



**SVILUPPARE COMUNITÀ RESILIENTI AUMENTANDO LA
CONSAPEVOLEZZA E LA PREPARAZIONE
CONTRO IL RISCHIO DI INCENDI, INONDAZIONI E FRANE**

CAPITOLO 1. ORIGINE E IMPATTO DEI DISASTRI

Preparato da: Prof. Selçuk Toprak, Prof. Banu Cetin, Assoc. prof. Cigdem Balcik,
Ass. prof. Burak Aydogan, Tahsin Gormus, Oguz Dal
UNIVERSITÀ TECNICA DI GEBZE



**Funded by
the European Union**

Sommario	2
1. Origine e impatto dei disastri	3
1.1. Origine e impatto delle alluvioni	3
1.1.1. Origine delle alluvioni	3
1.1.2. Impatto delle alluvioni	13
1.1.2.1. Impatti ambientali delle alluvioni	15
1.1.2.2. Impatti sociali delle alluvioni	16
1.1.2.3. Impatti economici delle alluvioni	17
1.2. Origine e impatto della frane	19
1.2.1. Origine delle frane	19
1.2.2. Impatto delle frane	25
1.2.2.1. Impatti ambientali delle frane	25
1.2.2.2. Impatti sociali delle frane	26
1.2.2.3. Impatti economici delle frane	26
1.3. Origine e impatto degli incendi	28
1.3.1. Origine degli incendi	28
1.3.2. Impatto degli incendi	36
1.3.2.1. Impatti ambientali degli incendi	36
1.3.2.2. Impatti sociali degli incendi	37
1.3.2.3. Impatti economici degli incendi	38
Bibliografia	40

ORIGINE E IMPATTO DEI DISASTRI

I disastri si verificano in tutto il mondo e possono essere classificati in diversi tipi in base alle loro cause. I disastri naturali sono eventi causati da forze e processi naturali come la meteorologia e la geologia. Possono essere di dimensioni molto grandi e comportare la perdita di vite umane, di animali e beni materiali. Esempi di disastri naturali sono inondazioni, frane, terremoti, incendi, uragani ed eruzioni vulcaniche. I disastri causati dall'uomo sono disastri originati dall'uomo, in genere hanno impatti regionali. Gli incidenti industriali, gli incidenti nei trasporti, gli incidenti nucleari, i disastri biologici e ambientali possono essere un esempio di disastri causati dall'uomo. Il verificarsi dei disastri varia a seconda della posizione geografica, del clima e dei fattori umani. Alcune regioni sono più esposte a tipi specifici di disastri a causa delle loro caratteristiche geografiche o dei modelli climatici. Comprendere i modelli di occorrenza e i potenziali rischi associati ai diversi tipi di disastri è fondamentale per la preparazione, la risposta e gli sforzi di mitigazione dei disastri.

Ogni anno, milioni di individui sperimentano l'impatto di disastri naturali e causati dall'uomo. Questi disastri comportano il rischio di morte e lesioni fisiche e possono portare alla perdita di case, beni e infrastrutture comunitarie. Di conseguenza, le persone colpite da disastri corrono rischi elevati di sperimentare problemi di salute emotiva e fisica. Le reazioni allo stress a seguito di un disastro mostrano modelli simili a quelli osservati dopo qualsiasi evento traumatico. I disastri possono innescare una vasta gamma di reazioni mentali e fisiche, comprese le risposte ai problemi post-evento e ai fattori scatenanti associati all'esperienza traumatica.

Comprendere il verificarsi e l'impatto dei disastri è fondamentale per sviluppare strategie volte a prevenire, mitigare e rispondere a tali eventi. I governi, le comunità e gli individui svolgono un ruolo importante nel rafforzare la resilienza e nel ridurre al minimo gli effetti devastanti dei disastri.

1.1. Origine e impatto delle alluvioni

1.1.1. Origine delle alluvioni

Una inondazione è generalmente definita come uno straripamento di acqua su un terreno normalmente asciutto, causato da precipitazioni eccessive, cedimento di una diga o altri fattori. Le inondazioni possono essere classificate in base alla loro magnitudo, frequenza, durata ed estensione geografica. La classificazione è fondamentale per valutare i rischi di alluvioni e progettare misure di mitigazione adeguate. Le cause principali delle alluvioni sono dovute a cause naturali come precipitazioni intense, lo scioglimento delle nevi e i processi fluviali, nonché i fattori indotti dall'uomo come la deforestazione, l'urbanizzazione e il cambiamento climatico. L'interazione tra questi fattori può amplificare gli eventi alluvionali e aumentarne la frequenza e la gravità. Una comprensione completa delle cause consente a scienziati e governanti/ legislatori di sviluppare strategie efficaci per ridurre al minimo l'impatto delle inondazioni.

Quando l'inondazione è causata dalla tracimazione degli argini di corsi d'acqua ingrossati da piogge torrenziali, si parla anche di "alluvione". Le alluvioni sono disastri idrologici naturali che hanno un impatto significativo sulla vita umana, sulle infrastrutture e sull'ambiente. Comprendere il verificarsi delle alluvioni è fondamentale, per migliorare la preparazione, ridurre al minimo i danni e rafforzare la resilienza nelle regioni vulnerabili. Le alluvioni sono il risultato di una combinazione di fattori naturali e indotti dall'uomo. In primo luogo, giocano un ruolo significativo gli eventi precipitativi intensi o prolungati. Le forti piogge, spesso associate a tempeste convettive o cicloni tropicali, possono travolgere i sistemi di drenaggio e causare la rottura degli argini dei fiumi. Inoltre, lo scioglimento della neve in primavera o improvvisi blocchi di ghiaccio nei fiumi possono portare a un deflusso eccessivo e conseguenti alluvioni. Anche le attività umane contribuiscono alle alluvioni, come la deforestazione, l'urbanizzazione e le pratiche improprie di utilizzo del territorio che alterano i modelli di drenaggio naturale (Middelmann-Fernandes, 2009). La classificazione dettagliata delle alluvioni è riportata nella tabella 1.1.

La frequenza e la gravità delle alluvioni possono variare a seconda della posizione geografica, dei modelli climatici e delle infrastrutture locali. Alcune regioni sono più soggette alle alluvioni rispetto ad altre a causa di fattori quali la vicinanza a fiumi o aree costiere, la topografia o i sistemi di drenaggio inadeguati. È importante notare che, sebbene le alluvioni siano relativamente comuni e si verifichino in diverse parti del mondo, la frequenza specifica

delle alluvioni in una determinata area può variare in modo significativo. Inoltre, gli effetti dei cambiamenti climatici, come l'innalzamento del livello del mare e l'aumento delle precipitazioni in alcune regioni, possono potenzialmente influenzare il verificarsi e l'intensità delle alluvioni future. Le cause generali delle alluvioni possono essere classificate come flussi:

- quantità di acqua superiore alla portata del fiume
- deterioramento dei canali di drenaggio
- congestione del drenaggio
- deforestazione
- innalzamento del livello del mare a causa del vento
- onde di marea/effetto marea
- cambiamento climatico globale
- impatto del terrapieno costruito altrove.

Tabella 1.1. Classificazione delle inondazioni.

Classificazione delle inondazioni	
1. Inondazioni per tipo	
<p>A. Inondazioni causata da un fiume (esondazione)</p> <p>1. Inondazioni lampo</p> <p>a) Hanno origine solitamente entro 6 ore dall'inizio di piogge insistenti (alluvioni) oppure sono legate alla rottura di una diga/argine o frane.</p> <p>b) Forti piogge in un intervallo di tempo ristretto</p> <p>c) Perdita di vite umane</p> <p>2. Inondazioni causata da acque sotterranee</p> <p>a) Avvengono gradualmente e possono persistere per settimane o mesi</p> <p>b) Elevate precipitazioni durante un periodo più lungo</p>	<p>B. Inondazioni costiere (oceano, mare, lago, ecc.)</p> <p>– Accumulo di acqua sulla terraferma causato da onde, maree, mareggiate o forti piogge</p>
2. Inondazione dovuta alle precipitazioni	
3. Inondazioni dovute allo scioglimento delle nevi e dei ghiacciai	

4. In base alla classificazione metereologica			
A) Alluvione estiva A causa dei nubifragi	B) Alluvione invernale Sempre a causa dei nubifragi e di piogge che durano più giorni su terreni privi di vegetazione e quindi non in grado di trattenere l'acqua	C) Alluvione primaverile A causa dello scioglimento delle nevi	
5. Alluvioni in base alla loro durata			
A) Alluvioni lampo Le alluvioni si verificano entro 6 ore dall'inizio di piogge insistenti. Possono anche essere il risultato della rottura di una diga/argine o frana.	B) Alluvioni a lungo termine Alluvioni che durano una settimana o più, fino a quando il terreno non riesce assorbire l'acqua stagnante		
6. In base al luogo di formazione delle inondazioni			
Inondazione causata da fiumi e torrenti	Alluvione in zona montana	Alluvione nelle zone urbane	Inondazione costiera
7. In base alle cause delle inondazioni			
A. Fattori naturali 1. Struttura del terreno e composizione fisica del suolo 2. La quantità di saturazione del terreno con la portata del flusso d'acqua		B. Fattori umani 1. Deviazioni artificiale dei fiumi 2. Alberi tagliati e mancanza di rimboschimento 3. Opere artificiali che indeboliscono gli argini e il riscaldamento globale	

A) Inondazione causata da un fiume

Le precipitazioni fungono da catalizzatore principale per il verificarsi delle inondazioni; tuttavia, giocano un ruolo numerosi altri fattori (Fig. 1.1). La misura in cui l'acqua piovana raggiunge i corsi d'acqua all'interno di un bacino dipende dalle caratteristiche del bacino, in particolare dalla sua dimensione, forma e utilizzo del territorio. Una parte delle precipitazioni viene assorbita dal suolo e dalla vegetazione, mentre il volume rimanente entra nei corsi d'acqua come deflusso. Varie caratteristiche del fiume, comprese le sue dimensioni, la configurazione, la copertura vegetale e la presenza di strutture all'interno e in prossimità del corso d'acqua, influenzano collettivamente il livello dell'acqua all'interno del corso d'acqua.

Le alluvioni si verificano quando il volume dell'acqua supera la capacità di drenaggio di bacini idrografici, canali di scolo, ruscelli e fiumi. Sebbene le precipitazioni avviino questo processo, entrano in gioco numerosi fattori. La quantità di acqua piovana trasformata in flusso

all'interno dei fiumi e dei corsi d'acqua dipende dalle caratteristiche del bacino. Una parte della pioggia viene catturata dal suolo e dalla vegetazione. In generale, le aree in cui si verificano piogge più intense e una maggiore estensione delle precipitazioni consentono ad una minor quantità d'acqua di penetrare nel terreno o di essere immagazzinata in superficie.

La presenza di vegetazione contribuisce ad aumentare la cattura dell'acqua piovana, riducendo l'acqua disponibile per il flusso superficiale. Anche i depositi naturali e artificiali, come le dighe agricole e i serbatoi dell'acqua piovana, riducono il deflusso. **Tipi di suolo, uso del suolo e condizioni meteorologiche preesistenti** influenzano l'infiltrazione delle precipitazioni nel suolo e di conseguenza la quantità di flusso generato.

Fattori come le superfici impermeabili (ad esempio tetti, strade) ostacolano l'assorbimento dell'acqua, riducendo le infiltrazioni e aumentando il deflusso superficiale. Una volta che l'acqua entra nei corsi d'acqua, vari fattori determinano la quantità e la velocità del flusso a valle. I bacini idrografici più grandi tendono a produrre una portata maggiore durante piogge prolungate e diffuse. Pendenze più ripide del bacino facilitano il deflusso più rapido. **La ruvidità del terreno**, compresa la vegetazione, le recinzioni e le strutture, influenzano la velocità del flusso dell'acqua, spesso determinando livelli di piena più bassi a valle. Caratteristiche naturali come paludi, stagni e laghi fungono da deposito temporaneo delle acque alluvionali, rilasciandole gradualmente. **Strutture artificiali**, come dighe e bacini di raccolta, immagazzinano anche acqua, riducendo i picchi di flusso a valle. Tuttavia, tutte queste strutture hanno una capacità limitata ed esiste una soglia per il volume del flusso idrografico che possono immagazzinare.



Figura 1.1. Diagramma concettuale di un'alluvione (www.chiefscientist.qld.gov.au).

La capacità di portata d'acqua di fiumi e torrenti all'interno di un bacino idrografico è influenzata da vari fattori:

- ✓ **Dimensioni e caratteristiche del fiume:** Le dimensioni, la rettilinearità e la pulizia dell'alveo di un fiume o di un torrente influiscono direttamente sulla sua capacità di trasportare acqua, riducendo la probabilità di alluvioni. Qualsiasi fattore che riduca questa capacità, come la presenza di strutture nel canale, lo sviluppo o l'accumulo di sedimenti, contribuisce ad aumentare i rischi di alluvioni.
- ✓ **Vegetazione dentro e intorno ai corsi d'acqua:** La presenza di piante all'interno di un fiume o lungo le sue sponde rallenta il flusso dell'acqua. Un movimento più lento dell'acqua si traduce in livelli dell'acqua più elevati e in una maggiore inondazione delle pianure alluvionali. Ciò, a sua volta, può mitigare i livelli e i flussi di piena a valle. La vegetazione serve anche a rinforzare le sponde dei fiumi, prevenendo l'erosione e facilitando la deposizione di sedimenti.
- ✓ **Caratteristiche della pianura alluvionale adiacente:** Quando un fiume supera gli argini, il livello massimo di piena raggiunto dipende in gran parte dalla natura della pianura

alluvionale circostante. Le pianure alluvionali ampie e pianeggianti hanno una maggiore capacità di immagazzinare e rallentare l'afflusso d'acqua delle alluvioni. Qualsiasi modifica apportata alle pianure alluvionali, come l'eliminazione della vegetazione o la costruzione di argini, può alterare i modelli e i processi di drenaggio naturali di fiumi e torrenti. La Fig. 1.2 illustra gli elementi base di un'area a rischio di alluvioni.

- ✓ **Impatto delle strutture artificiali:** Le strutture installate in ruscelli o corsi d'acqua, come i canali sotterranei nei sistemi di drenaggio urbano o i ponti sui fiumi, riducono la capacità di trasporto dell'acqua dei corpi idrici e possono contribuire alle alluvioni. Inoltre, l'accumulo di detriti su queste strutture può aggravare il problema.
- ✓ **Influenza degli argini e dei versanti:** Gli argini costruiti lungo i corsi d'acqua sono progettati per proteggere le aree circostanti dalle alluvioni fino a un livello specifico. Essi, tuttavia, limitano i flussi di piena, portando potenzialmente a livelli di piena a monte più elevati. I terrapieni stradali e ferroviari con inadeguata capacità di drenaggio trasversale, come canali di scarico sotterranei insufficienti, possono bloccare il deflusso d'acqua della pianura alluvionale, producendo effetti simili. Una volta che gli argini o i versanti vengono superati o violati, il modello di diffusione delle acque alluvionali, attraverso la pianura alluvionale, può essere notevolmente modificato provocando spesso gravi alluvioni.
- ✓ **Livelli dell'acqua a valle:** La capacità dei corsi d'acqua può essere influenzata anche dal livello dell'acqua del mare o del lago in cui sfociano. Ad esempio, durante una grande marea o un'ondata di tempesta, il rilascio dell'acqua da un fiume nel mare può essere ostacolato. Allo stesso modo, alla confluenza dei affluenti con i fiumi, gli effetti di ristagno causati dalle piene dei fiumi possono causare alluvioni in terreni che si trovano a monte del torrente, anche per una distanza considerevole.

Nel complesso, questi fattori influiscono collettivamente sulla capacità di portata dei corsi d'acqua, influenzando il verificarsi e la gravità delle alluvioni all'interno di un bacino idrografico.

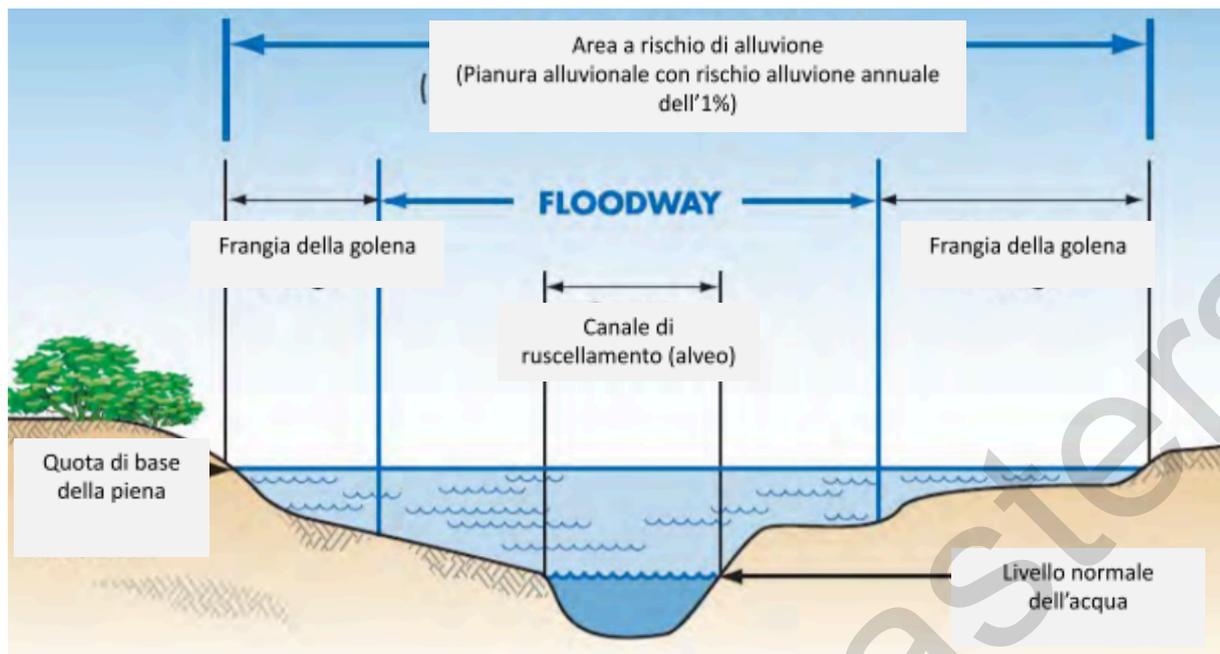


Figura 1.2. Componenti di base e terminologia delle aree a rischio di alluvioni
 (<https://www.upperdarby.org/FloodplainManagement-1>).

B) Alluvione costiera

Le alluvioni costiere si verificano in aree tipicamente secche e situate a quote inferiori rispetto al livello del mare. Questo fenomeno nasce a causa dell'innalzamento del livello del mare, che provoca lo straripamento dell'acqua sulla terraferma. Le alluvioni costiere possono avvenire nei seguenti modi:

- ✓ **Allagamento diretto:** Ciò avviene quando la terra si trova ad un'altitudine inferiore rispetto al livello del mare, priva di ostacoli naturali come le dune che impediscono alle onde di avanzare sulla terra.
- ✓ **L'acqua supera una barriera:** Ciò avviene durante i temporali o le alte maree quando il livello dell'acqua supera l'altezza di una barriera. Di conseguenza, l'acqua tracima oltre la barriera, provocando l'allagamento sul lato opposto. Le barriere possono essere naturali, come le dune, o artificiali come gli scogli.
- ✓ **L'acqua distrugge una barriera:** Ciò avviene quando l'acqua, tipicamente sotto forma di onde potenti, sfonda con forza una barriera di origine naturale o artificiale. Questa

violazione può causare il deterioramento della barriera o distruggerla. La barriera può essere di origine naturale o artificiale.

Numerosi sono i fattori che possono contribuire alle alluvioni che si verificano lungo o in prossimità di una zona costiera. Le cause principali comprendono:

Altitudine del terreno più bassa rispetto al livello del mare: Le alluvioni costiere rappresentano una minaccia significativa per le zone basse lungo la costa, poiché l'ingresso dell'acqua di mare può facilmente estendersi verso l'entroterra. I mega-delta asiatici (regioni Gange, Brah Maputra, Zhū Jiāng) sono un ottimo esempio di regioni esposte alle alluvioni costiere.

Erosione e subsidenza: L'erosione si riferisce al processo mediante il quale materiali, come la terra o la sabbia, vengono gradualmente consumati e trasportati in altri luoghi attraverso forze naturali come le onde o il vento. Questo spostamento dei materiali dalla loro posizione originale può portare all'indebolimento o alla completa rimozione dell'area interessata. Un notevole esempio di erosione può essere osservato a Holderness, situato nello Yorkshire, in Inghilterra. L'implacabile colpo di onde, tempeste e maree erode continuamente la costa di Holderness dove ogni anno circa 2 metri di terreno vengono erosi, diminuendo costantemente le dimensioni del tratto costiero. Questa erosione comporta la perdita di proprietà, terreni agricoli, danni alle infrastrutture e rappresenta una minaccia sia per il turismo che per la protezione delle coste.

La subsidenza è un fenomeno che provoca un abbassamento del terreno. Ciò può essere una conseguenza di fattori naturali come terremoti o erosione, nonché di attività umane come l'estrazione di risorse minerarie o l'estrazione di gas naturale. Le zone costiere sono naturalmente suscettibili alla subsidenza ma, a causa della sedimentazione e della compattazione dei sedimenti depositati, questo cedimento viene bilanciato. Tuttavia, le attività umane possono indurre la subsidenza locale attraverso pratiche come il drenaggio dei sedimenti/terreni impregnati d'acqua in agricoltura, come osservato nelle Fens dell'Inghilterra orientale. Il peso delle città costiere, insieme all'ambiente edificato, può anche comprimere i sedimenti sottostanti, provocando cedimenti, come nel caso di Venezia. Anche i progetti di bonifica dei terreni, come i polder olandesi dell'IJsselmeer, sono soggetti a cedimenti a causa dell'estrazione di acqua attraverso l'evapotraspirazione delle colture.

I segni della subsidenza del terreno sottostante agli edifici includono:

- Crepe diagonali nei muri.
- Superfici del pavimento irregolari quando il pavimento affonda o si sposta.
- Difficoltà nell'aprire o chiudere porte e finestre, o disallineamento di queste strutture.
- Crepe che si sviluppano alla giunzione degli ampliamenti con l'edificio principale, indicando una potenziale separazione tra le due strutture.

Rimozione della vegetazione: La vegetazione costiera, che comprende alberi e altre piante, svolge un ruolo cruciale nella regolazione del movimento del flusso delle precipitazioni. Essa agisce come una barriera, intercettando la pioggia e rallentandone il flusso. Una parte dell'acqua intercettata viene immagazzinata nella vegetazione, mentre il resto evapora nuovamente nell'atmosfera. Inoltre, la vegetazione facilita l'assorbimento dell'acqua da parte del terreno, consentendo una maggiore infiltrazione e riducendo il dilavamento superficiale.

Quando la vegetazione costiera viene rimossa, la capacità di infiltrazione e di intercettazione diminuisce, con conseguente aumento del deflusso superficiale. Questo maggiore deflusso comporta un rischio maggiore di alluvioni, poiché più acqua raggiunge il canale del fiume, così da superare la sua potenziale capacità di portata. Inoltre, la vegetazione costiera serve a stabilizzare i sedimenti esistenti e a catturarne di nuovi, elevando di fatto l'altezza del terreno sopra il livello del mare; assorbe l'energia delle onde in arrivo, mitigandone l'impatto e l'erosione, in modo da diminuire la distanza che le onde possono percorrere a terra prima che la loro potenza si dissipi. Ad esempio, si stima che una barriera di 100 metri di foresta di mangrovie riduca l'altezza delle onde del 40%. Allo stesso modo, una barriera di foresta di mangrovie lunga 1 chilometro può ridurre significativamente l'entità di un'ondata di tempesta di 0,5 metri.

Ondate di tempesta: Le onde di tempesta o mareggiate rappresentano una'altra causa significativa di alluvioni costiere. Le mareggiate sono innalzamenti temporanei del livello del mare derivanti da eventi come tsunami e cicloni. Un'ondata di tempesta viene misurata dal livello dell'acqua che supera il normale livello della marea, ignorando la presenza di onde. Numerosi fattori meteorologici contribuiscono alla formazione e all'intensità di un'ondata di tempesta:

- I venti ad alta velocità spingono l'acqua verso la costa per una distanza considerevole, nota come *fetch*.

- La superficialità e l'allineamento del corpo idrico (fiumi, torrenti) giocano un ruolo nell'amplificare gli effetti di un'ondata di tempesta.
- La tempistica delle maree può influenzare l'impatto di un'ondata di tempesta, con le alte maree che aggravano le alluvioni.
- Una diminuzione della pressione atmosferica può aumentare ulteriormente il livello dell'acqua, intensificando l'ondata di tempesta.

Gli effetti dei cambiamenti climatici sulle alluvioni costiere

È noto che il riscaldamento globale sta causando un aumento del livello del mare, ma è importante comprendere le implicazioni di questo aumento in relazione alle alluvioni e all'erosione delle coste. Va notato che le depressioni e i cicloni possono verificarsi indipendentemente dal riscaldamento globale e dall'aumento del livello del mare. Tuttavia, esistono prove sostanziali che suggeriscono che il riscaldamento globale amplificherà i rischi affrontati dalle regioni costiere. Secondo una sintesi del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) del 2014, sono stati evidenziati i seguenti impatti dovuto al cambiamento climatico¹:

- **Livelli del mare:** L'intervallo di fiducia più probabile stabilisce che il livello del mare aumenterà tra i 28 e i 98 centimetri entro il 2100, con la stima puntuale di un aumento di 55 centimetri (Fig. 1.3).
- **Alluvioni dei delta fluviali:** L'intervallo di fiducia più probabile stabilisce che i delta fluviali più importanti del mondo, che sono già a rischio di inondazioni costiere, probabilmente dovranno affrontare un aumento del 50% di questo rischio.
- **Vento e onde:** Esistono prove con un livello di fiducia moderato che indicano un aumento della velocità del vento e una maggiore presenza di grandi onde.
- **Erosione delle coste:** C'è un moderato livello di fiducia che l'erosione costiera si intensificherà a causa degli effetti combinati dei cambiamenti nei modelli meteorologici e dell'innalzamento del livello del mare.
- **Cicloni tropicali:** C'è un basso livello di fiducia riguardo ad eventuali cambiamenti notevoli nella frequenza dei cicloni tropicali. Tuttavia, è probabile che si verifichino temporali più forti.

¹ Per i dati aggiornati consultare il sito del IPCC e il Climate Change 2023: AR6 Rapporto di sintesi: <https://ipccitalia.cmcc.it/climate-change-2023-ar6-rapporto-di-sintesi/>

- **Ondate di tempesta:** C'è un basso livello di fiducia che indica che le mareggiate associate alle zone di bassa pressione atmosferica stanno diventando più comuni.

In sintesi, anche se gli impatti precisi possono variare, ci sono indicatori che il riscaldamento globale e l'innalzamento del livello del mare aumenteranno i rischi affrontati dalle aree costiere, tra cui maggiori rischi di alluvioni, erosione, onde di tempesta e venti più forti.

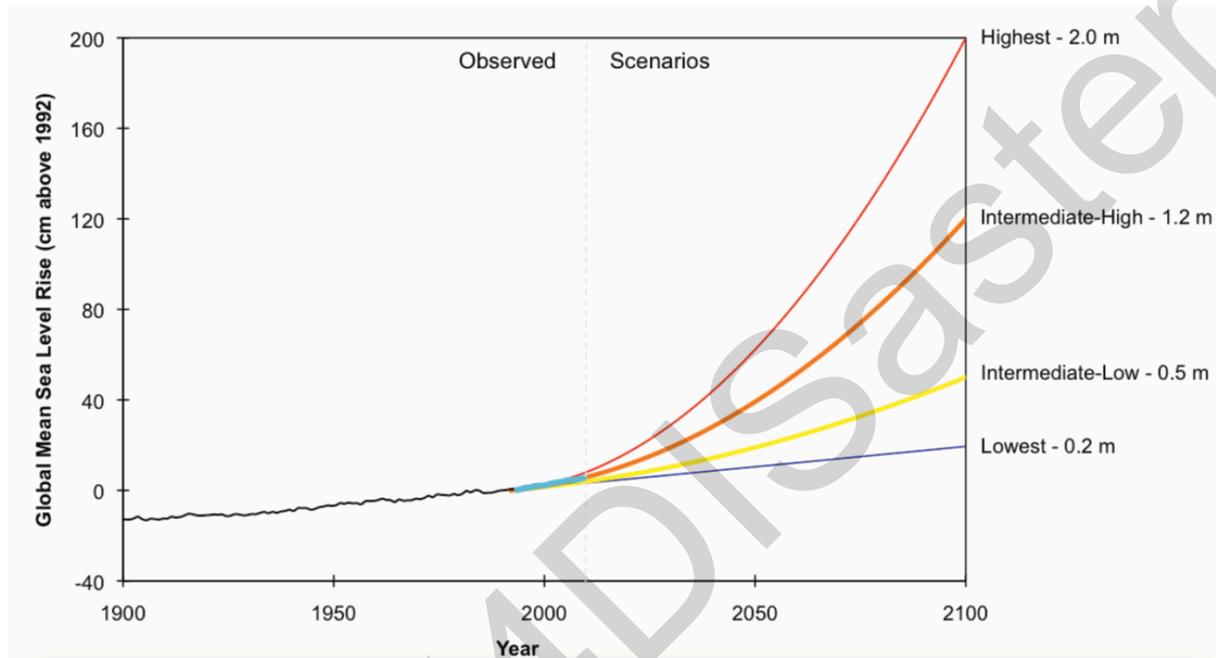


Figura 1.3. Scenari di innalzamento medio globale del livello del mare (Parris et al., 2012). Nel 2100, si prevede che il livello medio globale del mare aumenterà di 0,2-2,0 m (0,7-6,6 ft), rispetto al livello medio del mare nel 1992.

C) Inondazione lampo

Quando un'area riceve una quantità di pioggia maggiore di quella che il terreno può assorbire, o quando la precipitazione cade su superfici come cemento e asfalto che impediscono l'assorbimento, l'acqua in eccesso ha uno spazio limitato per defluire. Se il terreno è già saturo a causa delle recenti piogge, diventa incapace di assorbire ulteriore acqua. Anche durante un periodo di siccità, il terreno potrebbe essere troppo secco e compattato per assorbire efficacemente le precipitazioni. Alluvioni così improvvise si osservano frequentemente nelle zone desertiche a seguito di forti piogge, così come in aree in cui il suolo poco profondo poggia sopra un solido substrato roccioso che limita la capacità del suolo di assorbire l'acqua piovana.

L'acqua cerca il punto più basso lungo il suo percorso potenziale a causa del flusso naturale verso valle. Nelle aree urbane ciò si verifica spesso sotto forma di allagamenti di strade, parcheggi e scantinati situati in zone basse. Nelle regioni rurali con terreni ripidi, le inondazioni lampo possono trasformare ruscelli e fiumi in torrenti impetuosi. Nonostante gli sforzi dei meteorologi e della protezione civile per emettere avvisi e preparare le comunità, le inondazioni di questo tipo colgono le persone alla sprovvista. Questi eventi hanno il potenziale di spazzare via i veicoli e persino di spostare gli edifici dalle fondamenta.

Se un argine o una diga vengono superati o subiscono danni o compromissioni, possono anche provocare alluvioni catastrofiche. Tali situazioni comportano un rilascio improvviso e sostanziale di acqua, che spesso avviene con un preavviso minimo. La rapida ondata d'acqua può sommergere intere città, rappresentando una grave minaccia per la vita dei residenti.

Un esempio significativo è stato il devastante uragano Katrina nel 2005. La tempesta ha causato numerose breccie nel sistema di argini attraverso New Orleans, provocando un'alluvione senza precedenti. Di conseguenza, le persone cercavano rifugio sui tetti mentre il livello delle acque aumentava, provocando la tragica perdita di centinaia di vite.

Alcuni casi di studio reali di diversi tipi di alluvioni sono mostrati nella Fig. 1.4.



Figura 1.4. Esempi di casi reali di inondazioni a) ed f) inondazioni lampo, b) ed e) inondazioni costiere, c) ed d) inondazioni causate da fiumi.

1.1.2. Impatto delle alluvioni

Le alluvioni hanno effetti ad ampio raggio sugli individui e sulle comunità, con conseguenti impatti sociali, economici e ambientali (Langill e Abizaid, 2019). L'impatto delle alluvioni, sia positivo che negativo (Tabella 1.2), può differire in modo significativo in base a fattori quali la posizione, la durata, la profondità e la velocità dell'alluvione, nonché la vulnerabilità e l'importanza degli ambienti naturali ed antropici colpiti. I fattori chiave che rendono le persone vulnerabili alle alluvioni sono:

- Povertà e disparità nella distribuzione della ricchezza.
- Crescita urbana rapida e non pianificata.
- Cambiamenti climatici e fluttuazioni dei modelli meteorologici.
- Gestione inadeguata delle risorse naturali.
- Considerazione insufficiente dei rischi di catastrofe.
- Accesso limitato alla tecnologia.
- Assenza di normative ambientali.
- Utilizzo non sostenibile delle risorse naturali.
- Focolai di pandemie ed epidemie.
- Elementi socio-economici come etnia, religione, genere, età e stato di salute.

Tabella 1.2. Impatti positivi e negativi delle alluvioni.

Impatto delle alluvioni	
Effetti positivi	Effetti negativi
Molte aree rurali in tutto il mondo dipendono dalle alluvioni annuali per il sostentamento delle loro comunità. Es: comprende gli insediamenti fluviali situati nella foresta amazzonica e le comunità in Perù e Colombia. A causa delle alluvioni, le acque svolgono un ruolo cruciale nel consentire il trasporto, facilitare la migrazione dei pesci e arricchire la fertilità del suolo. Gli effetti positivi sono: 1. Rendere fertile la terra,	Le alluvioni rappresentano uno dei disastri naturali più costosi e pericolosi perché infliggono conseguenze negative a individui, comunità, proprietà e ambiente, causando notevoli disagi e danni. Gli effetti negativi sono: 1. Danni alle infrastrutture edilizie

2. Aggiungere nutrienti al mare	2. Perdite economiche
3. Rimozione dei detriti accumulati	3. Perdita di vite umane e disgregazione sociale
4. Fornitura di sedimenti ai delta	4. Erosione
5. Ricaricare i livelli delle acque sotterranee	5. Diffusione di malattie e contaminazioni
6. Bilanciare la salute delle zone umide	6. Fioriture algali

1.1.2.1. Impatti ambientali delle alluvioni

✓ **Sedimentazione ed erosione:** Le acque alluvionali possono modificare il paesaggio fisico attraverso vari mezzi, come l'erosione e il collasso delle sponde dei fiumi. Durante le alluvioni vengono trasportati materiali erosi e sostanze reflue che contaminano l'acqua e possono provocare un potenziale rischio di proliferazioni algali dannose. Nel corso del tempo, questo sedimento sospeso si deposita fuori dall'acqua, un processo noto come sedimentazione. Purtroppo, la sedimentazione può portare all'ostruzione degli alvei dei fiumi e dei torrenti, soffocando gli organismi acquatici e provocando la distruzione degli habitat. Gli ecosistemi già degradati o ampiamente alterati subiscono un maggiore impatto negativo dovuto all'erosione e alla sedimentazione.

✓ **Trasporto di sostanze contaminanti:** Le acque alluvionali possono essere inquinate da varie sostanze come pesticidi agricoli, prodotti chimici industriali, detriti e liquami. Lo scarico di acque contaminate nei mari e nell'oceano può avere effetti dannosi sulla qualità dell'acqua e distruggere ecosistemi sensibili, come le barriere coralline. Un esempio notevole si è verificato nel febbraio 2019, quando i biologi marini hanno espresso preoccupazione per il benessere della Grande Barriera Corallina, situata al largo della costa del Queensland, in Australia. La barriera corallina ha subito potenziali danni a causa dell'inondazione di acque inquinate.

Durante un'alluvione, insieme a diversi fattori di rischio, i problemi legati all'approvvigionamento idrico, ai servizi igienico-sanitari e alla salute diventano più seri. Le alluvioni possono danneggiare i sistemi idrici e igienico-sanitari, facilitando la diffusione di malattie trasmesse dall'acqua e causando notevoli problemi sanitari. Garantire l'accesso all'acqua pulita e a strutture igienico-sanitarie adeguate è essenziale per prevenire lo scoppio di malattie. Le squadre di risposta alle emergenze dovrebbero

dare priorità alla purificazione, alla distribuzione dell'acqua e alla costruzione di strutture igienico-sanitarie temporanee per salvaguardare la salute pubblica.

L'acqua è sia un bene essenziale per la vita sia un elemento cruciale per il mantenimento di adeguate pratiche igienico-sanitarie e di igiene personale. Anche quando vi sono sufficienti strutture idriche e igienico-sanitarie, la loro gestione efficace diventa fondamentale, soprattutto in caso di alluvione. Per maggiori informazioni sulle buone pratiche di protezione civile in Italia si rimanda alla campagna di comunicazione IONONRISCHIO, nata per sensibilizzare la popolazione sulla prevenzione dei rischi legati ai disastri naturali (<https://www.iononrischio.gov.it/it/>).

✓ **Diffusione di malattie:** La diffusione delle malattie è una conseguenza significativa delle alluvioni, che rappresentano la causa principale di epidemie di malattie infettive. Gli eventi di inondazione aumentano il rischio di malattie trasmesse dall'acqua, tra cui l'epatite A e il colera. Quando le acque alluvionali si ritirano, si formano pozze stagnanti, creando terreni ideali per la riproduzione delle zanzare che possono trasmettere la malaria e varie altre malattie. Inoltre, gli eventi alluvionali contribuiscono all'aumento di alcune malattie zoonotiche, come la leptospirosi.

✓ **Effetti dannosi sulla fauna selvatica:** L'impatto delle alluvioni sulla fauna selvatica è prevalentemente negativo e porta all'annegamento, all'aumento della trasmissione di malattie e alla distruzione degli habitat. Un incidente degno di nota si è verificato nel 2012, quando estese alluvioni hanno travolto il Parco Nazionale di Kaziranga, nello stato indiano dell'Assam, provocando la morte di numerosi animali, tra cui i vulnerabili rinoceronti con un corno (*Rhinoceros unicornis*). Anche la vita acquatica non viene risparmiata dagli effetti dannosi delle alluvioni imprevedibili, poiché i pesci possono essere spostati e i loro nidi distrutti, interrompendo i loro naturali processi riproduttivi.

1.1.2.2. Impatti sociali delle alluvioni

Gli impatti sociali si riferiscono agli effetti di un evento sul benessere delle persone.

✓ **La perdita di vite umane e di proprietà** è una conseguenza diretta delle alluvioni. Gli impatti immediati comprendono la tragica perdita di vite umane, danni alle proprietà, distruzione dei raccolti, perdita di bestiame, mancato funzionamento delle infrastrutture essenziali e un peggioramento delle condizioni sanitarie generali a causa delle malattie

trasmesse dall'acqua. È noto che le alluvioni improvvise, caratterizzate dal loro inizio improvviso e dal tempo di preavviso minimo, tendono a provocare un numero maggiore di vittime rispetto alle alluvioni fluviali a lenta crescita.

- ✓ **Le conseguenze psicosociali** vissute dalle vittime delle alluvioni e dalle loro famiglie possono avere effetti duraturi e profondi. La perdita delle persone care, soprattutto dei bambini, può creare profonde ferite emotive. Lo spostamento dalla propria casa, la perdita di proprietà e mezzi di sussistenza e l'interruzione delle attività economiche e sociali possono portare a uno stress continuo. Superare queste perdite può rappresentare un peso enorme, con conseguenti impatti psicologici di lunga durata.
- ✓ **La migrazione di massa** può essere innescata da ripetute alluvioni, che portano alla perdita di mezzi di sussistenza, alla riduzione della produzione e a prolungate sofferenze economiche. Queste circostanze spesso costringono le persone a lasciare le proprie case e cercare rifugio altrove. In molti casi, la migrazione avviene verso le aree urbane sviluppate, contribuendo al sovraffollamento delle città. Di conseguenza, questi migranti si aggiungono alla popolazione dei poveri urbani e spesso finiscono per risiedere in aree vulnerabili all'interno delle città che sono soggette ad alluvioni o altri rischi. La migrazione della forza lavoro può anche dare origine a complesse questioni e sfide sociali.
- ✓ **Implicazioni politiche:** La mancata risposta efficace alle operazioni di soccorso durante eventi alluvionali significativi può provocare l'insoddisfazione del pubblico o una perdita di fiducia nelle autorità, nonché a livello di governo statale e locale. L'assenza di uno sviluppo adeguato nelle regioni esposte alle alluvioni può contribuire alla disuguaglianza sociale e, in casi estremi, persino innescare disordini sociali, ponendo una minaccia alla pace e alla stabilità all'interno di una regione.

1.1.2.3. Impatti economici delle alluvioni

- ✓ **La perdita di mezzi di sussistenza** è una conseguenza significativa delle alluvioni. Le reti e le infrastrutture di comunicazione vitali, comprese centrali elettriche, strade e ponti, subiscono danni e interruzioni, le attività economiche si fermano. Questa interruzione si estende oltre la durata dell'alluvione, causando dislocazioni e il collasso della vita quotidiana. Inoltre, l'impatto diretto sugli asset produttivi, sia nell'agricoltura che

nell'industria, può impedire le operazioni regolari e comportare la perdita di mezzi di sussistenza. Gli effetti a catena di queste perdite di mezzi di sussistenza possono estendersi alle attività commerciali e aziendali, anche nelle aree limitrofe che non sono state direttamente colpite dall'alluvione.

- ✓ **La ridotta capacità di acquistare e produrre beni e servizi** è un'altra conseguenza dei danni alle infrastrutture. Questi danni non hanno solo effetti immediati ma si traducono anche in impatti a lungo termine come interruzioni dei servizi essenziali come acqua pulita, elettricità, trasporti, comunicazione, istruzione e assistenza sanitaria. La perdita di mezzi di sussistenza, la riduzione del potere d'acquisto e la diminuzione del valore dei terreni nelle aree soggette ad alluvioni aggravano ulteriormente la vulnerabilità delle comunità che risiedono in quelle regioni. Inoltre, le spese aggiuntive associate al ritorno alla normalità possono dirottare i capitali altrove.
- ✓ **La crescita economica e sviluppo possono essere ostacolati dalle alluvioni.** Le spese ingenti associate agli sforzi di soccorso e di recupero possono influenzare negativamente gli investimenti in infrastrutture cruciali e altre iniziative di sviluppo all'interno dell'area colpita. In alcuni casi, la fragile economia della regione potrebbe essere gravemente paralizzata. La natura ricorrente delle alluvioni in una particolare regione può scoraggiare gli investimenti a lungo termine sia da parte del governo che del settore privato. La combinazione di mezzi di sussistenza perduti, migrazione di manodopera qualificata e inflazione può avere un ulteriore impatto negativo sulla crescita economica della regione. Inoltre, la perdita di risorse può comportare un aumento dei costi di beni e servizi, ritardando così l'attuazione dei programmi di sviluppo.

Tabella 1.3. Le catastrofiche alluvioni storiche in tutto il mondo.

Nome e data dell'evento	Causa e luogo	Impatto
Diluvio di San Marcello 13.01.1362	Intenso ciclone extratropicale Isole britanniche, Paesi Bassi, Germania settentrionale e Danimarca	25.000 vittime
L'alluvione di Johnstown o la grande alluvione del 1889 31.05.1889	Rottura della diga in e fuoriuscita di 14,55 milioni di m ³ d'acqua a seguito di intense precipitazioni	Danni per un valore di 17 milioni di dollari 2.209 vittime

	Johnstown, Pennsylvania, Stati Uniti	
L'Alluvione del Fiume Qing	Cina	930.000 vittime
Giallo in Cina		
28.09. 1887		
L'alluvione della Cina (Fiume Yangtze-Huai)	Wuhan, Nanchino e altre grandi città cinesi	Circa 140.000 vittime per annegamento per un totale di 2 milioni di vittime durante l'alluvione, sia per annegamento che per mancanza di cibo. L'anno successivo, una pandemia di colera causò 31.974 morti per un totale di 100.666 casi.
Giugno-agosto 1931		
Il disastro della diga di Banqiao	Rottura della diga di Henan, Cina	26.000-240.000 vittime; 5-6,8 milioni di case crollate; 0,15 milioni di persone colpite e 30 città e contee nel raggio di 12.000 km ² allagate.
Agosto 1975		
Inondazione causata dal Mare del Nord	L'onda di tempesta ha causato, in alcune zone, l'innalzamento del livello del mare di oltre 5,6 m al di sopra del valore medio.	50 milioni di sterline nel 1953 di danni. Oltre 30.000 persone sono state evacuate, 24.000 proprietà sono state danneggiate e più di 990 miglia di costa e 160.000 acri sono stati colpiti.
1953	Paesi Bassi, Belgio nordoccidentale, Inghilterra e Scozia	

Che siano causate da piogge intense, mareggiate o dal cedimento delle dighe, le alluvioni hanno spesso provocato la perdita di migliaia di vite umane e la devastazione di intere città. In alcuni casi, queste alluvioni hanno addirittura apportato alterazioni permanenti al paesaggio geografico del pianeta. La tabella 1.3 mostra informazioni dettagliate (data, luogo, causa e conseguenze) delle più grandi alluvioni storiche selezionate a livello mondiale.

1.2. Origine e impatto delle frane

1.2.1. Origine delle frane

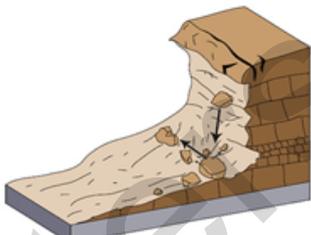
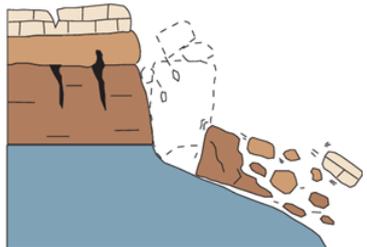
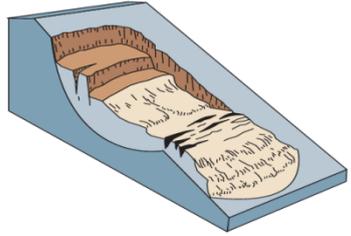
Le frane, chiamate anche movimento di massa o cedimento di un pendio, sono eventi naturali in cui una massa di terreno o roccia su un pendio si sposta verso il basso come unità o frammento coesivo a causa di vari fattori come precipitazioni, terremoti o altri fattori

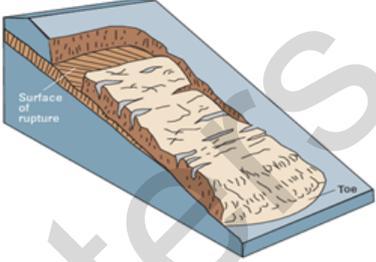
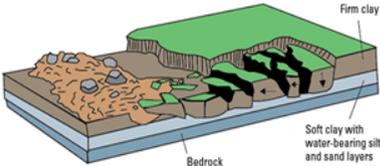
scatenanti. Sono uno dei disastri naturali più letali e distruttivi. Mentre la gravità rimane la forza principale che determina le frane, la stabilità di un pendio è soggetta all'influenza di molteplici fattori. Questi fattori includono il tipo e la resistenza dei materiali coinvolti, la struttura litologica, l'idrogeologia, l'angolo di pendenza, l'attività sismica e le condizioni meteorologiche e ambientali compresi i processi marini. Comprendere queste condizioni gioca un ruolo fondamentale nell'anticipare localizzazioni, tipi ed entità di potenziali frane.

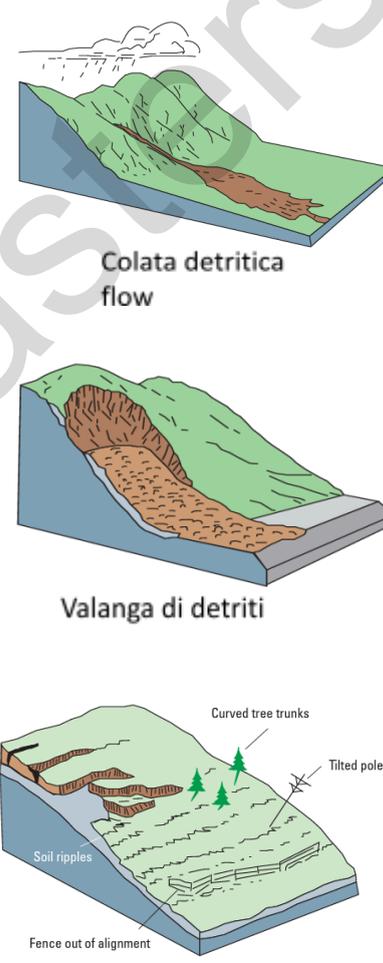
Secondo un rapporto dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), tra il 1998 e il 2017 le frane hanno colpito circa 4,8 milioni di persone, provocando oltre 18.000 morti. Si prevede che gli effetti prevedibili del cambiamento climatico e dell'aumento delle temperature provocheranno più frane, in particolare nelle regioni montuose con neve e ghiaccio. Con lo scioglimento del permafrost, i pendii rocciosi diventano sempre più instabili, aumentando così il rischio di frane. Le frane possono verificarsi in concomitanza con forti piogge, siccità, terremoti o eruzioni vulcaniche. Alcune aree sono particolarmente suscettibili alle frane, come terreni ripidi, compreso il fondo dei canyon, terreni che sono stati precedentemente devastati da incendi e/o alterati da attività umane come la deforestazione o la costruzione, canali lungo ruscelli o fiumi, aree in cui il deflusso superficiale è diretto o dove il terreno è fortemente saturo d'acqua. Le frane possono essere classificate in varie tipologie in base allo schema di movimento e ai materiali coinvolti. La classificazione dettagliata delle frane è riportata nella Tabella 1.4, insieme alla loro manifestazione, ai meccanismi di innesco e alla visione schematica di ciascuna tipologia di frana.

Tabella 1.4. Classificazione delle frane (Hungry et al., 2014; Turner, 2018).

Tipi di frana	Manifestazione dell'evento e relativa dimensione/intervento	Meccanismo di attivazione	Rappresentazione
----------------------	--	----------------------------------	-------------------------

<p style="text-align: center;">Crollo</p>	<p>Fenomeno prevalente nei pendii ripidi o verticali, ma anche nelle regioni costiere e sulle sponde rocciose dei fiumi. La dimensione del materiale coinvolto in una frana può variare notevolmente, da piccole rocce o grumi di terreno a grandi blocchi che misurano migliaia di metri cubi.</p>	<p>Indebolimento del pendio da parte di fenomeni naturali come ruscelli, fiumi e agenti atmosferici differenziali (come il ciclo gelo/disgelo), nonché da attività umane come gli scavi per la costruzione o la manutenzione di strade. Inoltre, anche i terremoti e le forti vibrazioni possono contribuire alla destabilizzazione dei pendii.</p>	
<p style="text-align: center;">Ribaltamento</p>	<p>Fenomeno che si osserva in tutto il mondo e più frequentemente nelle regioni vulcaniche caratterizzate da giunzioni colonnari. Si trovano comunemente anche lungo le sponde ripide di torrenti e fiumi.</p>	<p>Può essere innescato da vari fattori, tra cui la forza gravitazionale esercitata dal materiale situato a monte della massa spostata. Possono anche essere influenzati dalla presenza di acqua o ghiaccio all'interno delle fessure della massa. Anche altri fattori come vibrazioni, sottosquadri, alterazioni atmosferiche differenziali, scavi o erosione del torrente possono contribuire al verificarsi di ribaltamenti.</p>	
<p style="text-align: center;">Rotazionale</p>	<p>il tipo più comune di frana nei materiali di "riempimento" a causa della loro presenza in materiali omogenei. Questi sono tipicamente collegati a pendenze che vanno da circa 20 a 40 gradi.</p>	<p>Le piogge intense, il rapido scioglimento della neve e altri fattori come i cambiamenti nei livelli dei fiumi e delle acque sotterranee possono saturare i pendii e contribuire alle frane. Questi eventi possono essere innescati anche da terremoti.</p>	

	<p>Traslazionale</p>	<p>Una delle tipologie di frane più diffuse a livello globale. Sono in genere meno profonde delle rotazionali. La superficie di rottura ha un rapporto distanza-lunghezza inferiore a 0,1 e può variare in dimensioni da piccoli cedimenti residenziali a grandi frane regionali che si estendono per chilometri.</p>	<p>Piogge intense, aumento del livello delle acque sotterranee dovuto a precipitazioni, scioglimento della neve, alluvioni, irrigazione o perdite d'acqua, nonché fattori legati all'uomo come il sottosquadro, possono innescare questo tipo di frana. Possono anche essere indotte da terremoti.</p>	
<p>Espansione</p>		<p>Fenomeno franoso osservato a livello globale e che si verifica tipicamente in regioni con suoli inclini alla liquefazione. Sebbene sia comunemente associato all'attività sismica, la sua presenza non è limitata a tali aree. Inizialmente, l'area interessata può essere piccola e con alcune crepe, ma queste crepe possono espandersi rapidamente, colpendo aree larghe centinaia di metri.</p>	<p>I fattori scatenanti per la destabilizzazione dello strato debole includono la liquefazione causata da scosse sismiche, sovraccarico del terreno sopra un pendio instabile dovuto a fattori naturali o umani, saturazione dello strato più debole sottostante a causa di precipitazioni, scioglimento della neve o cambiamenti delle falde acquifere, liquefazione dell'argilla marina sensibile a seguito dell'erosione alla base di una sponda o di un pendio e la deformazione plastica di materiale instabile in profondità (come il sale).</p>	

<p style="text-align: center;">Colate</p>	<p>Le colate detritiche sono diffuse e spesso si trovano in ripidi canali e canyon. Possono essere esacerbati quando si verificano su pendii o in canali privi di vegetazione a causa di incendi o disboscamento. Le regioni vulcaniche con suolo debole sono comunemente soggette a tali flussi. Variano in spessore e possono essere sottili e acquosi o densi di sedimenti e detriti, tipicamente rimanendo entro le dimensioni dei ripidi canali che guidano il loro movimento. Le colate sono generalmente poco profonde e hanno un percorso lungo e stretto, che talvolta si estende per chilometri su terreni ripidi.</p>	<p>Le colate di detriti spesso derivano da un intenso flusso di acque superficiali causato da forti precipitazioni o da un rapido scioglimento della neve. Questo flusso erode e mobilita il terreno sciolto o la roccia su pendii ripidi. Inoltre, le colate detritiche possono avere origine da altri tipi di frane su pendii ripidi saturi, che coinvolgono una quantità significativa di materiale delle dimensioni di limo e sabbia.</p>	 <p style="text-align: center;">Colata di terra</p>
--	--	---	--

Esempi di casi reali di frane sono riportati nella Fig. 1.5, per diversi tipi di frana, comprese le frane d'espansione, di crollo e di ribaltamento.

Il principale fattore scatenante delle frane è la saturazione dei pendii da parte dell'acqua. Questa saturazione può verificarsi a causa di diversi fattori come forti piogge, scioglimento della neve, fluttuazioni dei livelli delle acque sotterranee e cambiamenti nei livelli dell'acqua lungo le coste, le dighe in terra e le rive di laghi, bacini idrici, canali e fiumi. Le frane e le alluvioni sono correlate poiché sono influenzate dalle precipitazioni, dal deflusso e dalla saturazione del suolo da parte dell'acqua. Inoltre, le colate detritiche e di fango formano

tipicamente piccoli e ripidi canali fluviali, che spesso vengono scambiati per alluvioni. In realtà, questi due fenomeni si verificano spesso contemporaneamente nella stessa regione (Froude e Petley, 2018).

Le frane possono provocare alluvioni formando dighe franose che ostruiscono le valli e i canali dei corsi d'acqua, portando all'accumulo di notevoli quantità di acqua. Ciò, a sua volta, provoca alluvioni di ristagno e, se la diga crolla, si verificano successive alluvioni a valle. Inoltre, i detriti solidi derivanti dalle frane possono aumentare il volume e la densità del normale deflusso dei corsi d'acqua, causando blocchi e deviazioni che aumentano le probabilità di inondazione o all'erosione localizzata. Le frane possono anche portare al traboccamento dei bacini idrici e/o alla riduzione della capacità di stoccaggio, esacerbando i rischi di alluvioni.



Figura 1.5. Esempi di casi reali di eventi franosi di diverse tipologie a) espansione b) colata detritica c) di terra d) caduta massi e) ribaltamento.

Esiste una documentazione storica di attività sismica moderata in varie regioni montuose soggette a frane. Il verificarsi di terremoti in queste aree ripide aumenta significativamente la probabilità di frane, sia attraverso lo scuotimento diretto del terreno, sia attraverso la dilatazione del suolo indotta dallo scuotimento, che facilita la rapida infiltrazione dell'acqua. Inoltre, lo scuotimento del terreno può staccare le rocce, provocando diffuse cadute di massi.

Su scala globale, le frane causate dai terremoti hanno un alto tasso di mortalità e causano danni significativi alle strutture. Le frane innescate dall'attività vulcanica rappresentano alcuni degli eventi più catastrofici. In questi casi, l'interazione tra lava vulcanica e neve può portare al rapido scioglimento della neve, dando luogo a una miscela torrenziale di rocce, terra, cenere e acqua. Questa miscela distruttiva acquista uno slancio tremendo mentre precipita lungo i ripidi pendii dei vulcani, devastando tutto sul suo cammino. Conosciuti come colate di detriti vulcanici o lahar, questi flussi possono percorrere distanze significative oltre i pendii del vulcano e causare danni strutturali nelle aree pianeggianti che circondano la regione vulcanica. Le cause delle frane sono riassunte nella Tabella 1.5.

Tabella 1.5. Cause delle frane (Highland e Bobrowsky, 2008).

Cause	
Fattori geologici	<ul style="list-style-type: none"> - Presenza di materiali deboli o sensibili - Invecchiamento dei materiali - Formazione di materiali tranciati, giuntati o fessurati - Orientamento avverso delle discontinuità quali letti, scistosità, faglie, discordanze, contatti, ecc. - Contrasto di permeabilità e/o rigidità di diversi materiali
Fattori morfologici	<ul style="list-style-type: none"> - Sollevamento tettonico o vulcanico - Ripresa dell'attività glaciale - Erosione dei pendii per processi fluviali, ondosi o glaciali, sia alla base che sui fianchi - Erosione sotterranea, comprese tubazioni - Caricamento dei pendii o delle loro creste per sedimenti - Rimozione della vegetazione attraverso incendi o siccità - Processi di scioglimento - Agenti atmosferici causati dai cicli di gelo e disgelo - Agenti atmosferici causati da processi di ritiro e rigonfiamento
Attività umane	<ul style="list-style-type: none"> - Scavo di pendii o delle loro basi - Caricamento dei pendii o delle loro creste - Estrazione da serbatoi - Deforestazione

	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigazione - Operazioni minerarie - Vibrazioni artificiali - Perdite d'acqua dalle utenze
--	---

1.2.2. Impatto delle frane

1.2.2.1. Impatti ambientali delle frane

Le frane hanno impatti significativi sull'ambiente naturale, tra cui:

- Topografia terrestre: le frane influenzano la forma e la struttura della superficie terrestre.
- Sistemi idrici: influenzano fiumi, torrenti e il flusso delle acque sotterranee, alterandone il carattere e la qualità.
- Foreste: le frane possono avere effetti dannosi sulle foreste che coprono una parte significativa della superficie terrestre.
- Habitat della fauna selvatica: gli habitat di diversi animali selvatici, compresi quelli che si trovano nei fiumi, nei laghi e negli oceani, sono colpiti dalle frane.

Il movimento verso il basso di grandi masse di frane ha un profondo effetto sui sistemi montuosi e vallivi sia sulla terraferma che sotto gli oceani. Alcune frane possono alterare ampiamente il terreno, colpendo fiumi, terreni agricoli e foreste. Le foreste, le praterie e la fauna selvatica sono spesso colpite negativamente dalle frane, con gli habitat forestali e ittici particolarmente vulnerabili ai danni o alla distruzione temporanea.

Le frane, che sono spesso innescate da attività sismica, alluvioni o eruzioni vulcaniche, possono potenzialmente innescare pericoli successivi. Ad esempio, una frana provocata da un terremoto può provocare un pericoloso tsunami se una notevole quantità di materiale della frana precipita in un corpo idrico, provocando uno spostamento significativo del volume dell'acqua. Allo stesso modo, un'eruzione vulcanica o una frana provocata da un terremoto possono ostruire il corso di un fiume, provocando l'accumulo di acqua a monte. Qualora la diga formata dal materiale della frana dovesse cedere, si avrebbe un improvviso rilascio di acqua inglobata a valle, con possibili allagamenti. Queste alluvioni possono avere conseguenze di vasta portata, tra cui l'erosione e la destabilizzazione delle sponde dei fiumi e

delle regioni costiere (scogliere e sponde), e la rapida saturazione dei pendii. Di conseguenza, è importante esaminare in modo esaustivo tutti i potenziali rischi naturali quando si valuta la vulnerabilità di un'area alle frane. Purtroppo, l'attuale disponibilità di mappe che descrivono la suscettibilità a rischi multipli rimane limitata. Nella maggior parte dei casi, anche se i pericoli vengono mappati, viene considerato solo un pericolo alla volta, non riuscendo a catturare l'intero spettro dei rischi presenti in un'area.

Nonostante le conseguenze negative, le frane svolgono anche un ruolo ecologico spesso ignorato. Contribuiscono alla biodiversità sia acquatica che terrestre. I flussi di detriti e altre forme di movimento di massa sono vitali nel fornire sedimenti e detriti legnosi grossolani, che mantengono la diversità dell'habitat dei corsi d'acqua, comprese le formazioni di pozze e riff. Recenti studi ecologici indicano che in condizioni specifiche, le frane possono effettivamente apportare benefici agli habitat dei pesci e della fauna selvatica migliorando l'habitat degli organismi da cui fanno affidamento per il cibo (Highland e Bobrowsky, 2008).

1.2.2.2. Impatti sociali delle frane

Le frane tendono a colpire in modo sproporzionato le popolazioni vulnerabili, esacerbando le disuguaglianze sociali esistenti. Le comunità emarginate che vivono in aree pericolose spesso non dispongono delle risorse e dei mezzi per rispondere efficacemente alle frane. L'accesso limitato ai sistemi di allarme rapido, ai rifugi per l'evacuazione e all'assistenza finanziaria amplifica la loro vulnerabilità. Pertanto, le frane perpetuano le disparità sociali ed evidenziano la necessità di strategie di preparazione e risposta alle catastrofi.

Il costo emotivo e psicologico delle frane non dovrebbe essere trascurato. I sopravvissuti possono sperimentare traumi, dolore e ansia, che portano a problemi di salute mentale di lunga durata. Il trauma collettivo vissuto dalle comunità può mettere a dura prova i legami sociali e distruggere la coesione sociale. I sistemi di supporto, tra cui la consulenza e i programmi di sensibilizzazione della comunità, sono cruciali per affrontare le conseguenze psicologiche delle frane.

Le frane hanno profonde conseguenze sociali che vanno oltre il danno fisico. Riconoscere e comprendere l'impatto sociale delle frane è essenziale per promuovere la resilienza e mitigare i rischi futuri. Creare consapevolezza, implementare efficaci sistemi di allerta precoce, migliorare la pianificazione dell'uso del territorio e promuovere il coinvolgimento della comunità sono passi fondamentali per ridurre la vulnerabilità sociale associata alle frane.

Dando priorità a queste misure, le società possono lavorare per creare comunità più sicure, più resilienti e meglio attrezzate per far fronte agli impatti sociali delle frane e di altri rischi naturali.

1.2.2.3. Impatti economici delle frane

Le aree residenziali costruite su pendii instabili possono subire danni di vario grado, che vanno dalla distruzione parziale a quella completa. Le frane possono destabilizzare o distruggere fondazioni, muri, proprietà circostanti, nonché servizi pubblici sia in superficie che sotterranei. Gli effetti delle frane sui centri abitati possono manifestarsi su vasta scala, interessando numerose abitazioni, oppure su base individuale, qualora sia interessata una sola struttura o parte di essa. Inoltre, quando una frana danneggia le infrastrutture essenziali di una proprietà, come fognature, linee idriche o elettriche e strade di uso comune, può interrompere i servizi essenziali e le vie di accesso di altre proprietà vicine. Anche le strutture commerciali che possono essere interessate dagli impatti delle frane subiscono conseguenze simili alle strutture residenziali. Ciò risulta particolarmente significativo per le strutture ad uso comune in quanto la loro operatività potrebbe essere interrotta a causa di danni franosi alla struttura stessa e/o danneggiamenti alle vie di accesso.

Le frane in rapido movimento, come le colate detritiche, rappresentano la minaccia maggiore per le strutture a causa della loro natura distruttiva, dell'alta velocità e della potente forza. Queste frane spesso si verificano all'improvviso e senza preavviso, rendendo difficile l'attuazione di misure di mitigazione. Le aree ripide sono particolarmente suscettibili alla rapida distruzione causata da valanghe di detriti e lahar, che possono danneggiare gravemente città, paesi e quartieri (Coe et al., 2014). È difficile ricostruire nelle aree colpite a causa del continuo movimento delle frane, che possono persistere per giorni, settimane o mesi. Gli sforzi di ricostruzione non sempre riescono a garantire la stabilità. I guasti dovute alle frane lungo le strade e le ferrovie influenzano il settore dei trasporti. Le cadute di massi possono causare danni alle persone e alle infrastrutture. Tutti i tipi di frane possono provocare chiusure temporanee o a lungo termine di percorsi vitali utilizzati per il commercio, il turismo e le attività di emergenza. Anche uno scorrimento lento della frana può danneggiare le infrastrutture lineari (strade, autostrade, linee elettriche e ferroviarie) e creare problemi di manutenzione. Le frane bloccano spesso le principali autostrade in tutto il mondo, rendendo necessaria la demolizione o lo scavo per liberare le strade. Con l'aumento della popolazione mondiale, cresce la vulnerabilità al rischio di frane. Le persone sono spesso costrette a

stabilirsi in aree precedentemente considerate pericolose a causa della limitata disponibilità di terreno. Politiche inadeguate di utilizzo del territorio consentono la costruzione su terreni che sarebbero più adatti all'agricoltura, ai parchi o ad altri scopi invece che ad abitazioni e strutture. Spesso le pratiche edilizie non rispettano i regolamenti statali e locali (Highland e Bobrowsky, 2008).

La Tabella 1.6 mostra alcuni esempi di disastri dovuti a frane che hanno avuto gravi impatti sulle comunità di tutto il mondo. È importante notare che le frane possono verificarsi in varie regioni e sono influenzate da fattori quali la geologia, il clima e le attività umane. Costruire la resilienza, implementare sistemi di allerta precoce e adottare adeguate misure di pianificazione dell'uso del territorio sono cruciali per mitigare i rischi associati alle frane.

Tabella 1.6. Eventi idrogeologici catastrofici.

Nome e data	Motivo e posizione	Conseguenze
Disastro della diga di Vajont 09.10.1963	Il cedimento di un fianco di una montagna ha portato ad una massiccia frana, che ha generato un mega tsunami che ha sovrastato la diga di Vajont. Longarone, Italia	2.000 vittime
Disastro di Aberfan 21.10.1966	Una grande discarica di rifiuti di carbone è crollata, provocando una frana che ha travolto una scuola elementare e le case vicine. Wales	144 vittime , la maggior parte delle quali erano bambini.
Tragedia di Armero 13.11.1985	L'eruzione del vulcano Nevado del Ruiz ha innescato una catastrofica colata di fango conosciuta come lahar, che ha seppellito la città di Armero. Colombia	25.000 vittime .
Frane nelle zone collinari di Chittagong 11.06.2007	Le intense piogge monsoniche hanno provocato diffuse frane nella regione collinare di Chittagong. Bangladesh	130 vittime e migliaia di sfollati.
Frana di Zhouqu (Cina) 10.08.2010	Le forti piogge hanno provocato una massiccia frana nella contea di Zhouqu. Provincia del Gansu, Cina	1.400 vittime e ingenti danni alle infrastrutture e alle proprietà.

Frana in Sierra Leone 14.08.2017	Le forti piogge hanno causato una grande frana nella zona Regent di Freetown. Sierra Leone	1.000 vittime e la distruzione di case e infrastrutture.
Frana di Mocoa, Colombia 01.04.2017	Le piogge torrenziali hanno provocato una frana che ha colpito la città di Mocoa. Colombia	Oltre 300 vittime e ingenti danni alle zone residenziali.

1.3. Origine e impatto degli incendi

1.1.3. Origine degli incendi

Gli incendi possono avere conseguenze catastrofiche, con conseguenti danni sostanziali sia alle cose che alla vita umana. Di conseguenza, acquisire conoscenze sui catalizzatori primari è della massima importanza per mitigare in modo proattivo la loro probabilità.

Classificazione degli incendi

In base alla natura del materiale che brucia:

La rapida diffusione del fuoco una volta acceso può porre sfide nell'affrontare efficacemente la sua propagazione. L'approccio alla lotta contro un incendio non è sempre semplice, poiché gli incendi possono variare in modo significativo nelle loro caratteristiche. Incendi diversi presentano pericoli e rischi distinti, rendendo fondamentale prendere in considerazione misure adeguate. L'utilizzo scorretto degli estintori può aggravare la situazione anziché risolverla. Esistono 6 classificazioni distinte degli incendi in base alla natura del materiale che brucia (<https://www.frareg.com/it/ambiente/classificazione-incendi/>):

- Classe A (che coinvolge solidi)
- Classe B (che coinvolge liquidi)
- Classe C (che coinvolge gas)
- Classe D (che coinvolge metalli)
- Incendi elettrici
- Classe F (che coinvolge grassi e oli da cucina)

Ogni tipo di incendio richiede tecniche specifiche per l'estinzione, a seconda dei pericoli associati.

Incendi di classe A coinvolgono combustibili solidi, che possono includere materiali come carta, cartone, mobili, infissi, arredi e persino la struttura stessa dell'edificio. Questi incendi sono considerati incendi "normali" che tipicamente coinvolgono materiali combustibili solidi. Gli incendi di classe A sono tra i tipi di incendi più diffusi poiché i combustibili solidi sono diffusi e difficili da eliminare completamente. L'implementazione di pratiche di pulizia adeguate, come la riduzione dell'accumulo di materiali come imballaggi e rifiuti, può aiutare a ridurre al minimo i rischi associati. Gli estintori ad acqua e schiuma sono considerati le opzioni più efficaci per combattere gli incendi di Classe A. L'acqua, in particolare, è ampiamente utilizzata grazie alla sua capacità di affrontare la maggior parte degli incendi che coinvolgono combustibili solidi. Tuttavia, è fondamentale notare che l'acqua è un conduttore di elettricità e non dovrebbe mai essere utilizzata in prossimità di apparecchiature elettriche per evitare il rischio di scosse elettriche o ulteriori danni.

Incendi di classe B, che coinvolgono liquidi infiammabili, si incontrano più frequentemente in ambienti industriali dove vengono impiegate grandi quantità di vari fluidi, liquidi e sostanze chimiche. Esempi di tali sostanze includono liquidi detergenti, solventi, carburanti, inchiostri, adesivi e vernici. Sebbene gli incendi di classe B siano relativamente rari, rappresentano un livello di pericolo maggiore rispetto ad altri tipi di incendio. Diventa quindi imperativo dare priorità alla protezione personale adottando misure adeguate. Per garantire la sicurezza personale, è essenziale familiarizzare con i liquidi infiammabili specifici utilizzati sul posto di lavoro e condurre una valutazione del controllo delle sostanze pericolose per la salute. Il regolamento REACH² (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) si applica a tutte le sostanze chimiche, sia quelle necessarie per i processi industriali che quelle che utilizziamo nella nostra vita quotidiana, presenti ad esempio in vernici, prodotti per la pulizia, vestiti, mobili ed elettrodomestici. Il regolamento REACH promuove anche metodi alternativi per la valutazione dei pericoli che possono derivare dalle sostanze, in conformità ai requisiti legali, le imprese dello Spazio Economico Europeo (SEE) sono obbligate a rispettare il regolamento REACH per qualsiasi sostanza pericolosa. Durante la valutazione si dovrebbe prestare la dovuta attenzione allo stoccaggio sicuro e al corretto utilizzo di queste sostanze. È fondamentale conservarli in contenitori chiaramente etichettati e tenerli lontani da potenziali fonti di innesco. Gli estintori a schiuma e polvere sono le

2

[https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_it.htm#:~:text=L'acronimo%20REACH%20\(Registration%2C,e%20restrizione%20delle%20sostanze%20chimiche.](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_it.htm#:~:text=L'acronimo%20REACH%20(Registration%2C,e%20restrizione%20delle%20sostanze%20chimiche.)

tipologie più efficaci per contrastare gli incendi di Classe B. Anche gli estintori di CO₂ possono essere utilizzati ma hanno un'efficacia limitata.

Incendi di classe C si riferiscono a incendi che coinvolgono gas, come gas naturale, GPL (gas di petrolio liquefatto) o altri tipi di gas in grado di formare un'atmosfera infiammabile o esplosiva. Lavorare con i gas comporta pericoli intrinseci e aumenta il rischio di incendi. È fondamentale immagazzinare i gas in contenitori sigillati all'interno di aree di stoccaggio sicure designate ed è fondamentale che le attività relative al gas siano eseguite esclusivamente da persone competenti. L'approccio più sicuro per estinguere questo tipo di incendio è interrompere tempestivamente l'erogazione del gas. Una volta interrotta l'erogazione del gas, il tipo di estintore più efficace per combattere l'incendio è l'estintore a polvere.

Incendi di classe D coinvolgono alcuni tipi di metalli che possono essere combustibili, come il sodio, nonostante i metalli non siano comunemente percepiti come materiali infiammabili. Inoltre, i metalli hanno un'eccellente conduttività, facilitando la propagazione degli incendi. Le temperature elevate possono causare l'indebolimento e la fusione di tutti i metalli, portando a un potenziale collasso strutturale quando travetti e colonne metalliche sono presenti in un incendio. È fondamentale notare che gli estintori ad acqua non dovrebbero essere utilizzati sugli incendi di Classe D poiché l'acqua può effettivamente agire come un accelerante sugli incendi dei metalli, aggravando la situazione. Esistono estintori a polvere appositamente sviluppati per combattere gli incendi dei metalli. La composizione della polvere all'interno dell'estintore può variare a seconda del tipo specifico del metallo incendiato. In alcuni casi, piccoli incendi causati da metalli possono essere soffocati utilizzando terra secca o sabbia come approccio alternativo.

Incendi elettrici presentano rischi distinti. La fonte di accensione in questi incendi è l'elettricità stessa e non un combustibile. Inoltre, gli incendi nelle apparecchiature elettriche sotto tensione introducono rischi aggiuntivi. Non viene loro assegnata una classe specifica poiché possono rientrare in qualsiasi classificazione antincendio esistente. Questo perché non è l'elettricità a bruciare bensì il materiale circostante che si accende grazie alla corrente elettrica. Per mitigare i rischi associati agli incendi elettrici, è fondamentale garantire la corretta installazione, ispezione e manutenzione delle apparecchiature e degli impianti elettrici. L'uso di acqua o qualsiasi altro elemento conduttore per estinguere un incendio elettrico può essere fatale a causa del rischio di scosse elettriche. Il tipo di estintore più adatto per incendi elettrici è un estintore CO₂. Inoltre, alcuni estintori a polvere sono adatti per

situazioni di bassa tensione. Ove possibile, si raccomanda di interrompere l'alimentazione elettrica all'area interessata al fine di ridurre al minimo l'intensità e la propagazione dell'incendio.

Incendi di Classe F, noti anche come incendi di olio da cucina o grassi, spesso derivano da frittiture di grassi e fuoriuscite di oli infiammabili vicino a fonti di calore nelle cucine. Anche se comunemente si riscontrano nelle cucine commerciali dotate di friggitrici, tali incendi possono verificarsi anche in ambienti residenziali. È fondamentale non lasciare mai il cibo o l'attrezzatura per friggere incustoditi mentre sono in uso per ridurre al minimo il rischio di questi incendi. L'estinzione degli incendi di classe F può essere difficile a causa dell'intenso calore generato dall'olio in fiamme. È importante notare che l'utilizzo del tipo sbagliato di estintore può aggravare la situazione diffondendo l'incendio attraverso gli oli e i grassi che bruciano. L'unico estintore approvato per combattere efficacemente gli incendi di olio da cucina e grassi è l'estintore a schiuma. Inoltre, per piccoli incendi di Classe F, come alternativa adeguata può essere utilizzata anche una coperta antincendio. Le caratteristiche di ciascun incendio e i relativi metodi di estinzione sono riassunti nella Tabella 1.6.

Tabella 1.6. Le caratteristiche di ciascun incendio e le modalità di estinzione.

Classe di fuoco	Tipo di carburante	Metodi di soppressione degli incendi e tipologia di estintori
Classe A	Solido	Soffocamento, acqua
Classe B	Liquido	Estintori soffocanti, a schiuma e a polvere
Classe C	Gas	Soffocamento, estintore a polvere
Classe D	Metalli	Estintore a polvere
Fuoco elettrico	Elettricità	Prodotti chimici non conduttivi
Classe F	Olio o grasso da cucina	Soffocamento, estintore a schiuma e coperta antincendio

In base al luogo dell'incendio:

Incendi domestici:

L'incendio domestico si riferisce al rischio intrinseco rappresentato da incendi sia involontari che deliberati, che possono potenzialmente mettere in pericolo vite umane e compromettere l'integrità strutturale e la sicurezza della proprietà stessa. Tra il 1993 e il 2015, un totale di

86,4 milioni di incendi ha provocato oltre un milione di vittime (Brushlinsky et al., 2017). Inoltre, le perdite economiche collettive annuali subite in tutto il mondo a causa dei rischi posti dagli incendi rappresentano circa l'1% del prodotto interno lordo (PIL) globale (Bulletin, 2014).

Le cause frequenti di incendi domestici includono:

- Attrezzatura da cucina
- Fumare
- Candele
- Cablaggio difettoso
- Barbecue
- Bambini che giocano con il fuoco
- Fulmini
- Apparecchiature di riscaldamento

Gli incendi domestici possono essere attribuiti principalmente al surriscaldamento degli elettrodomestici. È stato riferito che la cucina è la principale causa di incendio sia negli edifici residenziali che non residenziali (USFA, 2016). In pochi secondi, le fiamme possono intensificarsi, travolgendo la cucina in un incendio devastante a causa di diversi fattori, tra cui la presenza di una quantità significativa di materiali domestici infiammabili e la conservazione inappropriata di strumenti, rifiuti, attrezzature e sostanze volatili come gas di petrolio liquefatto (GPL), vernici, e altro (Kodur et al., 2020). Di conseguenza, è fondamentale essere costantemente vigili ed evitare di lasciare la cucina incustodita, in particolare durante l'uso. Trascurare questa precauzione non solo rischia di bruciare i prodotti da cucina, ma mette anche in pericolo la proprietà aumentando potenziali rischi di incendio. Si consiglia di tenere asciugamani di carta, guanti da forno e strofinacci lontani dal fornello o da altre fonti di calore per evitare il rischio di incendio domestico.

Fumare può rappresentare molte minacce che non solo mettono in pericolo la salute personale, ma fungono anche da catalizzatore primario per eventi di incendio potenzialmente mortali. Le statistiche dell'Annuario 2023 dei Vigili del fuoco mostrano che più di 4.000 incendi in edifici residenziali sono causati da mozziconi di sigaretta e fiammiferi in un solo anno³. Una sigaretta accesa, anche se entra in contatto con il tessuto di una tenda o cade

³ <https://www.vigilfuoco.it/asp/ReturnDocument.aspx?IdDocumento=13912>

accidentalmente su un mucchio di vestiti, può trasformarsi rapidamente in un incendio, mettendo in pericolo l'intera casa. La soluzione più efficace per ridurre il verificarsi di questi comuni incendi è evitare rigorosamente di fumare negli ambienti chiusi. La scelta di fumare all'aperto riduce notevolmente il rischio di incendi domestici. Sul sito del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco è possibile trovare la guida “La sicurezza in casa – conoscere e prevenire”⁴.

Incendio industriale:

Le cause più comuni di incendi industriali includono:

- Apparecchiature difettose o malfunzionanti
- Materiali o sostanze infiammabili
- Guasti elettrici o cortocircuiti
- Operazioni di saldatura o lavorazioni a caldo
- Esplosioni di polveri combustibili
- Errore umano o negligenza nel seguire i protocolli di sicurezza.

Le apparecchiature difettose o malfunzionanti sono una causa frequente di incendi industriali. Quando macchinari, strumenti o sistemi non funzionano correttamente, possono verificarsi surriscaldamenti, scintille o guasti elettrici che possono innescare materiali o sostanze infiammabili presenti nell'ambiente industriale. L'ispezione regolare, la manutenzione e la tempestiva riparazione delle apparecchiature sono essenziali per prevenire tali incidenti. Inoltre, una formazione adeguata e il rispetto dei protocolli di sicurezza possono aiutare a identificare e risolvere i problemi delle apparecchiature prima che si trasformino in incendi.

I materiali o le sostanze infiammabili sono tra le cause principali di incendi industriali. Quando materiali altamente infiammabili, come carburanti, solventi, gas o polveri combustibili, entrano in contatto con una fonte di innesco, possono prendere fuoco rapidamente e provocare gravi incendi. Lo stoccaggio, la movimentazione e la separazione adeguati dei materiali infiammabili, insieme a misure di prevenzione efficaci come l'eliminazione di potenziali fonti di innesco e l'implementazione di adeguati sistemi di ventilazione, sono essenziali per ridurre il rischio di incendi. Anche fuoriuscite o perdite di sostanze chimiche possono causare incendi. Quando le sostanze chimiche pericolose vengono

⁴ <https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=533>

maneggiate o conservate in modo improprio, o rilasciate accidentalmente, possono entrare in contatto con fonti di innesco, provocando incendi o esplosioni. Il rigoroso rispetto delle corrette procedure di manutenzione, stoccaggio e contenimento delle sostanze chimiche, insieme a una formazione completa per i dipendenti, può aiutare a prevenire e mitigare i rischi associati a fuoriuscite o perdite di sostanze chimiche. Anche lo stoccaggio o la manutenzione impropria di materiali pericolosi, come misure di contenimento inadeguate, etichettatura impropria, stoccaggio incompatibile di diverse sostanze pericolose, mancata separazione dei materiali infiammabili dalle fonti di innesco e ventilazione insufficiente nelle aree di stoccaggio, sono fattori significativi nel controllo degli incendi industriali. Guasti elettrici o cortocircuiti sono un'altra causa importante di incendi industriali. Problemi con i sistemi elettrici, come cablaggi difettosi, circuiti sovraccarichi o malfunzionamenti delle apparecchiature, possono generare calore, scintille o archi elettrici che possono accendere materiali infiammabili nelle vicinanze. L'ispezione e la manutenzione regolari degli impianti elettrici, la corretta installazione e messa a terra e il rispetto degli standard di sicurezza elettrica sono misure preventive fondamentali. Affrontare tempestivamente eventuali problemi elettrici e fornire una formazione adeguata sulla sicurezza elettrica ai dipendenti può aiutare a mitigare i rischi associati a guasti elettrici o cortocircuiti. Misure e precauzioni di sicurezza antincendio inadeguate contribuiscono in modo significativo agli incendi industriali. Quando mancano o sono insufficienti adeguate misure di prevenzione e protezione antincendio, il rischio di incendi aumenta. La scarsa manutenzione delle attrezzature di sicurezza antincendio e la mancata attuazione di piani di evacuazione efficaci e procedure di emergenza sono carenze molto comuni che aggravano le conseguenze di un incendio. Per mitigare questo rischio, è essenziale dare priorità a solide misure di sicurezza antincendio. Ciò include ispezioni regolari, installazione di adeguati sistemi di rilevamento ed estinzione degli incendi, programmi completi di formazione dei dipendenti e rispetto costante delle norme e delle linee guida sulla sicurezza antincendio.

Le operazioni di saldatura o di lavorazione a caldo comportano un rischio significativo di incendi industriali. L'intenso calore generato durante la saldatura, il taglio, o altre attività di lavoro a caldo può facilmente innescare materiali o sostanze infiammabili nelle vicinanze. Scintille, metallo fuso o scorie calde possono agire come fonti di innesco, provocando incendi. Per prevenire incendi durante operazioni di saldatura o lavorazioni a caldo, è fondamentale attuare adeguate misure di prevenzione. Ciò include garantire un'area di lavoro libera e sicura, rimuovere materiali infiammabili o proteggerli con adeguate barriere resistenti

al fuoco, disporre di attrezzature antincendio prontamente disponibili e protocolli di sicurezza. Anche la formazione e la supervisione adeguate del personale coinvolto nelle attività di saldatura o di lavoro a caldo sono essenziali per mantenere un ambiente di lavoro sicuro e prevenire gli incidenti.

Le esplosioni di polveri combustibili sono una causa significativa di incendi industriali. Quando particelle fini di materiali combustibili, come segatura e polvere da sparo, rimangono sospese nell'aria e incontrano una fonte di innesco, possono provocare un'esplosione rapida e violenta. Settori come quello manifatturiero, della lavorazione del legno, della lavorazione chimica e della lavorazione alimentare sono particolarmente suscettibili alle esplosioni di polveri combustibili. Prevenire tali incidenti richiede pratiche di pulizia approfondite per controllare l'accumulo di polvere, sistemi di ventilazione adeguati per ridurre al minimo la sospensione della polvere, manutenzione regolare delle apparecchiature per prevenire malfunzionamenti che potrebbero generare scintille e l'implementazione di misure di protezione dalle esplosioni come sistemi di ventilazione o atmosfera protettiva. Una formazione completa per i dipendenti sui rischi associati alle polveri combustibili e sulle corrette procedure di manipolazione e pulizia è fondamentale per ridurre il rischio di esplosioni di polveri combustibili e conseguenti incendi⁵.

Incendio boschivo

Un incendio boschivo è un incendio incontrollato che si verifica spontaneamente in un'area naturale come una foresta, un prato o una prateria. Può iniziare a causa di attività umane o eventi naturali come i fulmini e può verificarsi in qualsiasi momento. Le origini di circa la metà degli incendi documentati rimangono incerte o sconosciute (in Italia la maggior parte hanno natura dolosa). Il rischio di incendi aumenta nei periodi di siccità, e quando sono presenti forti venti. Gli incendi possono causare gravi interruzioni ai trasporti, alle comunicazioni, ai servizi di elettricità e gas e alla fornitura di acqua. Inoltre, danneggiano la qualità dell'aria e provocano la perdita di case, raccolti, risorse naturali, animali e persino la vita delle persone.

È stato riportato che il cambiamento climatico di origine antropica contribuisce a creare condizione atmosferiche più calde e secche, aumentando così il rischio di incendi. Le attività umane hanno il potenziale di influenzare direttamente l'incidenza degli incendi attraverso la

⁵ <https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=4075>

gestione dell'accumulo di legna, del fogliame e delle fonti di innesco durante i periodi con maggiore probabilità d'incendio (Jones et al., 2020).

Per maggiori informazioni sulla preparazione al rischio di incendio boschivo, si consiglia di visitare la sezione dedicata sul sito della campagna nazionale IONONRISCHIO.⁶

1.3.2. Impatto degli incendi

1.3.2.1. Impatti ambientali degli incendi

- ✓ **Inquinamento dell'aria:** È noto che gli incendi boschivi emettono fumo, vari gas e fuliggine, contribuendo all'inquinamento atmosferico. Sorprendentemente, durante l'incendio nordamericano del 2017, il fumo è stato spinto nella stratosfera, circondando il globo in poco meno di due settimane, un fenomeno più comunemente associato alle eruzioni vulcaniche piuttosto che agli incendi. Il fumo e le particelle di fuliggine rilasciate durante gli incendi aumentano la concentrazione di particolato fine (diametro < 2,5 µm) nell'atmosfera. Il particolato comporta rischi significativi per la salute. Inoltre, il vento può trasportare queste particelle su lunghe distanze, portando a casi in cui le particelle provenienti dagli incendi in Messico e in America Centrale sono arrivate fino al Texas e all'America meridionale. Oltre al particolato, gli incendi possono produrre smog rilasciando notevoli quantità di monossido di carbonio, ossidi di azoto e composti organici volatili (COV). Se esposti alla luce solare, questi gas possono innescare la formazione di ozono a livello del suolo, un inquinante noto per causare problemi di salute come tosse e irritazione alla gola. La combinazione di queste emissioni derivanti dagli incendi sottolinea il loro impatto sostanziale sulla qualità dell'aria e sulla salute pubblica (Keller et al., 2015).
- ✓ **Erosione:** Gli incendi hanno implicazioni significative per l'erosione del suolo. Il calore intenso degli incendi fa sì che i materiali bruciati penetrino nel terreno, creando uno strato ceroso sulle particelle del terreno. Questo strato ostacola le infiltrazioni d'acqua durante le piogge. Inoltre, la distruzione delle radici delle piante a causa del fuoco indebolisce la loro capacità di trattenere il terreno, portando ad una maggiore erosione. I pendii ripidi sono particolarmente vulnerabili all'erosione e le aree che già sperimentano una frequente

⁶ <https://iononrischio.protezionecivile.it/it/preparati/incendi-boschivi/>

erosione saranno ulteriormente esacerbate dalla perdita di copertura vegetale causata dagli incendi (Zavala et al., 2014).

- ✓ **Pericoli secondari come alluvioni e frane:** L'erosione derivante dagli incendi può dar luogo a rischi secondari come alluvioni e frane nel periodo immediatamente successivo all'evento dell'incendio. Le forti piogge a seguito di un incendio possono aumentare sostanzialmente la probabilità di frane. In genere, le colate detritiche possono persistere per 2 o 3 anni dopo gli incendi, dopodiché non vengono più innescate da eventi piovosi regolari. Nel 2017, ad esempio, un'intensa e breve pioggia ha causato una colata detritica lungo la Montagna del Morrone a seguito di un incendio.
- ✓ **Ridurre la vegetazione:** Gli incendi hanno un effetto dannoso significativo sulla copertura vegetale, poiché spesso portano alla combustione sostanziale della vita vegetale, sia in una foresta che in una prateria. Nelle regioni in cui gli incendi sono frequenti, molte specie di piante si sono adattate per resistere agli incendi, come lo sviluppo di cortecce spesse. Tuttavia, alcune specie vegetali, come il mesquite e il ginepro, che sono più sensibili al fuoco, hanno difficoltà a sopravvivere a questi eventi intensi. Alberi e piante svolgono un ruolo cruciale nel processo naturale di assorbimento dell'anidride carbonica e di rilascio di ossigeno. Quando si verifica la perdita di alberi, l'anidride carbonica rimane nell'atmosfera, esacerbando il problema del riscaldamento globale.
- ✓ **Perdita di habitat:** In genere, la maggior parte degli animali ha la capacità di fuggire dagli incendi. Tuttavia, incendi eccezionalmente grandi e intensi possono rappresentare una minaccia letale anche per le creature più veloci (Nappi et al., 2004). Sorprendentemente, l'incendio boschivo australiano del 2019/20 ha provocato la perdita o lo sfollamento di circa 3 miliardi di animali. Inoltre, anche le specie che risiedono sugli alberi e dipendono dalle piante per ripararsi subiscono le conseguenze della distruzione dell'habitat. Ad esempio, gli incendi nel Pacifico nord-occidentale degli Stati Uniti rappresentano una minaccia crescente per le specie a rischio di estinzione, che fanno affidamento sulla foresta per il loro habitat.

1.3.2.2. Impatti sociali degli incendi

- ✓ **Lesioni e morti:** Gli incendi sul posto di lavoro possono causare lesioni e morte, con esiti profondamente dolorosi. Tra le cause più frequenti di lesioni in tali incendi ci sono le ustioni e l'inalazione di fumo. A seconda dell'entità delle ustioni, le vittime potrebbero necessitare di cure mediche complesse che potrebbero comportare interventi chirurgici. L'inalazione di fumo può anche causare gravi problemi respiratori, come asma o danni ai polmoni, imponendo conseguenze a lungo termine sulla salute delle persone colpite.
- ✓ **Trauma emotivo:** Osservare un incendio o sopportare la perdita di un collega in un incendio può avere profonde ripercussioni emotive, causando ansia, depressione e disturbo da stress post-traumatico (PTSD). I dipendenti che subiscono un incendio sul posto di lavoro possono sentirsi profondamente turbati e vulnerabili, trovando difficile affrontare le conseguenze dell'evento. Anche se non subiscono lesioni fisiche, il disagio emotivo che sperimentano può avere un impatto significativo sulla loro capacità di lavorare e di svolgere le proprie mansioni quotidiane.
- ✓ **Problemi di salute e sicurezza sul lavoro:** Gli incendi sul posto di lavoro possono dare origine a potenziali problemi di salute e sicurezza sul lavoro. Gli incendi possono rilasciare materiali pericolosi, tra cui fumo, sostanze chimiche e sostanze tossiche, rappresentando un rischio significativo per il benessere dei dipendenti, in particolare quelli in prossimità dell'incendio o coinvolti nel processo di bonifica. Inoltre, anche i vigili del fuoco e gli altri soccorritori che intervengono sull'incendio possono correre il rischio di esposizione a queste sostanze pericolose. Garantire la sicurezza di tutto il personale coinvolto diventa fondamentale in tali situazioni per prevenire potenziali rischi per la salute.

1.3.2.3. Impatti economici degli incendi

- ✓ **Danni alla proprietà:** Gli incendi possono provocare danni sostanziali alla proprietà, che comprendono edifici, veicoli e beni personali. L'impatto può essere particolarmente grave negli ambienti di lavoro a causa della presenza di attrezzature di valore, inventario e documenti importanti. Ad esempio, un incendio che si verifica in un impianto di produzione può potenzialmente devastare macchinari costosi, materie prime e prodotti finiti.

- ✓ **Interruzione dell'attività:** L'interruzione dell'attività rappresenta una conseguenza degna di nota degli incendi. Anche se l'incendio in sé non provoca danni diretti alla proprietà, il posto di lavoro spesso richiede la chiusura per un periodo per essere sottoposto a pulizia e riparazioni. Ciò può portare alla perdita di entrate e alla potenziale alienazione dei clienti. Inoltre, i tempi di inattività possono impedire ai dipendenti di lavorare, con conseguente diminuzione della produttività e del reddito sia per la forza lavoro che per l'azienda nel suo complesso.
- ✓ **Contenzioso:** Gli incendi sul posto di lavoro possono portare a potenziali contenziosi come risultato. In caso di infortuni o morte derivanti da un incendio sul posto di lavoro, il datore di lavoro può essere ritenuto responsabile e soggetto a procedimenti legali. Tali contenziosi possono rivelarsi costosi e richiedere molto tempo, offuscando la reputazione del datore di lavoro. I costi delle spese legali, delle transazioni e di altre spese correlate possono accumularsi rapidamente, esercitando un impatto sostanziale sulla stabilità finanziaria dell'azienda.
- ✓ **Aumento dei premi assicurativi:** Gli incendi sul posto di lavoro possono avere come conseguenza potenziale un aumento dei premi assicurativi. A seguito di un incendio, un'azienda potrebbe subire un aumento dei premi assicurativi. Le compagnie di assicurazione percepiscono le imprese che hanno subito incendi come maggiormente a rischio e più inclini a sinistri futuri. Di conseguenza, gli assicuratori possono adeguare i premi delle polizze assicurative relative alla responsabilità civile dell'azienda. Premi così elevati possono avere un impatto significativo sulla performance finanziaria dell'azienda.
- ✓ **Danni alla reputazione del marchio:** Un altro risultato degno di nota degli incendi sul posto di lavoro è il danno alla reputazione del marchio, soprattutto quando l'incidente ottiene copertura mediatica. Gli incendi nelle aziende possono attirare una notevole attenzione da parte dei media, che a sua volta ha un impatto negativo sulla reputazione del marchio dell'azienda. I clienti potrebbero percepire l'azienda come pericolosa o inaffidabile, con conseguente perdita di fiducia e riduzione delle entrate. Inoltre, la pubblicità negativa può diffondersi rapidamente attraverso i social media, esacerbando il danno alla reputazione dell'azienda. Questo impatto sulla reputazione del marchio può essere particolarmente devastante per le piccole imprese, poiché potrebbero avere risorse limitate per riprendersi dai danni causati dall'incendio.

- ✓ **Perdite finanziarie:** Gli incendi possono comportare ingenti perdite finanziarie. I costi associati alla riparazione o alla sostituzione di attrezzature, materiali e proprietà danneggiati possono accumularsi rapidamente e avere un impatto significativo sulle finanze di un'azienda. Inoltre, l'interruzione delle normali operazioni o le chiusure temporanee possono comportare una perdita di entrate. Per le piccole imprese con risorse finanziarie limitate, queste sfide possono essere particolarmente scoraggianti. In alcuni casi, l'onere finanziario può essere così grave che l'impresa non può riprendersi, portando potenzialmente alla chiusura definitiva.
- ✓ **Multe e sanzioni regolamentari:** Gli incendi possono comportare potenziali multe e sanzioni normative, in particolare se l'incendio si è verificato a causa di violazioni delle norme di sicurezza previste dal Testo Unico 81/2008 sulla salute/sicurezza sul lavoro . I responsabili della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro possono subire multe e sanzioni, nonché incorrere in reati previsti dal codice penale. Queste ripercussioni finanziarie si aggiungono alle perdite complessive causate dall'incendio, amplificando ulteriormente l'impatto sulla situazione finanziaria dell'azienda.

Bibliografia

- Bollettino (2014), “Statistiche mondiali sugli incendi”, Associazione di Ginevra, n. 29. (www.genevaassociation.org/research-topics/world-fire-statistics-bulletin-no-29).
- Brushlinsky, N.N. Ahrens, M. Sokolov, S.V. e Wagner, P. (2017), “World Fire Statistics”, CTIF, Associazione internazionale dei servizi antincendio e di soccorso, n.22.
- Bureau of Transport Economics 2001, Costi economici dei disastri naturali in Australia, Rapporto 103, Bureau of Transport Economics, Canberra.
- Coe, J. A., Kean, J. W., Godt, J. W., Baum, R. L., Jones, E. S., Gochis, D. J. e Anderson, G. S. (2014). Nuove intuizioni sui pericoli delle colate detritiche da un evento straordinario nel Colorado Front Range. *GSA Oggi*, 24(10), 4-10.
- Froude, M. J. e Petley, DN (2018). Evento di frane mortali a livello globale dal 2004 al 2016, *Nat. Pericoli Sistema Terra Sci.*, 18, 2161–2181
- Highland, LM e Bobrowsky, Peter, (2008). Il manuale sulle frane: una guida per comprendere le frane: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L. (2014). La classificazione di Varnes delle tipologie di frana, un aggiornamento. *Frane* 11, 167–194.
- Jones, M.W., Smith, A., Betts, R., Canadell, J.G., Prentice, I.C., e Quéré, C.L. (2020). Il cambiamento climatico aumenta il rischio di incendi. *Revisione a risposta rapida utilizzando ScienceBrief.org*.
- Keller, E. e DeVecchio, D., 2015. Pericoli naturali: processi della terra come pericoli, disastri e catastrofi. Pearson Istruzione Superiore AU.
- Kodur, V., Kumar, P., Rafi, M.M. (2020). Pericolo di incendio negli edifici: revisione, valutazione e strategie per migliorare la sicurezza antincendio. *PSU Research Review Vol.4 No.1*, 1-23 Emerald Publishing Limited.
- Langill, J.C. e Abizaid, C., 2019. Che cos'è una brutta alluvione? Prospettive locali delle alluvioni estreme nell'Amazzonia peruviana. *Ambio*, pp.1-14.
- Middelmann-Fernandes, MH 2009, "Revisione del database degli studi sulle alluvioni australiane", *Geoscience Australia Record*, 2009/34, Geoscience Australia, Canberra.
- Nappi, A., Drapeau, P. e Savard, J.P., 2004. Disboscamento di recupero dopo un incendio nella foresta boreale: sta diventando un problema scottante per la fauna selvatica?. *Cronaca forestale*, 80(1), pp.67-74.
- Parris, A., et al. (2012-12-06) Scenari globali di aumento del livello del mare per la valutazione climatica nazionale degli Stati Uniti. NOAA Tech Memo OAR CPO-1[1], Ufficio del programma climatico della NOAA.
- Shimi, AC, Parvin, G.A., Biswas, C., Shaw, R. (2010). Impatto e adattamento alle alluvioni: un focus sull'approvvigionamento idrico, i servizi igienico-sanitari e i problemi sanitari della comunità rurale in Bangladesh. *Prevenzione e gestione dei disastri An International Journal*, 19(3), 298-313.

Turner, AK (2018). Impatti sociali e ambientali delle frane. Soluzioni infrastrutturali innovative, 3, 1-25.

USFA (2016), “Stime sugli incendi e sulle perdite di edifici residenziali e non residenziali in base all'uso e alla causa della proprietà (2003-2016)”, U.S. Fire Administration, (www.usfa.fema.gov/data/statistics/order_download_data.html)

Zavala, L.M.M., de Celis Silvia, R. e Lopez, A.J. Una breve recensione. Quaderni di ricerca geografica/Lettere di ricerca geografica, (40), pp.311-331.

<https://ipccitalia.cmcc.it/climate-change-2023-ar6-rapporto-di-sintesi/>

[https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_it.htm#:~:text=L'acronimo%20REACH%20\(Registration%2C,e%20restrizione%20delle%20sostanze%20chimiche](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_it.htm#:~:text=L'acronimo%20REACH%20(Registration%2C,e%20restrizione%20delle%20sostanze%20chimiche)

<https://www.vigilfuoco.it/asp/ReturnDocument.aspx?IdDocumento=13912>

<https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=533>

<https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=4075>

<https://iononrischio.protezionecivile.it/it/preparati/incendi-boschivi/>

<https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/rischio-idrogeologico--i-tipi-di-frane/>

https://www.geologimarche.it/wp-content/uploads/2015/04/Fanti_Appignano1.pdf

www.chiefscientist.qld.gov.au

<https://www.upperdarby.org/FloodplainManagement-1>