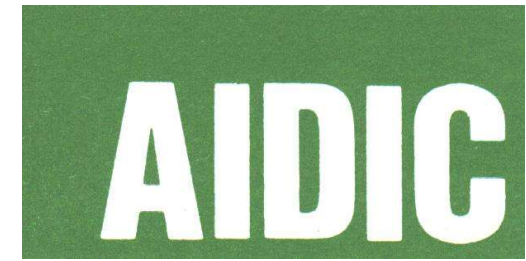




**Cambiamenti Climatici, Economia
Circolare e Transizione Energetica:
Aspetti di Sicurezza**

ISA, 6 dicembre 2022



Analisi e gestione dei rischi industriali legati agli **eventi Natech:**

**Informazione, formazione conoscenza,
consapevolezza e resilienza**



Valerio Cozzani

LISES – DICAM

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
Bologna, Italy

valerio.cozzani@unibo.it

Sommario

1. Caratteristiche degli eventi Natech
2. Contesto regolatorio per la gestione del rischio
3. Strumenti per la valutazione del rischio
4. Elementi specifici del rischio Natech
5. Pianificazione dell'emergenza e resilienza negli eventi Natech
6. Strategie per la gestione del rischio Natech
7. Conclusioni





1 – Caratteristiche degli eventi Natech



Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – Università di Bologna

***Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza***
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



Eventi Natech

- Eventi naturali severi (terremoti, inondazioni, tempeste) possono causare incidenti in impianti di processo o siti di stoccaggio provocando il rilascio incontrollato di sostanze pericolose
- Il rilascio incontrollato di sostanze pericolose può causare incendi, esplosioni, nubi tossiche, contaminazione ambientale
- Lo scenario tecnologico primario (incendio, esplosione) può danneggiare altre unità di processo causando «effetti domino»
- Gli scenari incidentali di questo tipo, caratterizzati dall'interazione tra rischio naturale ed antropico vengono definiti eventi “**Na-Tech**” (*Natural event triggering a Technological disaster*)



Incidenti da Eventi Naturali

- **Numerose tipologie di eventi naturali sono potenzialmente in grado di causare incidenti Na-Tech:**
 - ✓ Terremoti
 - ✓ Alluvioni e Flash-Floods
 - ✓ Fulmini
 - ✓ Vento (uragani e tornados)
 - ✓ Onde (uragani, tsunami)
 - ✓ Fenomeni di dissesto idrogeologico
 - ✓ Fenomeni vulcanici

- **La gestione del rischio dovuto ad eventi Natech è più complessa rispetto a quella degli incidenti tecnologici convenzionali:**
 - ✓ ***Diversa modalità di danneggiamento delle apparecchiature***
 - ✓ ***Diversa tipologia degli scenari incidentali post-rilascio***
 - ✓ ***Diversa efficacia delle barriere di sicurezza***



Esempi di Eventi Natech - Terremoto

Terremoto di Kocaeli, Turchia, 17 agosto 1999

- Il terremoto, di magnitudo pari a 7.4, ha colpito una zona industriale intorno a Smirne
- Si sono sviluppati incendi nelle sezioni di processo
- 30 serbatoi atmosferici sono stati danneggiati, 6 hanno rilasciato nafta che si è incendiata
- 1 serbatoio di GPL è stato danneggiato
- L'onda anomala causata dal sisma ha provocato lo sganciamento di un braccio di carico di una nave ed il rilascio di GPL in mare



Esempi di Eventi Natech - Terremoto



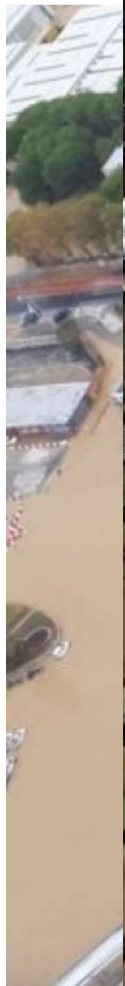
Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – Università di Bologna

***Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza***
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



AIDIC

Esempi di Eventi Natech – Flash-Flood

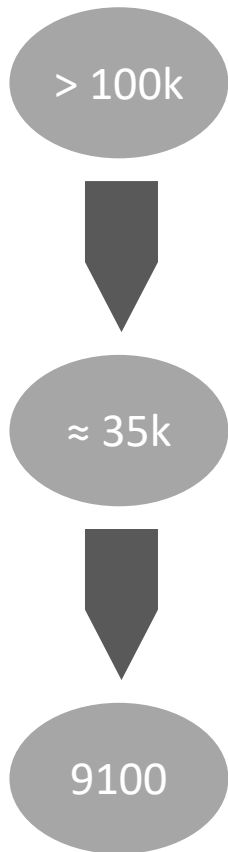


Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – Università di Bologna

Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



Analisi storica – database eventi Natech



Fonti specialistiche

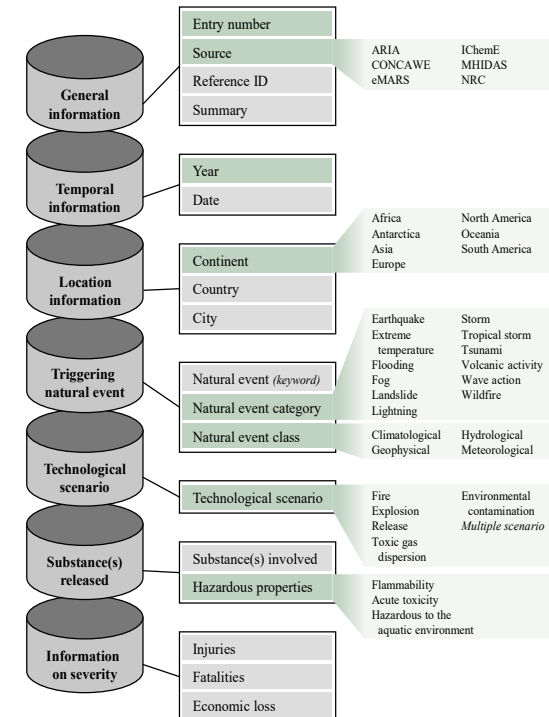
- ARIA
- FACTS
- MHIDAS
- eMARS
- NRC
- ...

Parole chiave

- Earthquake
- Flood
- Lightning
- Hurricane
- Wildfire
- ...

Criteri specifici di inclusione

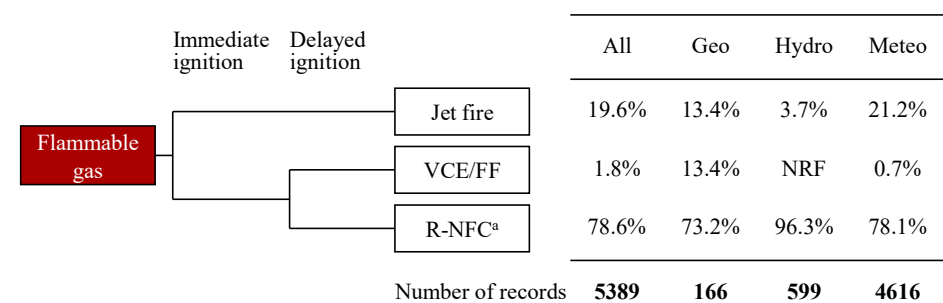
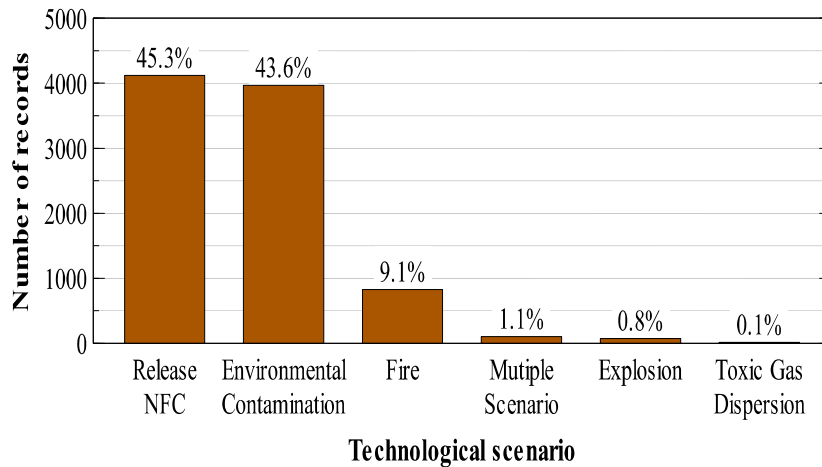
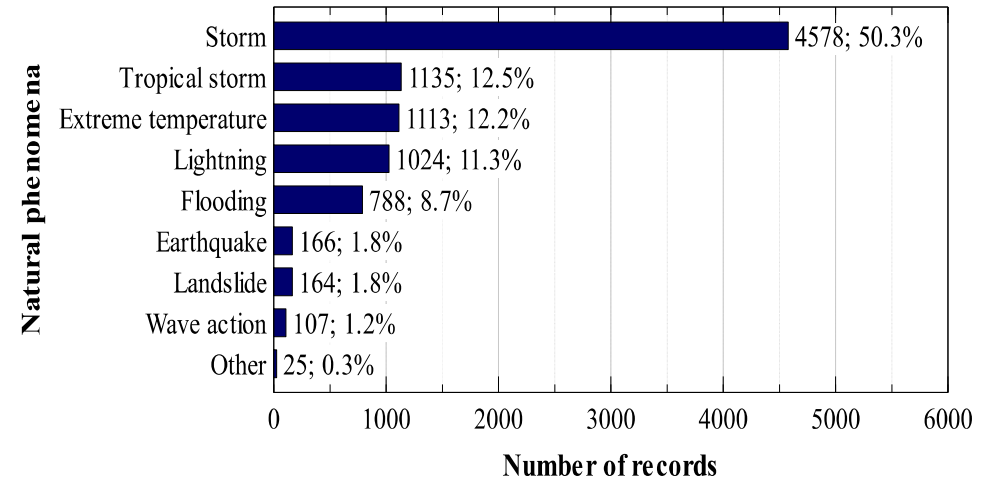
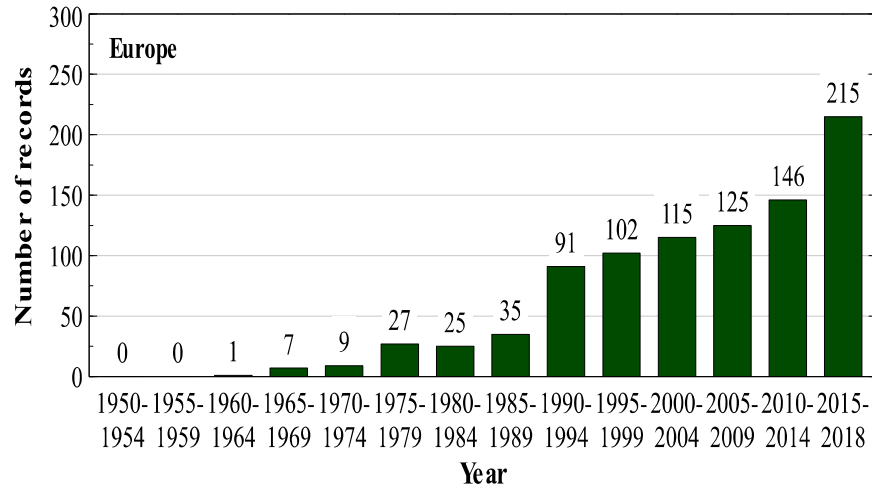
- Natech
- Accidents, incidents, loss of containment
- Chemical and Process Industries



Ricci, Casson Moreno & Cozzani.
Proc.Saf.Env.Prot. 147:703–713 (2021)
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.031>



Analisi storica – database eventi Natech



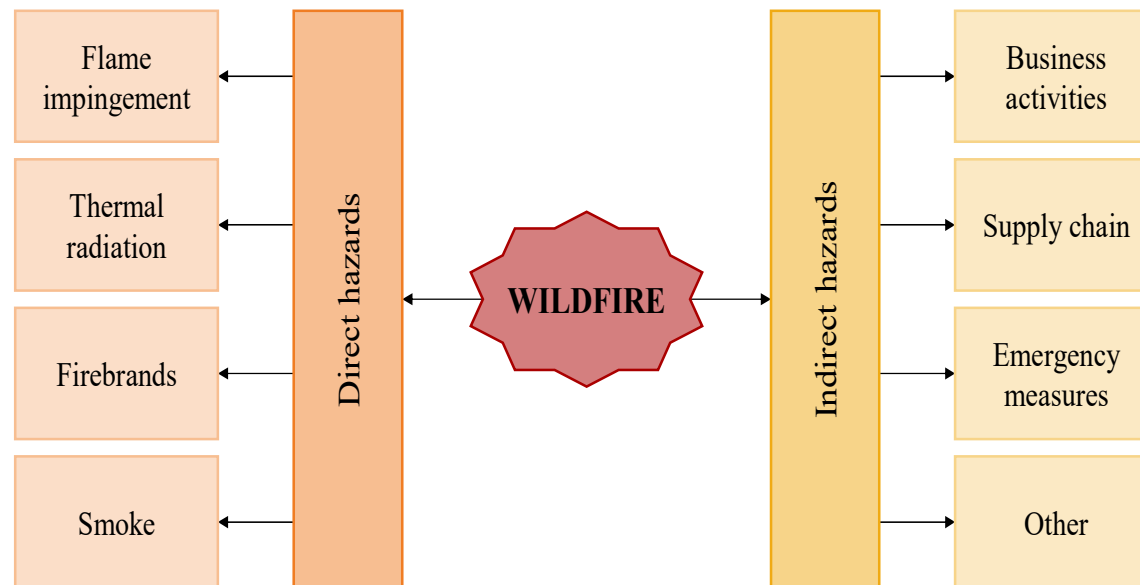
^a Toxic dispersion when the substance is also toxic

Ricci, Casson Moreno & Cozzani.
Proc.Saf.Env.Prot. 147:703–713 (2021)
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.031>

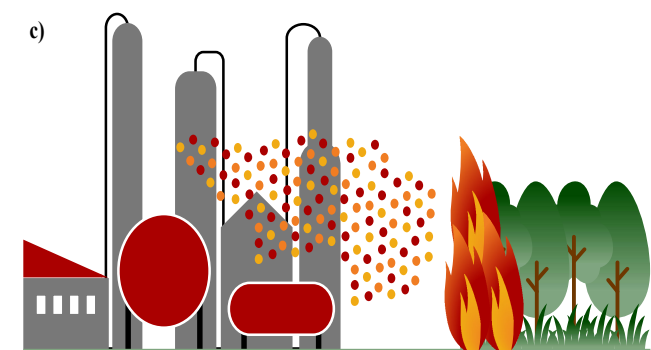
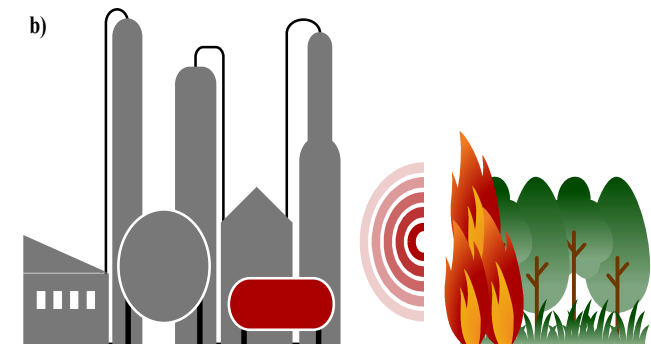
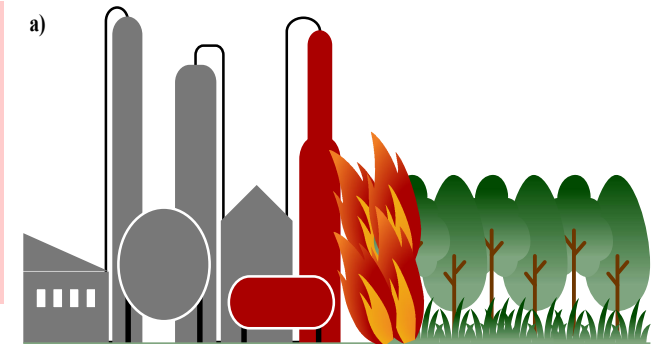


Analisi storica – database eventi Natech

L'analisi storica ha anche fornito alcuni **early warnings**: alcuni eventi Natech risultano causati da incendi boschivi, in particolare in contesti WUI/WII



Ricci, Scarponi, Pastor, Planas, Cozzani:
Proc.Saf. Env.Prot. 147:693–702 (2021)
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.002>





2 –

Il contesto regolatorio per la gestione del rischio

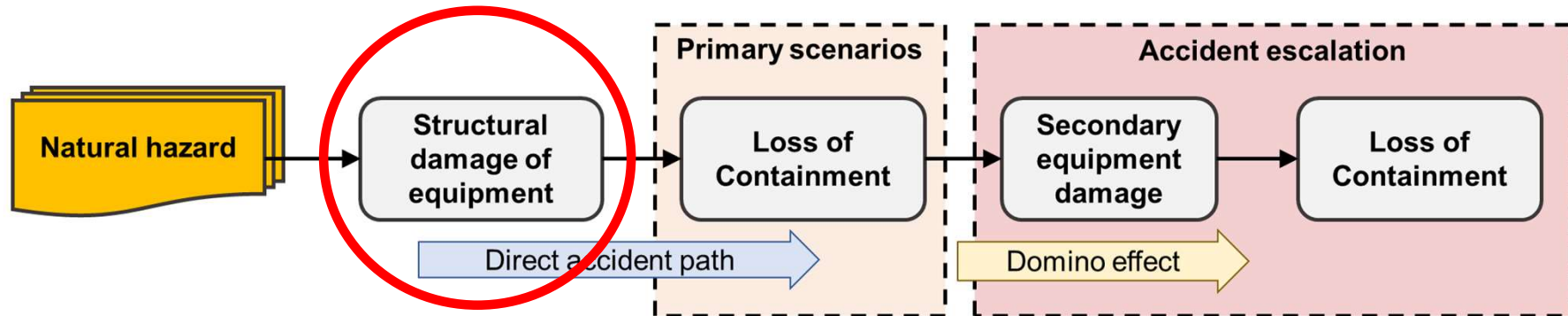


Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – Università di Bologna

***Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza***
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



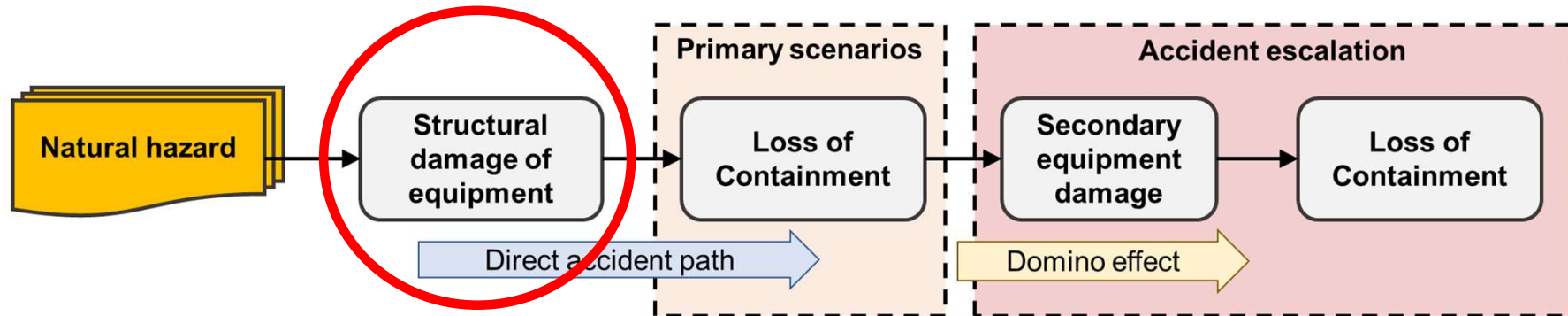
Caratteristiche degli eventi Natech



- Nella maggior parte dei casi, la “sequenza di eventi” in uno scenario Natech richiama quella di uno scenario convenzionale:
 1. Ha luogo un evento naturale
 2. Almeno una (o **più di una**) apparecchiatura è danneggiata
 3. Una sostanza pericolosa (infiammabile, tossica, che reagisce con l’acqua, pericolosa per l’ambiente) è rilasciata
 4. Il rilascio causa uno scenario tecnologico dovuto alla sostanza pericolosa (nube tossica, contaminazione ambientale, incendio, etc.)



Il contesto regolatorio per la gestione del rischio



- Nonostante la severità e le analogie con gli incidenti rilevanti “convenzionali”, solo recentemente gli eventi Natech sono stati considerati nella legislazione sui grandi rischi
- A livello internazionale OECD ha emesso vari documenti relativi alla valutazione e gestione del rischio Natech
- Nel contesto Europeo, la necessità di estendere la valutazione agli scenari Natech negli impianti Seveso è stata introdotta dalla III revisione della Direttiva (2012/18/EU)



Il contesto regolatorio – D. Lgs. 105/2015

Allegato 2

Dati e informazioni minimi che devono figurare nel Rapporto di sicurezza di cui all'art. 15

4. Identificazione e analisi dei rischi di incidenti e metodi di prevenzione:

a) descrizione dettagliata dei possibili scenari di incidenti rilevanti e delle loro probabilità di accadimento o delle condizioni in cui tali scenari possono prodursi, corredata di una sintesi degli eventi che possono avere un ruolo nell'innescare ognuno di tali scenari, con cause interne o esterne all'impianto; comprendente in particolare:

i) cause operative;

ii) cause esterne, quali quelle connesse con effetti domino, siti di attività che non rientrano nell'ambito di applicazione del presente decreto, aree, insediamenti e progetti urbanistici che potrebbero essere all'origine o aumentare il rischio o le conseguenze di un incidente rilevante;

iii) cause naturali, ad esempio terremoti o inondazioni;





3 – Strumenti per la valutazione del rischio



Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – Università di Bologna

***Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza***
ISA, Roma 6 Dicembre 2022

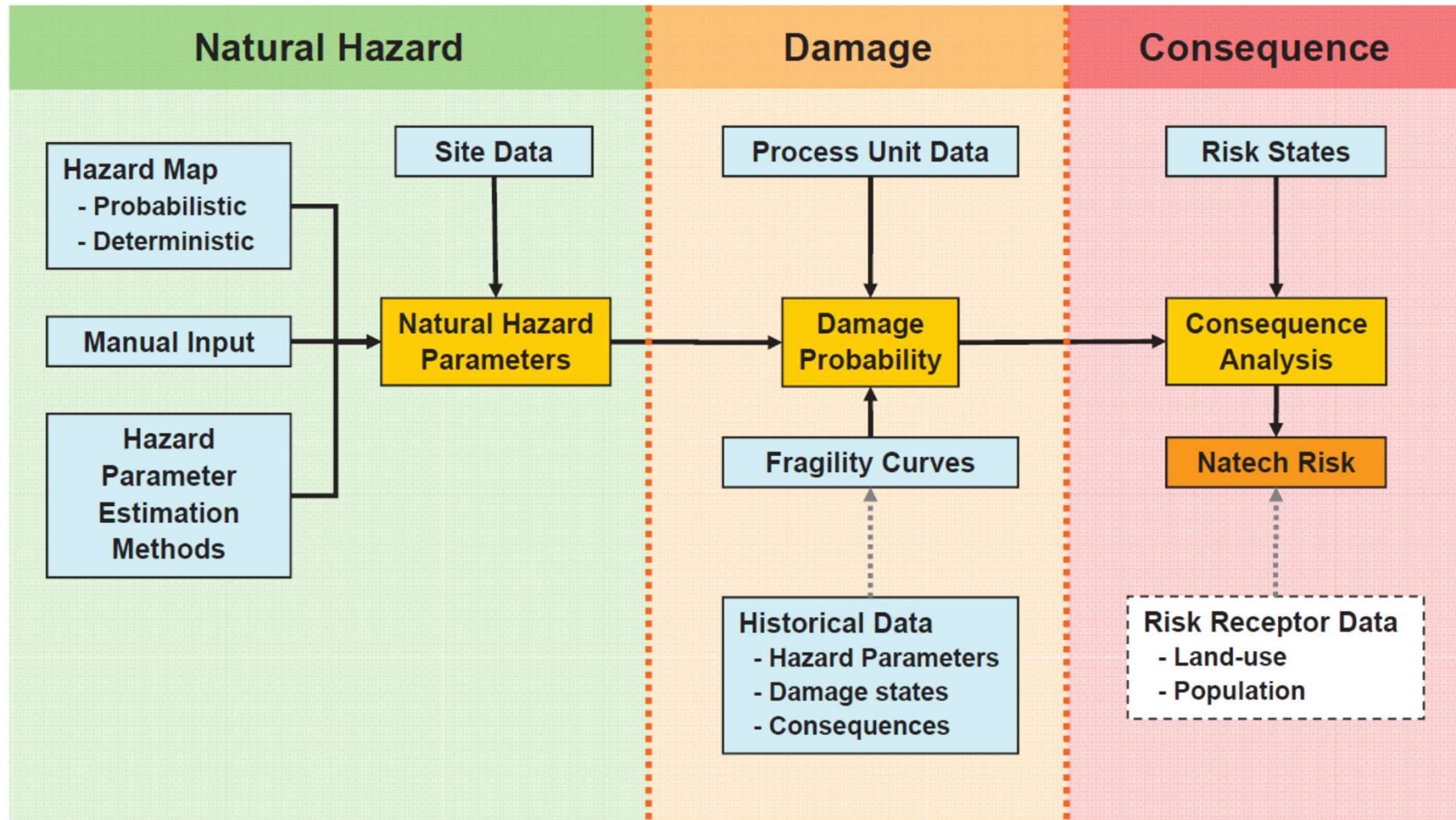


Approcci metodologici di valutazione del rischio /1

- **Metodi ad Qualitativi e semi-quantitativi** permettono uno screening per capire se e dove sono necessari metodi con più alto grado di dettaglio
- **Metodi Quantitativi** non sono disponibili e applicabili nella redazione dei rapporti di sicurezza
- **Standard e norme tecniche** possono supportare la valutazione del rischio



Metodo RAPID-N (EC-JRC)



Natech QRA

A simplified description of the natural event is needed: intensity - time of return pairs

Vulnerability models for equipment are required

Specific event trees may be needed to capture Natech specific scenarios

Selection of reference flooding conditions 1

Selection of a reference flooding event 2

Assessment of flooding intensity and frequency 3

Identification of possible targets by hazard ranking 4

Calculation of damage probability for each target 5

Consequence analysis of credible scenarios 6

Other flooding events?

Antonioni et al., Rel. Eng. Sys. Saf. 94:1442-1450 (2009)

Identification of credible combinations of events 7

Calculation of frequency of combined events 8

Calculation of overall consequences and vulnerability 9

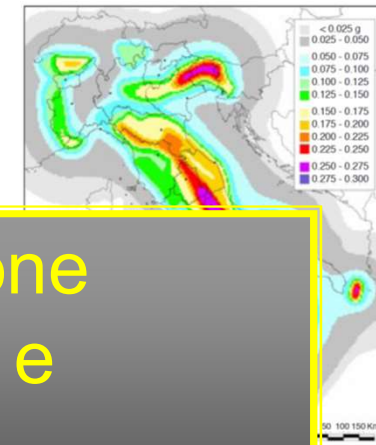
Calculation of Risk indexes 10

Similar to procedures for domino effect risk assessment: multiple simultaneous scenarios should be considered



Caratterizzazione specifica rischio naturale

- Nel contesto della valutazione del rischio Natech sono necessari approcci semplificati alla caratterizzazione dell'impatto
- Possono essere utilizzati un numero limitato di parametri per quantificare la severità dell'evento iniziatore:
 - ✓ Horizontal Peak Ground Acceleration (PGA) (sismi)
 - ✓ Massima altezza e velocità dell'acqua (alluvioni)
 - ✓ Intensità di corrente (fulmini)

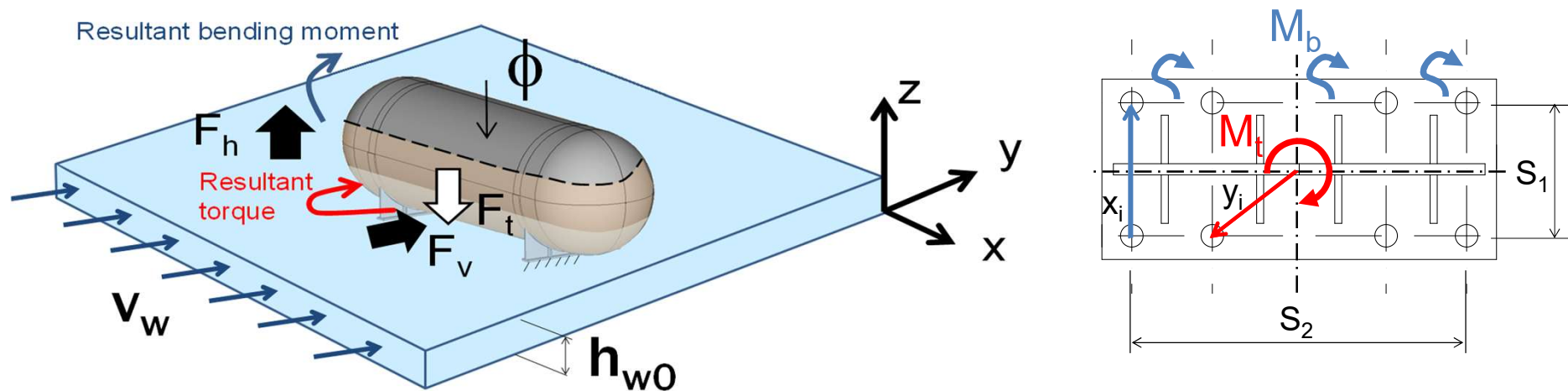


E' necessario ottenere una relazione continua o discreta tra Frequenza e Severità dell'evento naturale



Modelli di Vulnerabilità delle Apparecchiature

- E' possibile applicare la modellazione strutturale all'analisi degli stati di crisi delle strutture per determinarne l'effettivo danneggiamento
- In un contesto QRA può essere più vantaggiosa l'applicazione di modelli semplificati che sfruttano le similitudini geometriche delle diverse apparecchiature





4 –

Elementi specifici nella gestione del rischio Natech



Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – *Università di Bologna*

***Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza***
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



Elementi specifici degli scenari Natech

Alcune caratteristiche specifiche degli scenari Natech rendono critica la gestione del rischio:

- *possibile danneggiamento contemporaneo di più apparecchiature*
- *possibile indisponibilità o sovraccarico dei servizi di emergenza: indisponibilità risorse esterne, difficoltà di accesso risorse interne*
- *possibile indisponibilità di utilities di impianto (guasti di causa comune): aria compressa, azoto, elettricità, etc.*
- *possibile indisponibilità di barriere di protezione: indisponibilità rete acqua antincendio, danneggiamento o sovra-riempimento bacini di sicurezza, etc.*



Danneggiamento simultaneo più apparecchiature

- Confronto dati quantitativi da analisi incidentale – eventi sismici e di fulminazione

	Terremoti	Fulmini
Numero di eventi	29	252
Numero di apparati danneggiati	254	399
Numero di apparati danneggiati con rilascio	180	241
Numero di casi di rilascio con ignizione	137	198
Probabilità di ignizione	0.761	0.821

- *Nel caso di terremoti, il numero medio di apparecchiature danneggiate per evento è superiore a 6*
- *Nel caso di fulmini, l'effetto domino causa anche in questo caso un numero medio superiore a 1*



Danneggiamento utilities – l'incidente di Arkema



- ✓ **Quando:** 26-21 Agosto, 2017
- ✓ **Dove:** Stabilimento Arkema, Crosby, Texas. Produzione di perossidi organici.
- ✓ **Causa iniziatrice:** Alluvione dovuta al passaggio dell'uragano Harvey
- ✓ **Sistemi danneggiati:** unità refrigerazione perossidi, generatori di emergenza, sistema gas inerti, unità stoccaggio perossidi
- ✓ **Impatti:** Esplosione e incendio con danneggiamento delle unità di processo e stoccaggio
- ✓ **Conseguenze:** Perdite economiche, 2 persone intossicate, evacuazione di un'area di raggio di 1.5 miglia



Indisponibilità delle utilities di stabilimento

■ Categorie di sostanze critiche:

ID	Description	GHS/CLP Hazard statements and codes	Reference scenarios
R01	Heat sensitive substances	Self-heating; may catch fire (H251) Self-heating in large quantities; may catch fire (H252)	Fire
		Heating may cause an explosion (H240) Heating may cause a fire or explosion (H241) Heating may cause a fire (H242) Risk of explosion if heated under confinement (EUH044)	Explosion/Fire
		May react explosively even in the absence of air (H230) May react explosively even in absence of air at elevated temperature and/or pressure (H231)	Explosion/Fire
R02	Substances reacting with water	In contact with water releases flammable gases which may ignite spontaneously (H260) In contact with water releases flammable gas (H261)	Flash Fire
		Reacts violently with water (EUH014)	Toxic dispersion/Fire
		Contact with water liberates toxic gas (EUH029) Contact with acids liberates toxic gas (EUH031) Contact with acids liberates very toxic gas (EUH032)	Toxic dispersion
R03	Substances reacting with air	Catches fire spontaneously if exposed to air (H250)	Fire
		May form explosive peroxides (EUH19)	Fire



Eventi Natech – ruolo delle barriere

Hurricane Harvey (Texas, 2017)

- About 100 chemical releases. **Power outage** was experienced in many cases. Massive release from shutdown and emergency flaring. (*Misuri et al., 2019*)*
- Arkema peroxide plant was flooded. **Power outage** interrupted the refrigeration units. **Inert gas system not available. Backup generators submerged. Emergency intervention was hindered by floodwater.** (CSB)

Vltava River Flood (Czech Republic, 2002)

- Electrolysis plant was flooded. **Emergency retention sumps were flooded.** 80000t of chlorine were released in air and water. (*eMars*)

Hurricane Katrina (Louisiana, 2005)

- At Murphy Oil, one crude oil tank (95m diameter) was dislodged (*Godoy, 2007*), spilling more than 3000m³ of oil. **Containment dikes were submerged and damaged.** Part of oil spread in residential area. (NOAA)

San Jacinto River Flood (Texas, 1994)

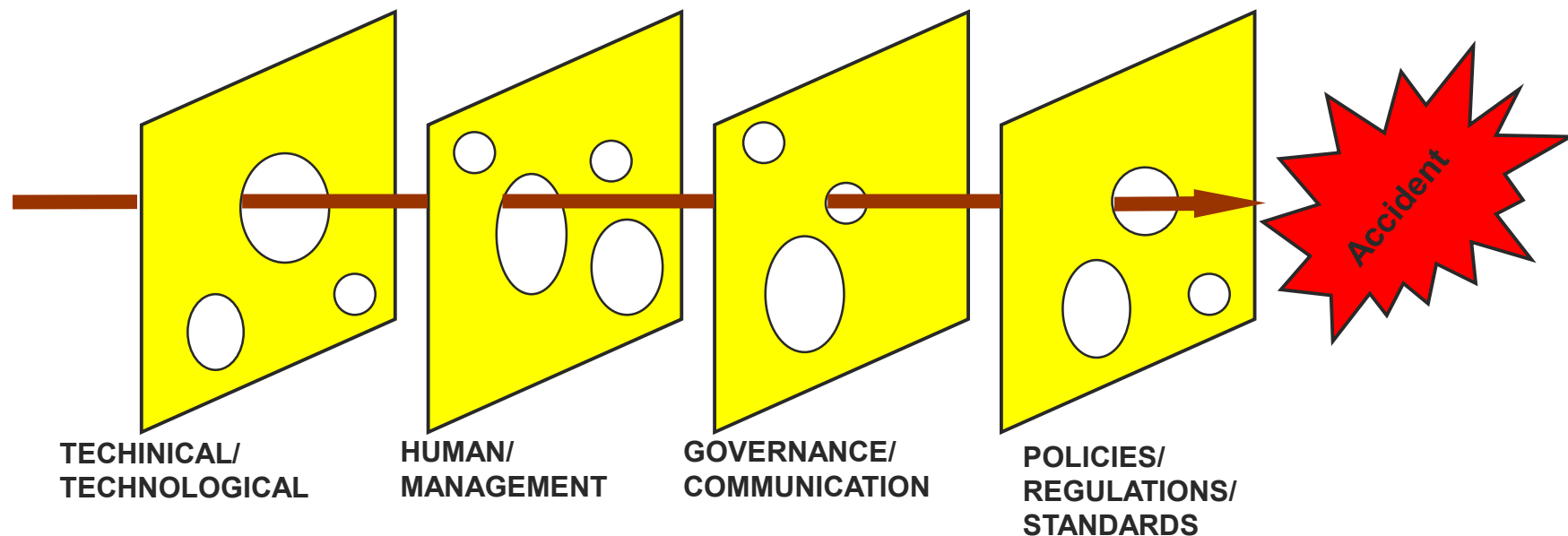
- During flooding, 8 hydrocarbon pipelines ruptured (other 29 were undermined), releasing LPG, gasoline, crude oil, diesel fuel and natural gas. Fire developed in multiple areas. 545 injuries by smoke. **Manual interruption valves were submerged. Operator intervention hampered.** (NTSB)

(*Misuri et al., Reliability Eng. Sys. Saf., 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106521>*)



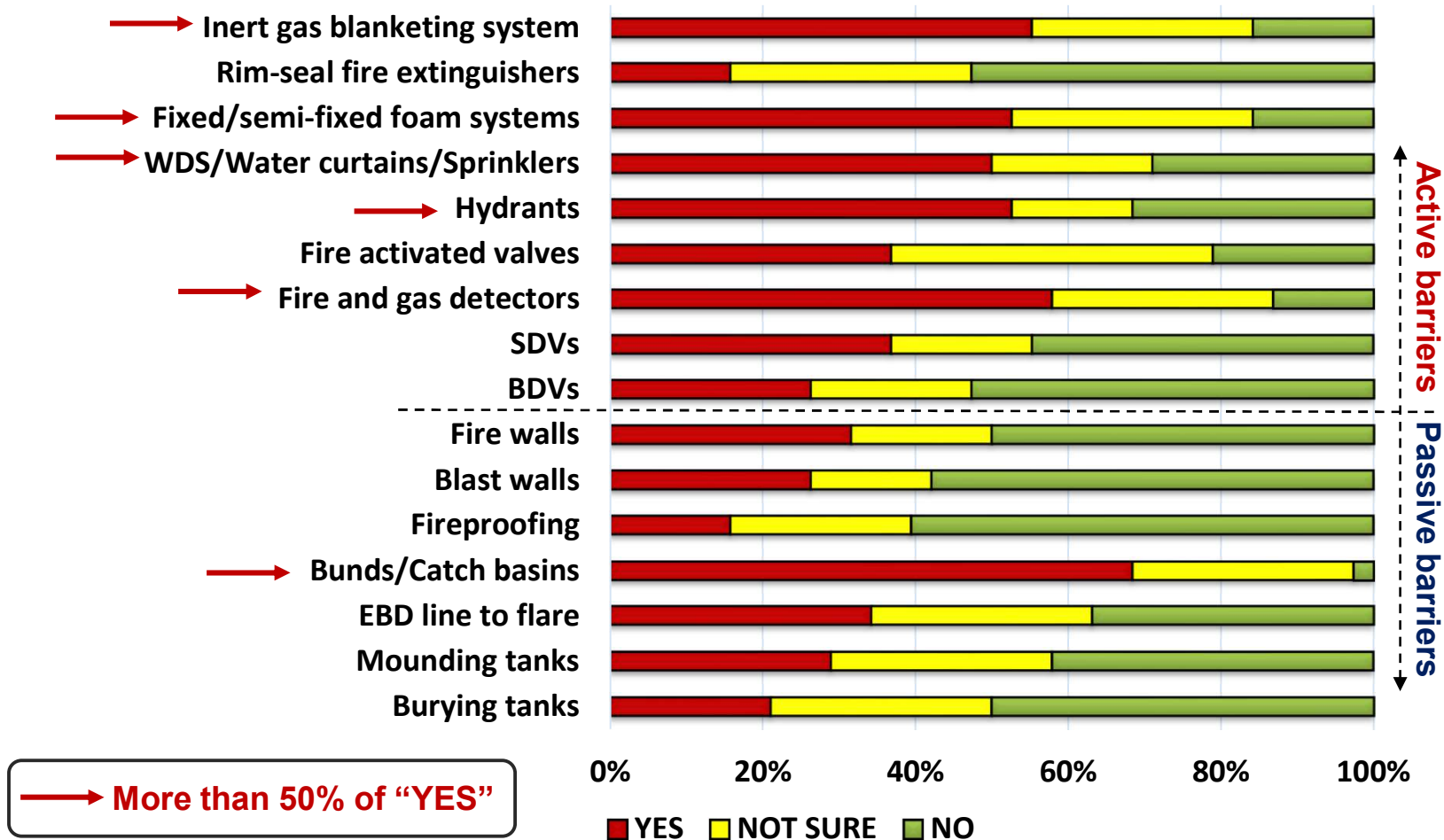
Lessons Learnt – incidente Arkema

- L'**evento critico** che ha portato alla perdita di contenimento è stata l'**interruzione della fornitura di elettricità all'impianto**
- Il **fallimento** e la **degradazione** delle **barriere di sicurezza** dovute all'impatto di eventi naturali sono stati determinanti nell'evoluzione dello scenario tecnologico



Expert survey – danneggiamento barriere

Will the barrier fail in case of flood?





5 – Pianificazione dell'emergenza e resilienza negli eventi Natech

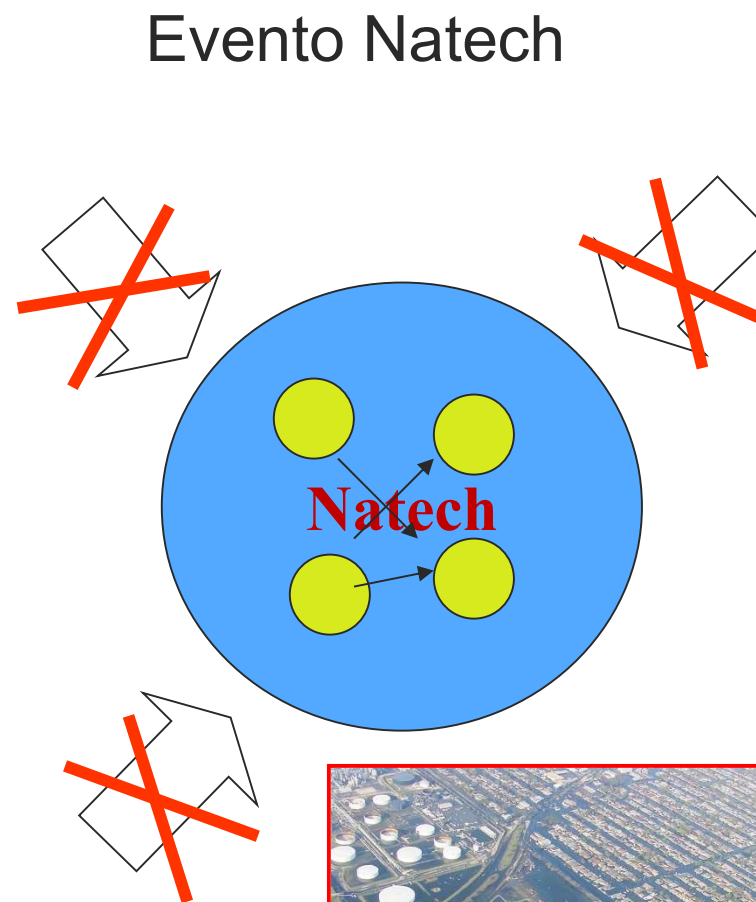


Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – *Università di Bologna*

*Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza*
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



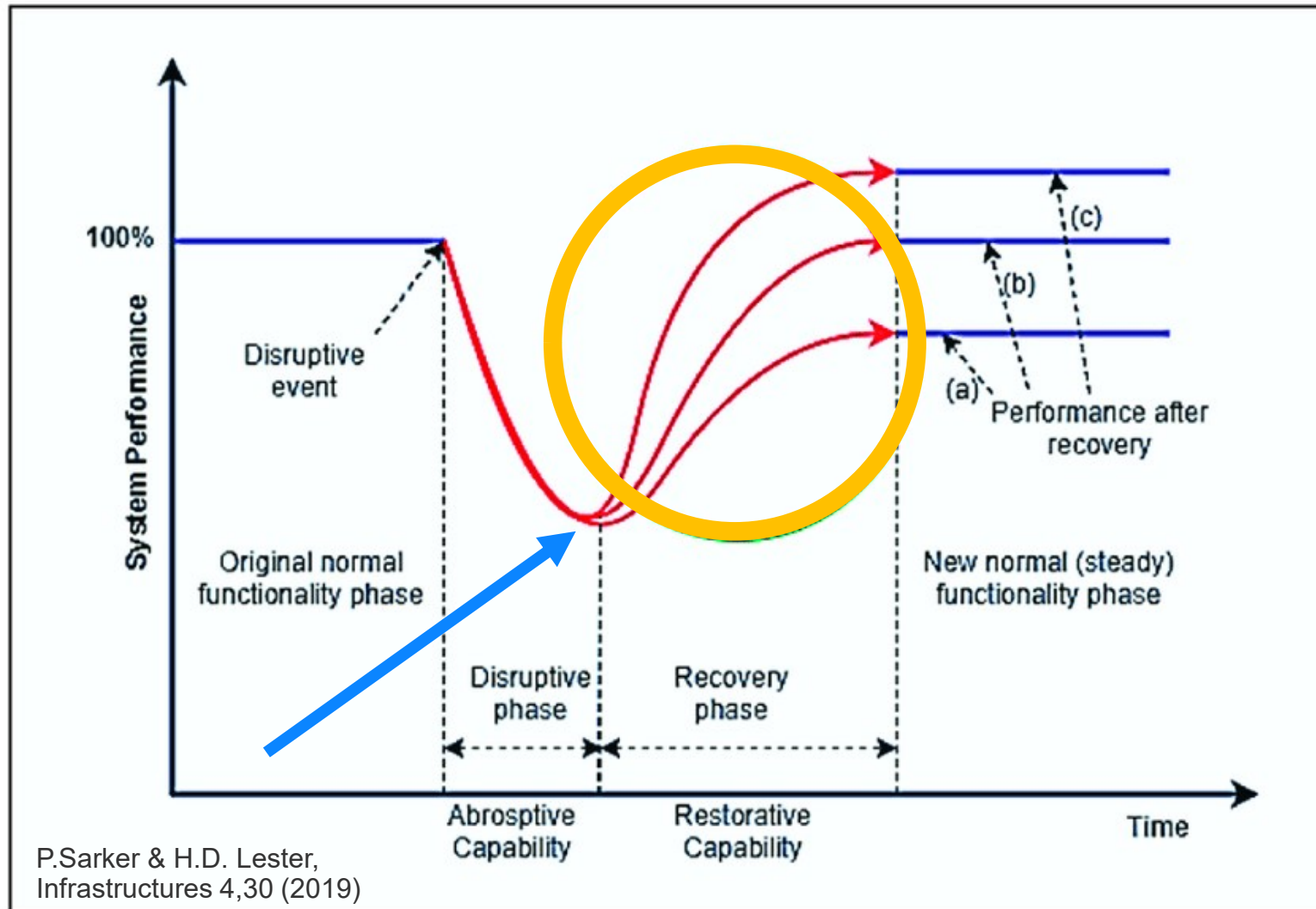
Differenze nella pianificazione di emergenza



Risorse esterne di risposta all'emergenza

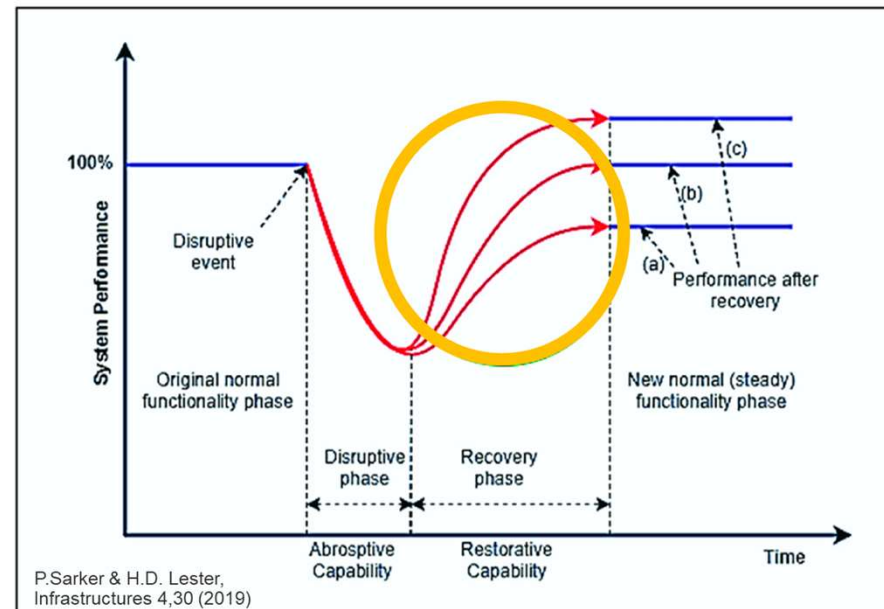


Resilienza negli eventi Natech



Fattori specifici in eventi Natech

- La funzionalità minima e il tempo di ripristino sono fortemente influenzati dalla severità dell'evento naturale e dall'estensione dell'area colpita
- Nell'analisi degli eventi Natech deve essere verificato lo stato delle infrastrutture esterne allo stabilimento (sub-modelli per il tempo di ripristino)





6 – Strategie per la gestione del rischio Natech



Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – *Università di Bologna*

***Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza***
ISA, Roma 6 Dicembre 2022



Elementi pratici - Rapporto di Sicurezza

- Identificazione delle **unità critiche** su cui concentrare le misure di protezione (non è necessario proteggere tutte le apparecchiature nella stessa misura)
- **Analisi strutturale dettagliata** solo per unità critiche (uso di modelli di vulnerabilità statistici per valutazioni più estese)
- Protezione delle unità critiche attraverso l'identificazione di **requisiti funzionali residui** (ad esempio, integrità strutturale ed assenza di perdite di contenimento)
- Gestione del **rischio residuo**
- *Analisi estesa anche a strutture civili (sala controllo) e a sistemi di emergenza (acqua antincendio, etc.)*

Strategie per il controllo del rischio Natech

Strategie per il controllo e la gestione del rischio:

- **Prevenzione:** identificazione e valutazione dei pericoli e dei rischi; azioni per la riduzione del rischio e per la progettazione di barriere di sicurezza
- **Protezione:** progettazione di barriere di mitigazione post-rilascio; pianificazione dell'emergenza

Strategie per il controllo e la gestione del rischio Natech:

- **Prevenzione:** identificazione e valutazione del **rischio naturale**; identificazione dei possibili impatti su installazioni critiche; **identificazione scenari Natech**
- **Protezione:** early warning; progettazione di barriere post-rilascio robuste; pianificazione dell'emergenza adeguata

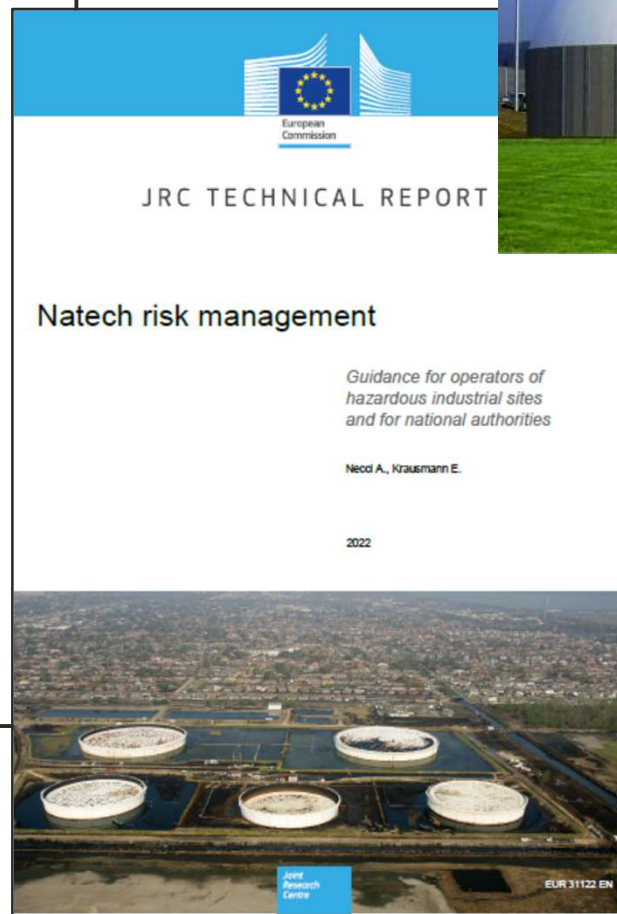
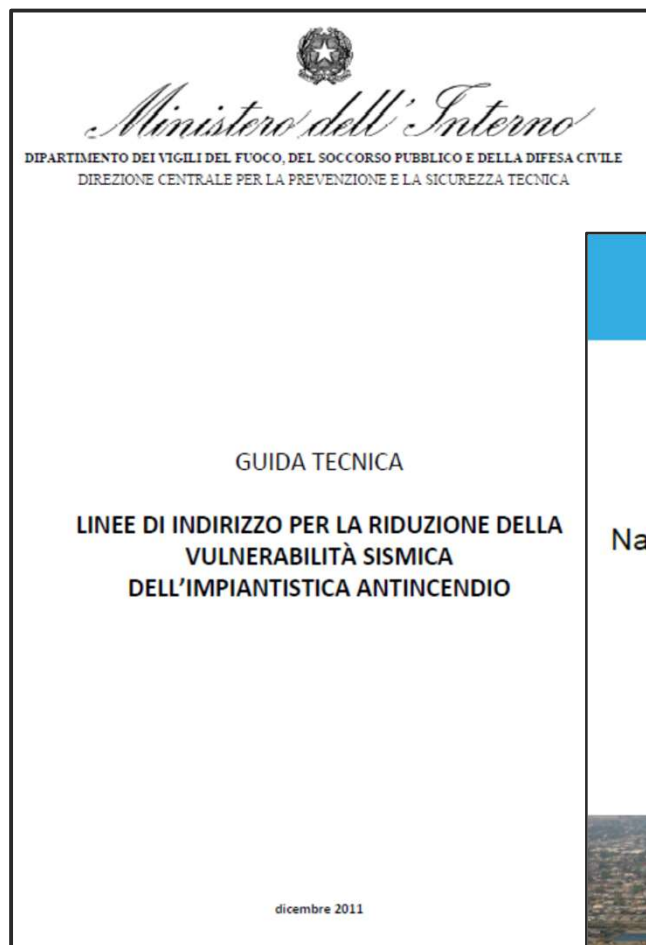


Esempi di barriere di protezione - terremoto

- **Strutture con grado di deformazione accettabile**
- **Connessioni flessibili a tubazioni**
- **Supporti dissipativi**
- ***Retrofit sismico***
- ***Sistemi dissipativi***
- **Sistemi di shut-down**
- **Componenti Fail-Safe**
- **Sensoristica e monitoraggio**



Supporto alla Progettazione delle barriere



- La **progettazione o verifica** dell'integrità e disponibilità delle barriere di sicurezza durante o dopo l'impatto degli eventi naturali è elemento fondamentale



Gestione rischio NaTech – Conclusioni

- ✓ L'interazione tra eventi naturali e impianti industriali può causare elevati rischi tecnologici a causa di eventi “NaTech”
- ✓ Gli eventi NaTech possono avere elevata severità
- ✓ Sono disponibili e utilizzati da varie aziende procedure semplificate e metodi dettagliati di valutazione quantitativa per eventi NaTech
- ✓ La valutazione del rischio dovuto ad eventi naturali nel rischio è un elemento necessario per la corretta gestione del rischio in infrastrutture industriali
- ✓ L'adeguata progettazione e verifica delle barriere di sicurezza è un elemento chiave per la corretta gestione del rischio
- ✓ La pianificazione specifica dell'emergenza è un ulteriore elemento necessario per la corretta gestione del rischio dovuto ad eventi NaTech



Grazie per l'attenzione!

Prof. **Valerio Cozzani**

LISES - Laboratorio di Sicurezza Industriale e
Sostenibilità Ambientale

DICAM - Università di Bologna



valerio.cozzani@unibo.it



Analisi e Gestione dei Rischi Natech
V. Cozzani – Università di Bologna

**Cambiamenti Climatici, Economia Circolare e
Transizione Energetica: Aspetti di Sicurezza**
ISA, Roma 6 Dicembre 2022

