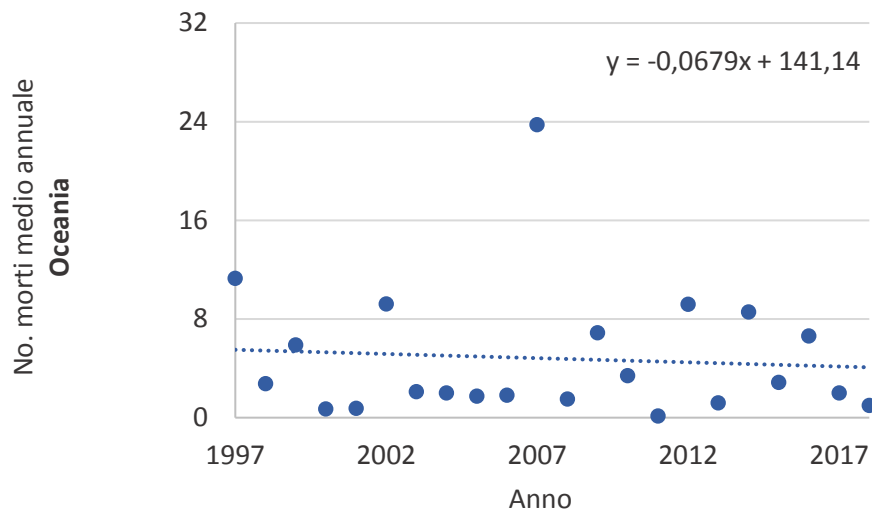


Figura 79. Numero medio annuo di morti dal 1997 al 2018, in Oceania

Infine, l'Oceania ha mostrato un numero di morti piuttosto ridotto, che non ha subito variazioni nel tempo.

4.6.2 Persone coinvolte

Le persone coinvolte da fenomeni idro-meteorologici, dal 1997 al 2018, prevalgono nettamente in Asia (Fig. 80).

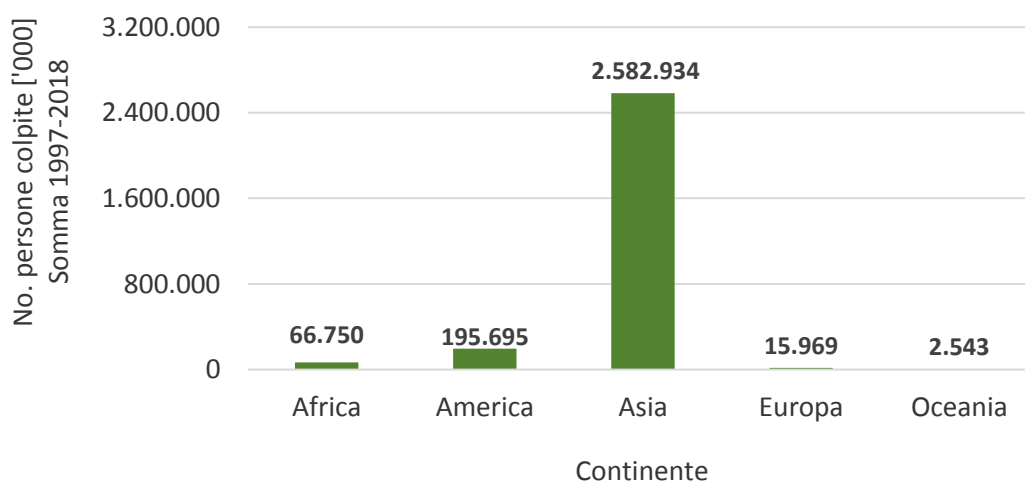


Figura 80. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per continente

Si può riscontrare lo stesso risultato mediando il numero di vittime sul numero di eventi (Fig. 81).

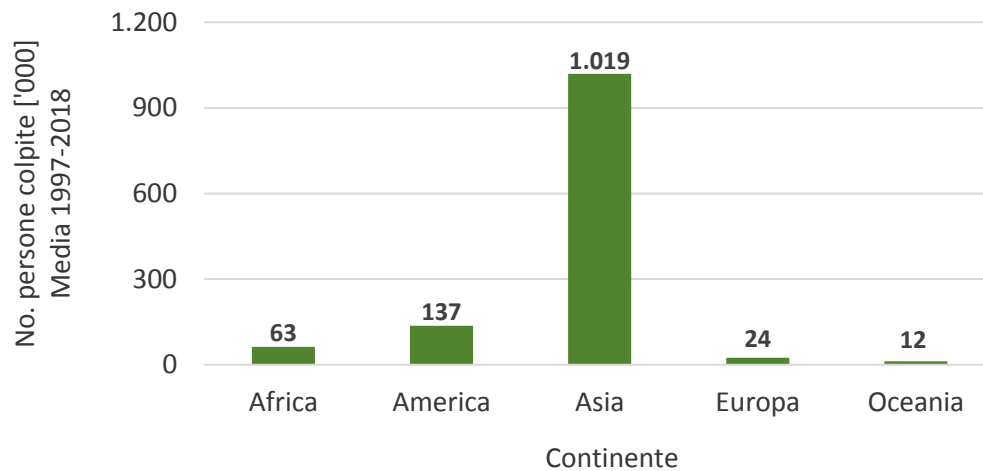


Figura 81. Numero medio di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per continente

Come già discusso in precedenza, le alluvioni e gli uragani sono gli eventi che provocano il maggior numero di feriti e di sfollati, pertanto i valori riportati nel grafico di Figura 81 possono essere ragionevolmente letti come il risultato delle numerose inondazioni provocate dalle piogge monsoniche che hanno colpito il Sud-Est asiatico (Thailandia, Laos, Cambogia, Myanmar), la Cina meridionale, e le isole delle Filippine e dell'Indonesia nell'intervallo temporale analizzato. Di seguito viene rappresentato il numero medio annuo di persone coinvolte, dal 1997 al 2018, per ciascun continente.

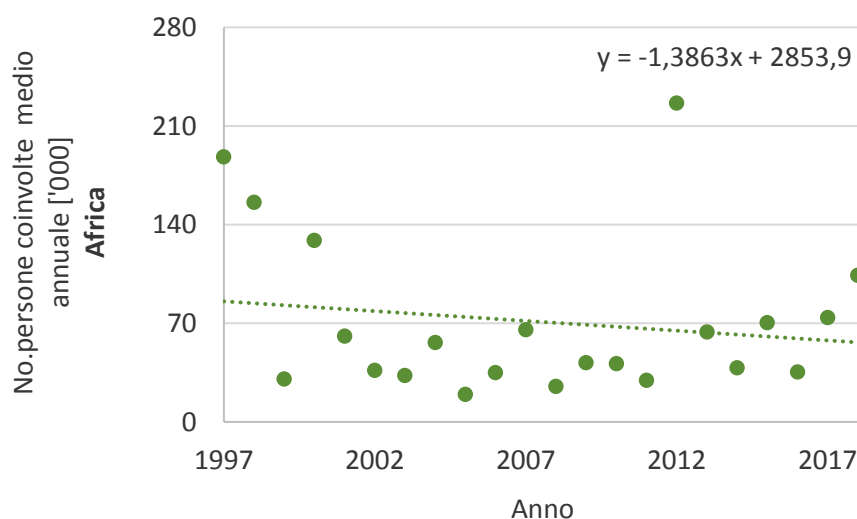


Figura 82. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Africa

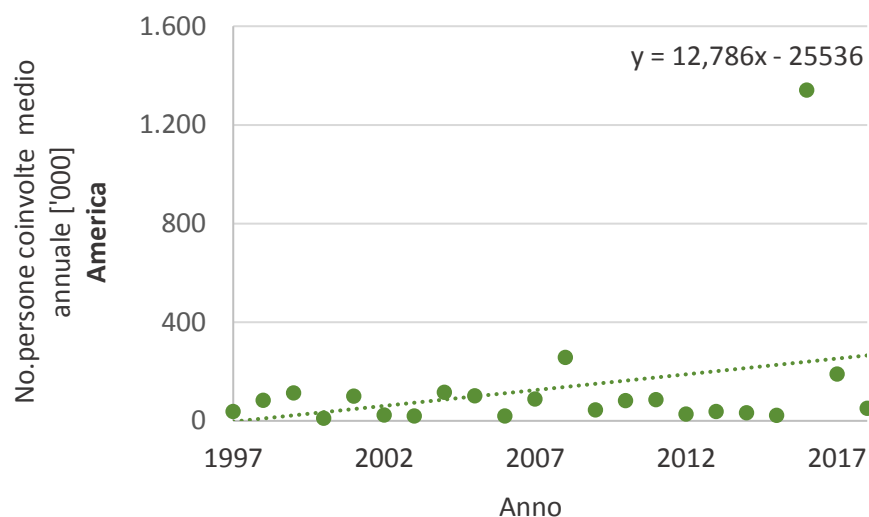


Figura 83. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in America

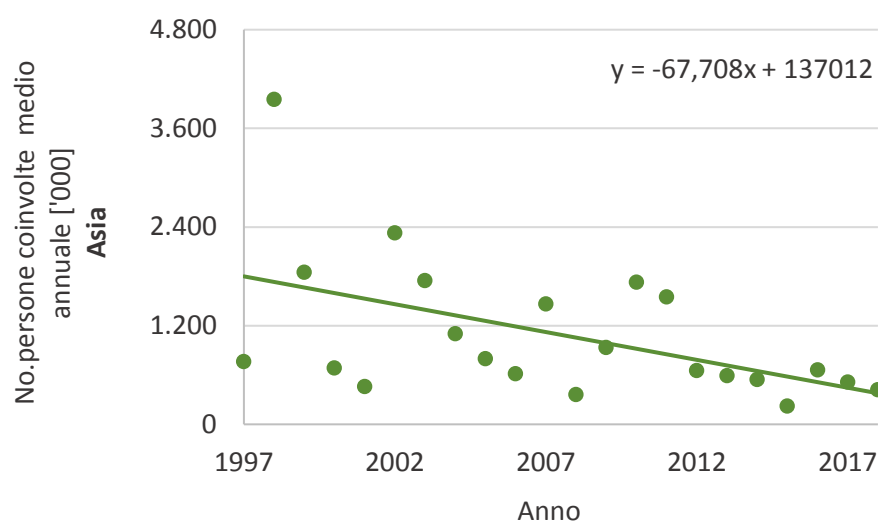


Figura 84. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Asia

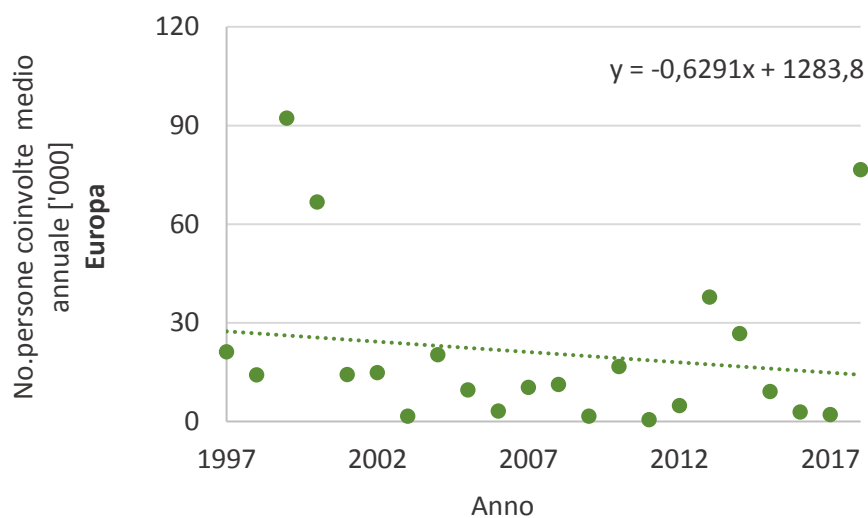


Figura 85. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Europa

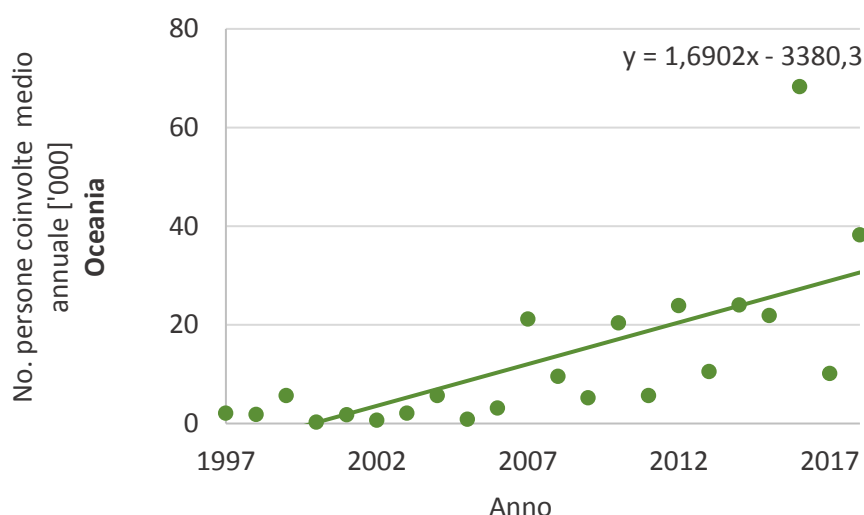


Figura 86. Numero medio annuo di persone coinvolte tra il 1997 ed il 2018, in Oceania

Probabilmente anche a causa della numerosità del campione di dati relativo al continente asiatico, si è osservata una tendenza significativa (decrescente) per l'Asia (Fig. 84, Tabella A7), e, eccezionalmente, crescente in Oceania (Fig. 86, Tabella A7). Quest'ultima area, tuttavia, negli ultimi anni è stata colpita da tre grandi eventi che hanno spostato il valore medio annuale: il Ciclone Wiston nel 2016 che ha generato un'alluvione e provocato 540.000 sfollati nelle isole Fiji, il Ciclone Pam (e relativa alluvione) nel 2015 con 188.000 sfollati in Vanuatu e un'alluvione fluviale in Papua Nuova Guinea nel 2012 con 200.000 sfollati. Nei precedenti anni della serie analizzata, mai nessun evento aveva causato disastri simili in quest'area.

4.6.3 Danno

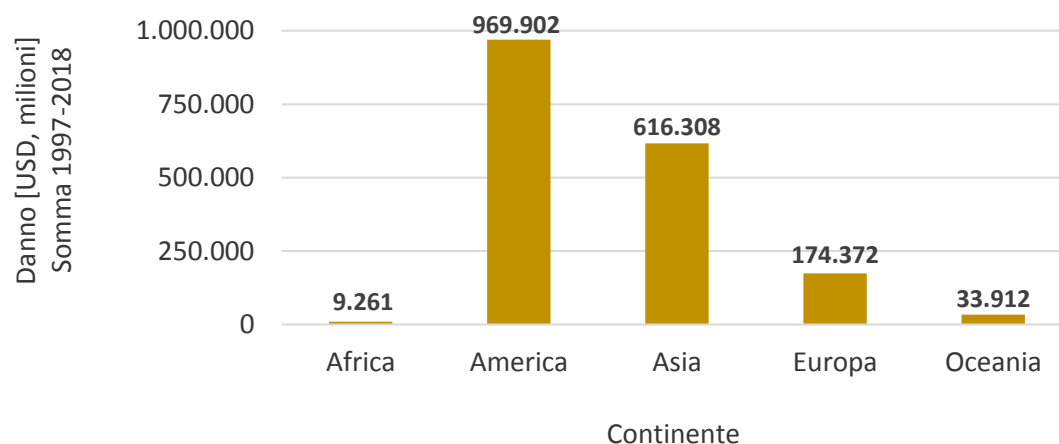


Figura 87. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per continente

Il valore del danno economico totale, derivante dalla somma delle perdite avvenute tra il 1997 ed il 2018, è particolarmente elevato in America, alla quale seguono l'Asia e dall'Europa (Fig. 87). Calcolando il valore medio del danno per ciascun continente, dato dal rapporto tra il danno totale ed il numero di eventi, l'America rimane il paese con le maggiori perdite (Fig. 88). L'Europa invece, a seguito del calcolo del valor medio, risulta avere valori paragonabili a quelli dell'Asia, se non addirittura superiori. Anche il valore del danno in Oceania aumenta, prevalentemente per la presenza dell'Australia. Infine si può osservare che, l'Africa rispetto al totale, mostra valori di danno economico per lo più trascurabili in confronto agli altri continenti.

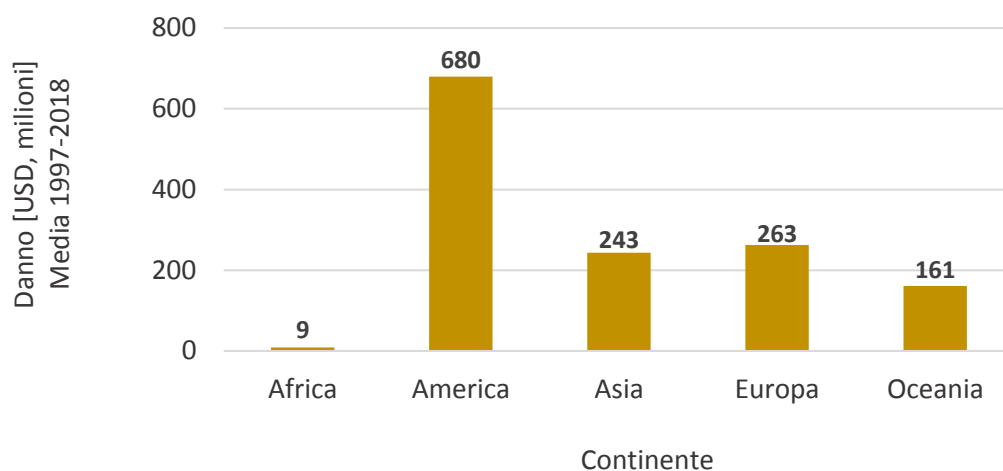


Figura 88. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per continente

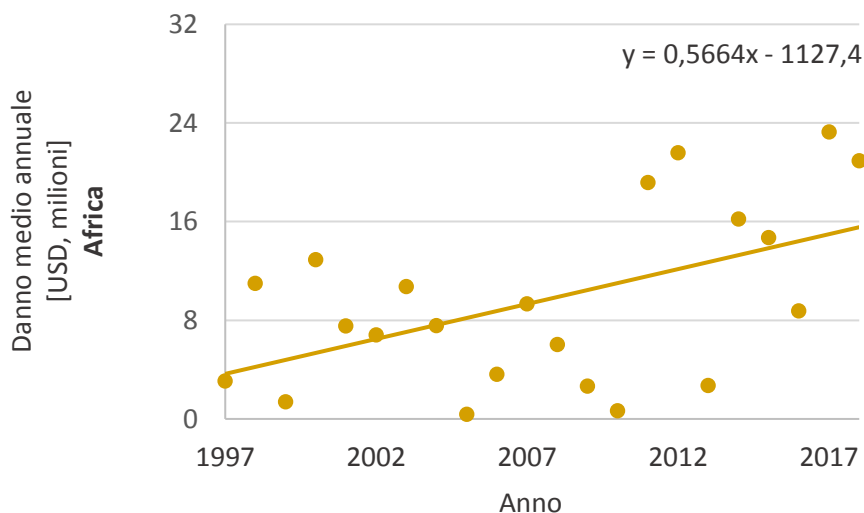


Figura 89. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Africa

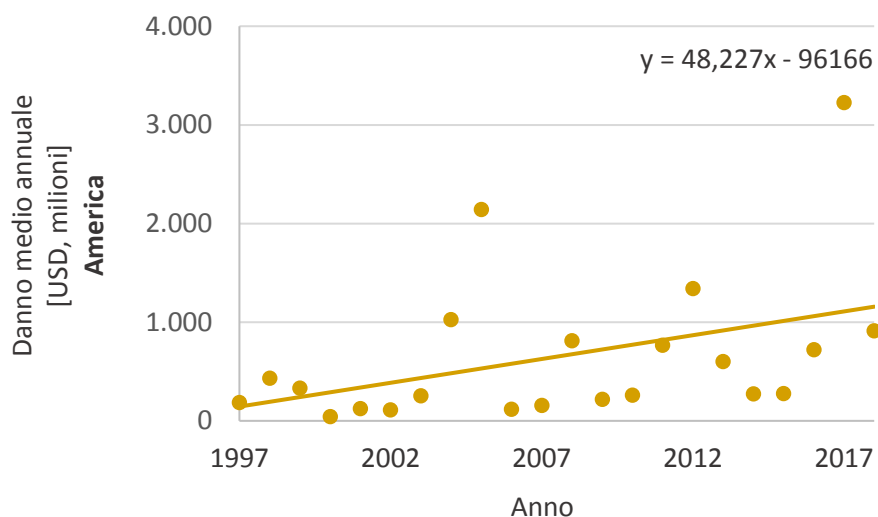


Figura 90. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in America

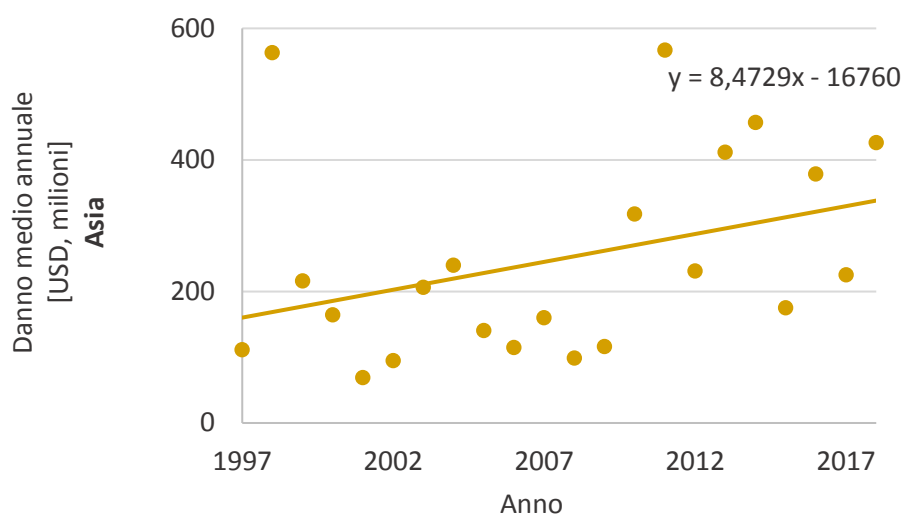


Figura 91. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Asia

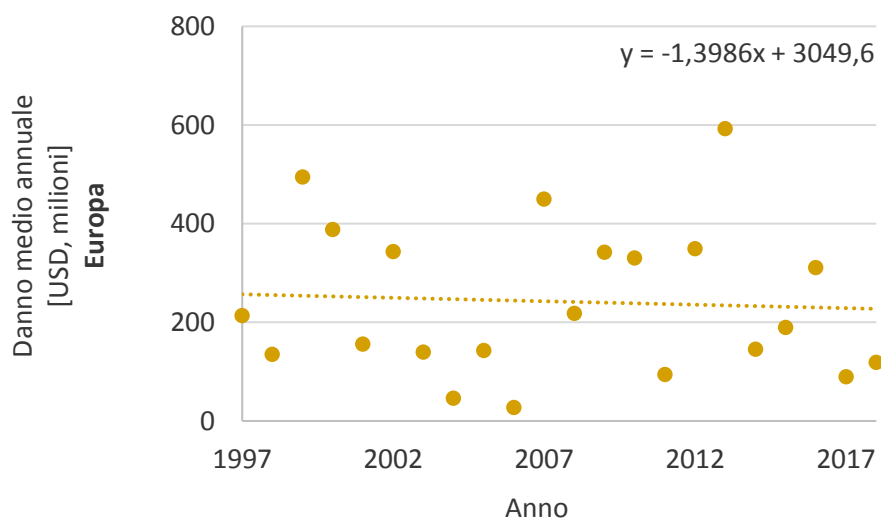


Figura 92. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Europa

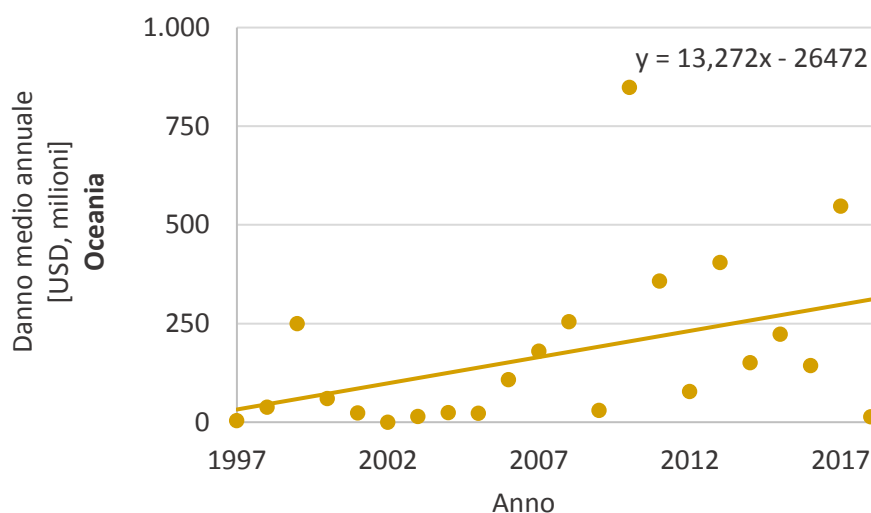


Figura 93. Danno medio annuo tra il 1997 ed il 2018, in Oceania

In maniera analoga a quanto fatto in precedenza, il valore medio annuo del danno, derivante dal rapporto tra la somma annuale dei danni ed il numero di eventi, è stato analizzato al fine di evidenziare eventuali tendenze, considerata la scala temporale 1997-2018. Ad eccezione dell'Europa, per la quale il danno mantiene un valore pressoché costante e senza tendenze significative (Fig. 92), in tutti gli altri continenti si sono osservate delle tendenze crescenti significative (Fig. 89, 90, 91, 93, Tabella A7), coerenti con quanto già osservato su scala globale.

5. L'effetto degli eventi estremi e fattori socio-economici

I risultati ottenuti nelle analisi descritte nel capitolo 4, relative agli eventi ed al loro impatto, hanno dimostrato l'esistenza di una tendenza generale alla riduzione dell'impatto diretto sulle persone, che si è tradotta nella diminuzione del numero di perdite umane, e un generale aumento dei danni economici. Per meglio comprendere tali risultati, si è scelto di svolgere un'ulteriore indagine, condotta su base nazionale, finalizzata all'analisi del rapporto tra la distribuzione spazio-temporale degli eventi considerati e i loro impatti e opportuni indicatori socio-economici (percentuale di popolazione urbana, Indice di Sviluppo Umano, o HDI, e Prodotto Interno Lordo).

5.1 Popolazione urbana

Come già osservato, gran parte degli eventi si distribuisce nelle aree con maggior densità di popolazione. Si è scelto quindi di investigare come l'impatto degli eventi estremi possa essere influenzato dalle caratteristiche della popolazione di ciascun paese. In questa fase, si è quindi presa in considerazione la percentuale di popolazione urbana (Fonte: *World Bank*) per ciascuna nazione (Fig. 94). Tali dati di popolazione vengono raccolti su base annuale, per cui, per ogni paese viene calcolata una media relativa al periodo 1997-2018. Ai fini delle analisi e della rappresentazione, si è scelto di classificare ciascuno stato considerando quattro categorie di percentuale di popolazione urbana (0-25%, 25-50%, 50-75% e 75-100%).

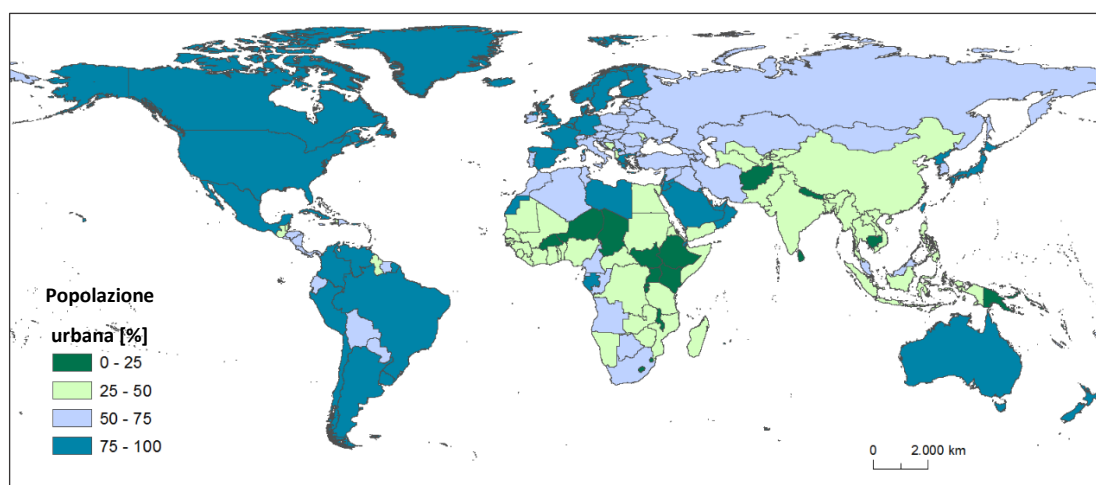


Figura 94. Mappa su classi di percentuale di popolazione urbana dei paesi, espressa in percentuale

La popolazione urbana è complementare con la popolazione rurale, e, come la popolazione mondiale globale, è in costante crescita. La rappresentazione cartografica riportata in Figura 94 mostra valori di popolazione urbana superiori al 80% prevalentemente in America, in Europa e in Oceania (Australia e Nuova Zelanda). In Asia, solo Giappone e Corea presentano valori di popolazione urbana rilevanti, mentre tra i paesi Africani, fatta eccezione di Libia e Gabon che superano l'80%, i valori si aggirano tra il 20% ed il 70%. Viceversa, prevale una popolazione di tipo rurale nelle isole dell'Oceania (Vanuatu, Tonga, Micronesia, Isole Salomone, Papua Nuova Guinea, Samoa), nei paesi dell'Africa Centrale (Kenya, Sudan, Etiopia, Ciad, Niger, Malawi, Ruanda, Uganda) e in alcuni stati asiatici (Nepal, Afghanistan, Sri Lanka, Cambogia). Una volta classificati i paesi secondo il relativo valore di popolazione urbana, è stata poi analizzata la distribuzione del numero di morti, di persone coinvolte e del danno economico dovuti agli eventi per tali classi globalmente ed è stata inoltre esaminata la variazione di tali valori nel tempo nell'intervallo temporale esaminato.

5.1.1 Morti e popolazione urbana

Sommando le vittime riportate tra il 1997 ed il 2018 in ciascun dei paesi appartenenti alle diverse classi di popolazione urbana considerate, risulta che il maggior numero di morti avvenga dove prevale una popolazione di tipo rurale (25-50%). Va detto però, che questa classe comprende gran parte degli stati dell'Asia meridionale, dove la densità di popolazione è particolarmente elevata (Fig. 95).

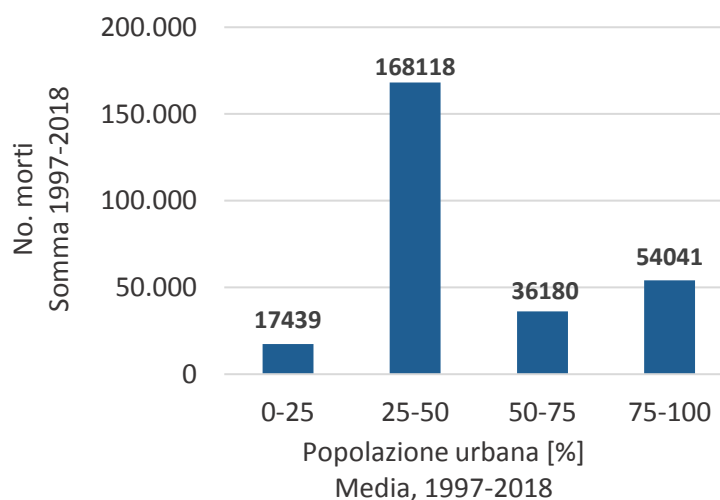


Figura 95. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana

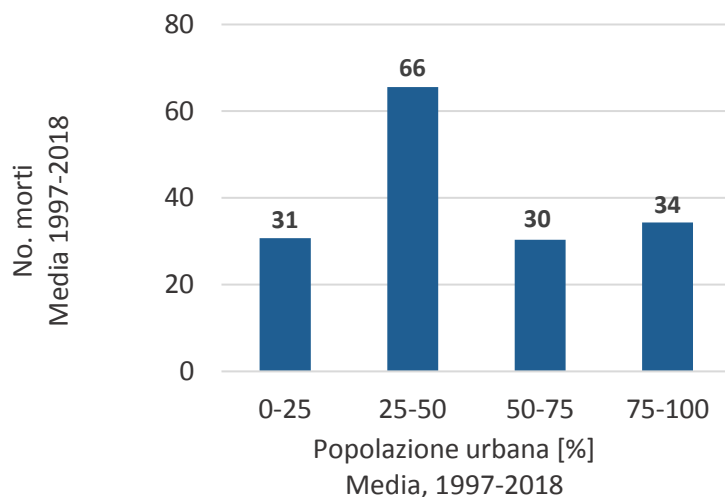


Figura 96. Numero di vittime medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana

Calcolando anche in questo caso un valore medio del numero totale delle vittime sul numero di eventi per gli stati appartenenti alle varie classi di popolazione urbana in ciascun anno, è risultato che quella compresa tra il 25% ed il 50% rimane quella predominante (Fig. 96). Per avere un riscontro con i risultati ottenuti in precedenza, è stato inoltre analizzato l'andamento nel tempo del valore medio annuale per la classe con maggiore numerosità (25-50%), ottenuto dal rapporto tra il numero di morti ed il numero di eventi, tra il 1997 ed il 2018 (Fig. 97).

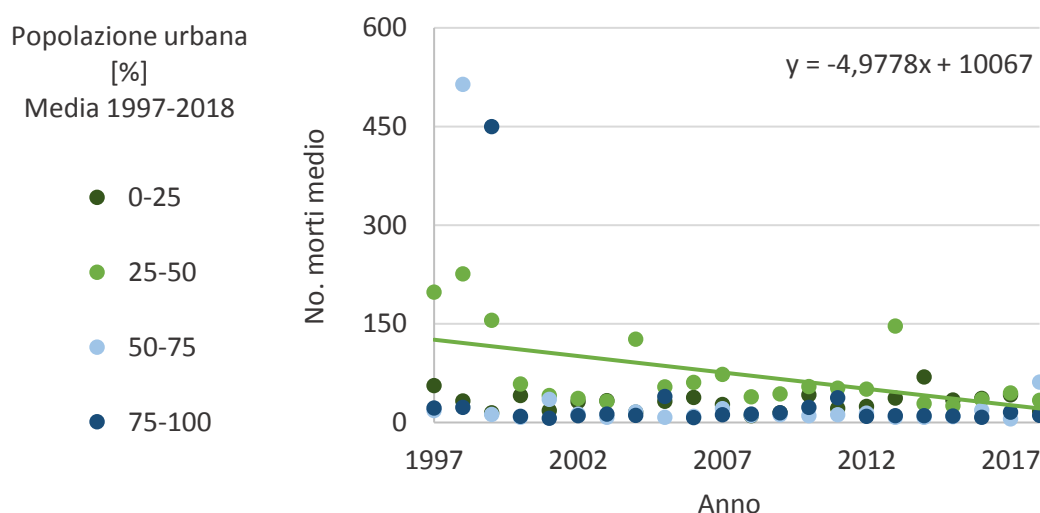


Figura 97. Numero medio annuo di morti su classi di popolazione urbana tra il 1997 e il 2018, con retta di regressione lineare per la classe 25-50%

Tale andamento ha mostrato una tendenza significativa decrescente nell'intervallo

temporale analizzato (Tabella A8).

5.1.2 Persone coinvolte e popolazione urbana

Si procede analogamente con il numero di persone colpite, ottenendo lo stesso esito, ovvero, che la classe di popolazione urbana compresa tra il 25 ed il 50% presenta il maggior numero di persone colpite, sia in una visione di insieme (Fig. 98), sia considerando il valore medio (Fig. 99).

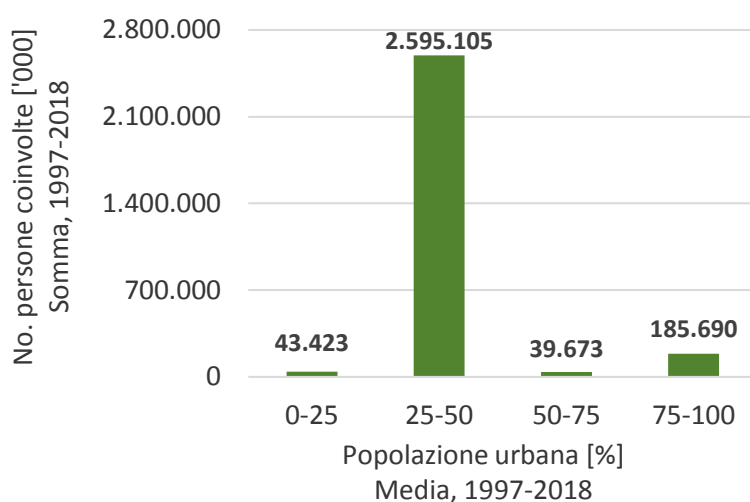


Figura 98. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana

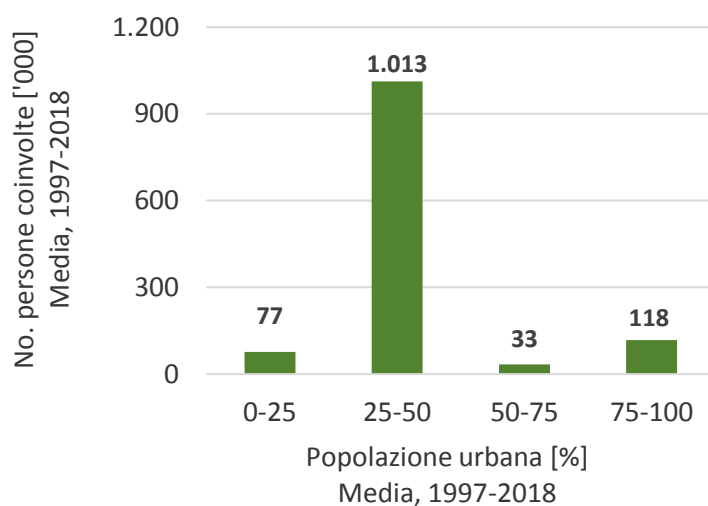


Figura 99. Numero di persone coinvolte medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di popolazione urbana

Rappresentando la retta di regressione della classe 25-50% è possibile osservare che c'è una diminuzione del numero medio annuale (Fig. 100, Tabella A8).

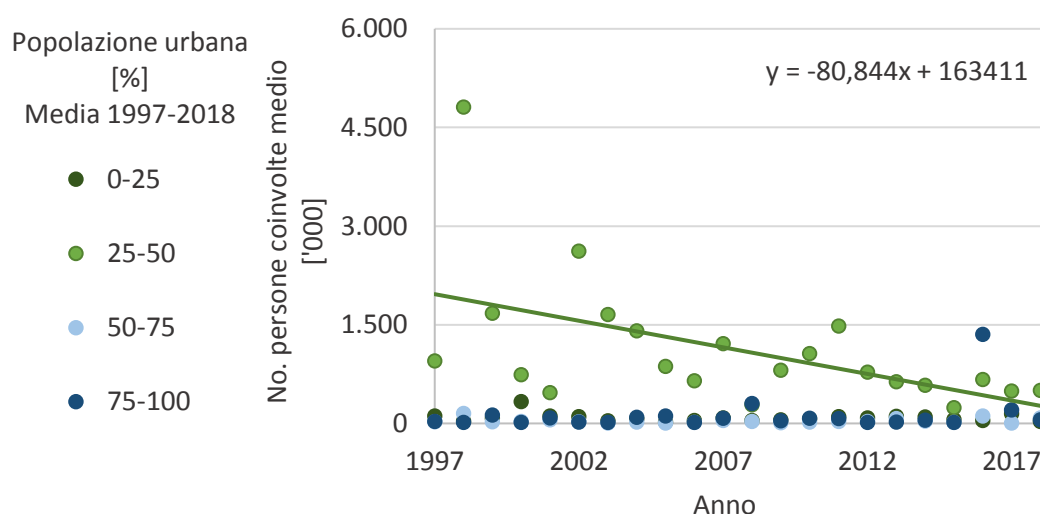


Figura 100. Numero medio annuo di persone colpite su classi di popolazione urbana tra il 1997 ed il 2018, con retta di regressione lineare per la classe 25-50%

5.1.3 Danno e popolazione urbana

Le perdite economiche totali assumono valori più elevati, principalmente, quando il danno è di tipo strutturale, per questo motivo si vuole verificare la presenza di una correlazione tra centri urbani e danno.

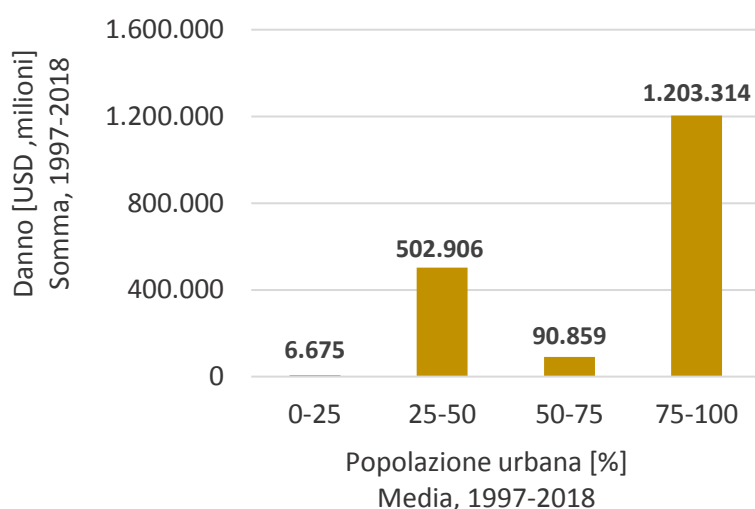


Figura 101. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per classi di popolazione urbana

Si procede quindi con una rappresentazione di insieme, nella quale i danni, registrati tra il 1997 ed il 2018, vengono sommati e riportati per ciascuna classe di popolazione. Come

ci si poteva aspettare, le classi con maggior popolazione urbana sono anche quelle che presentano il maggior danno (Fig. 101), e lo stesso succede quando il danno viene mediato sul numero di eventi (Fig. 102).

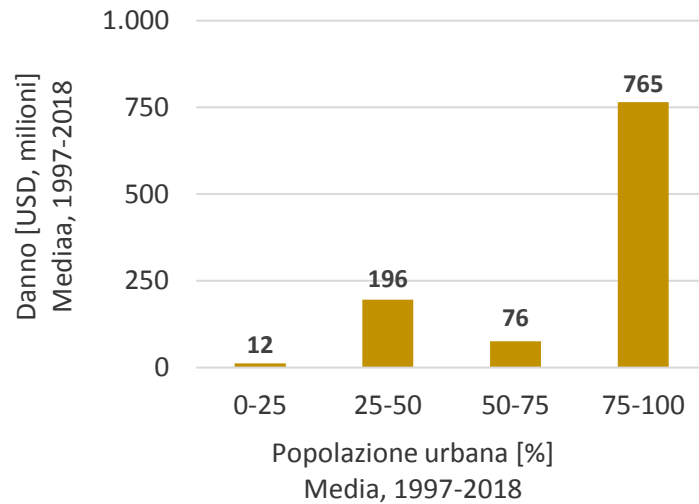


Figura 102. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per classi di popolazione urbana

Prendendo in esame la classe di popolazione urbana predominante, viene tracciata la retta di regressione lineare (Fig. 103) dei valori medi annuali di danno, che mostra un trend crescente (Tabella A8).

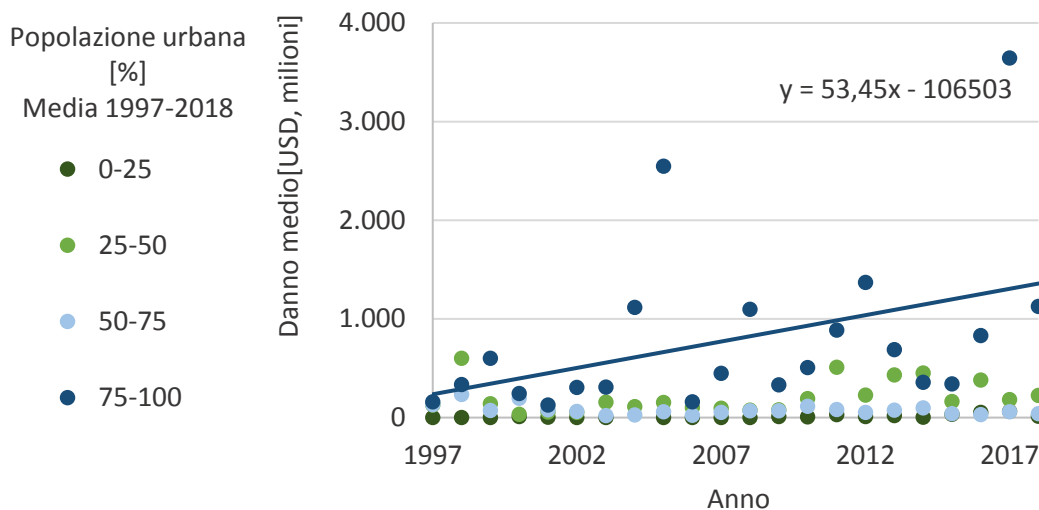


Figura 103. Danno medio annuo su classi di popolazione urbana tra il 1997 ed il 2018, con retta di regressione lineare per la classe 75-100%

Dall'osservazione dei dati statistici si evince che ci sia una maggior esposizione della popolazione se di tipo rurale, viceversa, le maggiori perdite economiche si riscontrano nei paesi con un grado di urbanizzazione più alto.

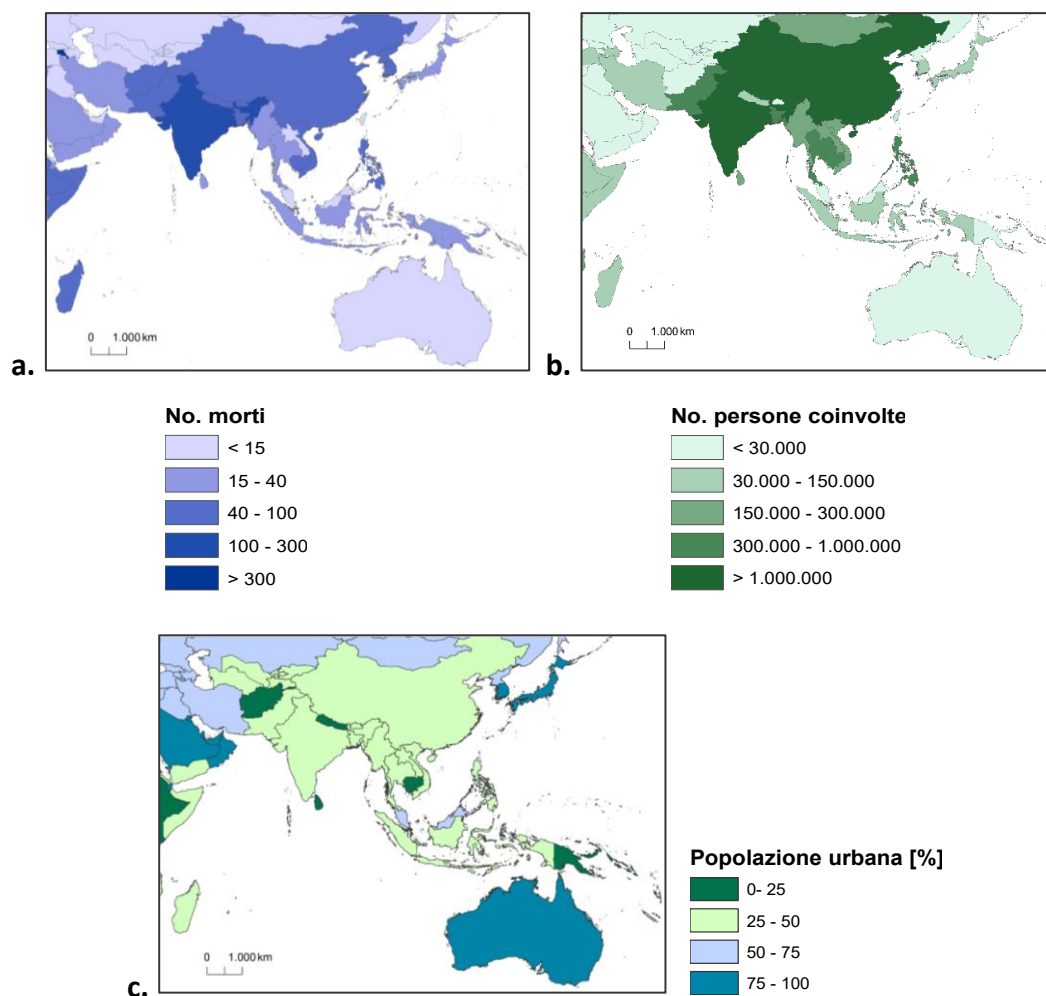
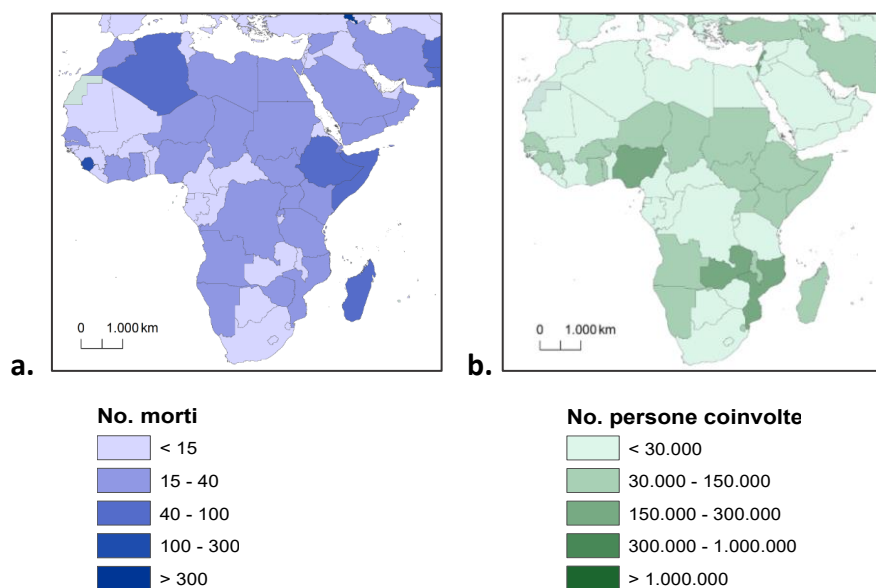


Figura 104. Confronto tra popolazione urbana, morti e persone colpite in Asia: **a.** numero medio di morti; **b.** numero medio di persone colpite; **c.** percentuale di popolazione urbana. Tutte le grandezze sono delle medie relative all'intervallo 1997-2018



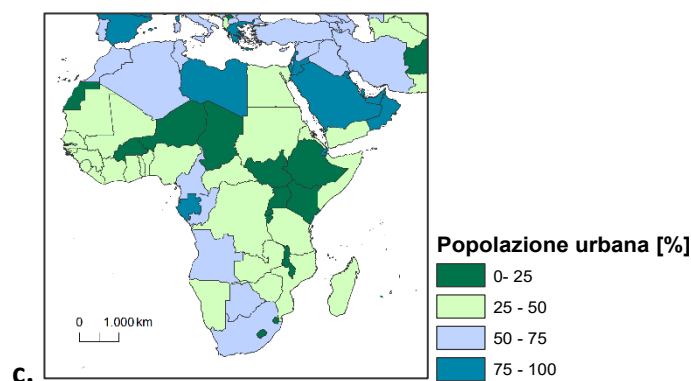


Figura 105. Confronto tra popolazione urbana, morti e persone colpite in Africa. **a.** numero medio di morti; **b.** numero medio di persone colpite; **c.** percentuale di popolazione urbana. Tutte le grandezze sono delle medie relative all'intervallo 1997-2018

Lo stesso può essere osservato dalle mappe relative al numero di morti, e di persone coinvolte, medi, relativi al periodo 1997-2018, e calcolati per ogni nazione; c'è infatti corrispondenza tra i paesi caratterizzati da una popolazione rurale predominante ed i paesi con un impatto umano rilevante (Fig. 104, 105), ovvero i paesi dell'Africa e dell'Asia.

Contrariamente, i paesi con più popolazione urbana sono quelli che subiscono maggiori perdite economiche (Fig. 106, 107), è il caso dell'Europa e dell'America settentrionale.

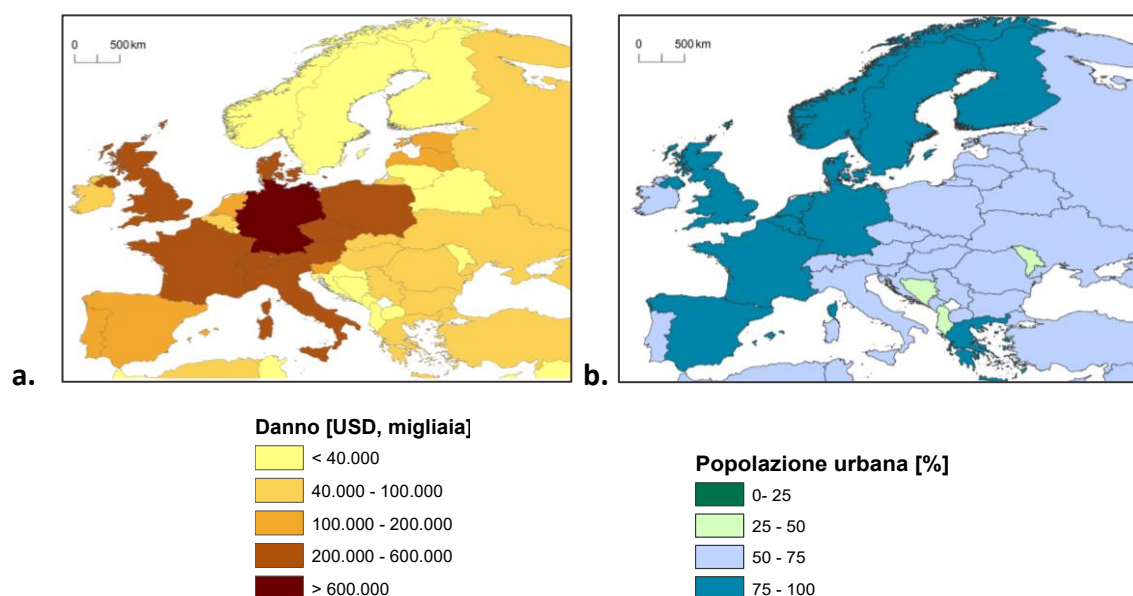


Figura 106. Confronto tra popolazione urbana e danno medio in Europa: **a.** danno medio; **b.** percentuale di popolazione urbana. Tutte le grandezze sono delle medie relative all'intervallo 1997-2018

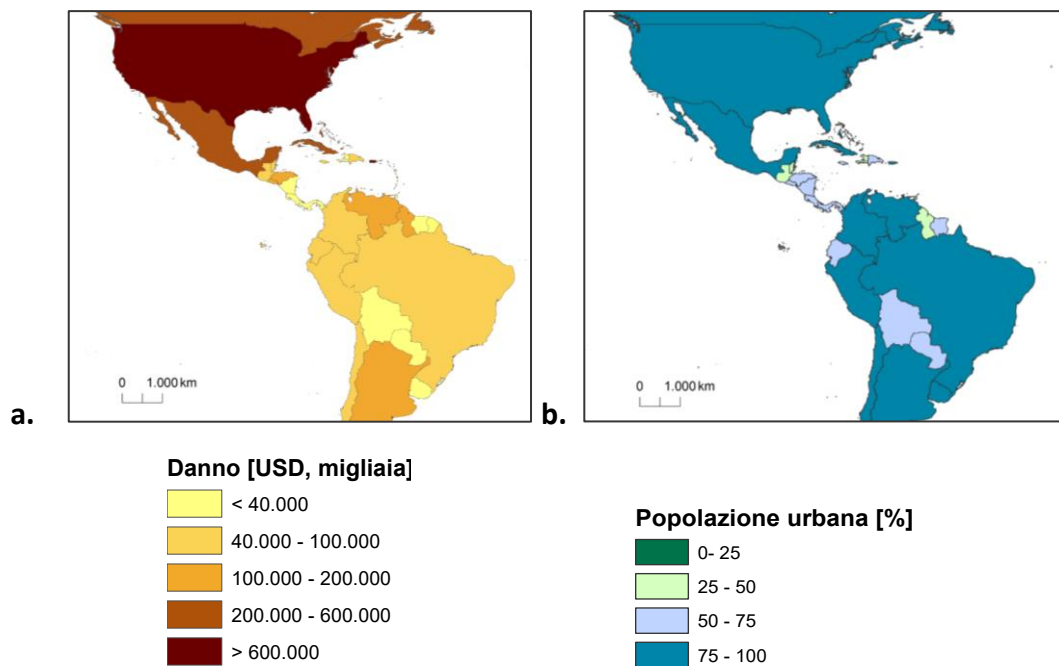


Figura 107. Confronto tra popolazione urbana e danno medio in America: **a.** danno medio; **b.** percentuale di popolazione urbana. Tutte le grandezze sono delle medie relative all'intervallo 1997-2018

Pertanto, il maggior danno si registra prevalentemente quando vengono coinvolti i centri urbani, dove ci sono più beni esposti, come infrastrutture ed edifici, caratterizzati da un valore economico solitamente alto. L'aumento della popolazione urbana implica, inoltre, un aumento dell'esposizione, e conseguentemente della domanda di strategie e di servizi di gestione ed adattamento del rischio, infatti dove prevale una popolazione di tipo rurale il tasso di mortalità è più alto.

5.2 Indice di sviluppo umano (HDI)

Ci sono fattori che possono contribuire ad incrementare o a ridurre l'esposizione agli eventi estremi, ad esempio, la qualità della vita ed il livello di informazione. A tal proposito, è stato preso in esame l'Human Development Index (Fonte: PNUD), un parametro che tiene conto dello sviluppo della popolazione, sulla base delle aspettative di vita, in termini di salute e di ricchezza, e dell'istruzione. L'HDI rappresenta quindi un indicatore utile nella valutazione del livello di informazione e comunicazione di un paese. L'Indice di Sviluppo Umano è un valore che viene calcolato annualmente e che si esprime in percentuale. I dati reperiti arrivavano fino al 2017, per cui, per ciascun paese, è stata effettuata una media dei valori, dal 1997 al 2017, che ha consentito una rappresentazione su base nazionale (Fig. 108).

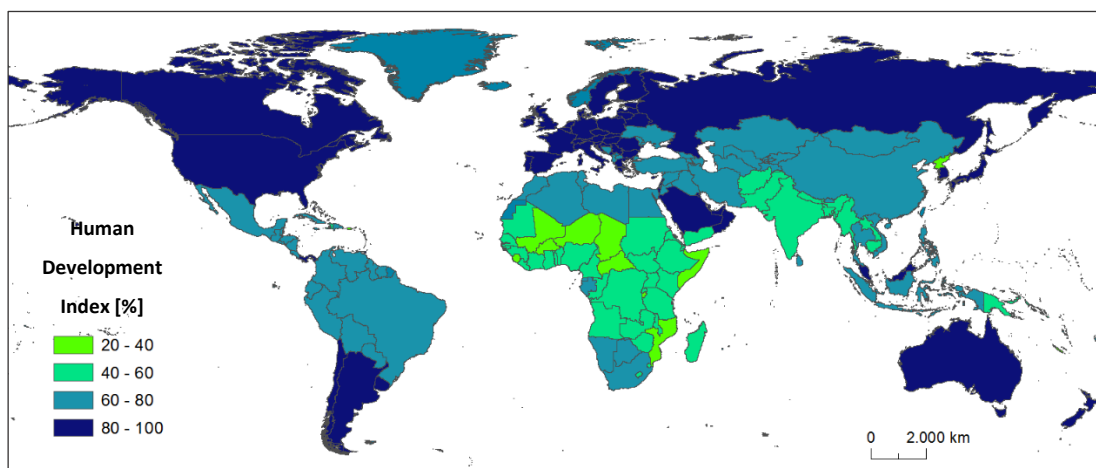


Figura 108. Mappa su classi di Human Development Index (HDI, espresso in percentuale)

L'HDI assume valori superiori all'80% nei paesi europei, in Australia e Nuova Zelanda e principalmente nell'America settentrionale. Si possono riscontrare valori leggermente più bassi (60-80%) in alcuni paesi dell'Asia, come la Cina e l'Indonesia, e dell'America centro-meridionale. È invece l'Africa ad avere il maggior numero di paesi con un Indice di Sviluppo Umano piuttosto basso (40-60%), insieme a paesi asiatici come India, Afghanistan, Pakistan e Myanmar. Gli unici paesi che rientrano nella classe 20-40% sono pochi, e si trovano tutti in Africa (Niger, Ciad, Repubblica Centrafricana, Mali, Burkina Faso, Mozambico e Somalia). Considerando l'HDI come parametro del livello di informazione di una popolazione, è stato messo in relazione con il numero di vittime e di persone coinvolte da eventi estremi.

5.2.1 Morti e HDI

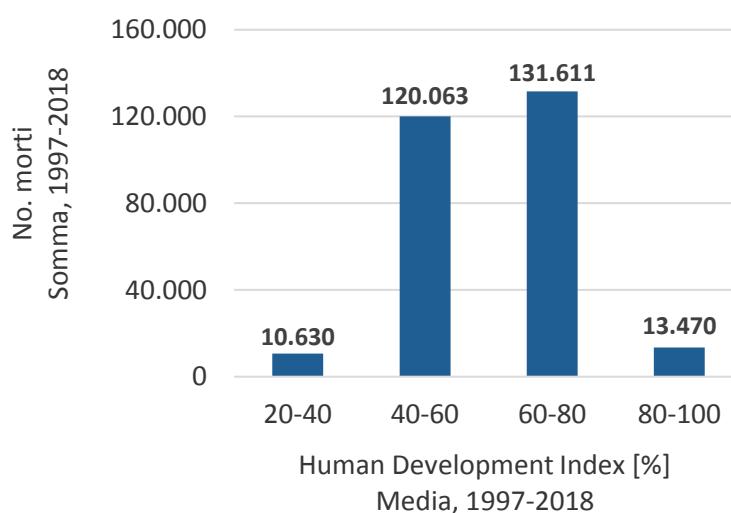


Figura 109. Somma del numero di vittime, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi HDI

Da una suddivisione dei paesi secondo il rispettivo grado di sviluppo, il maggior numero di morti registrato tra il 1997 ed il 2018, risulta essersi verificato per valori di HDI medio-basso (Fig. 109). Si tenga in considerazione che il campione di dati caratterizzati da un HDI tra il 20% ed il 40 % comprende solo pochi stati africani a loro volta caratterizzati da una densità demografica molto bassa (inferiore a 20 persone/km²).

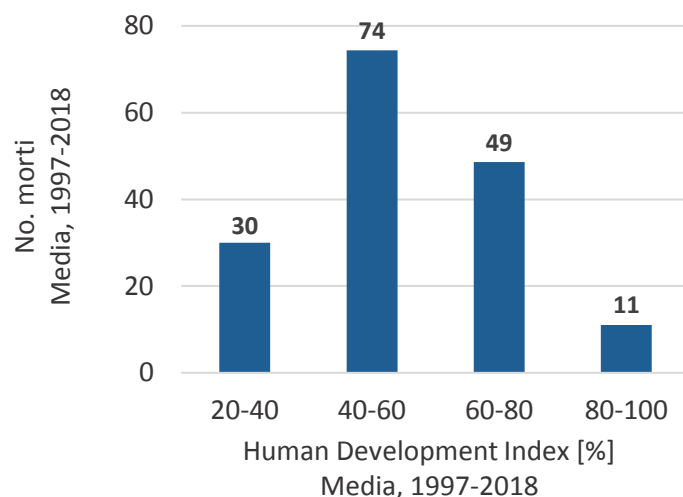


Figura 110. Numero di vittime medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di HDI

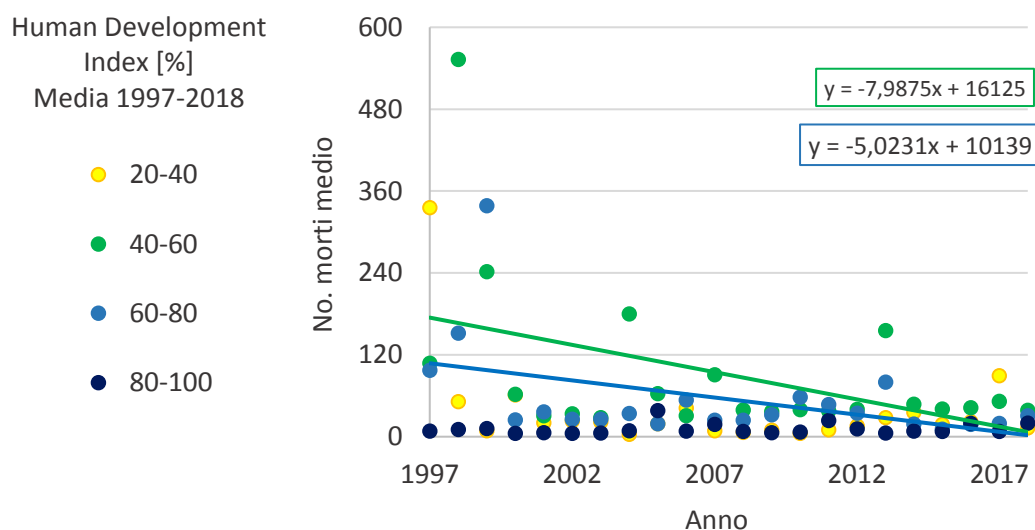


Figura 111. Numero medio annuo di morti su classi di HDI tra il 1997 ed il 2018, con le rette di regressione lineare per le classi 40-60% e 60-80%

Questa stessa associazione è ancor più visibile dalla rappresentazione dei valori medi (Fig. 110), dove risulta che ad un HDI più basso corrispondono effettivamente più morti, ad esclusione della classe 20-40% che, tuttavia, rappresenta solo una piccola parte degli

stati del mondo. Rappresentando le linee di tendenza delle due classi più numerose (Fig. 111), i valori medi annuali mostrano una diminuzione nel tempo (Tabella A8).

5.2.2 Persone coinvolte e HDI

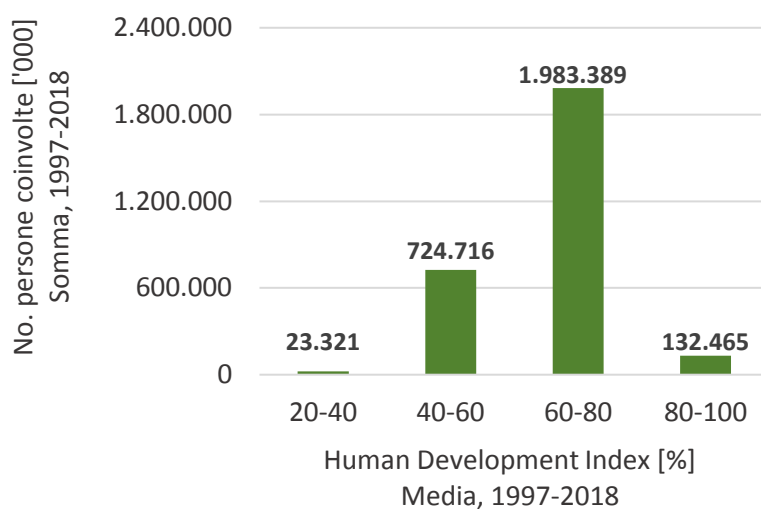


Figura 112. Somma del numero di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di HDI

Un ragionamento analogo a quello delle vittime registrate è stato fatto con il numero di persone coinvolte, dove la classe più numerosa è quella con HDI compreso tra 60% e 80% (Fig. 112). Calcolando il valore medio, dal rapporto del numero di persone coinvolte sul numero di eventi, il risultato rimane simile (Fig. 113).

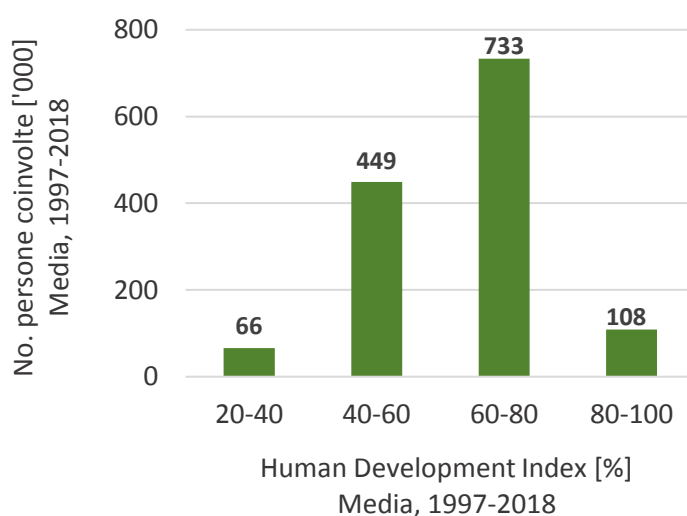


Figura 113. Numero di persone coinvolte medio, tra il 1997 ed il 2018, per paesi suddivisi in classi di HDI

Dal grafico si può osservare che nella classe di maggior sviluppo, nonostante l'elevata densità di alcuni paesi europei, il numero di persone coinvolte è piuttosto ridotto.

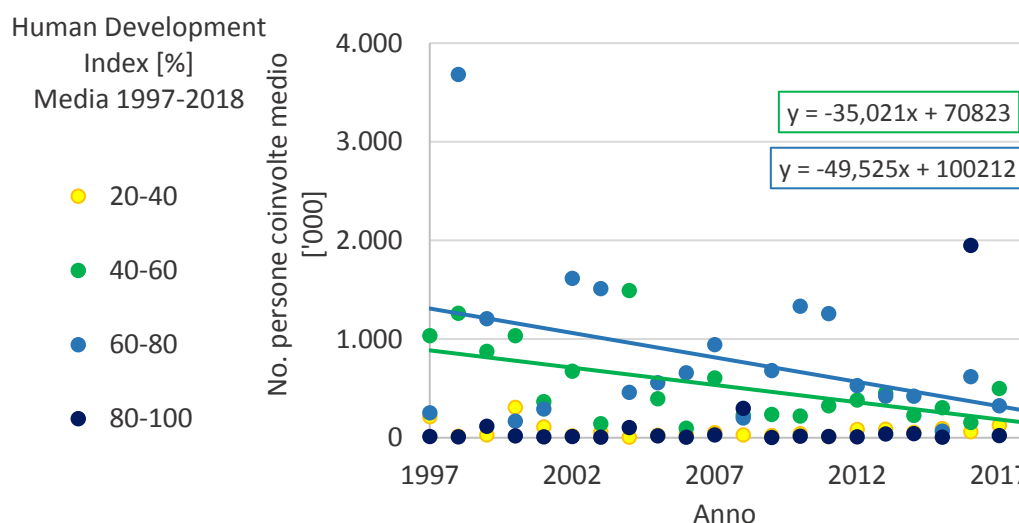
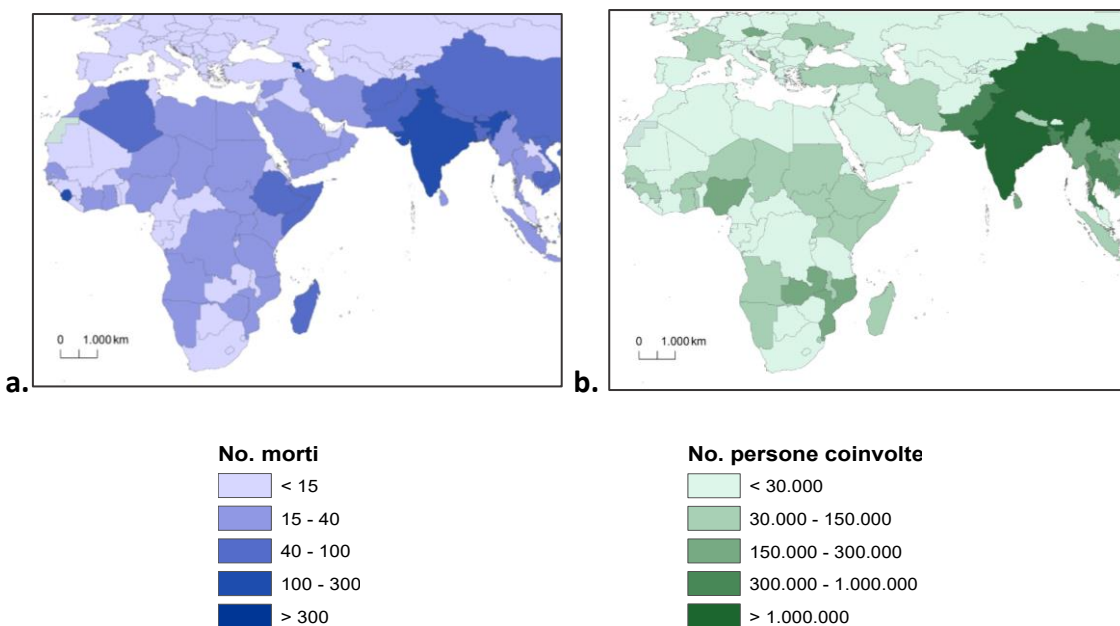


Figura 114. Numero medio annuo di persone coinvolte su classi di HDI tra il 1997 ed il 2018, con le rette di regressione lineare per le classi 40-60% e 60-80%

Infine, per le due classi più numerose vengono tracciate le due rette di regressione lineare (Fig. 114), attraverso le quali è possibile osservare un declino del valore medio annuo (Tabella A8).

I paesi con un HDI più basso si trovano principalmente in Africa ed in una parte limitata dell'Asia; confrontando l'indice di sviluppo umano con il valore medio di morti e di persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, per ciascuna nazione si può osservare una corrispondenza (Fig. 115).



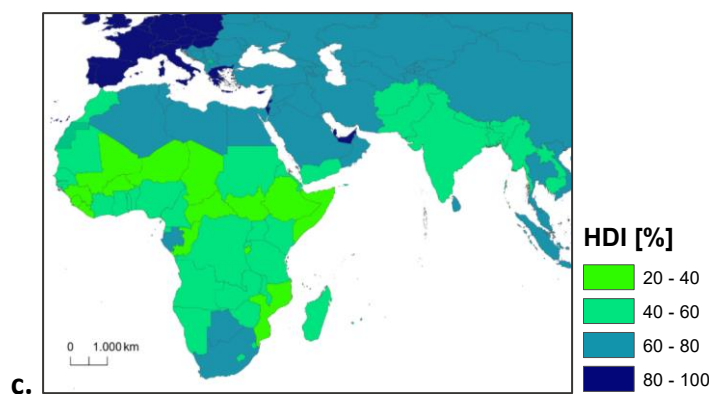


Figura 115. Confronto tra Human Development Index, numero medio di morti e numero medio di persone colpite in Africa ed Asia: **a.** numero medio di morti; **b.** numero medio di persone colpite; **c.** Human Development Index [%]. Tutte le grandezze sono delle medie relative all'intervallo 1997-2018

I risultati dell'analisi permettono quindi di associare ad un a maggior sviluppo, una migliore comunicazione e quindi un minor numero di vittime. Negli ultimi anni, inoltre, sono stati sviluppati sistemi di allerta, in grado di mettere in sicurezza intere popolazioni. Tali sistemi potrebbero essere uno dei principali motivi del calo nel numero di morti e di persone coinvolte nei paesi meno sviluppati. Un chiaro esempio di mancata comunicazione è il Ciclone Nargis, avvenuto nel 2008 in Myanmar, che ha spazzato via interi villaggi e causato ben 138.366 vittime. Questo evento, eccezionalmente distruttivo, si sarebbe potuto contenere, almeno in parte, se la popolazione fosse stata avvisata della calamità che stava per incombere.

5.3 Prodotto Interno Lordo (PIL)

I dati statistici hanno, nelle precedenti analisi, confermato l'aumento delle perdite economiche, dal 1997 al 2018. Per questo motivo è stata successivamente eseguita un'indagine in funzione del Prodotto Interno Lordo (PIL) di ciascun paese (Fonte: *World Bank*). Ad uno stato con PIL più elevato si associa, in genere, una maggior ricchezza, e quindi un maggior valore dei beni esposti. Il reddito è un parametro che può variare annualmente, perciò si esegue una media dei valori di PIL, tra il 1997 ed il 2018, per ciascuna nazione e si effettua una suddivisione in cinque classi (Fig. 116).

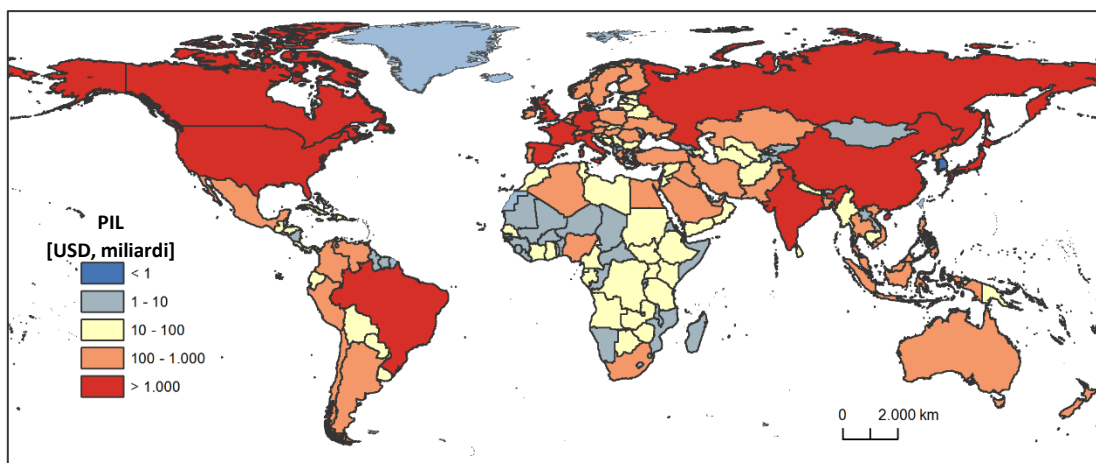


Figura 116. Mappa su classi di Prodotto Interno Lordo (PIL), espresso in miliardi di USD

Dall'immagine in Figura 116 si osserva che i paesi più ricchi sono principalmente Stati Uniti, Canada, Brasile, buona parte dei paesi europei, Russia, Cina ed India. I valori più bassi vengono invece riportati nei paesi dell'America Centrale (Nicaragua, Suriname, Guyana), in quasi tutta l'Africa ed in alcuni paesi dell'Asia, come il Laos e la Mongolia.

5.3.1 Danno e PIL

La rappresentazione del danno su classi di PIL mostra una netta prevalenza dei costi nei paesi con un PIL dell'ordine delle migliaia di miliardi, questo può essere riscontrato sia nell'istogramma delle perdite economiche totali (Fig. 117), sia in quello del danno medio (Fig. 118).

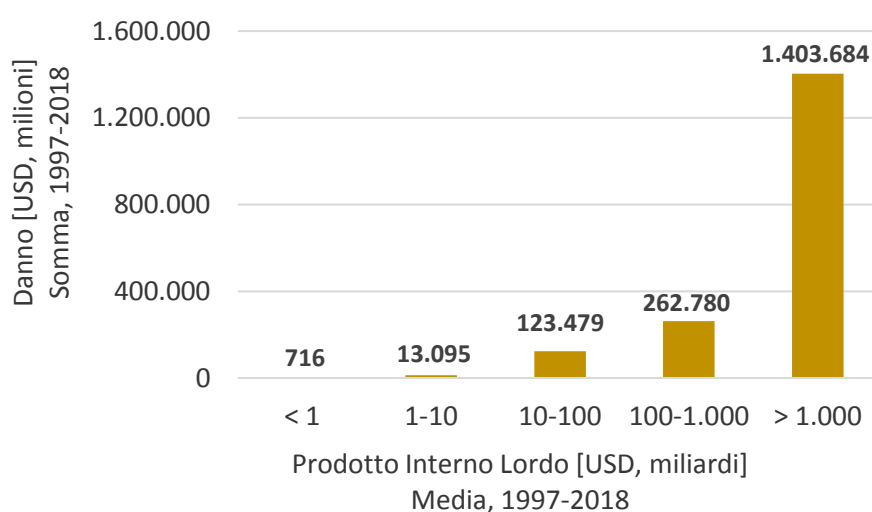


Figura 117. Somma dei danni, riportati tra il 1997 ed il 2018, per classi di PIL [USD, miliardi]

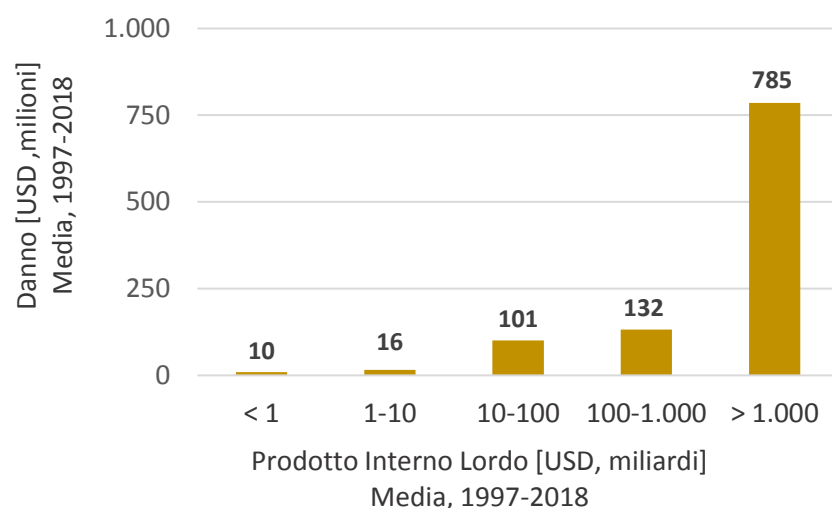


Figura 118. Danno medio, riportato tra il 1997 ed il 2018, per classi di PIL [USD, miliardi]

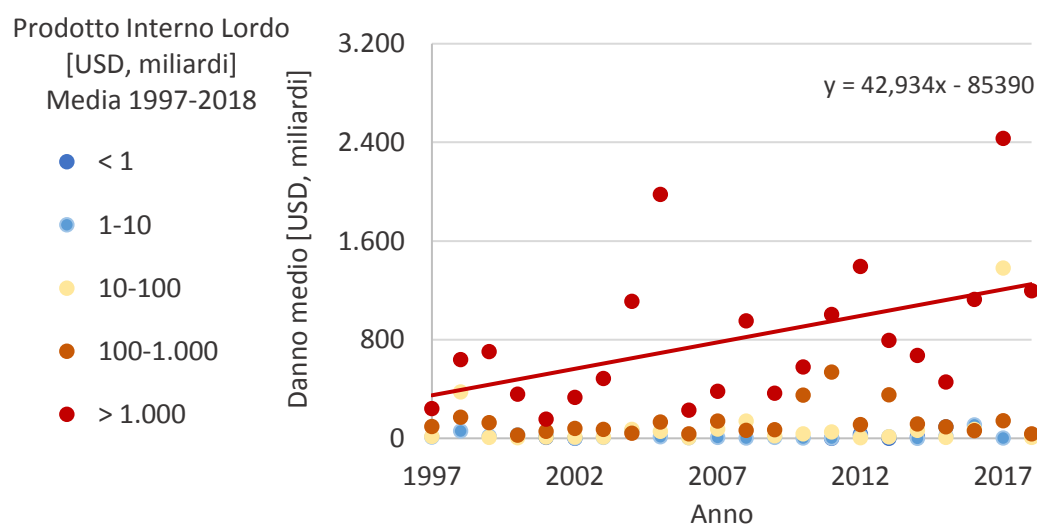


Figura 119. Danno medio annuo su classi di PIL tra il 1997 ed il 2018, con la retta di regressione lineare per la classe con PIL > 1.000 miliardi di USD

Vista la predominanza del campione di dati appartenente alla classe con PIL superiore a 1.000 miliardi di dollari, viene successivamente rappresentato l'andamento del valore medio del danno annuale per la serie presa in esame (1997-2018), che mostra una chiara crescita nel tempo (Fig. 119, Tabella A8). Secondo quanto emerge da quest'ultima statistica, ad un maggior PIL viene associato un maggior perdita economica in caso di catastrofi naturali.

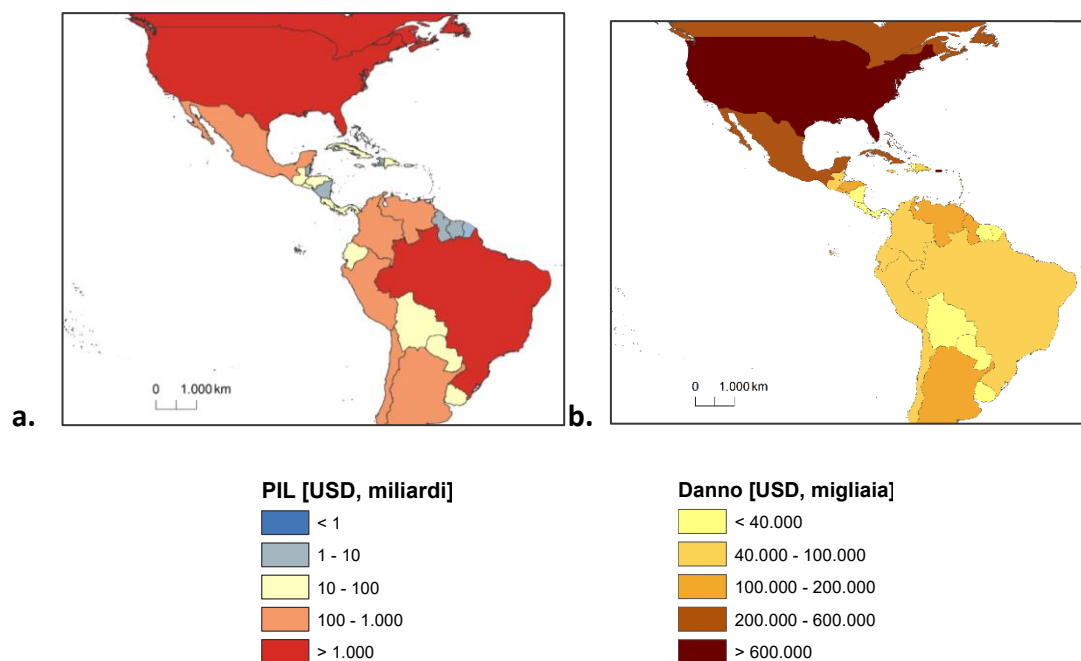


Figura 120. Confronto tra PIL e danno medio in America: **a.** PIL; **b.** danno medio. Tutte le grandezze sono medie relative all'intervallo 1997-2018

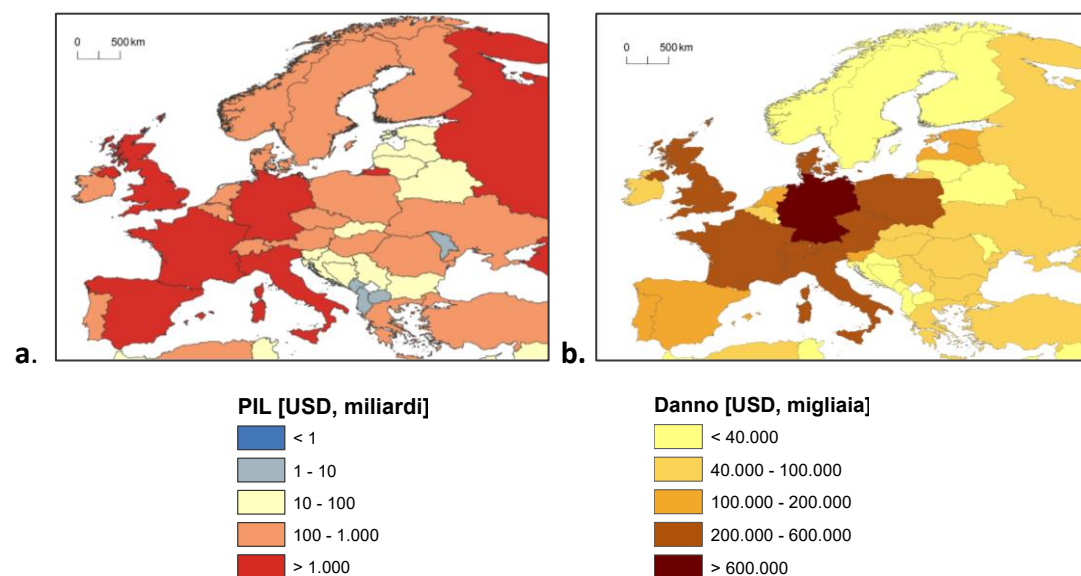


Figura 121. Confronto tra PIL e danno medio in Europa: **a.** PIL; **b.** danno medio. Tutte le grandezze sono medie relative all'intervallo 1997-2018

Questi risultati sono chiaramente visibili negli Stati Uniti (Fig. 120a., 120b.), uno tra i paesi economicamente più sviluppati, e allo stesso tempo la nazione con il maggior valore di danno, basti pensare agli ultimi uragani che hanno colpito gli USA nel 2017, causando più di 200 miliardi di danni. Al contempo anche gli stati europei sono mediamente ricchi e presentano valori del danno rilevanti (Fig. 121a.,121b.), così come India e Cina (Fig. 122a., 122b.).

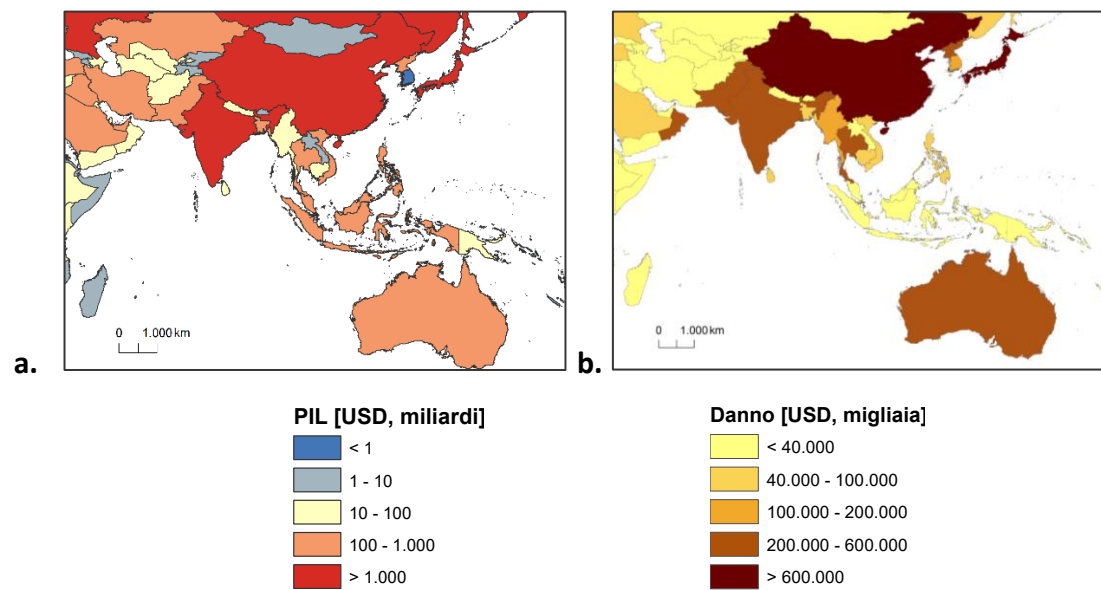


Figura 122. Confronto tra PIL e danno medio in Asia: **a.** PIL; **b.** danno medio. Tutte le grandezze sono medie relative all'intervallo 1997-2018

6. Interpretazione dei risultati

Dall'osservazione della distribuzione degli eventi estremi, è stato possibile ragionare sulle aree prevalentemente colpite, tenendo in considerazione gli aspetti demografici e le caratteristiche degli eventi stessi.

Le carte tematiche ottenute mostrano ad esempio che nelle regioni dell'Asia, con densità di popolazione elevata, nell'intervallo temporale di osservazione il numero di morti è estremamente rilevante, così come quello dei feriti e degli sfollati. Vanno infatti inclusi molti stati costieri, frequentemente colpiti da tifoni, il subcontinente indiano, stagionalmente interessato da piogge monsoniche e la Catena dell'Himalaya, dove si verifica il maggior numero di fenomeni franosi. Al contrario, nei paesi asiatici a bassa densità demografica il numero di vittime è piuttosto ridotto.

Anche il Centro Europa, presenta valori di densità di popolazione alquanto alti. Tuttavia, il numero di vittime si mantiene su valori bassi. Difatti, in Europa non si verificano uragani, ma tempeste extra-tropicali, che, come è stato possibile osservare, tendenzialmente provocano un numero di vittime inferiore, ma danni economici ingenti.

Nel continente americano sono invece presenti stati di grande estensione, e per questo motivo la densità di popolazione è generalmente bassa, basti pensare agli Stati Uniti, al Canada o al Brasile. Nonostante ciò, negli stati dell'America settentrionale il numero di vittime e di danni è decisamente elevato. Questo è strettamente legato agli uragani, e alle conseguenti alluvioni, che si abbattano sulla costa Sud-Ovest degli USA. Ugualmente colpiti da tempeste tropicali sono gli stati dell'America centrale, dove la densità del numero di eventi è alta sia in rapporto alla popolazione che alla superficie.

Diversa è la situazione per l'America latina, prevalentemente colpita da fenomeni di alluvione e di frana, dove, conseguentemente, il numero dei morti ed il danno sono minori.

Infine i paesi africani e dell'Oceania sono quelli che, in generale, mostrano la minor densità di popolazione, e di conseguenza un numero di vittime ridotto, rispetto alla somma globale. In Africa fanno eccezione i paesi situati lungo la costa Sud-Est, dove si verifica il maggior numero di cicloni tropicali, e dove si registra il maggior numero di morti. In tutte le regioni centrali e meridionali si verificano invece, frequentemente,

fenomeni di alluvione, che, di conseguenza, incrementano il numero di persone colpite, ma non quello di perdite di vite umane. Allo stesso modo in Oceania, i tifoni del pacifico, che spesso colpiscono la costa Est dell’Australia e le isole limitrofe, incrementano il valore del danno registrato nel continente.

Ciò che emerge dai risultati ottenuti è che gli eventi estremi si distribuiscono in aree definite, e che il loro impatto è fortemente legato alla presenza di persone ed all’intensità di ciascun tipo di fenomeno. Risulta infatti che le aree soggette a cicloni tropicali e ad uragani siano quelle nelle quali viene rilevato il maggior numero di morti e dove vengono registrati i danni più ingenti. Nonostante le tempeste tropicali avvengano solo in aree circoscritte, sono potenzialmente le più distruttive. D’altro canto, le alluvioni, possono aver luogo in qualsiasi regione del mondo, e colpire aree più vaste. Di conseguenza possono mettere a rischio intere popolazioni, incrementando il numero totale di sfollati.

L’analisi statistica svolta ha permesso di analizzare e valutare la variazione del numero di catastrofi idro-meteorologiche negli anni. A discapito di ciò che si potrebbe pensare, in una prospettiva nella quale il cambiamento climatico dovrebbe incrementare il numero di eventi, i risultati non mostrano alcun aumento, anzi, nel caso specifico dell’Europa, risulta che gli eventi siano addirittura diminuiti, così come è stato riscontrato anche per le tempeste. Oltretutto, un esito analogo è stato conseguito dall’analisi del numero di terremoti, i quali non sono influenzati dai cambiamenti climatici e non si manifestano con alcun tipo di ciclicità.

Tuttavia l’impatto umano derivante dai cambiamenti climatici è tangibile, ma probabilmente richiede un’analisi diversa e più complessa. A seguito di ciò, si è deciso di investigare sull’esistenza di altri fattori che, combinati, possono influire sugli effetti degli eventi registrati.

A questo punto si è ritenuto opportuno indagare sulle caratteristiche e sull’impatto dei fenomeni disastrosi raccolti. In particolare, è stato possibile osservare che le vittime e le persone coinvolte, tra il 1997 ed il 2018, sono diminuite a livello mondiale, mentre il valore del danno è cresciuto significativamente. Tali tendenze sono state verificate su scala globale e continentale e per ogni tipologia di evento, salvo qualche eccezione in cui non è stata riportata alcuna variazione. In particolare:

- il numero di morti e di colpiti non è variato per i movimenti franosi, che tuttavia, rappresentano una piccola porzione dei dati raccolti;
- in Africa ed Oceania è stato osservato che il numero di morti è piuttosto ridotto, per via della scarsa densità di popolazione;
- il numero di persone coinvolte non è variato per le tempeste probabilmente perché questi fenomeni si originano solo in aree limitate, per cui il numero di sfollati ad essi associato è ridotto rispetto a quello prodotto dalle alluvioni, alle quali viene associato il 70% degli sfollati e feriti registrati;
- il numero di persone coinvolte non presenta variazioni in Africa, America ed Europa, dove il numero di sfollati rispetto al totale appare basso. È infatti l'Asia a mostrare il maggior numero di persone coinvolte, il cui valore medio risulta essere in declino;
- in Oceania si osserva una crescita nel numero di sfollati. Questo andamento, è in contrasto con il resto delle analisi, tuttavia, può trovare una giustificazione nei tre fenomeni che hanno investito il continente negli ultimi anni. Si tratta di tre grandi alluvioni, di cui due scaturite da tifoni, che complessivamente hanno sfiorato il milione di persone coinvolte. Altri valori simili non sono mai stati raggiunti nella serie temporale presa in esame;
- il danno relativo alle alluvioni e all'Europa, è rimasto costante.

I risultati dell'indagine statistica, suggeriscono un chiaro aumento, nell'intervallo considerato, del danno dovuto agli eventi estremi analizzati, che può essere associato sia ad un aumento di intensità delle tempeste tropicali, principale causa di perdite economiche, sia all'incremento demografico e allo sviluppo economico, che a loro volta hanno incrementato la popolazione e il valore dei beni esposti. Lo stesso sviluppo potrebbe aver inoltre influito nella riduzione delle vittime, sia per via di investimenti nella previsione degli eventi calamitosi, che per una maggiore consapevolezza incanalata nello sviluppo di sistemi di allerta e informazione alla popolazione sempre più efficaci e quindi nella riduzione della vulnerabilità nei confronti delle calamità idro-meteorologiche.

Per convalidare queste ipotesi sono stati presi in esame tre parametri socio-economici. Per prima cosa, da una suddivisione dei paesi in classi di urbanizzazione, è

risultato che nei centri urbani il valore del danno è maggiore. L'aumento della popolazione urbana implica un aumento dell'esposizione, e conseguentemente della domanda di strategie e di servizi di gestione ed adattamento del rischio, infatti dove prevale una popolazione di tipo rurale il tasso di mortalità è più alto. Coerentemente con quanto supposto, i dati vengono relazionati con un Indice di Sviluppo Umano (HDI), per comprovare se la conoscenza e l'informazione rivestano un ruolo fondamentale nell'esposizione della popolazione. Risulta infatti che i paesi appartenenti a classi di HDI più basso siano quelli che subiscono il maggior numero di perdite in termini di vite umane. Infine, a seguito di una classificazione secondo il Prodotto Interno Lordo di ciascun paese, è risultato che ai paesi più ricchi, viene associato un danno più elevato.

Pertanto, ad un maggior sviluppo economico ed umano corrispondono ricchezza e consapevolezza, che si possono tradurre in una diminuzione della mortalità e in un incremento delle perdite economiche. Tuttavia, anche i paesi più poveri e meno sviluppati mostrano una chiara riduzione della mortalità. Considerando che le catastrofi, globalmente, non hanno subito particolari variazioni in termini di frequenza, questi risultati suggeriscono un incremento della consapevolezza ed una propensione all'adattamento al rischio.

Conclusioni

Questo lavoro è stato sviluppato a partire da una serie di osservazioni, derivanti da studi e teorie, a supporto di una possibile relazione tra cambiamenti climatici ed eventi estremi. Al contempo, alcuni studi hanno dimostrato una diminuzione della vulnerabilità della popolazione negli anni, grazie allo sviluppo di strategie di adattamento e a un incremento nella percezione e consapevolezza del rischio. A tale sviluppo economico ha, inoltre, conseguito la crescita del PIL e con esso il valore economico dei beni esposti.

L'obiettivo di partenza era quello di analizzare la distribuzione dei fenomeni idro-meteorologici e di valutarne la variazione nella frequenza e nell'impatto. La distribuzione geografica degli eventi non si è mostrata uniforme, ma, anzi, si sono rilevate zone nettamente più soggette ad uragani, alluvioni e frane. Inoltre, inaspettatamente, è risultato che il numero di eventi, tra il 1997 ed il 2018, non è aumentato e che le vittime associate a queste catastrofi naturali sono diminuite significativamente, contrariamente alle perdite economiche che hanno invece rivelato un aumento.

I risultati delle analisi svolte hanno dimostrato che l'impatto dipende dalla dinamica di tre fattori variabili nel tempo: intensità e frequenza delle precipitazioni, sviluppo umano ed economico e strategie di adattamento.

Secondo quanto emerso dallo studio, la vulnerabilità della popolazione mondiale sembra essere in declino. A livello globale, risulta che ci sia maggior vulnerabilità nei paesi meno sviluppati, ma allo stesso tempo il numero complessivo di morti e sfollati mostra una decrescita. Tali osservazioni supportano l'idea che gli investimenti nella previsione delle tempeste, nei sistemi di allerta e nella gestione delle catastrofi hanno, nel tempo, aiutato a ridurre le conseguenze degli eventi estremi sulla popolazione. Oltretutto, l'attuazione di interventi, come misure strutturali di protezione, pianificazione del territorio e adattamento del rischio ha richiesto grandi spese e finanziamenti, con conseguente aumento del valore delle attività esposte. Deve inoltre essere considerato il valore di strutture ed infrastrutture, collocate generalmente in aree urbane, che con gli anni possono risultare più vulnerabili. Tale incremento

potrebbe, a sua volta, aver influito sull'aumento delle perdite economiche complessive, osservato durante le analisi.

Inoltre, come hanno dimostrato i dati relativi agli specifici eventi avvenuti negli ultimi anni, come gli uragani del 2017 negli Stati Uniti o il Ciclone Winston nelle Fiji, sembra che i fenomeni di tempesta siano i principali responsabili della crescita delle perdite economiche. Se a questo venisse associato un incremento dell'intensità dei fenomeni meteorologici si andrebbe a favore della scienza del clima, ovvero a sostegno del fatto che il riscaldamento globale stia influenzando sulla variazione dei regimi dei sistemi meteorologici, aumentandone l'intensità. Queste ipotesi sono ragionevoli, tuttavia l'analisi sembra pertanto essere molto più complessa e richiede senz'altro lo svolgimento di analisi a livello locale, in specifiche aree.

Infine, è necessario tener conto delle limitazioni dello studio svolto. In primo luogo, le analisi sviluppate nel presente lavoro sono globali, così come i risultati ottenuti, che pertanto vanno letti in questa prospettiva. D'altronde le relazioni tra i parametri socio-economici variano all'interno di ogni paese, in modo differente. Questo suggerisce una dipendenza dell'esposizione con i modelli di sviluppo regionale, supportando l'idea che ci siano diversi meccanismi in gioco per i paesi, con caratteristiche differenti, ad esempio i tassi di urbanizzazione o il livello economico. Allo stesso tempo, come dimostrano alcune ricerche, la percezione delle persone ha anch'essa un ruolo fondamentale nella valutazione del rischio e di conseguenza sugli impatti.

Nel complesso, si ritiene che la ricerca svolta possa contribuire a migliorare la comprensione delle dinamiche che si possono creare tra le variabili climatologiche e quelle socio-economiche, ma tuttavia costituisce solo una base di partenza per ulteriori approfondimenti, magari a livello locale. Nell'ipotesi di un futuro perfezionamento del lavoro, sarebbe opportuno investigare i rapporti tra gli indicatori sociali ed economici su una scala di maggior dettaglio ed affinare le informazioni raccolte nella base di dati.

Appendice A

Tabella A 1. Grandezze calcolate nell'applicazione del test t di Student

Grandezza	Simbolo	Unità
Coefficiente angolare	b	-
Parametro statistico	t	-
Probabilità di superamento	P	%

Tabella A 2. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di eventi, tra il 1997 ed il 2018, a scala globale e continentale

Continente	b	t	P
Africa	-0,004	-0,01	50,4
America	-0,59	-1,60	93,7
Asia	-0,55	-0,87	80,2
Europa	-0,63	-1,79	95,6
Oceania	-0,20	-1,03	84,3
Globale	-1,98	-1,37	90,8

Tabella A 3. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di eventi, tra il 1997 ed il 2018, per tipologia di evento

Tipologia di fenomeno	b	t	P
Tempeste	-0,60	-1,76	95,3
Alluvioni	-1,30	-0,83	83,3
Movimenti di versante	-0,04	-0,20	57,8

Tabella A 4. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di terremoti, tra il 1997 ed il 2018, a scala globale e continentale

Continente	b	t	P
Africa	-0,02	-0,36	63,9
America	-0,45	-0,02	50,6
Asia	-0,20	-1,26	88,8
Europa	-0,06	-1,07	85,1
Oceania	0,01	0,0075	49,7
Globale	-0,37	-1,93	96,6

Tabella A 5. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, a scala globale

Parametro	b	t	P
Morti	-0,69	-0,67	74,6
Morti (senza Ciclone Nargis)	-0,77	-2,45	98,8
Persone coinvolte	-4,51	-1,87	96,2
Danni	4,52	2,49	1,1

Tabella A 6. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, per tipologia di evento

Tipologia di fenomeno	Parametro	b	t	P
Tempeste	Morti	-4,77	-2,31	98,4
	Coinvolti	8,43	0,69	25,0
	Danni	35,45	2,42	1,3
Alluvioni	Morti	-3,58	-2,30	98,4
	Coinvolti	-45,07	-2,47	98,9
	Danni	2,33	0,58	28,5
Movimenti di versante	Morti	0,14	0,17	43,4
	Coinvolti	0,20	0,35	36,3
	Danni	2,07	2,14	2,3

Tabella A 7. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, per continente

Continente	Parametro	b	t	P
Africa	Morti	-1,01	-1,01	83,7
	Coinvolti	-1,39	-0,73	76,3
	Danni	0,57	2,69	0,7
America	Morti	-9,80	-2,25	98,2
	Coinvolti	12,79	1,41	8,8
	Danni	48,23	2,01	2,9
Asia	Morti	-3,51	-2,52	99,0
	Coinvolti	-67,71	-2,67	99,3
	Danni	8,47	1,72	5,0
Europa	Morti	-0,29	-0,10	54,0
	Coinvolti	-0,63	-3,05	99,7
	Danni	-1,60	-0,11	54,2
Oceania	Morti	-0,07	-0,37	64,2
	Coinvolti	1,69	4,17	0,02
	Danni	13,27	1,99	3,0

Tabella A 8. Risultati del test t di Student applicato alle rette di regressione lineare del numero di morti, di persone coinvolte e dei danni, tra il 1997 ed il 2018, secondo gli indicatori di popolazione urbana, HDI e PIL

Indicatore	Parametro	b	t	P
Popolazione urbana: 25-50%	Morti	-4,98	-3,02	99,7
	Coinvolti	-80,84	-2,78	99,4
Popolazione urbana: 75-100%	Danno	53,45	2,02	2,9
HDI: 40-60 %	Morti	-7,99	-2,20	98,0
	Coinvolti	-49,53	-1,99	96,9
HDI: 60-80 %	Morti	-5,023	-2,31	98,4
	Coinvolti	-35,02	-3,25	99,8
PIL > 1.000 USD, miliardi	Danno	-4,98	-3,02	1,1

Ringraziamenti

Arrivata alla fine del mio percorso universitario desidero ringraziare innanzitutto il mio relatore, il prof. Piero Boccardo, ed il mio correlatore, il prof. Francesco Laio, per la disponibilità e per avermi fornito gli strumenti per portare a termine il mio lavoro di tesi. Ringrazio inoltre Francesca per la pazienza ed i consigli, fondamentali per lo sviluppo dell'elaborato.

Un ringraziamento particolare va alla mia famiglia, papà Gianni, mamma Paola, Davide, Denis, Emanuele e zio Giorgio, che in questi mesi mi hanno sempre supportata; ai miei amici, Veronica, Marco, Anna, Micaela, Alice, Aoife, Chiara, Andrea, Luca, Mattia e Adriana che mi sono stati accanto, senza farmi mai mancare il loro appoggio.

Dedico questo lavoro a tutti coloro che mi hanno supportata, ma in particolar modo a mia zia Giuliana, che in questo giorno, come già due anni fa, sarebbe stata con me a festeggiare questo traguardo.

Bibliografia

- [1] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, p. 1454.
- [2] EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir. Brussels, Belgium. Disponibile online: www.emdat.be (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).
- [3] ReliefWeb. Disponibile online: <https://reliefweb.int> (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).
- [4] G.R.Brakenridge, Global Active Archive of Large Flood Events, Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>. (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).
- [5] World Meteorological Organization (2018), *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018*, No. 1233, p. 23-29.
- [6] Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R., Zhou, G. IPCC (2018), *Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems*. In *Global Warming of 1.5°C*, p. 282-283.
- [7] Cook, J. *Global Warming & Climate Change Myths*. In *Skeptical Science*. Disponibile online: <https://skepticalscience.com/argument.php> (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).
- [8] Schmidt, G.A., Arndt, D. (2019), *2018 was 4th warmest for globe, 3th for US*. In *Annual Global Analysis for 2018*. Disponibile online: <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20190206/>
- [9] Stevanin, E. (2019), *International: il cambiamento climatico*. In *International, RealTime Research, Science & environment, Società*. Disponibile online: <https://it.yougov.com/news/2019/09/16/international-il-cambiamento-climatico/>
- [10] Jongman, B., Winsemius, H.C., Aerts, J.C.J.H., de Perez, E.C., van Aalst, M.K., Kron,

- W., Ward, P.J. (2015), *Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation*. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, No. 1414439112.
- [11] Murray, V., Frame, T., McGregor, G., San Miguel, J., Van Lanen, H.A.J., Vogt, J.V. (2017), *Understanding disaster risk: hazard related risk issues - Section III. Meteorological, climatological and biological risk*. In *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*, EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Lussemburgo, Cap. 3, Sezione III, p. 201-207.
- [12] Salamon, P., Casagli, N., Cloke, H., Horsburgh, K. (2017) *Understanding disaster risk: hazard related risk issues - Section II. Hydrological risk*. In *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Lussemburgo, Cap. 3, Sezione II, p. 215-217.
- [13] Jongman, B. (2018), *Effective adaptation to rising flood risk*. In *Nature Communications*.
- [14] World Bank: World Development Indicators, World Bank, Washington, DC. Disponibile online: <https://data.worldbank.org> (ultimo accesso il 2 dicembre 2019)
- [15] United Nations Development Programme. Disponibile online: <http://hdr.undp.org/en/data> (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).
- [16] Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2018. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): National Identifier Grid, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Disponibile online: <https://doi.org/10.7927/H4TD9VDP> (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).
- [17] Murray, V., Frame, T., McGregor, G., San Miguel, J., Van Lanen, H.A.J., Vogt, J.V. (2017), *Understanding disaster risk: hazard related risk issues - Section III. Meteorological, climatological and biological risk*. In *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*, EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Lussemburgo, Cap. 3, Sezione III, p. 246-249.
- [18] Cohen, E., Shah, A., *Torrential rain*. In *Sky Day Project*. Disponibile online: <https://skydayproject.com/torrential-rain>
- [19] Sentinel Hub EO-Browser. Disponibile online: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser> (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).

- [20] Zotteri, G., Scapaccino, G. (2007), *Significatività dei parametri β e α della retta di regressione*. In *Esercitazioni di logistica, Regressione lineare semplice*, p. 21-33.
- [21] Humphris, P. (2008), *Nargis and beyond: a choice between sensationalism and politicised inaction?* . Disponibile online: <https://odihp.org/magazine/nargis-and-beyond-a-choice-between-sensationalism-and-politicised-inaction/>
- [22] Munich Re (2014) NatCatSERVICE Database (Munich Reinsurance Company, Geo Risks Research, Munich). Disponibile online: www.munichre.com/natcatservice. (ultimo accesso il 2 dicembre 2019).