



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Scienze Ambientali e Protezione Civile (SAPC)

**Processi antropogenici, rischi naturali e interazioni in un
quadromultirischio**

**Anthropogenic processes, natural hazards and interactions
in a multi-risk framework**

Tesi di laurea di:
Sebastiano D'Angelo

Docente referente:
Alessandra Negri

Sessione Autunnale (Ottobre 2021)

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

1. Introduzione	4
1.1 Obiettivi dell'elaborato	4
2. Processi antropogenici.....	6
2.1 Processi antropogenici: letteratura	6
2.2 Metodologia di revisione e sviluppo dei dati	7
2.3 Classificazione dei processi antropogenici.....	7
2.4 Processi intenzionali e non dannosi	11
2.5 Interazioni processo antropogenico-processo antropogenico.....	11
2.5.1 Matrice delle interazioni e classificazione temporale delle interazioni	11
2.5.2 Collegamenti tra processi antropogenici	14
2.5.3 Implicazioni delle interazioni dei processi antropici	17
2.6 Processi antropogenici e rischi naturali.....	18
3. Inneschi antropogenici dei rischi naturali.....	20
3.1 Rischi naturali e schemi di classificazione dei rischi	20
3.2 Interazioni innescanti processi antropogenici-rischio naturale	21
3.3 Legami tra processi antropogenici e pericoli naturali.....	24
4. Catalisi antropogenica e impedenza delle interazioni dei rischi naturali.....	26
4.1 Interazioni di rischi naturali	26
4.2 Visualizzazione di tipi di processi antropogenici che catalizzano o impediscono le interazioni dei pericoli naturali.....	27
5. Discussione	31
5.1 Limiti e incertezze	31
5.2 Integrazione dei processi antropogenici in quadri multirischio	32
5.3 Quadri multirischio per la riduzione del rischio di catastrofi (DRR)	36
6. Conclusioni	37
BIBLIOGRAFIA.....	38

1. Introduzione

Antropocene è il nome dell'era geologica in cui viviamo oggi, caratterizzata da tutti i processi antropogenici che agiscono sulla terra come una forza geofisica che provoca cambiamenti nella morfologia del pianeta e provoca tutta una serie di rischi naturali connessi. Figure di spicco come il chimico Paul J. Crutzen (Premio Nobel 1995 per il suo studio sulla riduzione dello strato di ozono nella stratosfera) e il biologo Eugene F. Stoermer furono i primi ad affermare che l'uomo sarebbe stato il protagonista di questi cambiamenti chimico-fisici. Crutzen afferma anche che questo è il periodo più anomalo della storia che prende come protagonisti l'uomo e la biosfera stimolando dibattiti tra scienziati, non sul cambiamento che è in atto, ma per la data di nascita del suddetto periodo. (questa frase non la ho capita)

Questo elaborato tratta delle interazioni che hanno i processi antropogenici con altri processi antropogenici e rischi naturali, ma anche delle interazioni tra un determinato rischio naturale e un altro rischio naturale.

1.1 Obiettivi dell'elaborato

In Gil e Malamud vengono citati 18 tipi di processi antropogenici organizzati in 8 sottogruppi quali estrazione di materiale sotto superficiale, aggiunta di materiale sotto superficiale, cambiamento dell'uso del suolo, estrazione di materiale superficiale, aggiunta di materiale superficiale, cambiamento idrologico, esplosione e combustione. Vengono trattati anche 21 tipi di rischi naturali organizzati in 6 gruppi di pericolo quali pericoli geofisici, idrologici, processi terrestri superficiali, atmosferici, biofisici e spaziali includendo terremoti, frane, inondazioni, subsidenza regionale e incendi. Identificati i processi antropogenici e i rischi naturali saranno descritti in ogni loro interazione e aspetto con altri processi antropogenici e rischi naturali:

- Descrivere e caratterizzare 18 tipi di processi antropogenici;
- Identificare 64 interazioni che possono verificarsi tra due diversi processi antropogenici, che potrebbero portare al verificarsi simultaneo o successivo di un insieme di diversi tipi di processi antropogenici;

- Identificare, attraverso una valutazione di N 120 riferimenti, sia dalla letteratura grigia che dalla letteratura peer-review, 57 esempi di processi antropogenici che innescano rischi naturali, citando casi di studio specifici per 52 delle 57 interazioni identificate;
- Esaminare il ruolo dei tipi di processi antropogenici che catalizzano o impediscono inavvertitamente una data interazione di pericolo naturale, dove l'impedimento delle interazioni di pericolo naturale non include attività deliberate di riduzione del pericolo.

In definitiva questo studio mira ad analizzare i processi antropogenici in quadri già esistenti, le loro interazioni con l'ambiente; considerando che tutti i rischi ambientali avvengono in una matrice antropizzata è molto importante analizzare i processi antropogenici che vi avvengono. Obiettivi principali di questo documento sono di descrivere, classificare e analizzare le interazioni dei processi antropogenici selezionati con una gamma diversificata di rischi naturali in un contesto multirischio.

I termini chiave utilizzati per questo studio sono:

- Pericolo naturale: sono tutti quei pericoli che si generano in natura come terremoti, frane, alluvioni, ...;
- Processo antropogenico: tutte quelle lavorazioni\fenomeni che vengono svolti intenzionalmente dall'uomo e che di natura sono dannosi per l'ambiente favorendo l'innescare o la catalizzazione di processi pericolosi;
- Interazione: situazione nella quale due processi se pur diversi interagiscono complementariamente per innescare un ulteriore pericolo;
- Multi-rischio: tutte i possibili pericoli derivati da un'interazione di processi antropici\naturali.

2. Processi antropogenici

Gli esseri umani sono importanti agenti ambientali e con i loro processi antropogenici tendono ad innescare altri fenomeni (antropici o naturali) che hanno poi ripercussioni nelle varie regioni abitate del globo.

I processi antropogenici vanno ad incidere sul verificarsi, sulla frequenza e sull'intensità degli eventi che innescano (come terremoti, frane, alluvioni,..).

Capire i processi antropogenici e la loro rilevanza spaziale e temporale è importante quando:

- si valuta il potenziale del verificarsi di pericoli naturali;
- si sviluppano quadri olistici multirischio per una data regione;
- si determinano possibili misure di riduzione del rischio di disastri (DRR).

Ad esempio, è molto probabile che le esplosioni derivate da attività di estrazione minerarie possano causare sismicità indotta. Questo fatto suggerisce che gli stress indotti ad intervalli spazio-temporali regolari possono provocare eventi di magnitudo sempre più elevate.

Fattori come la geologia locale e il layout della miniera portano a differenze significative nella sismicità a livello locale.

In un quadro multi-rischio, un processo antropogenico può quindi innescare un rischio naturale primario, che a sua volta può innescare un rischio naturale secondario (effetto a cascata) avente sempre come fonte d'innescò il processo antropogenico primario.

2.1 Processi antropogenici: letteratura

I processi antropogenici in passato venivano classificati in base a se il suolo fosse artificiale e all'uso che se ne faceva. Per suolo artificiale si intende suolo modellato dall'attività antropica avendo così 5 classi di terreno: terreno artificiale, terreno lavorato, terreno tamponato, terreno perturbato e terreno paesaggistico. Ogni classe è poi stata caratterizzata dalla topografia e dal tipo di materiale che la compone. Per quanto riguarda la destinazione d'uso del suolo vengono individuate tutte quelle lavorazioni antropiche che subisce il terreno (come il pascolo, l'agricoltura) e l'individuazione di zone soggette all'azione della natura (umide, secche e aride, pianure di alluvione). Questo approccio

di analisi è stato adottato per diversi anni sviluppando così delle carte topografiche temporali che analizzano la storia di una zona specifica d'interesse, così da permettere il cambio di uso del terreno. In letteratura esistono diversi casi di processi antropici che influenzano un rischio naturale, ad esempio la costruzione di strade e la rimozione della vegetazione favoriscono le frane.

2.2 Metodologia di revisione e sviluppo dei dati

In questo studio è stata adottata una metodologia a 4 step:

- Sviluppare una classificazione di processi antropogenici;
- Determinare quali processi antropogenici interagiscono con altri processi antropogenici;
- Identificare i processi antropogenici che innescano rischi naturali;
- Considerare i tipi di processo naturale che catalizzano e impediscono le interazioni con i processi naturali.

Questa metodologia di ricerca e analisi non è stata eseguita sempre in maniera itinerante e sequenziale e considerando come analisi solo una lettura critica non è verificato se ogni singola iterazione si verifici o meno. Quindi non si va ad analizzare interazione per interazione, ma viene sempre posta la domanda "questo processo antropogenico innesca questo rischio naturale?".

Questa metodologia di ricerca ha portato alla formazione di una classificazione ampiamente applicabile, complessa e sistematica di tutti i processi antropogenici che innescano rischi ambientali fino all'individuazione di 120 riferimenti.

Questa classificazione dei tipi di processi antropogenici e il database della letteratura hanno poi facilitato l'esame di quali tipi di processi antropogenici interagiscono con altri tipi di processi antropogenici (sezione 2.5) e hanno aiutato ad esaminare l'influenza della rimozione della vegetazione per i rischi naturali (sezione 4.2). Quei riferimenti nel database relativi alla rimozione della vegetazione hanno aiutato nella determinazione di questo specifico tipo di processo antropogenico che catalizza/impedisce i pericoli naturali.

2.3 Classificazione dei processi antropogenici

Ci sono molteplici processi compiuti dall'uomo che possono andare a modificare l'ambiente in ogni suo comparto; prendendo in considerazione la metodologia menzionata nella sezione 2.2, sono stati presi in considerazione anche altri aspetti come:

- Scala spaziale dove avviene il processo;
- Se il processo antropico interessa uno di questi gruppi: suolo/sotto-suolo/entrambi (Figura 1);
- La natura dell'input antropogenico.

I gruppi (suolo/sotto-suolo/entrambi) sono interessati da un'ulteriore classificazione in base al tipo di input antropogenico (sotto-gruppi). Questi 8 sottogruppi indicano se l'input è: un'estrazione del materiale, aggiunta di materiale, cambiamento dell'uso del suolo, cambiamento idrologico, esplosione, combustione. Ognuno degli otto sotto-gruppi possiede una divisione ulteriore che indica nello specifico il tipo di lavorazione antropogenica (Figura 1).

Group	Sub-Group	Anthropogenic Process Type			
		#	Name	Code	Description
I. Subsurface Process	1. Subsurface Material Extraction	1.1	Groundwater Abstraction	GA	Removal of ground water resources, resulting in reduction in pore pressures and changes to overall stress conditions.
		1.2	Oil/Gas Extraction	OGE	Extraction of hydrocarbons from the sub-surface, resulting in changes to stress conditions.
		1.3	Subsurface Infrastructure Construction	SC	Extraction of solid material from the sub-surface, due to construction (i.e.,tunnelling), resulting in changes to stress conditions.
		1.4	Subsurface Mining	SM	Extraction of solid material from the sub-surface, resulting in changes to stress conditions.
	2. Subsurface Material Addition	2.1	Material (Fluid) Injection	MFI	Addition of material (fluids) to the subsurface, commonly used in the hydrocarbon and geothermal industries, for mining soluble products and waste disposal.
II. Surface Process	3. Land Use Change	3.1	Vegetation Removal	VR	Removal of tree cover for commercial and industrial purposes, and urban development.
		3.2	Agricultural Practice Change	AC	Changes in agriculture, including machinery introduction or crop changes. Aspects associated with deforestation.
		3.3	Urbanisation	UR	Highly landscaped environments due to a population increase in a given area.
	4. Surface Material Extraction	4.1	Infrastructure Construction (Unloading)	IC	Removal of mass on the land surface, through infrastructure development (e.g., cut and excavated slopes).
		4.2	Quarrying/Surface Mining (Unloading)	QSM	Excavation and/or removal of mass on the land surface (e.g., quarrying, surface mining).
	5. Surface Material Addition	5.1	Infrastructure (Loading)	IN	Addition of mass to the land surface, through infrastructure development.
		5.2	Infilled (Made) Ground	IMG	Material placement (e.g., mine and demolition waste, sediment) on the land surface and in surface voids to create infilled ground (e.g., bay-fill deposits).
		5.3	Reservoir and Dam Construction	RD	Construction of reservoirs. These can result in increased surface loading and pore water pressures, along with changes to surface hydrology.
	III. Subsurface & Surface Process	6. Hydrological Change	6.1	Drainage and Dewatering	DD
6.2			Water Addition	WA	Poor removal of water or the intentional addition of surplus water, both contributing to increases in pore water pressures and erosive capacity.
7. Explosion		7.1	Chemical Explosion	CE	Intentional detonation of conventional (non-nuclear) explosives. High energy release (heat, light, sound, and pressure).
		7.2	Nuclear Explosion	NE	Intentional detonation of nuclear material. Generation of destructive force by nuclear fission and fusion . Intense release of energy, high temperatures and contamination.
8. Combustion (Fire)		8.1	Fire	FR	Intentional-nonmalicious ignition of fires. Can include surface (e.g., waste, agriculture) and subsurface (e.g., coal seams) material.

Figura 1 Classificazione e descrizione di 18 tipi di processi antropici

		Anthropogenic Process Type			
Sub-Group					
	#	Name	Code	Notes as to why anthropogenic process type is distinct from others in the example	
Example A (fluid removal)	1. Subsurface Material Extraction	1.1	Groundwater Abstraction	GA	The removal of subsurface water for a specific purpose (e.g., irrigation, drinking, industry), normally influencing scales of many square kilometres. The extent of recharge (predominantly natural) will determine the time frame over which the water table is lowered.
		1.2	Oil/Gas Extraction	OGE	The removal of subsurface fluids commonly associated with other anthropogenic processes (e.g., material (fluid) injection). There is no associated natural recharge, and therefore once the material is removed it can only be replaced by another anthropogenic process (e.g., material (fluid) injection).
	6. Hydrological Change	6.1	Drainage and Dewatering	DD	The removal of unwanted water on the surface or subsurface. This could be a temporary or permanent process depending on the end-use of the land affected. In many construction processes the water table is artificially lowered and then allowed to return after pumping. In other projects it maybe permanently lowered. These processes are often more localised.
Example B (fluid addition)	2. Subsurface Material Addition	2.1	Material (Fluid) Injection	MFI	The deliberate addition of fluids to the deep subsurface, often a thigh pressures.
	6. Hydrological Change	6.2	Water Addition	WA	Addition of water to the surface or shallow subsurface, occurring at a range of spatial scales and pressures.

Figura 2 In questa Figura sono mostrati due processi antropogenici che seppur simili, hanno sufficienti differenze per essere considerati diversi.

2.4 Processi intenzionali e non dannosi

Le attività antropiche sono consapevoli, deliberate e intenzionali e non dannose ma possono portare all'innescò e alla catalizzazione di pericoli. Infatti, le attività umane non sono sempre un problema per l'ambiente e i danni che potrebbero provocare non sono danni causati deliberatamente.

Resta il fatto che un danno provocato intenzionalmente (doloso) può incidere sulla frequenza, l'intensità e l'estensione dei pericoli naturali.

2.5 Interazioni processo antropogenico-processo antropogenico

Nell'introduzione avevamo accennato che i processi antropogenici e i rischi naturali potessero avere delle interazioni fra di loro o con loro stessi. Questa sezione tratta dei processi antropogenici che interagiscono con altri processi antropogenici.

2.5.1 Matrice delle interazioni e classificazione temporale delle interazioni

Alcuni dei processi antropogenici primari citati possono innescare processi antropogenici secondari associati. Si utilizza il termine "innescò" per indicare il processo che avviene dopo il primario. In questo caso i processi antropogenici secondari associati possono avvenire prima, durante e dopo.

Esempi di processo antropogenico secondario associato che avviene prima sono le infrastrutture sotterranee come le tubazioni di drenaggio o impianti fognari.

Esempi di processo antropogenico secondario associato che avviene durante sono le immissioni di materiale fluido che possono avvenire durante l'estrazione di petrolio o gas.

Esempi di processo antropogenico secondario associato che avviene dopo sono ad esempio le esplosioni chimiche che possono determinare un aumento del terreno riempito.

Per le lavorazioni umane, dato che preliminarmente avvengono processi che portano all'avvenire del processo primario, vale la pena dire che i processi secondari vengono innescati da quelli primari anche se avvengono dopo di esso. Al contrario per i pericoli naturali primari parleremo solo di pericoli naturali secondari che avvengono dopo.

Avendo preso in considerazione uno dei 18 processi antropogenici, è stato verificato se questo interferisce prima, durante e dopo con gli altri 17, cercando un'associazione tramite letteratura grigia ed esperienze passate documentate. Quando si considera la costruzione di infrastrutture

sotterranee come un processo antropico primario, si valuta in base a delle esperienze passate possono provocare dei processi secondari associati, valutando a loro volta se essi potrebbero innescare un processo antropico primario.

Nella Figura 3 proposta in Gil and Malamud [2017] vengono messi i processi antropici primari sull'asse verticale e i processi antropici secondari associati sull'asse orizzontale creando una matrice 18x18 identificando le varie interazioni prima, durante e dopo tra i diversi progetti antropogenici. Ovviamente non sono considerate le interazioni tra lo stesso fenomeno quindi prenderemo solo $18 \times 17 = 306$ interazioni in considerazione. In Figura 3 si vede una griglia con riquadri bianchi e grigi che significano rispettivamente se c'è o non c'è un'interazione tra il processo primario e il processo secondario. All'interno di ogni riquadro grigio ci sono delle lettere che indicano se il processo avviene prima (B), durante (D) e/o dopo (A).

Questa matrice di interazione risulta avere una risoluzione grossolana, offrendo però una prospettiva molto chiara sulle interazioni più probabili tra i processi antropici. Questa matrice è molto limitata dato che offre la scelta di soli 18 processi selezionati. Ciò può essere dato dal fatto che c'è poca documentazione in letteratura ed esperienze pratiche nel settore, oppure può dipendere da lacune professionali degli autori oppure, più praticamente, alcune interazioni si svolgono a livello locale e non globale.

		ASSOCIATED SECONDARY ANTHROPOGENIC PROCESS (BEFORE, DURING, AFTER PRIMARY ANTHROPOGENIC PROCESS)																				
		I. Subsurface Process					II. Surface Process						III. Subsurface & Surface Process									
		Material Extraction				Material Addition	Land Use Change			Material Extraction		Material Addition			Hydrological Change		Explosions		Fire			
		(a) GA	(b) OGE	(c) SC	(d) SM	(e) MFI	(f) VR	(g) AC	(h) UR	(i) IC	(j) QSM	(k) IN	(l) IMG	(m) RD	(n) DD	(o) WA	(p) CE	(q) NE	(r) FR			
		Groundwater Abstraction	Oil/Gas Extraction	Subsurface Infrastructure Construction	Subsurface Mining	Material (Fluid) Injection	Vegetation Removal	Agricultural Practice Change	Urbanisation	Infrastructure Construction (Unloading)	Quarrying/Surface Mining (Unloading)	Infrastructure (Loading)	Infilled (Made) Ground	Reservoir & Dam Construction	Drainage & Dewatering	Water Addition	Chemical Explosion	Nuclear Explosion	Fire			
PRIMARY ANTHROPOGENIC PROCESS	I. Subsurface Process	(1.1) GA	Groundwater Abstraction																			
		(1.2) OGE	Oil/Gas Extraction	D			D			B	D		B	D					D			
		(1.3) SC	Subsurface Infrastructure Construction											D	A		B	D		D		
		(1.4) SM	Subsurface Mining	D						B	D	B	D	B	D	A	B	D		D		
		(2.1) MFI	Material (Fluid) Injection								B	D		B	D							
	II. Surface Process	(3.1) VR	Vegetation Removal								A											
		(3.2) AC	Agricultural Practice Change	D	A			B	D								B				B	D
		(3.3) UR	Urbanisation	D	A			D	A	B	D	D	A	B	D	A	B	D	A	D	A	
		(4.1) IC	Infrastructure Construction (Unloading)					B			A			D	A		A		B	D		D
		(4.2) QSM	Quarrying/Surface Mining (Unloading)	D				B		B	D	B	D	B	D	A	B	D	A	B	D	
	III. Subsurface & Surface Process	(5.1) IN	Infrastructure (Loading)					B		D	A	B	D	A								
		(5.2) IMG	Infilled (Made) Ground							A				A								
		(5.3) RD	Reservoir & Dam Construction							B	D		B	D	A							
		(6.1) DD	Drainage & Dewatering	A						A			A					D	A			
		(6.2) WA	Water Addition														D	A				
	Explosions	(7.1) CE	Chemical Explosion																	A		
		(7.2) NE	Nuclear Explosion																	A		
		(8.1) FR	Fire																			

Key					
Code	Description				
	Associated Secondary Anthropogenic Process is Before , During and/or After the Primary Anthropogenic Process – see below.				
Temporal Classification (Before, During, After)					
B	Before	XXXXXXXX n = 6	B	Before, During	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX n = 20
D	During	XXXXXXXXXX n = 9	B	Before, After	n = 0
A	After	XXXXXXXXXXXX n = 11	D	During, After	XXXXXXXXXXXX n = 12
			B	Before, During, After	XXXXXX n = 6

Figura 3 Interazioni tra 18 tipi di processi antropici. Una matrice di interazione 18 x 18 con gli stessi 18 tipi di processi antropogenici sia sull'asse orizzontale che sull'asse verticale. Questi tipi di processi antropici sono organizzati in otto sottogruppi, seguendo la stessa codifica a colori introdotta nella Figura 1, e collocati in tre gruppi più ampi. L'ombreggiatura grigia viene utilizzata per mostrare dove un processo antropogenico primario può innescare un processo antropogenico secondario associato. Processi antropici secondari associati possono verificarsi prima (B), durante (D) o dopo (A) il processo antropico primario. Sebbene non sia incluso in questa figura, in alcuni casi, è possibile che un processo antropico possa innescare ulteriori (o più intense) occorrenze di sé stesso. Questa cifra indica che i processi antropici spesso non operano da soli, ma possono verificarsi in associazione con altri processi antropici.

Dalla Figura 3 si nota che ci sono 64 delle 306 interazioni considerate che sono colorate in grigio, e solo queste hanno le seguenti statistiche riassuntive:

- Potenziale del processo primario per attivare il processo secondario associato, l'89% dei processi antropici primari hanno la capacità di attivare uno o due processi antropogenici secondari. Inoltre, il 50% dei primari ha la capacità di innescare tre o più processi secondari;
- Potenziale del processo antropogenico secondario associato attivato da un processo primario, il 72% dei processi antropogenici viene associato hanno il potenziale di essere innescati da processi antropici primarie, e con il 50% di capacità di essere dei processi antropici secondari associati innescati da tre o più processi antropogenici primari.

Con questa matrice 18x18 possono essere identificate reti di interazione a cascata, ovvero un processo antropogenico primario che innesci un altro processo antropogenico che a sua volta innesci un altro processo antropogenico. Ad esempio, l'urbanizzazione può provocare un cambio di pratiche agricole che può portare al processo antropico di estrazione di acque sotterranee.

Percentuali di eventi che possono avvenire prima, durante e dopo sono: [B] 32 (50%), [D] 47 (73%) e [A] 29 (45%). La sequenza temporale è B-D (prima e durante) o D-A (durante e dopo) sono entrambe del 50%, e 9% delle interazioni, la sequenza temporale è B-D-A (prima e durante e dopo).

2.5.2 Collegamenti tra processi antropogenici

Oltre alla matrice 18x18 che ci permetteva di capire se un processo antropogenico primario potesse innescare altri processi, un altro modo alternativo per visualizzare le interazioni dei processi antropogenici sono i diagrammi di collegamento che collegano i nodi (Figura 4). Questi diagrammi di collegamento sono più intuitivi per il lettore e permettono una maggiore efficienza di consulto, e per l'analisi di pericoli, facilitano anche la visualizzazione di possibili inneschi dei processi.

Vengono sempre presi in considerazione i 18 tipi di processo antropogenico (nodi) individuati precedentemente; essi sono distribuiti lungo il perimetro di un ottagono con ciascun lato che rappresenta gli otto sottogruppi e suddivisi a loro volta in tre gruppi che rappresentano il livello a cui operano se in superficie o nel sottosuolo o in entrambi i livelli. Da ogni nodo partono una o più linee fino ad arrivare al processo antropogenico innescato dal primo. In questo caso perde completamente importanza il fatto che un processo può avvenire prima, durante e/o dopo.

Quindi viene costruita una linea che collega i vari nodi; le linee sono di colore diverso in modo da far capire al lettore a quale sottogruppo appartiene il nodo.

Esempio è “estrazione di materiale sotto superficie” che è colorata di giallo scuro.

Questo metodo di analisi ci permette di capire quale processo può essere innescato e quali innescano. Il numero di collegamenti che può formare un processo antropogenico si somma a tutti gli altri collegamenti che possono formare un processo antropogenico.

Il drenaggio e la disidratazione (DD) è un processo antropogenico secondario (attivato) associato risultante da altri sette processi antropici primari: costruzione di infrastrutture sotterranee (SC), estrazione del sottosuolo (SM), cambiamento delle pratiche agricole (AC) , urbanizzazione (UR), costruzione di infrastrutture (scarico) (IC), cava/estrazione di superficie (QSM) e addizione di acqua (WA).

I processi antropogenici primari che innescano il maggior numero di processi antropogenici secondari associati sono l’urbanizzazione (UR) che compie 10 collegamenti, l’estrazione in superficie (QSM) 9 collegamenti e l’estrazione sotterranea (SM).

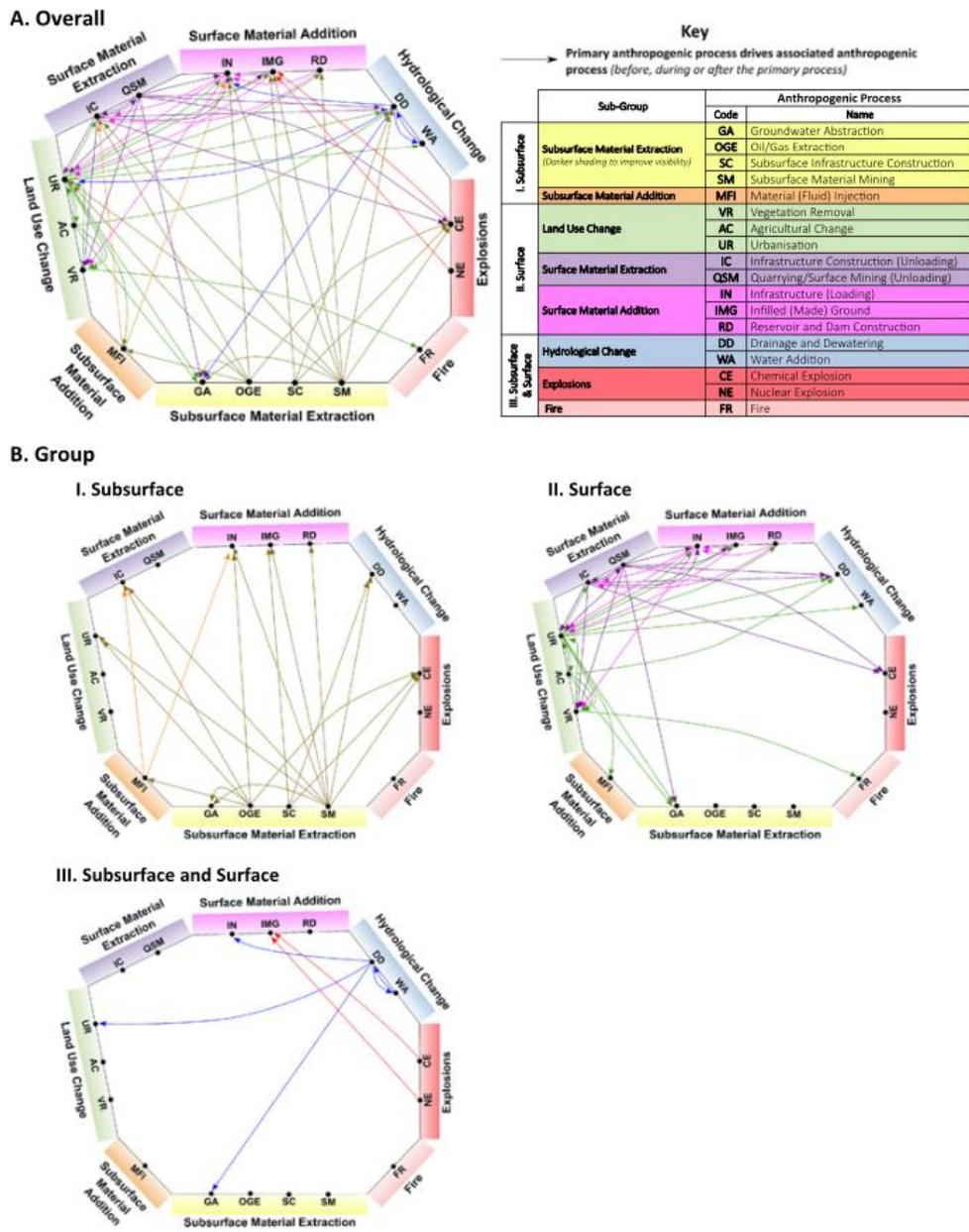


Figura 4 Diagrammi di collegamento di rete che mostrano le interazioni tra 18 tipi di processi antropogenici, basati su una struttura progettuale presentata in Gill e Malamud (2014). Il diagramma di collegamento della rete ottagonale principale (A) presenta 18 tipi di processi antropici codificati, con codici annotati nella legenda, ed è una visualizzazione alternativa delle informazioni presentate in Figura 3. Diagrammi di collegamento della rete ottagonale individuali (B) sono inclusi anche per i tre diversi gruppi: (I) sottosuolo, (II) superficie e (III) entrambi. In tutti i diagrammi di collegamento della rete ottagonale, i sottogruppi di processi antropogenici seguono la stessa codifica a colori introdotta nella Figura 4. Le frecce vengono utilizzate per mostrare dove un tipo di processo antropogenico primario può innescare un tipo di processo antropogenico secondario associato. Le linee sono colorate in base al sottogruppo in cui viene avviata la relazione. Il tipo di processo antropogenico primario può innescare il tipo di processo antropogenico secondario prima, durante o dopo il tipo di processo antropogenico primario. Sebbene non sia incluso in questa figura, in alcuni casi è possibile che un tipo di processo antropico possa innescare ulteriori (o più intense) occorrenze di sé stesso

2.5.3 Implicazioni delle interazioni dei processi antropici

Queste due matrici di analisi, a questo punto, possono essere utilizzate simultaneamente per valutare dei quadri multirischio e per la riduzione del rischio dei disastri (DRR).

Più processi antropici possono verificarsi in sequenza o a cascata ed innescano pericoli naturali che si verificheranno a loro volta in sequenza o a cascata. I pericoli naturali aumentano quando i fattori che li scatenano sono più di uno, la loro somma va ad inasprire il fenomeno naturale facendo aumentare la loro estensione spaziale e la loro intensità come la rimozione della vegetazione e la costruzione di infrastrutture, se avvengono nello stesso momento, possono provocare numerose frane, o meglio la somma delle frane se i due processi antropogenici si fossero verificati in due differenti momenti.

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; background-color: #0056b3; color: white; border-radius: 10px;">AP Primary</div> →		← <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; background-color: #0056b3; color: white; border-radius: 10px;">AP Associated Secondary</div>	
PRIMARY ANTHROPOGENIC PROCESS (AP _{Primary})	PRIMARY ANTHROPOGENIC PROCESS TRIGGERS ASSOCIATED ANTHROPOGENIC PROCESS (# Links out of 17)	ASSOCIATED SECONDARY ANTHROPOGENIC PROCESS (AP _{Associated Secondary})	ASSOCIATED SECONDARY ANTHROPOGENIC PROCESS TRIGGERED BY PRIMARY ANTHROPOGENIC PROCESS (# Links out of 17)
UR - Urbanisation	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 10	IN - Infrastructure (Loading)	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 9
QSM - Quarrying/Surface Mining (Unloading)	<div style="width: 94%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 9	UR - Urbanisation	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 9
SM - Subsurface Mining	<div style="width: 88%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 8	DD - Drainage and Dewatering	<div style="width: 76%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 7
IC - Infrastructure Construction (Unloading)	<div style="width: 71%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 6	IMG - Infilled (Made) Ground	<div style="width: 76%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 7
OGE - Oil/Gas Extraction	<div style="width: 71%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 6	IC - Infrastructure Construction (Unloading)	<div style="width: 76%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 7
AC - Agricultural Practice Change	<div style="width: 59%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 5	GA - Groundwater Abstraction	<div style="width: 65%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 6
DD - Drainage and Dewatering	<div style="width: 47%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 4	VR - Vegetation Removal	<div style="width: 59%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 5
IN - Infrastructure (Loading)	<div style="width: 35%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 3	CE - Chemical Explosion	<div style="width: 59%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 5
SC - Subsurface Infrastructure Construction	<div style="width: 23%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 3	RD - Reservoir and Dam Construction	<div style="width: 35%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 3
IMG - Infilled (Made) Ground	<div style="width: 12%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 2	MFI - Material (Fluid) Injection	<div style="width: 12%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 2
RD - Reservoir and Dam Construction	<div style="width: 12%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 2	WA - Water Addition	<div style="width: 12%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 2
MFI - Material (Fluid) Injection	<div style="width: 12%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 2	AC - Agricultural Practice Change	<div style="width: 6%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 1
NE - Nuclear Explosion	<div style="width: 6%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 1	FR - Fire	<div style="width: 6%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 1
CE - Chemical Explosion	<div style="width: 6%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 1	SM - Subsurface Mining	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0
VR - Vegetation Removal	<div style="width: 6%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 1	SC - Subsurface Infrastructure Construction	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0
WA - Water Addition	<div style="width: 6%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 1	OGE - Oil/Gas Extraction	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0
FR - Fire	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0	NE - Nuclear Explosion	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0
GA - Groundwater Abstraction	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0	QSM - Quarrying/Surface Mining (Unloading)	<div style="width: 0%; height: 10px; background-color: #ffc107;"></div> 0

Figura 5 Una quantificazione e classificazione dei processi antropogenici in base (a sinistra) al numero di collegamenti del processo antropogenico primario che innescano le relazioni di processo antropogenico secondario associate e (a destra) al numero di collegamenti del processo antropogenico secondario associato innescato da processi antropogenici primari.

2.6 Processi antropogenici e rischi naturali

In questa sezione vengono introdotti i rischi antropogenici che innescano o catalizzano/impediscono l'innescare dei rischi ambientali.

Quindi distinguiamo:

- Innesco antropogenico: processo che innesci un rischio ambientale che a sua volta innesci altri rischi ambientali secondari (a cascata) come delle inondazioni derivate da dighe di frana;
- Catalisi/impedenza: l'attività antropica ha la capacità di catalizzare i processi naturali primari al fine di innescare precocemente pericoli naturali secondari. Ad esempio, la rimozione della vegetazione provoca un'instabilità del terreno e di conseguenza delle frane.

In Figura 6 si può vedere come il processo antropogenico può avvenire in tre momenti diversi del pericolo naturale: prima (t_1), durante (t_2) e dopo (t_3), nomenclatura diversa ma più intuitiva rispetto a quella proposta in Figura 3.

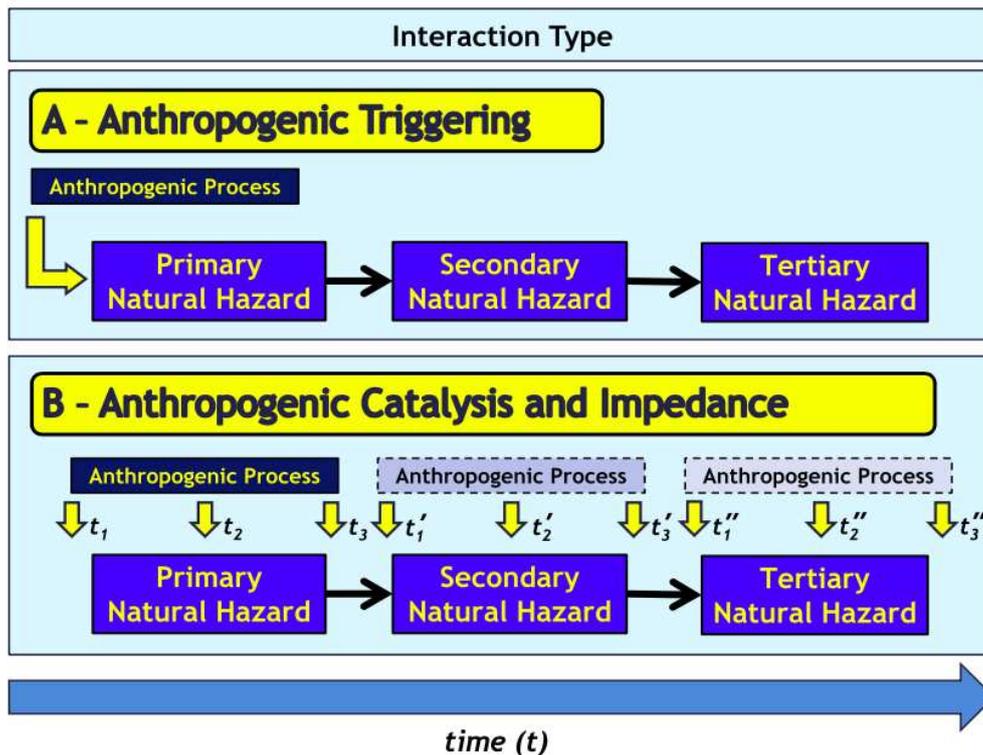


Figura 6 Meccanismi che mettono in relazione i tipi di processi antropogenici con i rischi naturali e le interazioni dei rischi naturali. Vengono presentati due meccanismi attraverso i quali i processi antropici, come quelli delineati nella Figura 4, possono essere correlati a pericoli naturali. Il primo meccanismo (A) è l'innescamento antropico, in cui un processo antropico può innescare un rischio. Questo a sua volta può innescare ulteriori pericoli naturali per formare una rete di interazioni (cascata). Il secondo meccanismo (B) è la catalisi antropica e l'impedenza, in cui un processo antropico può catalizzare o impedire un rischio naturale primario definendo innescando un'interazione di rischio naturale secondario. Il processo antropico potrebbe verificarsi prima (t_1), durante (t_2) o dopo (t_3) il pericolo naturale primario e in qualsiasi punto di un sistema a cascata (t' e t'').

Esempi:

- t_1 : rimozione della vegetazione che innescava frane;
- t_2 : uno scarso drenaggio può causare alluvioni, causate dall'intensità delle precipitazioni di un temporale;
- t_3 : costruzione di infrastrutture che porta al sollevamento del suolo provocato da una tempesta.

3. Inneschi antropogenici dei rischi naturali

In questa sezione analizzeremo e valuteremo le interazioni tra processo antropogenico e rischi naturali utilizzando la classificazione di processi antropogenici che innescano rischi naturali precedentemente vista. Verranno introdotti 21 rischi naturali che verranno poi presi in considerazione per le analisi d'interazione.

3.1 Rischi naturali e schemi di classificazione dei rischi

I 21 rischi naturali sono descritti e divisi in 6 gruppi basati sul meccanismo fisico di cui si verifica il processo: geofisico, idrologico, processi terrestri superficiali, rischi atmosferici, biofisici e spaziali (Figura 7).

Table 4

Natural hazard groups and natural hazard types used in this paper. An outline of 6 hazard groups, containing 21 different natural hazard types, with the codes used in this paper and component hazards noted (adapted from Gill and Malamud, 2014).

Natural Hazard			Component Hazards (where applicable)
Group	Type	Code	
Geophysical	Earthquake	EQ	Ground Shaking, Ground Rupture, Liquefaction
	Tsunami	TS	
	Volcanic Eruption	VO	Gas and Aerosol Emission, Ash and Tephra Ejection, Pyroclastic and Lava Flows Rockfall, Rotational and Translational Slide, Debris Flow, Lahar Soil-Creep
	Landslide Snow Avalanche	LA AV	
Hydrological	Flood	FL	Flash Flood, Fluvial Flood, Rural Ponding, Urban Flood, Coastal Flooding, Storm Surge, Jökulhlaups, Glacial Lake Bursts
	Drought	DR	Meteorological Drought, Agricultural Drought, Hydrological Drought
Shallow Earth Processes (adapted from Hunt, 2005)	Regional Subsidence	RS	Tectonic Subsidence
	Ground Collapse	GC	Karst and Evaporite Collapse, Piping, Metastable Soils
	Soil (Local) Subsidence Ground Heave	SS GH	Soil Shrinkage, Natural Consolidation Settlement Tectonic Uplift, Expansion (Swelling) of Soils and Rocks
Atmospheric	Storm	ST	Tropical Cyclone, Hurricane, Typhoon, Mid-Latitude Storm
	Tornado	TO	
	Hailstorm	HA	
	Snowstorm	SN	
	Lightning	LN	
	Extreme Temperature (Heat) Extreme Temperature (Cold)	ET (H) ET (C)	Heat Waves, Climatic Change Cold Waves, Climatic Change
Biophysical	Wildfire	WF	
Space/Celestial	Geomagnetic Storm	GS	
	Impact Event	IM	Asteroid, Meteorite

Figura 7 Classificazione delle calamità naturali e dei correlati rischi ambientali

3.2 Interazioni innescanti processi antropogenici-rischio naturale

Ora verranno esaminate le interazioni tra processo antropogenico (18) e rischio naturale (21). La revisione di queste interazioni è stata iterativa e pragmatica, con lo sviluppo di un di uno schema di classificazione per i 18 tipi di processi antropogenici eseguito simultaneamente. Questa recensione ha portato alla formazione di un database con 120 riferimenti.

Uno degli strumenti di ricerca per la letteratura è stato Google Scholar, che ha permesso di identificare 378 interazioni tra processo antropogenico e rischio naturale. Per poter capire se una interazione fosse possibile sono stati letti testi di letteratura scientifica che documentavano fatti e studi avvenuti per quella precisa interazione. In alcuni casi la letteratura è venuta in soccorso e l'interazione è stata classificata come "possibile". In altri testi di letteratura scientifica molto spesso non sono menzionate le interazioni tra alcuni processi antropogenici e pericoli naturali giungendo alla conclusione che questi fenomeni fossero "non possibili". In Gill e Malamud (2017), prima di determinare che alcuni fenomeni fossero "non possibili", è stata presa in considerazione altra letteratura grigia sfruttando un tipo di ricerca Booleana, la stessa che viene utilizzata in informatica (AND, OR e NOT).

In figura 8 sono stati identificati, mediante una matrice di 18 tipi di processi antropogenici e 21 tipi di rischi naturali, 378 possibili interazioni dove i processi antropici possono innescare un rischio naturale. Per 52 delle 57 interazioni è stato trovato un caso studio in letteratura per verificare la veridicità dei fatti, ad esempio, un'esplosione nucleare può innescare una frana o una valanga di roccia (Figura 8, cella 7.2D) che abbiamo identificato come esempi di casi di studio (Adushkin, 2000; Pratt, 2005; Adushkin, 2006), mentre per gli altri 5 non è stato trovato alcun caso specifico.

Questo metodo viene utilizzato per valutare in generale quale conseguenza ha un approccio rispetto ad un altro.

La Figura 8 offre una panoramica su tutte le interazioni in forma matriciale e se le suddette interazioni presentano casi studio documentati; tuttavia, non presenta informazioni sull'intensità del rischio ambientale innescato che varia a seconda dell'intensità del processo antropogenico che lo ha innescato. L'area spaziale che interessa l'avvenimento dei rischi ambientali e l'estensione temporale provocando un aumento dell'intensità del rischio ambientale non sono presenti in Figura 8.

Esistono delle differenze per quanto riguarda la tempistica della relazione di interazione; il tipo di processo antropogenico può essere discreto come ad esempio le esplosioni, oppure può essere continuo come l'estrazione di acqua dal suolo/sottosuolo. Ciò vuol dire che ogni processo antropogenico non innesca nell'immediato un rischio naturale ma ha bisogno necessariamente un lasso di tempo per determinare quale rischio ambientale andrà ad innescare.

La probabilità di relazione di interazione che per ciascuna delle relazioni di attivazione in Figura 8 non è indicata, riguarda due aspetti della probabilità:

- la probabilità che il processo antropico avvenga in una data estensione spazio/temporale:
- la probabilità che sia stato innescato un rischio naturale, dato che si è verificato il processo antropogenico.

La valutazione di questi aspetti sopra sottolineati può essere definita indicando l'area spaziale in cui è probabile avvenga il rischio ambientale, dando informazioni sul luogo di carattere geologico, idrologico, alla pratica umana e alla legislazione vigente in quel luogo. Ogni paese ha il suo metodo legislativo che riguarda l'interazione tra processi antropogenici e rischi ambientali, favorendo una mitigazione efficiente in caso di emergenza.

Ad esempio, l'eccessiva estrazione di acque sotterranee può innescare la subsidenza regionale.

		TRIGGERED NATURAL HAZARD																				
		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)	(P)	(Q)	(R)	(S)	(T)	(U)
I. Subsurface Process	(I.1) Groundwater Abstraction																					
	(I.2) Oil/Gas Extraction																					
	(I.3) Subsurface Infrastructure Construction																					
	(I.4) Subsurface Mining																					
	(I.5) Material (Fluid) Injection																					
	(I.6) Vegetation Removal																					
	(I.7) Agricultural Practice Change																					
	(I.8) Urbanisation																					
	(I.9) Infrastructure Construction (Unloading)																					
	(I.10) Quarrying/Surface Mining (Unloading)																					
II. Surface Process	(II.1) Infrastructure (Loading)																					
	(II.2) Infilled (Made) Ground																					
	(II.3) Reservoir and Dam Construction																					
	(II.4) Drainage and Dewatering																					
	(II.5) Water Addition																					
III. Subsurface & Surface Process	(III.1) Chemical Explosion		*																			
	(III.2) Nuclear Explosion		*																			
	(III.3) Fire																					
	(III.4) Fire																					

KEY		NATURAL HAZARD	
GROUP	NATURAL HAZARD TYPE	CODE	
GEOLOGICAL	Earthquake	EQ	
	Tsunami	TS	
	Volcanic Eruption	VO	
	Landslide	LA	
	Slope Instability	AV	
HYDROLOGICAL	Drought	DR	
	Flood	FL	
	Highland Subsidence	HS	
	Groundwater Subsidence	GC	
SHALLOW EARTH PROCESSES	Soil Erosion	SE	
	Soil (Local) Subsidence	SS	
	Ground Heave	GH	
	Storm	ST	
ATMOSPHERIC	Tornado	TO	
	Hailstorm	HA	
	Snowstorm	SN	
	Lightning	LN	
BIOPHYSICAL	Extreme Temperature (Hot)	ET (H)	
	Extreme Temperature (Cold)	ET (C)	
	Wildfire	WF	
	Geomagnetic Storm	GS	
SPACE	Impact Event	IM	

Code
Anthropogenic Process Triggers Natural Hazard.

* Triggering relationship inferred in the literature, but no case study has been identified.

Footnotes
[General #1] – Please note that these relationships do not include the impact of anthropogenic factors on long-term climate change, but do include impacts on localised changes to climate. For example, the impact of deforestation on localised rainfall may be low magnitude, low intensity events (colloquially referred to as ‘earth tremors’).
[I.3A, I.4A] – Primarily through rock-bursts, as lateral pressures decrease.
[I.3] – Vegetation removal is both noted to increase and decrease precipitation/rainfall, through changes in evaporation and cloud formation. Differences relate to altitude and region.
[I.3A] – Some studies suggest both increases and decreases in the amount of rainfall (at different times of the year). There is disagreement in the literature about the nature of this relationship.
[I.3B] – No case study identified, but some discussion in literature of localised cooling effect. There is disagreement in the literature about the nature of this relationship.
[I.10] – No case study identified in literature, but some literature suggests that increased water levels may increase the likelihood of slope failure through a deterioration of rock mass quality.
[I.15] – Case study when blasting as a possible initiation of forest fire.
[I.20, I.21, I.22, I.23] – No case studies identified in literature, due to relatively few nuclear explosions. Literature to support these relationships does exist.

Figura 8 Identificazione delle interazioni tra processi antropici e fattori di rischio naturale. Una matrice di interazione 18 × 21 con processi antropici selezionati sull'asse verticale e pericoli naturali selezionati sull'asse orizzontale. I processi antropici sono organizzati in 3 gruppi e ulteriormente classificati in 8 sottogruppi generali di processi antropici. I tipi di pericoli naturali (descritti nella Figura 6) sono suddivisi in sei gruppi di pericoli naturali più ampi e codificati, come spiegato nella legenda. Questa matrice di interazione viene popolata utilizzando un database incluso nel Materiale Supplementare. La matrice di interazione mostra 57 casi (su 378 possibili) in cui un processo antropico potrebbe innescare un pericolo naturale (cell shaded). Di queste, ci sono state cinque interazioni in cui non sono stati identificati casi studio in letteratura (cella ombreggiata con un asterisco, *), ma la relazione stessa è dedotta. Le note in aggiunta forniscono ulteriori informazioni su alcune delle relazioni.

3.3 Legami tra processi antropogenici e pericoli naturali

Utilizzando le 57 interazioni tra processo antropogenico e calamità naturale di Figura 8, è stato applicato lo stesso metodo di classificazione di gravità relativa della Figura 5 di ciascun processo antropogenico innescante e ciascun rischio naturale innescato.

In Figura 9 si vede questa gravità relativa quantificando e classificando:

- Innesco del processo antropogenico AP (misura per la quale ognuno dei 18 processi antropogenici innesca un pericolo naturale), ogni processo antropogenico può innescare un massimo di 21 rischi naturali;
- Rischio naturale innescato NH (La misura in cui ogni rischio naturale è innescato da processi antropici), ciascuno dei 21 pericoli naturali può essere innescato da un massimo possibile di 18 processi antropici.

Per ogni processo AP e ogni calamità NH, vengono sommati il numero totale dei collegamenti rilevanti dalla Figura 8, classificanti dal numero più alto al più basso in Figura 9.

Dalle graduatorie della Figura 9 possiamo notare:

- I tre processi antropogenici con il punteggio più alto e con il maggior numero di collegamenti tra AP e NH sono la rimozione della vegetazione, esplosioni nucleari e le esplosioni chimiche, rappresentando così il 32% dei processi antropici collegati a rischi naturali;
- I tre rischi naturali con punteggio più alto sono le frane, i terremoti e il crollo del terreno, rappresentando così il 51% dei pericoli naturali derivati da collegamenti a processi antropogenici.

Quando si considera ogni tipo di collegamento come una percentuale del massimo possibile per qualsiasi processo antropico e qualsiasi pericolo naturale, si nota che:

- Le 3 percentuali più alte del AP sono ciascuna del 29%, e ciò si confronta con e 3 percentuali più alte del NH che sono rispettivamente 61%, 50% e 50%;
- Le 3 percentuali più basse del AP sono tutte del 5%, e ciò si confronta con le tre percentuali più basse del NH che sono tutte e tre allo 0%;
- Nel complesso, c'è una minore dispersione dei valori (come rappresentato dalla deviazione standard dei valori) quando si considera il processo antropico ai legami di pericolosità

naturale (media = 15%; mediana = 14%; deviazione standard = 8%) rispetto a naturali rischio da legami di processo antropici (media = 15%; mediana = 11%; deviazione standard = 18%).

Le informazioni e le classifiche della Figura 9 non riflettono a pieno la probabilità complessiva di un processo antropogenico o di una data interazione. Alcuni processi antropogenici anche se di alto livello hanno meno probabilità di verificarsi, come un'esplosione nucleare che si verifica raramente, al contrario per gli altri 17 processi la probabilità è molto più alta. I pericoli naturali che si trovano in alto alla classifica potrebbero anche aver ricevuto tale classificazione attraverso l'inclusione di processi antropogenici molto a bassa probabilità e accoppiamenti di interazioni di pericoli naturali. Poiché le informazioni sull'intensità prevista o sull'intervallo di intensità dei pericoli naturali innescati non sono riportate nella Figura 8 anche le intensità differenziali non si riflettono nelle classifiche della Figura 9. I dati di probabilità, intensità e impatto specifici della regione potrebbero perfezionare le classifiche all'interno della Figura 9 per supportare meglio le attività di pianificazione e mitigazione.

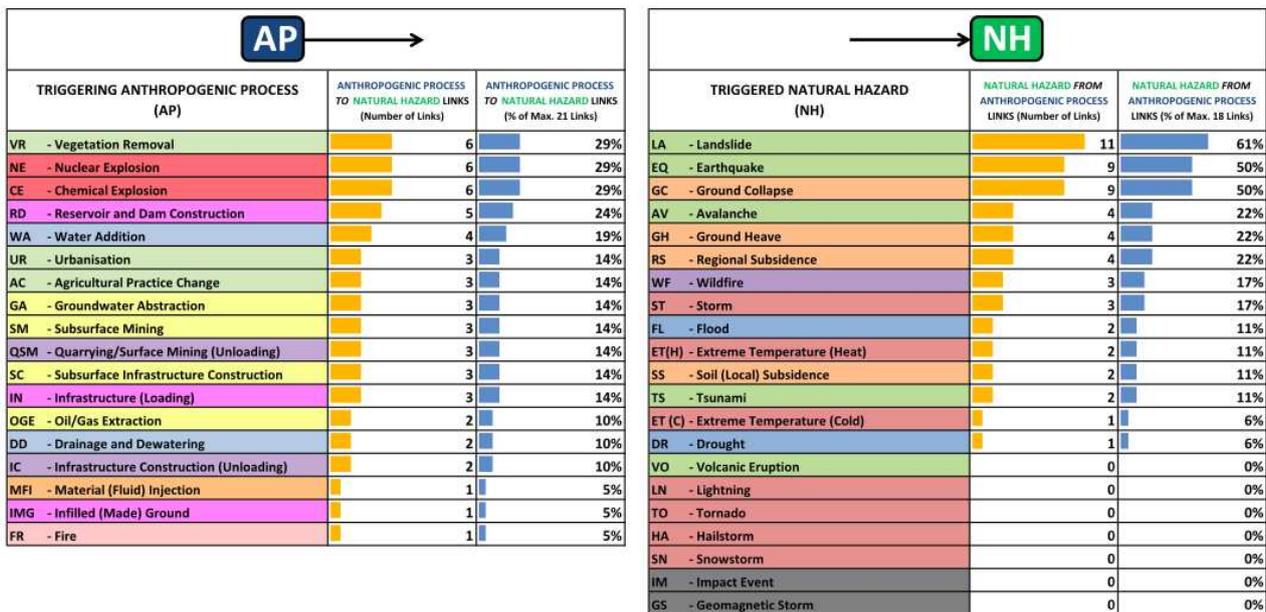


Figura 9 Classifica dei singoli processi antropici (AP) e rischi naturali (NH) in base al numero totale e alla percentuale dei collegamenti massimi (a sinistra) da AP a NH e (a destra) da NH a AP possibili.

4. Catalisi antropogenica e impedenza delle interazioni dei rischi naturali

Come visto in precedenza i processi antropici possono catalizzare o impedire le interazioni con i rischi naturali. In questa sezione analizzeremo quali processi antropici catalizzano o impediscono l'innescò di rischi naturali e prenderemo in considerazione la rimozione della vegetazione come processo antropogenico.

4.1 Interazioni di rischi naturali

Le interazioni con i pericoli naturali possono essere monodirezionali o bidirezionali e comprendono un pericolo naturale primario che innescò un pericolo naturale secondario.

Utilizzando una matrice 21x21 avremo 441 interazioni possibili di interazione tra pericolo naturale e pericolo naturale. In Figura 10 si può notare che solo 90 delle 441 interazioni avviene davvero. I pericoli naturali sono messi nella Figura sotto forma di matrice dove sull'asse verticale troviamo 21 pericoli naturali primari e in quello orizzontale troviamo i pericoli naturali secondari.

Le interazioni (come nelle precedenti Figure) sono state valutate tramite l'utilizzo di letteratura grigia e letteratura peer-reviewed caratterizzando la loro possibilità di avvenire solo tramite la frequenza dei casi studio analizzati.

Definiamo due tipi di interazione tra i pericoli naturali:

- Innesco: pericolo naturale primario innescò un pericolo naturale secondario;
- Probabilità aumentata: il pericolo naturale primario aumenta la probabilità di un pericolo naturale secondario (Esempio: un incendio può provocare una frana, la siccità può aumentare il rischio d'incendio).

Distinguiamo due tipi di interazioni che seppur simili svolgono due azioni diverse o con un continuum tra di loro:

- Triggering: una probabilità associata al raggiungimento o al superamento di una soglia;
- Increased probability: una probabilità associata a un cambiamento di parametri ambientali, in moda da avvicinarsi, ma non raggiungere una determinata soglia.

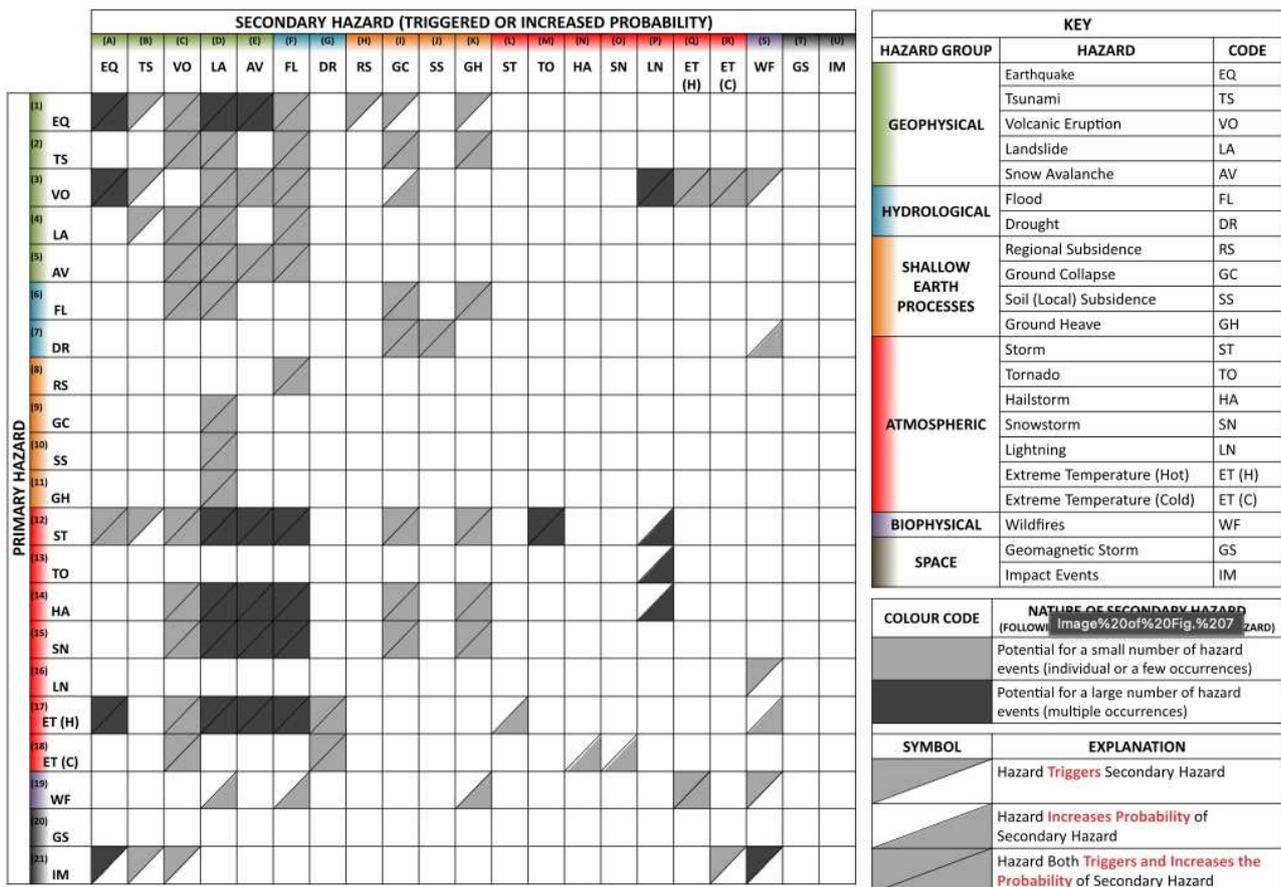


Figura 10 Identificazione delle interazioni di rischio. Una matrice di interazione 21 × 21 con pericoli primari sull'asse verticale e pericoli secondari sull'asse orizzontale. Questi pericoli sono codificati, come spiegato nella legenda. Questa matrice di interazione mostra i casi in cui un pericolo primario potrebbe innescare un pericolo secondario (triangolo in alto a sinistra ombreggiato) e i casi in cui un pericolo primario potrebbe aumentare la probabilità di attivazione di un pericolo secondario (triangolo in basso a destra ombreggiato). Laddove entrambi i triangoli sono ombreggiati, ciò indica che il pericolo primario potrebbe sia innescare che aumentare la probabilità di un pericolo secondario. Si distinguono anche quelle relazioni in cui un pericolo primario ha il potenziale di innescare o aumentare la probabilità di occorrenze multiple del pericolo secondario (grigio scuro) e poche o singole occorrenze del pericolo secondario (grigio chiaro). I pericoli sono classificati in sei gruppi di pericoli: geofisici (verde), idrologici (blu), processi terrestri superficiali (arancione), atmosferici (rosso), biofisici (viola) e spazio/celesti (grigio).

4.2 Visualizzazione di tipi di processi antropogenici che catalizzano o impediscono le interazioni dei pericoli naturali

Come affermato nella sezione 2.6, i processi antropici sono capaci di catalizzare o impedire le interazioni tra pericoli naturali. Quindi esistono tra ciascuno dei 18 processi antropogenici e le 90 interazioni di rischio naturale, $18 \times 90 = 1620$ possibili relazioni catalisi/impedenza dei processi antropogenici sulle coppie di interazioni di rischio naturale. Adottando un quadro di visualizzazione è possibile identificare le interazioni di catalizzazione e di impedenza, come una matrice di interazioni come la Figura 8, permettendo di visualizzare tre parametri principali:

- Rischio naturale primario;
- Rischio naturale secondario;
- Processi antropici (come catalizzatore o impedenza).

Una scorciatoia utilizzata è stata quella di accorpate i primi due punti sotto la voce “accoppiamenti d’interazione di rischio”. Così facendo però ci sarà comunque una matrice 18x90, che per quanto possa essere completa, risulterebbe sempre asimmetrica, poco chiara e insufficientemente predisposta per l’analisi finale.

Nel caso in cui un fenomeno si verifichi in un’area localizzata, i processi antropogenici e le interazioni saranno sicuramente meno e l’analisi del territorio risulterà molto più semplificata.

La rimozione della vegetazione è un processo antropogenico comune che interessa la maggior parte dei luoghi abitati dall’uomo. L’area interessata dalla rimozione può variare da piccole a grandi zone. L’estensione temporale può variare da giorni a molti anni con proporzionalità diretta rispetto all’estensione spaziale. La rimozione della vegetazione può catalizzare o impedire l’innesco di rischi ambientali.

Come detto in precedenza, in questo studio sono stati utilizzati diversi tipi di letteratura e dei riferimenti presi da database (come citato nella sezione 2.2).

Quindi questo processo di revisione ha permesso l’analisi e la corretta stesura della matrice, riuscendo a identificare 46 di 90 casi in cui le interazioni di rischio ambientali sono catalizzate o impedita dalla rimozione della vegetazione. In Figura 11 presentiamo queste interazioni utilizzando una matrice di interazione adattata. Come in Figura 10, i pericoli naturali primari sono mostrati sull'asse verticale e i pericoli naturali secondari sull'asse orizzontale, e sono considerate sia le interazioni innescanti che quelle ad alta probabilità tra pericoli naturali primari e secondari.

Laddove il processo antropogenico di interesse all'interno della Figura 11 è considerato per catalizzare una particolare interazione di rischio naturale (innesco o aumento della probabilità), la parte rilevante della cella è ombreggiata in verde ed etichettato con una "C" (per catalizzatore). Laddove si suggerisce che il processo antropogenico nominato impedisca una particolare interazione di pericolo naturale, la parte rilevante della cella è ombreggiata in rosa ed etichettata con una "I" (per impedimento).

All’interno della Figura 11 sono identificate 38 celle in cui la rimozione della vegetazione potrebbe catalizzare un’interazione di rischio naturale e sono le seguenti:

- Terremoti che innescano e/o aumentano la probabilità di frane, attraverso una riduzione della resistenza dei versanti;

- Temporali che innescano e/o aumentano la probabilità di alluvioni, attraverso un aumento del flusso terrestre e la saturazione del suolo;
- Incendi che aumentano la probabilità di frane, attraverso la contemporanea rimozione della resistenza.

Sempre nella Figura 11 sono indicate 8 celle dove la rimozione della vegetazione potrebbe impedire l'innescare di un rischio naturale, sono indicati con ombreggiatura rosa e con la lettera "I".

La rimozione della vegetazione impedisce le seguenti interazioni:

- Siccità che innescano o aumentano la probabilità di subsidenza del suolo, attraverso una riduzione dell'assorbimento di acqua, limitando l'influenza della siccità sui suoli che si rigonfiano;
- La siccità aumenta la probabilità di incendi attraverso la rimozione del biocarburante disponibile, è meno probabile se la siccità provoca la rimozione della vegetazione impedendo il divamparsi delle fiamme.

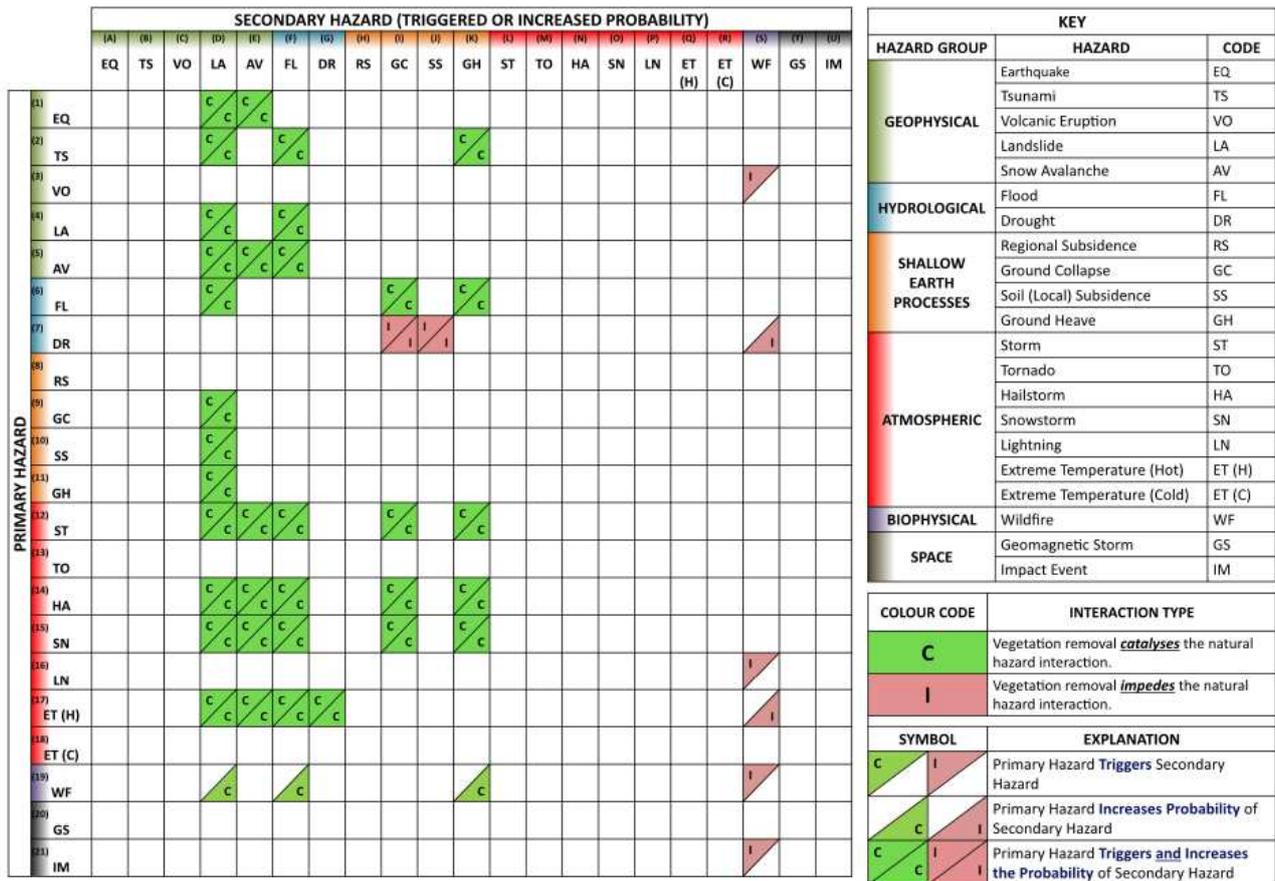


Figura 11 Influenza della rimozione della vegetazione sulle interazioni dei pericoli naturali. Una matrice di interazione 21 × 21 con pericoli primari sull'asse verticale e pericoli secondari sull'asse orizzontale. Questi pericoli sono codificati e classificati come spiegato nella legenda e nella Figura 7. Questa matrice di interazione mostra i casi in cui un pericolo primario potrebbe innescare un pericolo secondario (triangolo in alto a sinistra ombreggiato) e i casi in cui un pericolo primario potrebbe aumentare la probabilità di un pericolo secondario essere attivato (triangolo in basso a destra ombreggiato). Laddove entrambi i triangoli sono ombreggiati, ciò indica che il pericolo primario potrebbe sia innescare che aumentare la probabilità di un pericolo secondario. Laddove si nota che la rimozione della vegetazione catalizza la data interazione di pericolo, la cella è ombreggiata in verde ed etichettata con una "C". Laddove si nota che la rimozione della vegetazione impedisce la data interazione di pericolo, la cella è ombreggiata in rosa ed etichettata con una "I".

5. Discussione

In questo studio è stato valutato, classificato e visualizzato all'interno di matrici, il potenziale di 18 processi antropogenici di innescare altri processi antropogenici e 21 rischi naturali. È stato anche valutato il potenziale di processi antropici di poter catalizzare o impedire delle interazioni con rischi naturali. Questo studio dimostra l'importanza di considerare i processi antropogenici all'interno di valutazioni olistiche multi-rischio per poter riuscire a pianificare e mitigare post calamità e implementare il DRR.

5.1 Limiti e incertezze

Nel corso di questo studio è stato sempre evidenziato il fatto che le informazioni prese in considerazione provengono da testi di letterature grigia e documentazioni di eventi veramente accaduti, e per questo motivo rende molto incerta l'analisi proposta da questo documento.

Cinque fattori limitanti che contribuiscono all'incertezza sono:

- Sotto-classificazione di rischi naturali selezionati e processi antropici. Sia i processi antropici che i rischi naturali possono essere divisi ulteriormente in altre classi. Ad esempio, le frane non sono tutte uguali e possono essere divise in frane, colate detritiche e frane traslazionali; l'agricoltura si può classificare a sua volta in base al metodo applicato, tipo di coltura, irrigazione e anche di allevamento. Nella stesura di quadri multirischio, bisogna anche fare una classifica degli enti da informare, se enti politici o protezione civile;
- Esclusione di altri processi antropogenici. I 18 tipi di processi antropogenici divisi in 8 sottogruppi e 3 gruppi (in base a dove è localizzata la calamità) è un assortimento e una visuale molto grossolana di tutti i processi antropogenici che ci sono sul pianeta. Ad esempio, più nello specifico vengono citati pesca ed aviazione, che in questo documento non vengono menzionati dato che in Gill and Malamud 2017 vengono presi in considerazione solo casi studio documentati e testi di letteratura scientifica;
- Scala d'interesse. In questo studio è stato introdotto il concetto di scala spaziale e temporale. Tutti i processi elencati precedentemente nella sezione 2.3 potrebbero avvenire in molti ordini di grandezza di tempo e spazio con diversa influenza anche sull'innescamento di pericoli

naturali. Comunque, le informazioni presenti in questo studio possono essere implementate con informazioni locali specifiche di scala e ampiezza dei processi rilevati;

- Capacità normativa, tecnica e finanziaria. Come introdotto in precedenza, ogni paese ha un suo modo di gestire le relazioni tra attività antropiche e pericoli naturali. La capacità di un processo antropico di innescare, catalizzare o impedire un pericolo naturale sta anche da come un paese regola le azioni umane nei confronti dell'ambiente. Ogni infrastruttura che si rispetti ha alle spalle una progettazione basata su capacità tecniche, finanziarie e d'indagine del territorio per scongiurare pericoli naturali che potrebbero essere ad esempio delle frane. In genere i progetti più piccoli possono incidere maggiormente sull'ambiente dato che non sono provvisti di regolamentazioni rispetto ai progetti più grandi. Quindi principalmente il garante a far rispettare gli standard nazionali e internazionali una buona regolamentazione sono i governi;
- Cambiamento climatico. In questo documento non è stata inclusa l'influenza delle emissioni in atmosfera di gas serra antropogenici sui rischi naturali. Questi gas sono principalmente interessati per l'aumento delle temperature ed altri rischi ambientali connessi ad esso.

Oltre a questi aspetti d'incertezze in Gill e Malamud [2014] vengono descritte in dettaglio le limitazioni e le incertezze associate ai dati d'interazione dei pericoli, alle classificazioni e alle visualizzazioni includendo:

- Pregiudizi di conoscenza;
- Esclusione e risoluzione dei pericoli;
- Uso di letteratura vecchia e grigia;
- Contrasti tra pericoli naturali secondari a lenta e rapida insorgenza
- Incertezze dei parametri e reti d'interazioni di rischio.

Dato che questo studio è stato effettuato con metodi di analisi e visualizzazione analitici, molti di questi limiti e incertezze persistono.

5.2 Integrazione dei processi antropogenici in quadri multirischio

Questo studio ci ricorda che è molto importante prendere in considerazione i processi antropogenici per una valutazione e visualizzazione multirischio; il termine multirischio è stato definito come "tutti

i pericoli possibili e rilevanti e le loro interazioni, in una data regione spaziale e/o periodo temporale”.

Molti ambienti, come le aree urbane, sono modellati da uno o più processi antropogenici che molto spesso si trovano in condizioni di sovrapposizione, ovvero un processo antropogenico secondario associato che avviene durante quello primario e molte volte anche prima o dopo.

Identificare i processi antropogenici serve principalmente per visualizzare e comprendere quali rischi ambientali possono essere influenzati e di conseguenza innescati. Al contrario è improbabile che l'identificazione dei fenomeni naturali incida sulla loro rilevanza temporale, infatti ci si concentra di più sull'identificazione dei processi antropici, e dato che incidono molto sull'ambiente, questi dovrebbero essere riconosciuti all'interno di un quadro multirischio, con annesso un monitoraggio continuo di tutti i processi antropogenici. Le matrici utilizzate nelle sezioni precedenti favoriscono una migliore gestione e un efficiente monitoraggio dei processi antropici che innescano calamità naturali, utili per la politica, per la ricerca e per la pratica (monitoraggio), facilitando così una valutazione più avanzata e completa di quadri multirischio.

La Figura 12 è una sovrapposizione della Figura 8 e 10 utilizzate per rilevare rispettivamente le interazioni tra processi antropogenici-processi antropogenici 18x18 e processi antropogenici-rischi ambientali fornendo un esempio di possibili eventi che si possono verificare a cascata. In questo esempio: (i) (matrice sottostante) si mostra che la rimozione della vegetazione (VR) innescano una frana (LA), (ii) (matrice sovrastante) la frana (LA) quindi innescano un'alluvione (FL), quindi l'alluvione (FL) potrebbe successivamente innescare o aumentare la probabilità di crollo del terreno (GC). Tali reti di interazioni di rischio (cascate) sono potenzialmente molto diffuse, con variazioni in termini di influenza spaziale e temporale, frequenza e impatto.

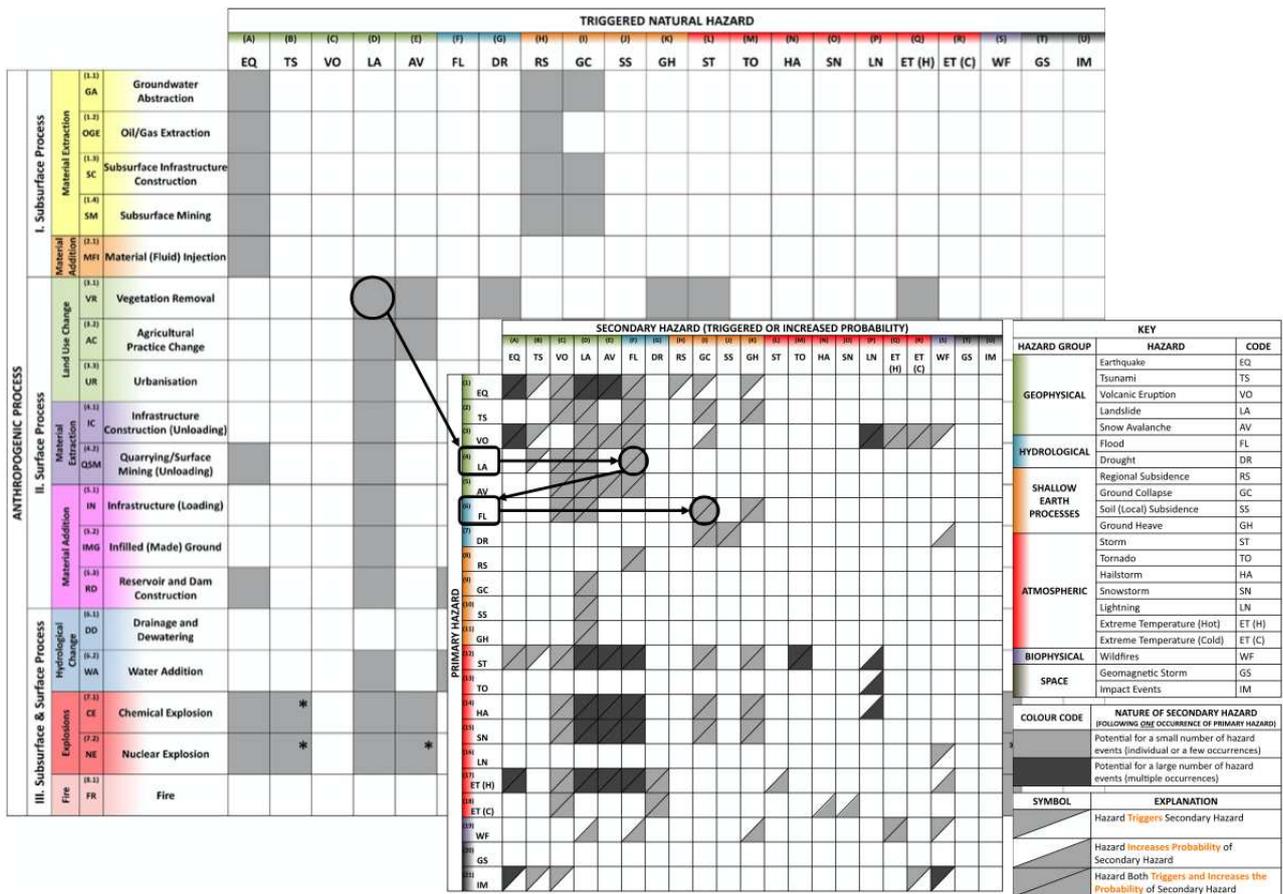


Figura 12 Inizio della rete di interazioni (cascata) visualizzata combinando le Figura 8 e 10. Una Figura che combina la matrice di interazione 18 x 21 dei tipi di processi antropici che innescano i pericoli naturali (Figura 8) con la matrice di interazione 21 x 21 dei pericoli naturali che innescano i pericoli naturali (Figura 10).

I quadri multirischio per essere completi devono essere implementati di tutti i dati necessari (di geologia, di meteorologia, di idrologia e ingegneria).

I metodi principali di analisi e visualizzazione utilizzati in questo studio sono stati:

- Matrici di interazione. Matrice d'interazione scalabile sintetica e accessibile conferendo chiarezza all'estrazione d'informazioni;
- Schemi di collegamento di rete. Sintetizza e collega una vasta gamma di interazioni in maniera chiara e visibile con delle frecce colorate.

Entrambi sono due metodi molto efficaci per visualizzare le interazioni grazie a caratteristiche che saltano all'occhio come struttura e colori. Questa visualizzazione rende il compito di attuare piani per la riduzione dei rischi e dei disastri e sulla loro gestione.

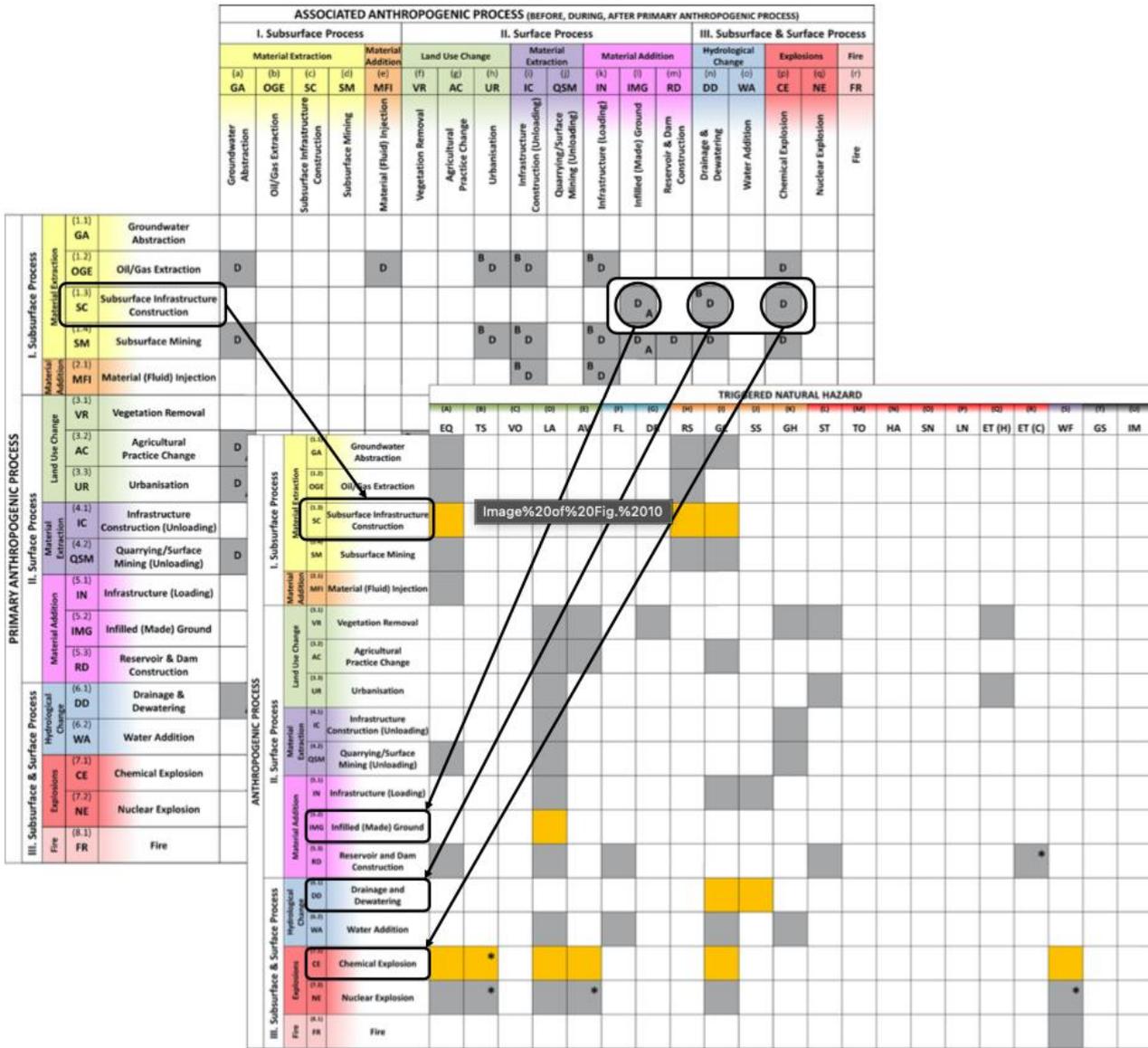


Figura 13 Innesco di pericoli naturali da parte di un insieme di processi antropici, visualizzati combinando le Figura 3 e 8. Una Figura che combina la matrice di interazione 18 x 18 delle interazioni di tipo processo antropogenico, con le interazioni indicate utilizzando l'ombreggiatura delle cellule grigie (Figura 3) con la matrice di interazione 18 x 21 dei tipi di processo antropogenico che innescano rischi naturali, con le interazioni indicate utilizzando ombreggiatura cellulare grigia e arancione (Figura 8). I dettagli completi di ciascuna matrice di interazione possono essere trovati nelle rispettive Figure. I pericoli naturali innescati in una determinata regione dipenderanno da molti fattori specifici del processo e del luogo. Ad esempio, è improbabile che la detonazione di esplosivi chimici per esplosioni, utilizzati nella costruzione di infrastrutture sotterranee, sia collegata all'innescato di tsunami.

5.3 Quadri multirischio per la riduzione del rischio di catastrofi (DRR)

I principali utenti di questo documento sono professionisti del settore e responsabili politici per il DRR, contribuendo a città e comunità ad aumentare la sostenibilità e la resilienza.

Le nazioni unite imponendo come obiettivo comune “l’obiettivo 11” continua ad incoraggiare lo sviluppo e l’attuazione della gestione olistica del rischio di catastrofi come scritto nel DRR 2015-2030. Queste matrici che riconosciamo nelle figure precedenti possono aiutare a supportare uno sviluppo di politiche gestionali di calamità naturali e per la riduzione del rischio dei disastri:

- Interazioni tra processi antropogenici. Definendo 64 interazioni tra 18 processi antropogenici è stata creata una matrice di visualizzazione degli eventi che si possono verificare prima, in simultanea e/o dopo, e avere una influenza sui processi naturali.
Gli utenti di questo tipo di matrice saranno in grado di capire in fase di progettazione quale misure debbano essere prese in considerazione per evitare inneschi di rischi naturali di qualsiasi tipo. (Figura 5 e 13)
- Processo antropogenico-rischio naturale che innesca le relazioni di interazione. Sono stati identificati 57 casi in cui un processo antropogenico innesca un rischio naturale. È da considerare e non ignorare l’influenza dei processi antropogenici nei confronti dell’ambiente. (Figura 11)
- Catalisi/impedenza delle interazioni dei pericoli naturali. I processi antropici possono catalizzare o impedire i pericoli naturali oltre ad innescare un singolo fenomeno. Le politiche gestionali e il DRR devono prevedere che tutti i processi antropogenici hanno la potenzialità d’innescare tutti i fenomeni naturali in maniera diversa e a volte indirettamente. (Figura 11)
- Integrazione di processi antropogenici e matrici di interazione rischi naturali. Per formare un quadro multirischio e pluri-dettagliato è stato necessario creare una matrice formata dalla sovrapposizione delle Figure 3, 8 e 10 per caratterizzare il rischio a cascata. (Figura 12 e 13)

6. Conclusioni

Questo studio ci ha permesso di caratterizzare le interazioni tra processi antropogenici e rischi ambientali identificandoli uno per uno su scala grossolana. Sono state identificate tutte le possibili interazioni che vengono innescate da processi antropogenici e i rischi secondari associati. Sono stati anche individuati i processi antropogenici che catalizzano o impediscono l'innescamento di altri processi. Sono stati fatti degli esempi principalmente con il fenomeno della rimozione della vegetazione.

Dalla sezione 2 alla sezione 5 sono state prese in considerazione aspetti come:

- Supporto dello sviluppo di metodologie olistiche multirischio integrando anche i processi antropogenici per consentire un'analisi completa dei rischi naturali;
- Semplifica le informazioni utilizzate per rendere efficaci e chiare le possibili interazioni da parte di coloro che lavorano sulla gestione del rischio delle catastrofi sia per professionisti che per politici.

BIBLIOGRAFIA

- Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework di Joel C.Gill e Bruce D.Malamud
[<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825216302227>]
- FOCUS II • ANTROPOCENE a cura di Nadia Caprioglio
[<https://iris.unito.it/retrieve/handle/2318/1724270/571254/2019%20Antropocene%20Intro%20Cosmo.pdf>]
- Coal Mining Induced Seismicity in the Ruhr Area, Germany di Monika Bischoff, Meier Alpan Cete, Ralf Fritschen & Thomas Meier
[<https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-009-0001-8>]