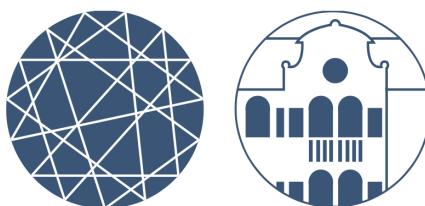


# La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma

Gerard J. O'Reilly

*Ricercatore, IUSS Pavia*

[gerard.oreilly@iusspavia.it](mailto:gerard.oreilly@iusspavia.it)



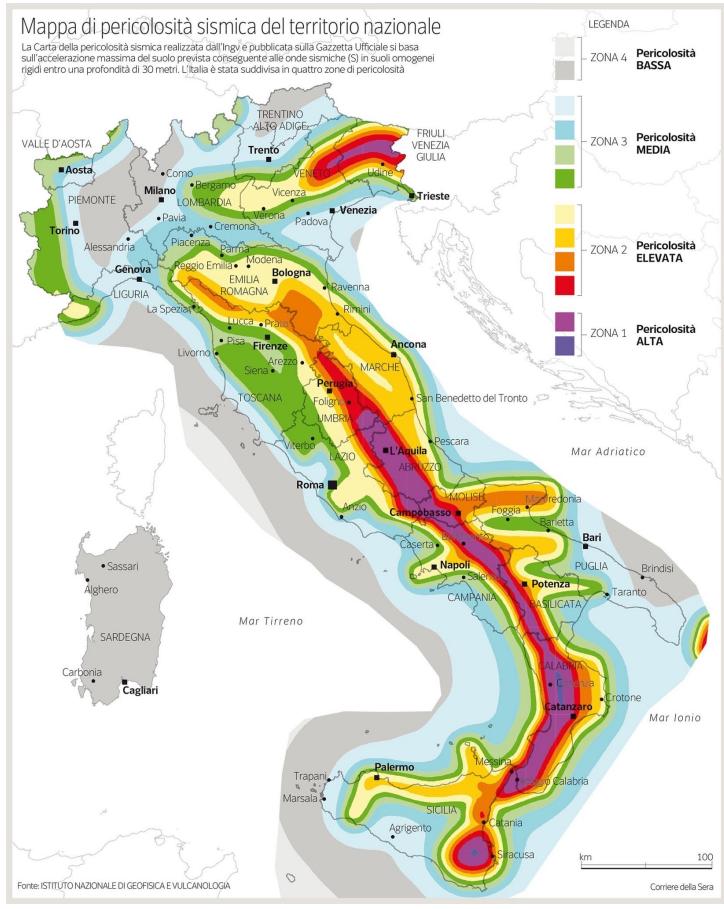
IUSS  
Scuola Universitaria Superiore Pavia

ROSE

CENTRE FOR TRAINING AND  
RESEARCH ON REDUCTION  
OF SEISMIC RISK

# Motivazione

- L'Italia ha un'alta esposizione ai rischi naturali che innescano disastri tecnologici (NaTech)



IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Progetto ROSSINI (2020-2022)

- ROSSINI - RischiO SiSmico in industrie a rischio di INcidente rilevante
- Finanziato da INAIL tramite il Bando Ricerche in Collaborazione (BRiC - 2019)
- Aveva come scopo la progettazione, realizzazione e la validazione sperimentale di un sistema prototipale ROSSINI
- Applicare la ricerca nei campi di ingegneria sismica e informatica per permettere la navigazione *risk-aware* in impianti industriali a rischio di incidente rilevante



**IUSS**

Scuola Universitaria Superiore Pavia



**EUCENTRE**  
FOR YOUR SAFETY.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

**INAIL**

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE  
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



**IUSS**

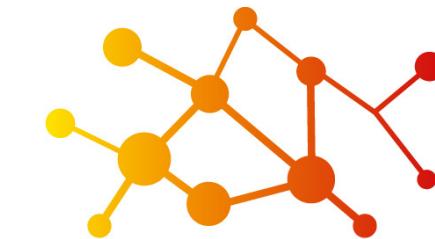
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Sommario

-  • Obiettivo
-  • Caso studio di un impianto industriale
-  • Tecnologie sensoristiche
-  • Modulo RIE strutturale
-  • Modulo RIE ambientale
-  • Implementazione del software di navigazione
-  • Conclusioni



**ROSSINI**  
risk-aware navigation



IUSS

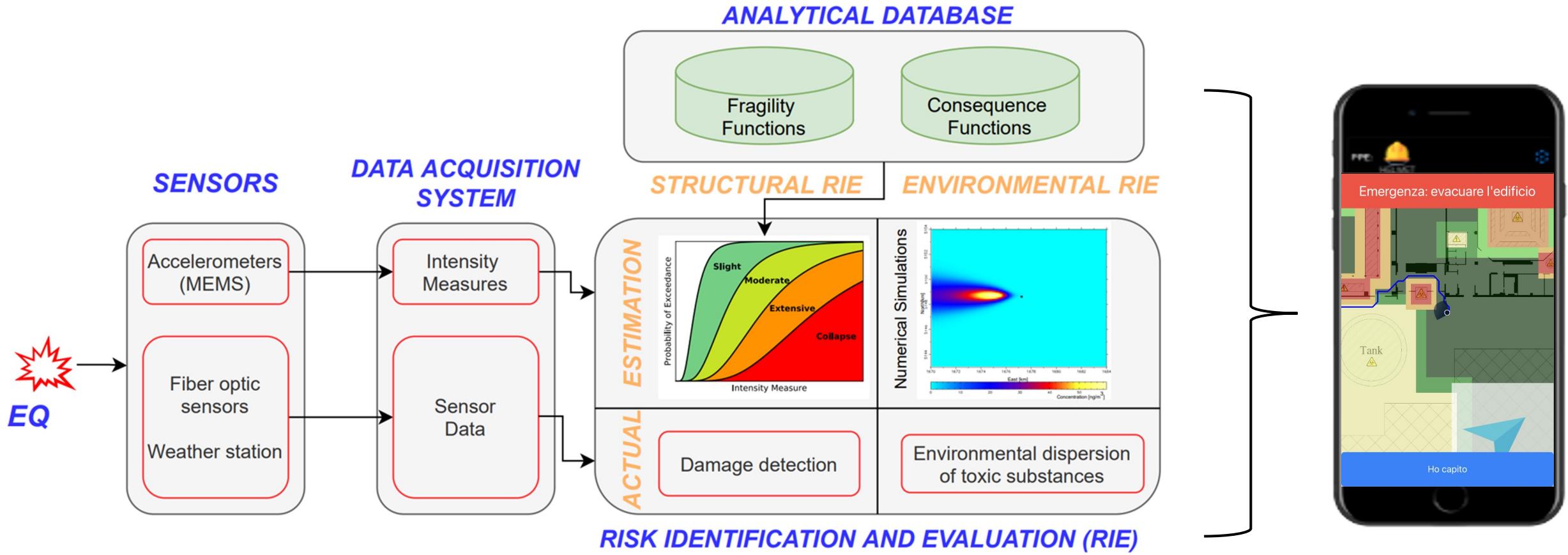
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Obiettivo

- Progettare, implementare e testare un prototipo di sistema di navigazione *risk-aware* al fine di gestire e mitigare il rischio sismico negli impianti industriali



IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

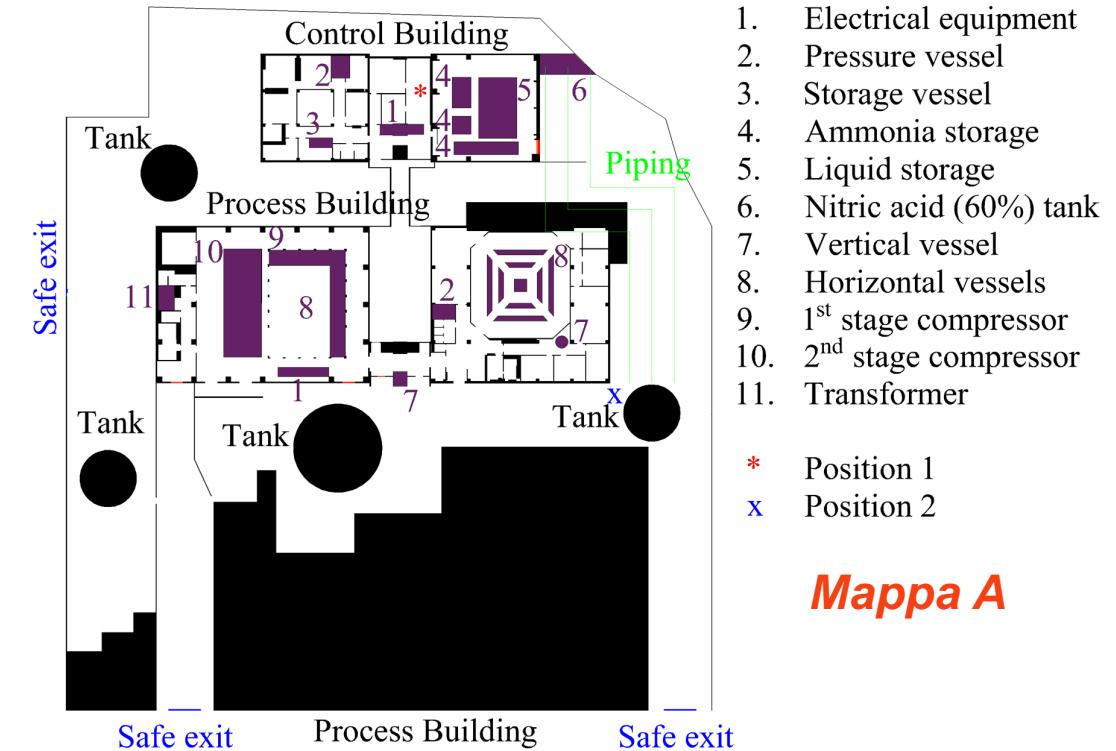
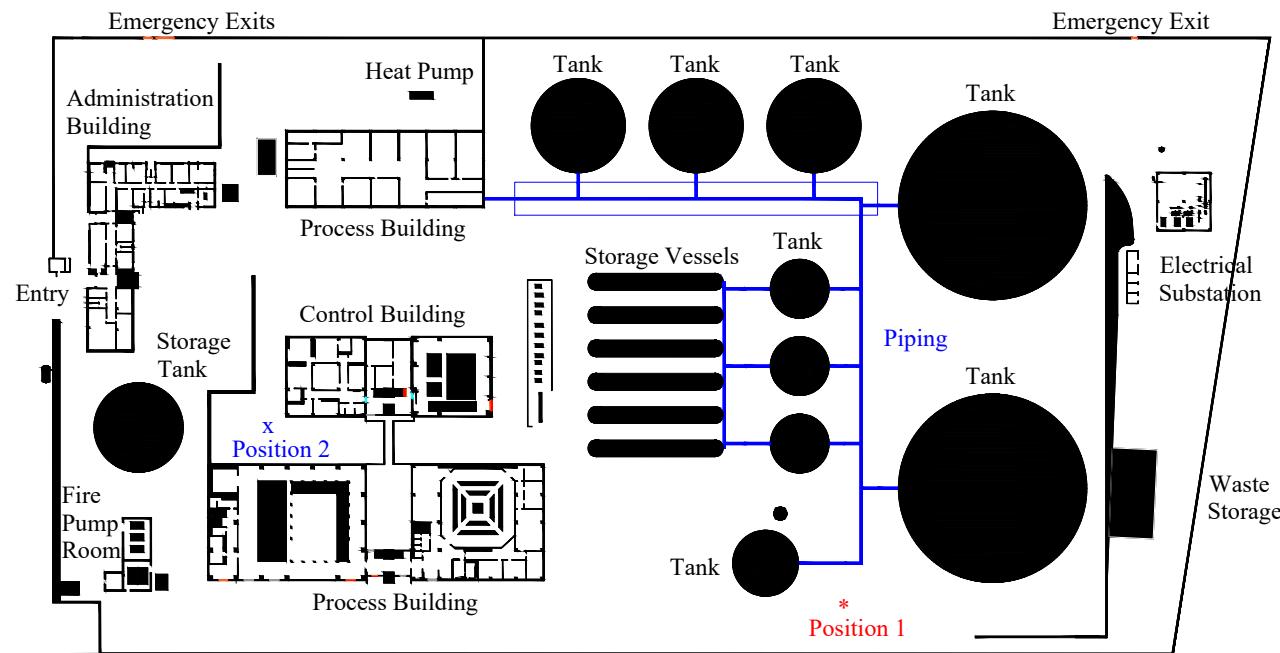
Roma

22 Maggio 2023

# Caso studio

- Mappa A - può essere utilizzata e testata facilmente nella realtà
- Mappa B - più estesa per mostrare le capacità del sistema ROSSINI

**Mappa B**



**Mappa A**



IUSS

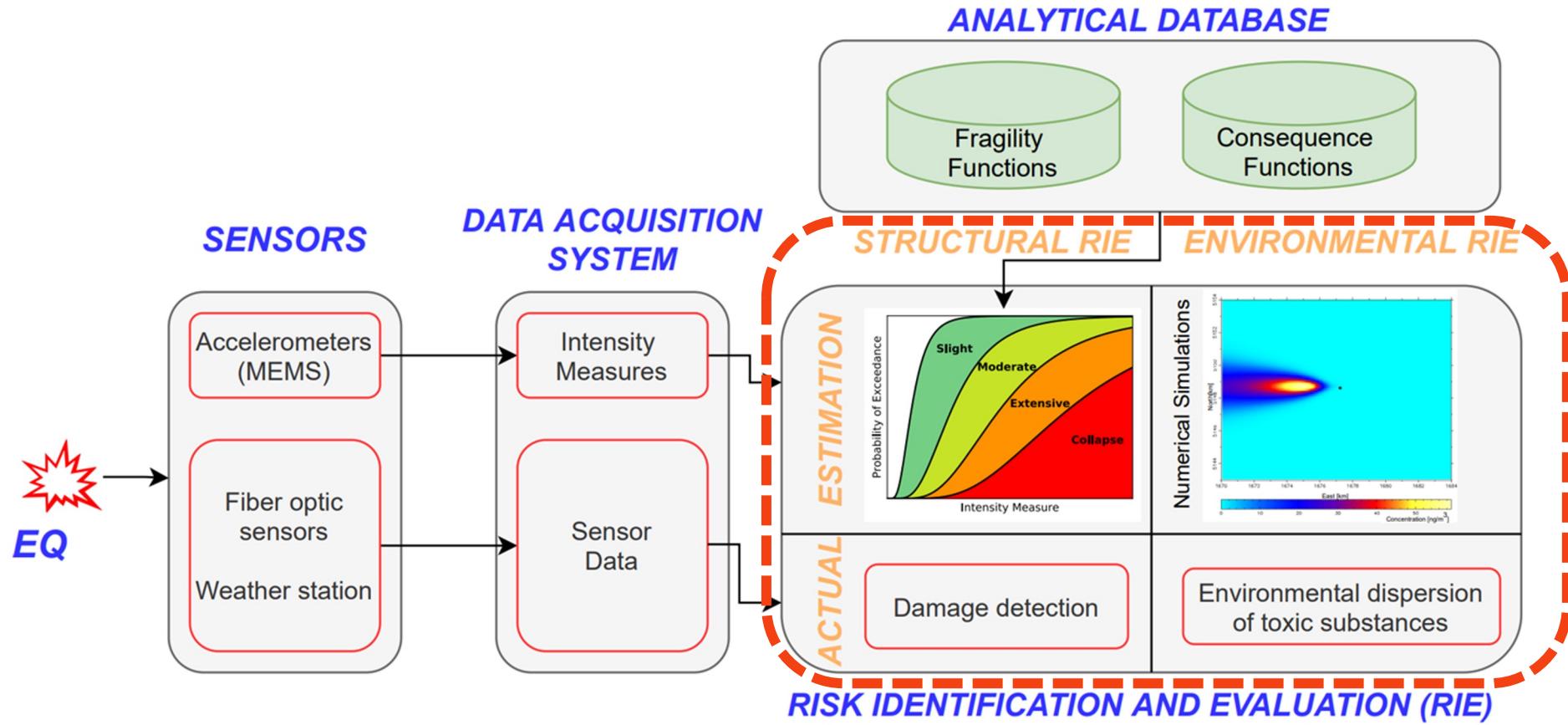
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

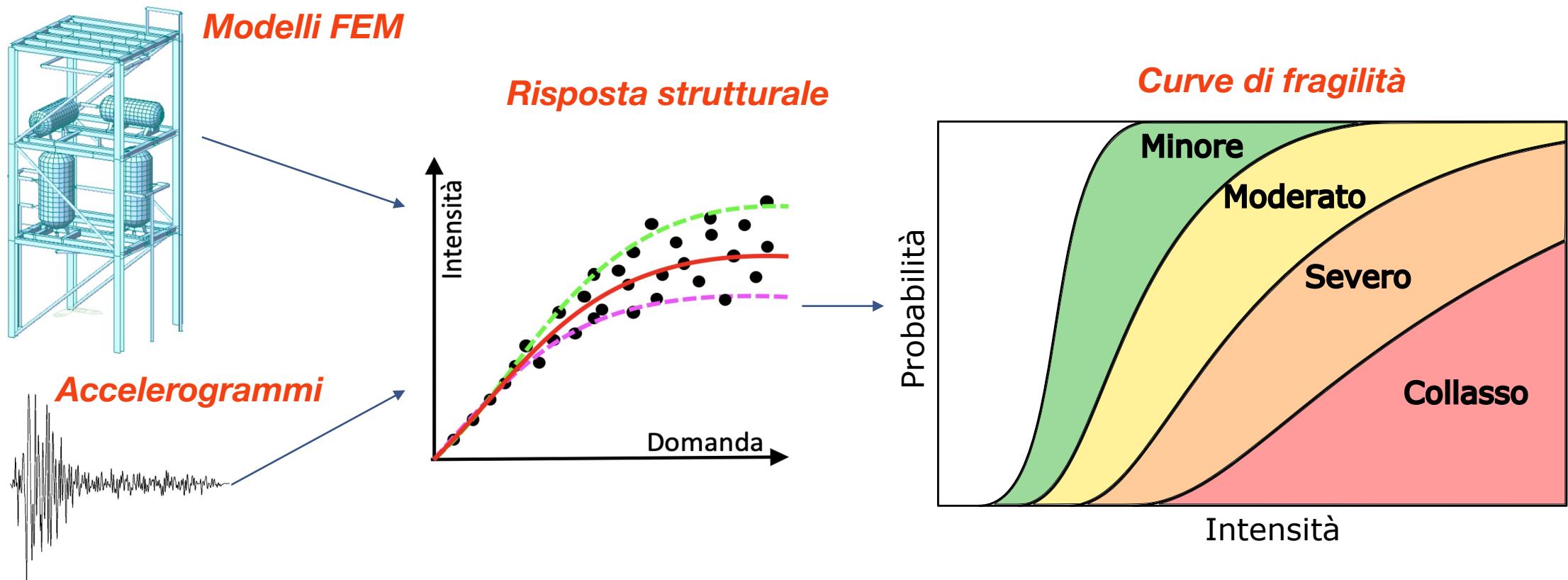
# Sistema di *Risk Identification and Evaluation (RIE)*

- Una volta individuato il caso studio, si passa a raccogliere i dati necessari per il sistema RIE



# Definizione di un database

- Vengono raccolti i parametri relativi agli elementi presenti
- Quando possibile, vengono sviluppati dei modelli FEM per la caratterizzazione di curve di fragilità



IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Definizione di un database

- Dopo l'individuazione degli elementi critici, verrà creato un database
- È stata fatta una analisi bibliografica per la definizione di un database di curve di fragilità opportuno

Parametri per curve di fragilità

Tipo	$\mu_1$	$\beta_1$	$\mu_2$	$\beta_2$	$\mu_3$	$\beta_3$
Elemento 1						
Elemento 2						
...						

## Impianti

Table 2  
Equipment replacement cost and seismic fragility parameters.

Eq. Label	Process Equipment	Replacement cost (€)	PGA <sub>m</sub> (g)	$\beta$	Damage state	Reference
E-1	Ammonia storage vessel	646,000	0.54	0.46	PL2	Horizontal Vessel [*]
E-2	Ammonia storage vessel	646,000	0.54	0.46	PL2	Horizontal Vessel [*]
E-3	Ammonia Vaporizer	70,000	0.54	0.46	PL2	Horizontal Vessel [*]
E-4	Filter	30,000	1.00	0.60	DS3	Mechanical Equipment [**]
E-5	Ammonia Superheater	34,000	0.54	0.46	PL2	Horizontal Vessel [*]
E-6	Mixer	30,000	1.00	0.60	DS3	Mechanical Equipment [**]
E-7	1-st Stage Air Compressor	1458,000	0.77	0.65	DS4	Compressor Station [**]
E-8	Compressor intercooler	61,000	0.54	0.46	DS4	Horizontal Vessel [*]
E-9	2-nd Stage Air Compressor	2722,000	0.77	0.65	DS4	Compressor Station [**]
E-10	Radiator	139,000	0.51	0.45	PL2	Vertical Vessel CL1 [*]
E-11	Radiator	139,000	0.51	0.45	PL2	Vertical Vessel CL1 [*]
E-12	Steam Super-Heater	74,000	0.54	0.46	PL2	Horizontal Vessel [*]
E-13	Waste Heat Boiler	86,000	0.54	0.46	PL2	Horizontal Vessel [*]

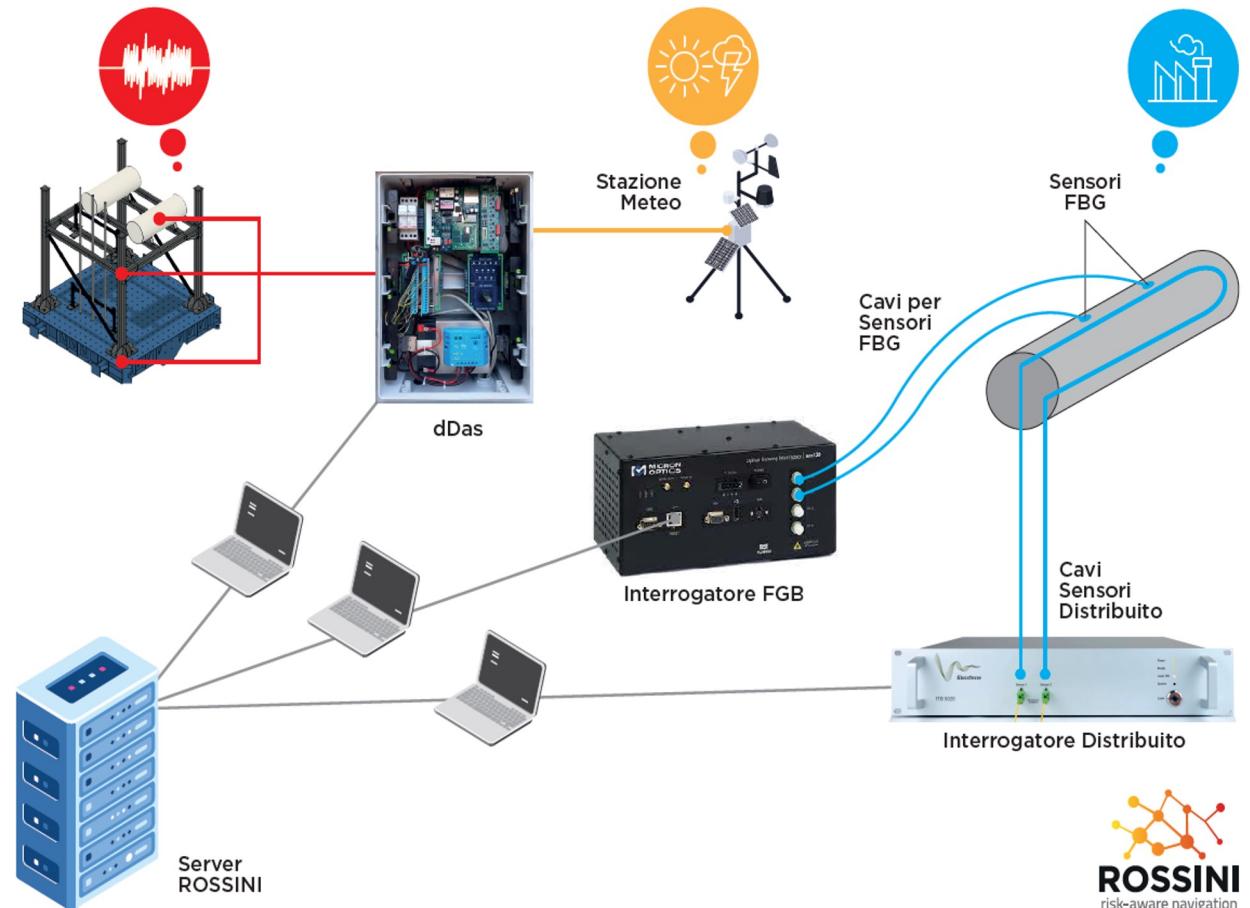
## Serbatoi

Table 6. Median and standard deviation for HAZUS fragility curves

Damage State	Unanchored		Anchored	
	$\mu(g)$	$\beta$	$\mu(g)$	$\beta$
Slight/minor	0.15	0.70	0.30	0.60
Moderate	0.35	0.75	0.70	0.60
Extensive	0.68	0.75	1.25	0.65
Complete	0.95	0.70	1.60	0.60

# Identificazione dei sensori

- La piattaforma ROSSINI è in grado di acquisire dati da diverse tecnologie sensoristiche, anche con caratteristiche radicalmente differenti
- In particolare sono stati previsti e integrati i seguenti sensori:
  - accelerometri triassiali (MEMS)
  - stazione meteo
  - sensori in fibra ottica di tipo Fibre Bragg Grating (FBG)
  - sensori in fibra ottica di tipo distribuito (Brillouin backscattering)



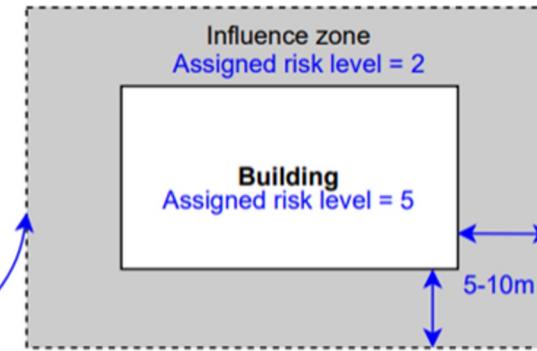
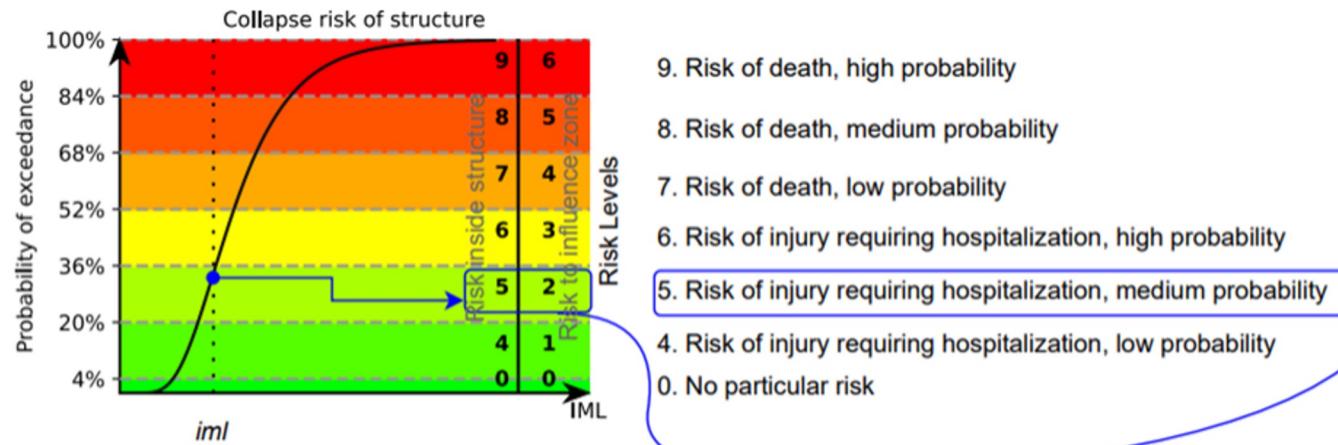
IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

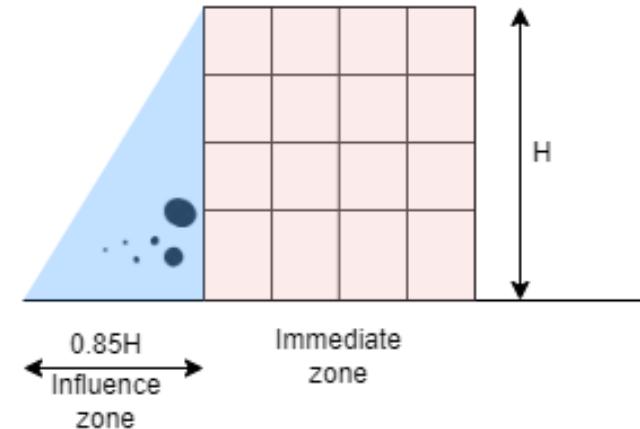
Roma

22 Maggio 2023

# Calcolo del rischio strutturale



- Vicinanza immediata e zona d'influenza
- I detriti cadono per il rischio esterno della stutura



IUSS

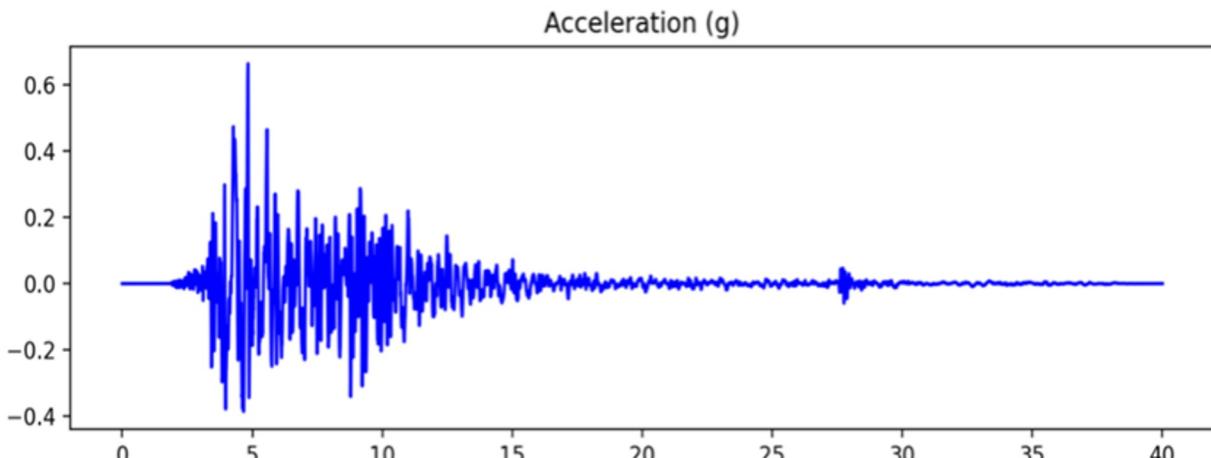
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

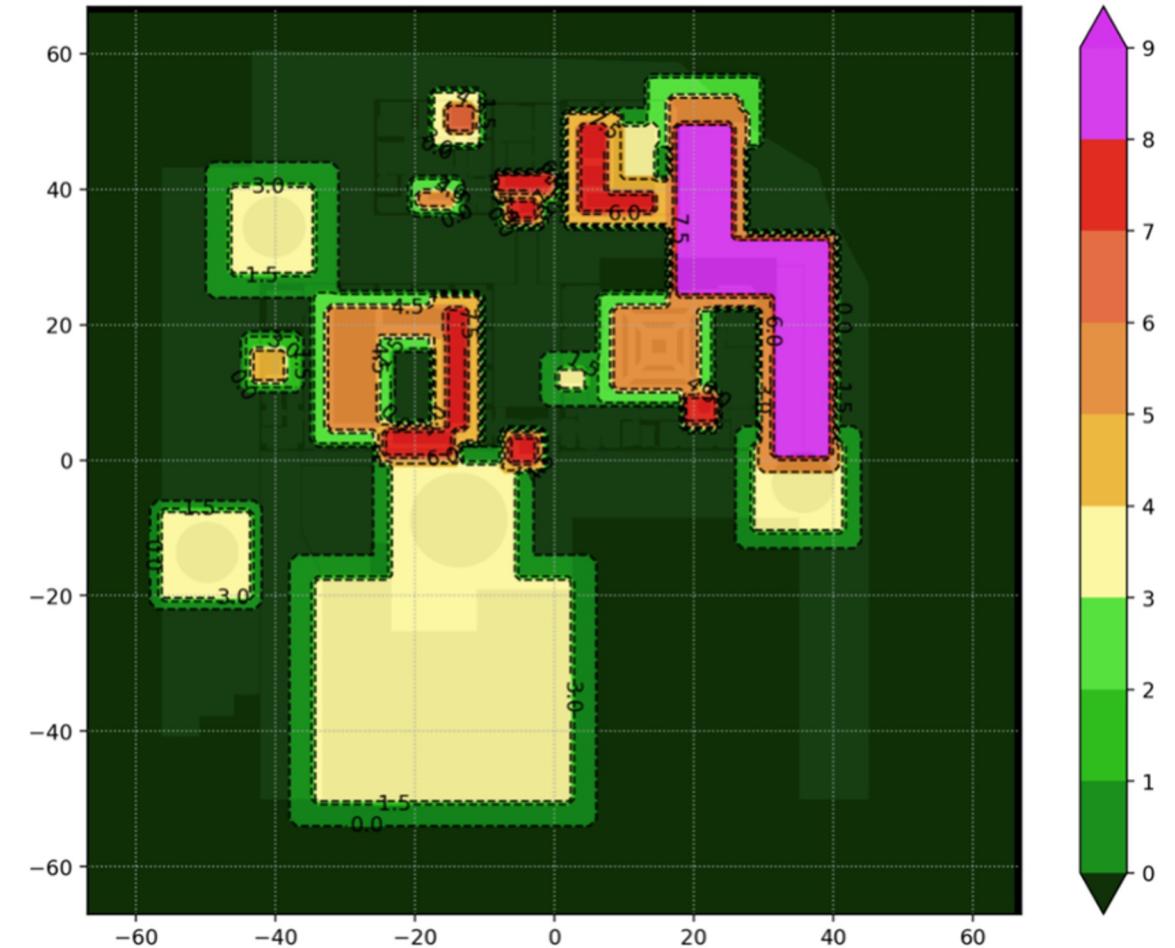
22 Maggio 2023

# Calcolo del rischio strutturale

- L'utilizzo del database per popolare la mappa
- Si vede un esempio dove si verifica un terremoto nella Mappa A
- Qui viene calcolato solo il rischio strutturale



Mappa di rischio inviata alla app di navigazione:



IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

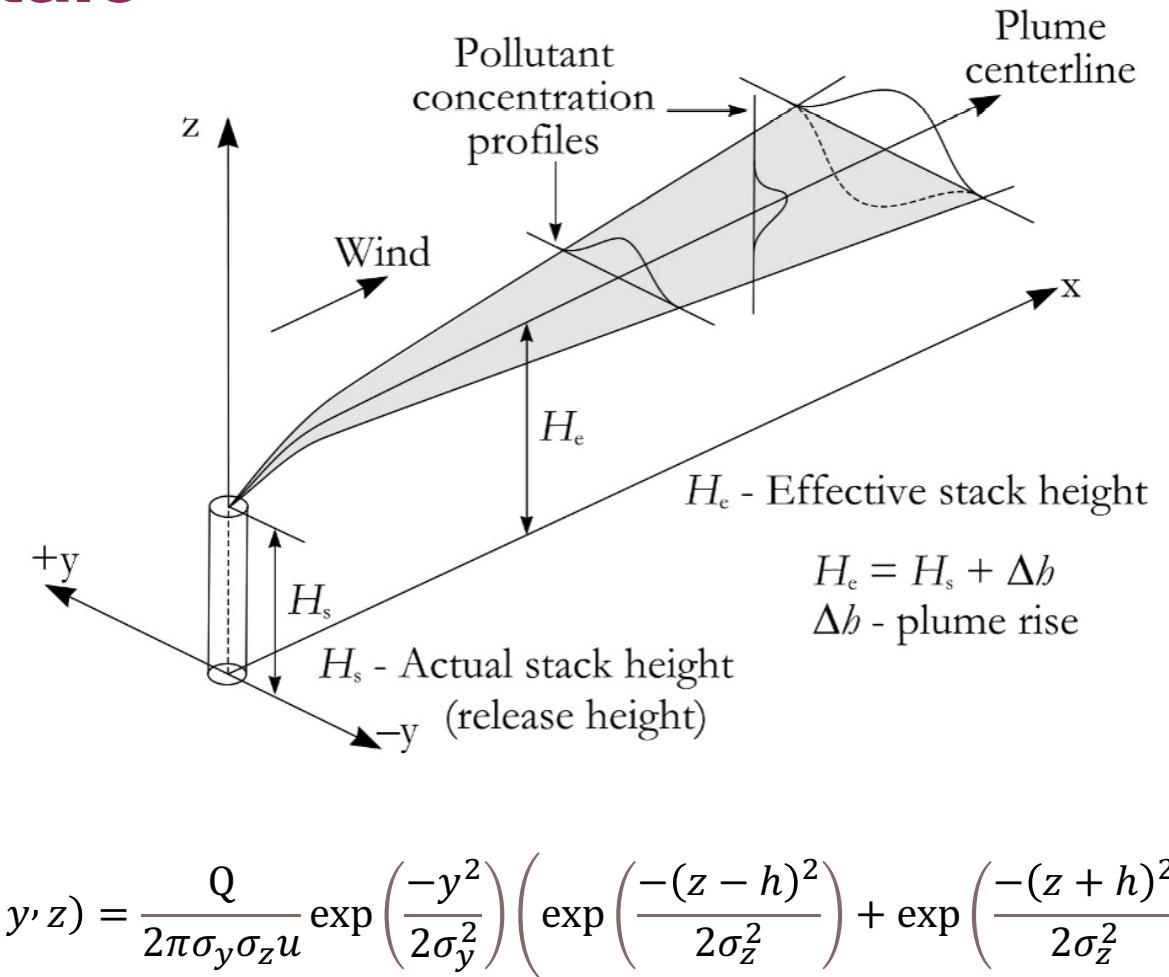
Roma

22 Maggio 2023

# Calcolo del rischio ambientale

- Modelli di dispersione atmosferica per simulare il rilascio di sostanze chimiche per prevedere i livelli di concentrazione nell'aria di materiali tossici
- Dati dei sensori e misurazioni meteorologiche, simulazioni per la stima del rischio

$$\dot{m}_{out} = A_t \omega = \begin{cases} A_t P \sqrt{\frac{kM}{RT}} \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \\ A_t P \sqrt{\left(\frac{2k}{k-1}\right) \frac{M}{RT}} \left(\frac{P_B}{P}\right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{P_B}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \end{cases}$$



IUSS

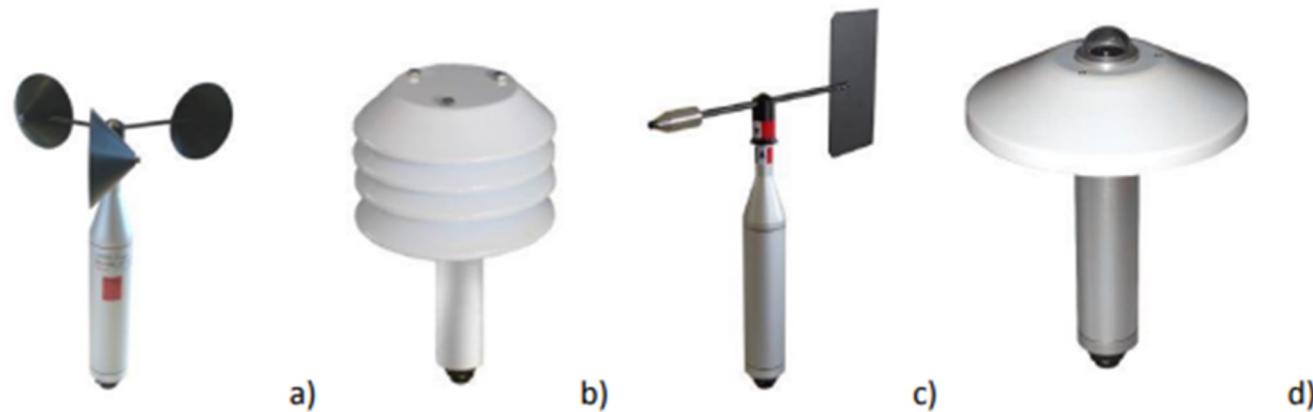
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

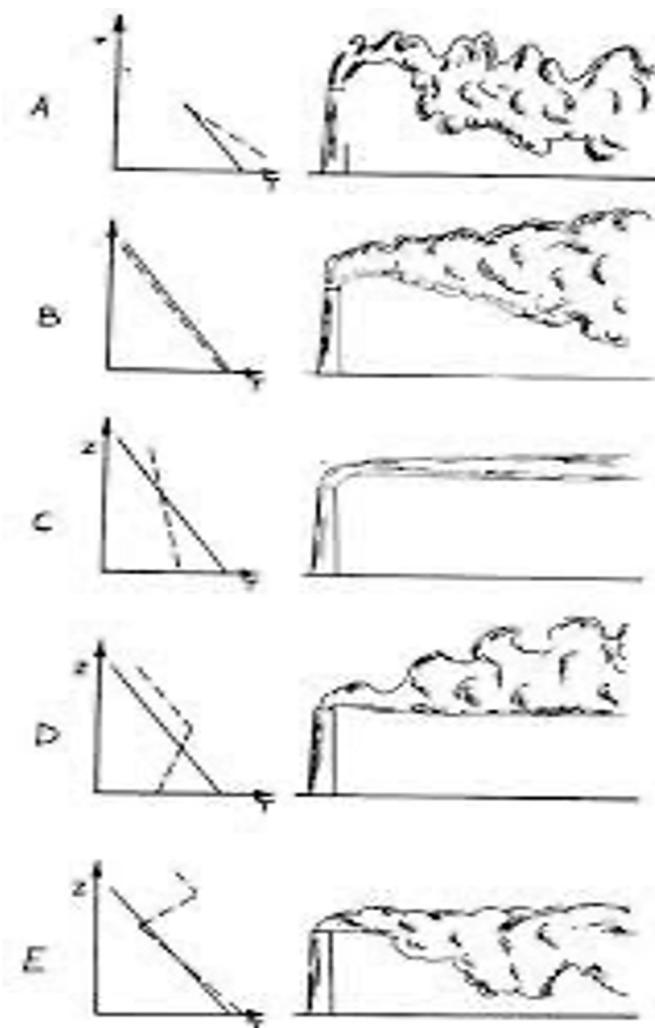
22 Maggio 2023

# Calcolo della dispersione ambientale

- Il calcolo viene fatto utilizzando i dati dalla stazione meteo
- I sensori meteo sono:
  - a) Sensore di velocità del vento
  - b) Sensore di umidità (termoigrometro)
  - c) Sensore di direzione del vento
  - d) Sensore di radiazione solare



- Si tratta della stabilità dell'atmosfera
  - In atmosfera instabile (elevata turbolenza) la massa di contaminante diffonde su un'area più estesa e
  - Nel caso di sorgente in quota, il massimo di concentrazione si localizza più in prossimità della sorgente rispetto al caso di atmosfera stabile (turbolenza contenuta)



IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Mappatura del valore di rischio sanitario

Level	Concentrazione (ppm)	Sintomi principali	Livello Tier	Livello di disabilità e tipo di intervento
0	0.1 - 5	Nessun effetto apprezzabile.	0	-
1	5-10	5 ppm di benzene è il limite di esposizione a breve termine (STEL, 15 min di esposizione) indicato dall'OSHA. Nessun effetto apprezzabile osservato in soggetti esposti per un breve periodo di tempo	0	-
2	10-25	Precedente valore del limite professionale (ACGIH)	1	Può essere gestito a livello pre-ospedaliero
3	25-52	Lievi effetti locali (ad esempio pelle, occhi, irritazione polmonare) attesi in soggetti sensibili	1	Può essere gestito a livello pre-ospedaliero
4	52-100	Soglia per alterazioni sistemiche lievi e transitorie attese in individui esposti fino a 1 ora; nausea, sonnolenza, lieve mal di testa, affaticamento, reazione psicologica agli stimoli olfattivi	2	Richiede ricovero ospedaliero
5	100-300	Sonnolenza pronunciata, vertigini, mal di testa, alterazioni dello stato mentale iniziale (euforia), irritazione polmonare, oculare e dermica	2	Richiede ricovero ospedaliero
6	300-800	Sintomi eccitatori seguiti da sonnolenza pronunciata, barcollamento, debolezza. Compromissione della capacità di adottare azioni protettive.	3	Richiedono una pronta ospedalizzazione e un supporto di terapia intensiva, soprattutto nei soggetti che presentano alterazioni neurologiche e cardiache
7	800-1,000	Sensibilizzazione cardiaca che si manifesta per oppressione toracica in individui predisposti (ad es. malattie cardiovascolari preesistenti), visione offuscata.	4	Richiede misure di stabilizzazione e rianimazione in loco
8	1,000-4,000	Soglia per effetti potenzialmente letali nella maggior parte degli individui esposti. Sensibilizzazione cardiaca, aritmie, depressione del SNC, perdita di conoscenza, respirazione affannosa, polmonite emorragica, riduzione del numero di cellule del sangue, letalità nella maggior parte dei soggetti suscettibili	4	Richiede misure di stabilizzazione e rianimazione in loco
9	> 4,000	Grave depressione del SNC, coma, paralisi, convulsioni, edema polmonare non cardiogeno, letalità.	4	Richiede misure di stabilizzazione e rianimazione in loco

## Fonti di informazione:

- Emerging Response Planning Guidelines for Benzene, ERPG (Source: AIHA - Emergency Response Planning Committee)
- Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) (Source: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/>)
- Immediately Dangerous to Life (IDLH) concentration (NIOSH)
- NIOSH Recommended Exposure Limits (REL): Time Weighted Average Limit (TWA), Short-term Exposure Limit (STEL)
- OSHA Permissible Exposure Limits (PEL) (Source: <https://www.osha.gov/annotated-pels>)
- ACGIH Occupational Exposure Limits



IUSS

La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

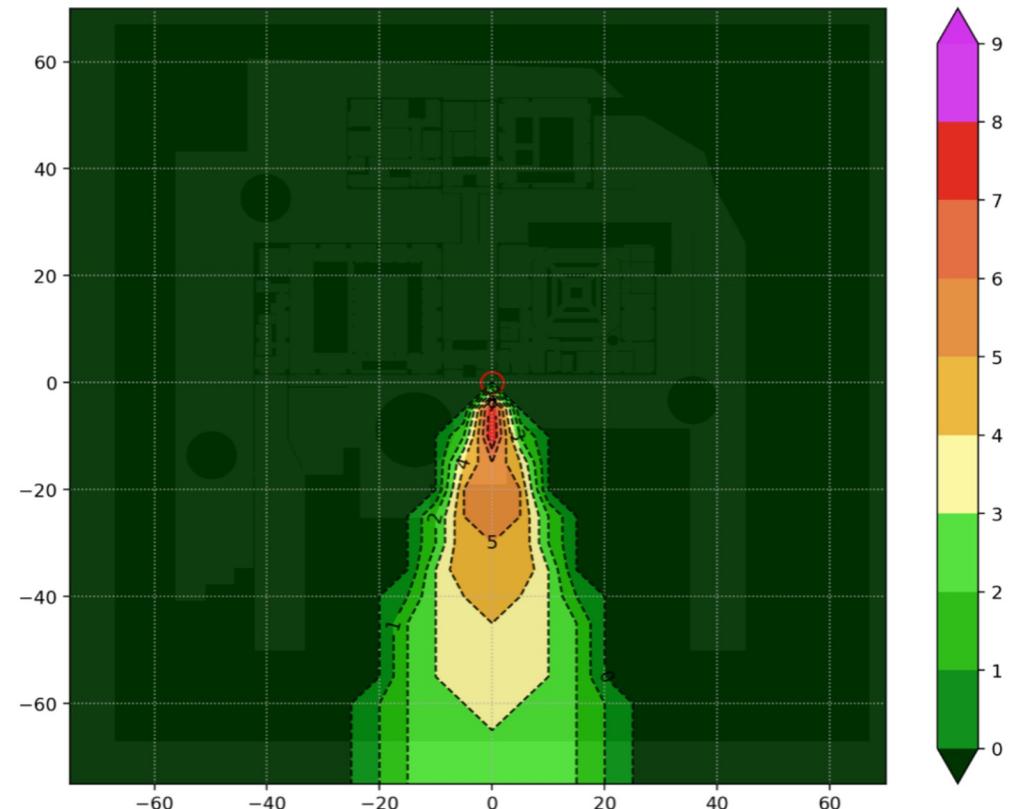
Roma

22 Maggio 2023

# Calcolo del rischio ambientale

- Utilizzando i dati dei sensori su eventuali rilasci si stima la dispersione ambientale di una sostanza
- Questo calcolo viene fatto in diretta sul server ROSSINI
- Seguendo la mappatura del valore di rischio sanitario si arriva ad una mappa di rischio ambientale da navigare
- Si vede un esempio semplice di un singolo rilascio che crea una *plume* di rischio in base alle condizioni meteorologiche

Risk levels forecast in 1 hour:



IUSS

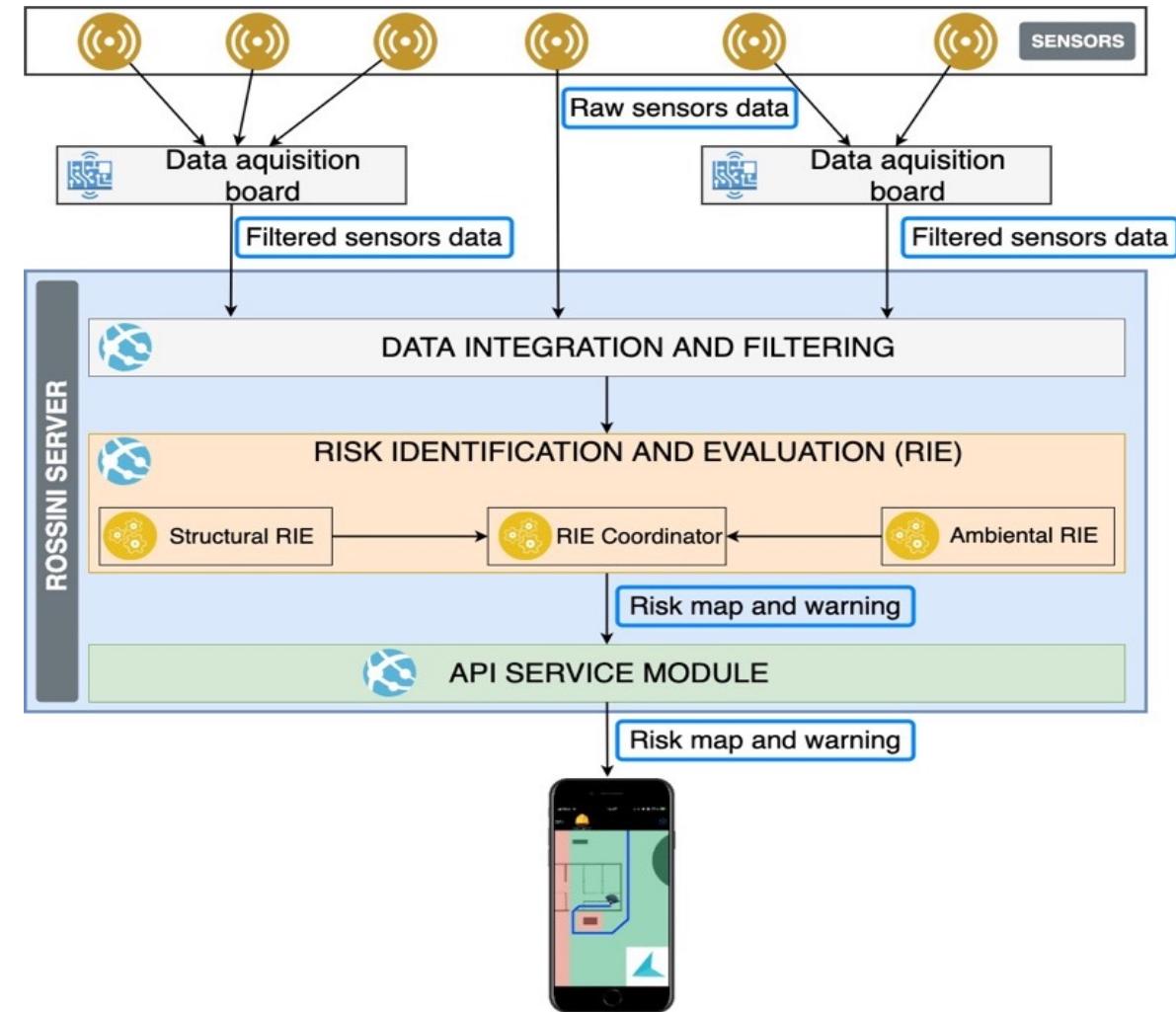
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Implementazione del software di navigazione

- Utilizza vari tipi da dati da diversi fonti per stimare il rischio
- Tutto viene integrato nei moduli di *risk identification and evaluation (RIE)*
- Client mobile che esegue l'applicazione che guida il lavoratore
- Set di sensori che comunicano con il server ROSSINI direttamente o tramite una scheda di acquisizione dati
- Server ROSSINI per l'acquisizione dei dati dai sensori, l'integrazione e il calcolo della mappa del rischio combinato



# Sistema di navigazione

- È stato realizzato con tecniche di cloud-computing un servizio che acquisisce i dati di rischio e che permette il calcolo del percorso nell'area industriale sulla base di tale rischio
- È stata realizzata un'applicazione di navigazione per dispositivi mobili in grado fornire indicazioni chiare anche nelle situazioni di emergenza
- Funziona anche nel caso in cui l'infrastruttura (es: trasmissione dati) sia parzialmente o totalmente compromessa



IUSS

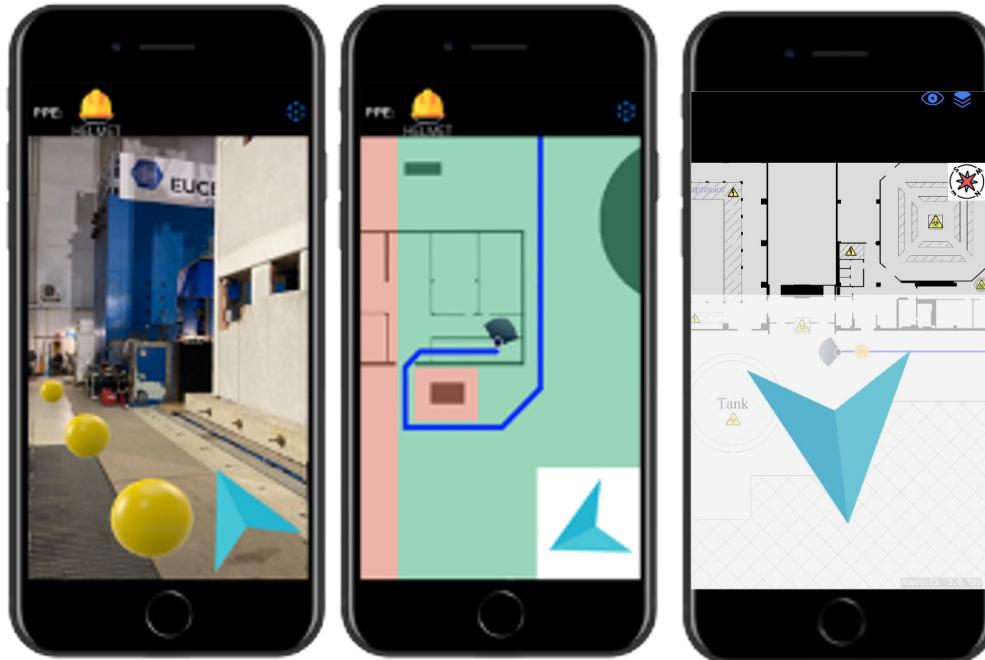
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Cliente mobile

- La navigazione avviene tramite tecniche multimodali, per essere maggiormente robusta in caso di scarsa visibilità:
  - 3 visualizzazioni
    - navigazione egocentrica in AR
    - navigazione allocentrica
    - navigazione egocentrica



IUSS

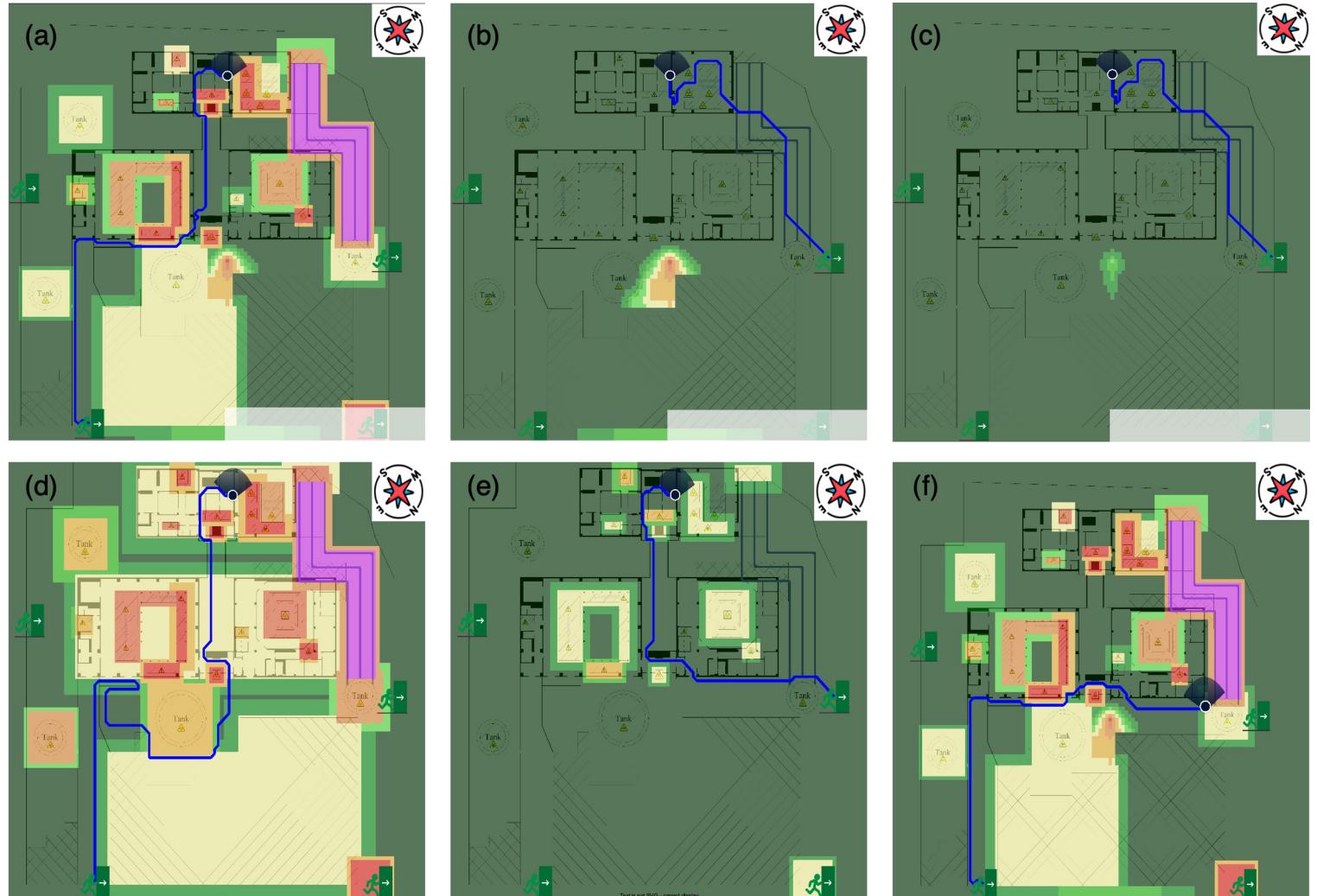
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

# Scenari sulla Mappa A

- La Mappa A è stata utilizzata come esempio da navigare nella realtà
- Serviva per testare e perfezionare il prototipo del sistema ROSSINI
- Si vede:
  - diversi casi di terremoti (rischio strutturale)
  - diversi scenari di rilasci (rischio ambientale)



IUSS

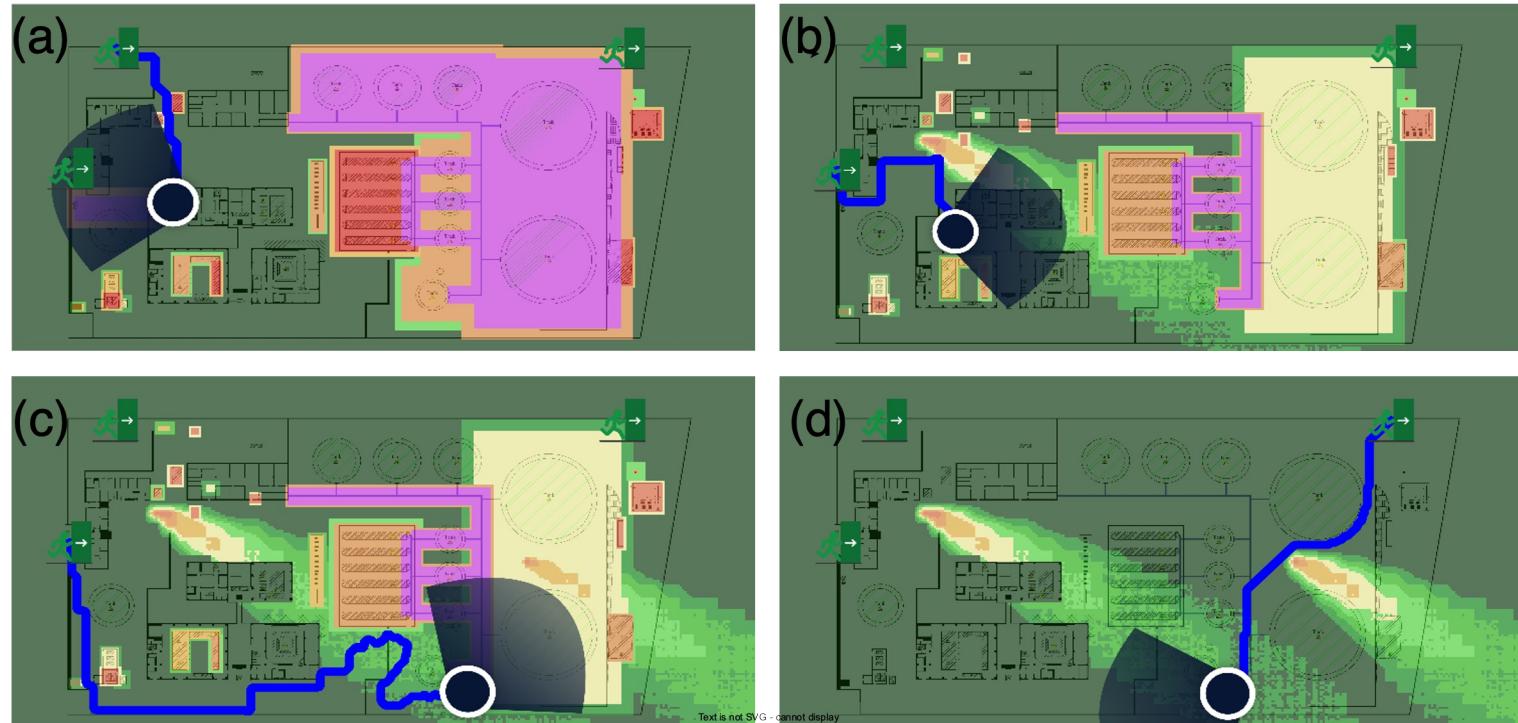
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023

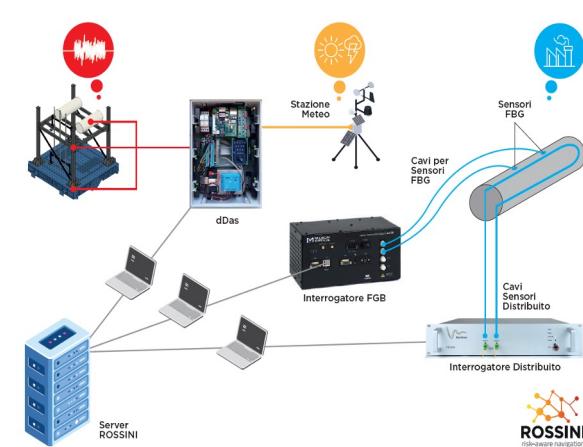
# Scenari sulla Mappa B

- La Mappa B invece è stata utilizzata come esempio per mostrare le capacità del Sistema ROSSINI
- Serviva per mostrare la scalabilità del prototipo



# Conclusioni

- Abbiamo visto un esempio dell'applicazione della ricerca nei campi di ingegneria sismica e informatica
- Il risultato di questa sinergia tra i vari partner del progetto è stato il sistema ROSSINI
- Permette la navigazione *risk-aware* in impianti industriali a rischio di incidente rilevante
- Questo è stato un caso studio che si appoggiava su tante ricerche attuali di letteratura
- Testando il prototipo su vari casi studio ha mostrato la funzionalità e scalabilità
- Rappresenta un esempio su come possa essere utilizzata la ricerca nella gestione del rischio NaTech



# Disseminazione

- Per sapere di più...

- O'Reilly GJ, Shahnazaryan D, Dubini P, Brunesi E, Rosti A, Dacarro F, Gotti A, Silvestri D, Mascetti S, Ducci M, Ciucci M, Marino A (2023). Risk-aware navigation in industrial plants at risk of NaTech accidents. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88, 103620.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103620>

International Journal of Disaster Risk Reduction 88 (2023) 103620

 Contents lists available at ScienceDirect  
International Journal of Disaster Risk Reduction  
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ijdrr](http://www.elsevier.com/locate/ijdrr)



Risk-aware navigation in industrial plants at risk of NaTech accidents

Gerard J. O'Reilly <sup>a,\*</sup>, Davit Shahnazaryan <sup>a</sup>, Paolo Dubini <sup>b</sup>, Emanuele Brunesi <sup>b</sup>, Annalisa Rosti <sup>b</sup>, Filippo Dacarro <sup>b</sup>, Alberto Gotti <sup>b</sup>, Davide Silvestri <sup>b</sup>, Sergio Mascetti <sup>c</sup>, Mattia Ducci <sup>c</sup>, Mariano Ciucci <sup>d</sup>, Alessandra Marino <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia, Pavia, Italy  
<sup>b</sup> European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering (EUCENTRE), Pavia, Italy  
<sup>c</sup> Università Degli Studi di Milano, Milan, Italy  
<sup>d</sup> National Institute for Insurance Against Accidents at Work (INAIL)/DIT, Rome, Italy

---

**ARTICLE INFO**

**Keywords:**  
Risk-aware navigation  
Sensors  
Industrial plants  
Structural risk  
Environmental risk

**ABSTRACT**

Industrial plants are susceptible to NaTech disasters during earthquakes caused by damage to structural and non-structural components and the potential release of toxic materials. To mitigate and manage this risk, the ROSSINI project was initiated and its results are described here for what concerns industrial plant worker safety and their risk-based navigation in emergency situations. The project includes a data acquisition system consisting of a data acquisition board and an array of different sensor technologies, which process the seismic event and other meteorological information before passing them as inputs towards the risk identification and evaluation (RIE) modules. Here, the risks associated with structural and non-structural damage and health risks associated with the release of harmful substances are estimated and combined to form a navigable risk map. This map is used within a purpose-built risk-based navigation application for the safe egress of workers from an industrial plant. To demonstrate the implementation of this system, two case-study industrial plant layouts consisting of buildings, non-structural components, liquid storage tanks, piping systems, and chemical storage vessels, were devised. This paper describes the project's implementation in these contexts and illustrates the results via several example scenarios.



IUSS

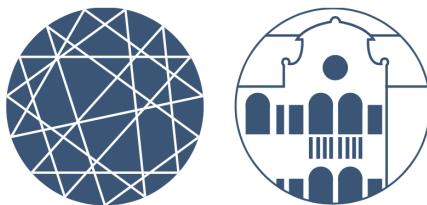
La ricerca nel campo della gestione del rischio NaTech da sisma  
Gerard J. O'Reilly

Roma

22 Maggio 2023



Grazie



IUSS  
Scuola Universitaria Superiore Pavia

**ROSE**  

---

CENTRE FOR TRAINING AND  
RESEARCH ON REDUCTION  
OF SEISMIC RISK