

**Seminario «Rischio NATECH e aziende a rischio di incidente rilevante: stato dell'arte e prospettive future»**

*Scuole Centrali Antincendi Roma, 30 novembre 2023*

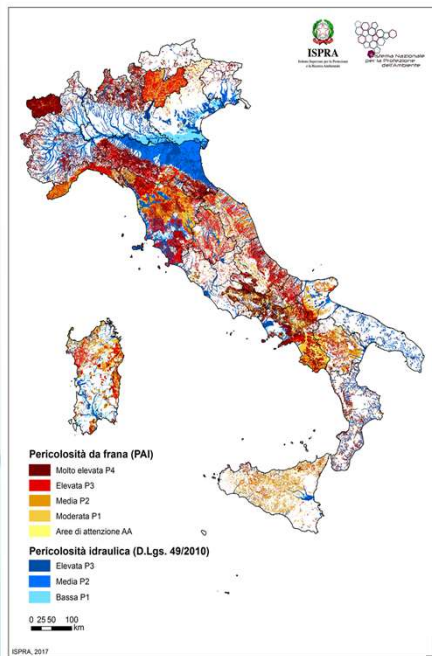
**INAIL**

## **La ricerca nel campo della prevenzione e gestione del rischio NaTech da eventi idrogeologici negli stabilimenti PIR**

**Alessandra Marino**

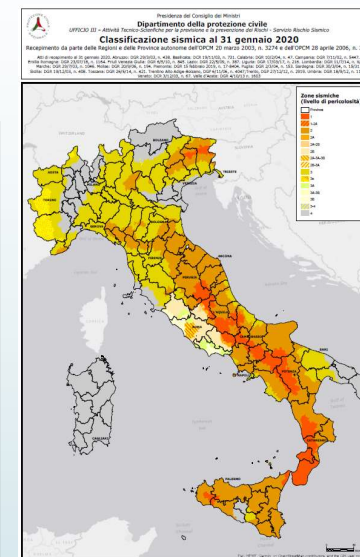
Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti prodotti e insediamenti antropici

**Mappa nazionale del dissesto idrogeologico**

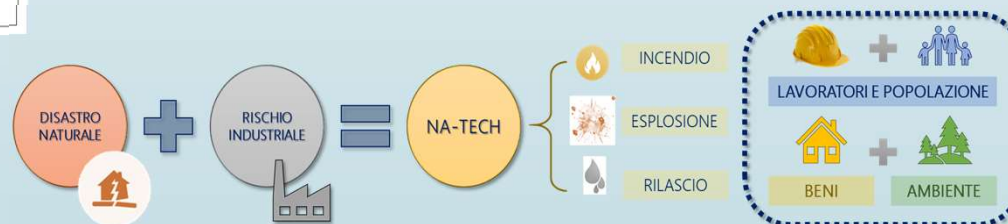
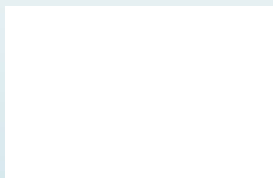
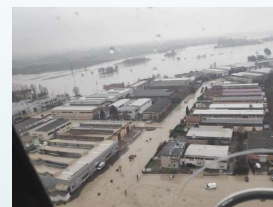


## La quasi totalità degli stabilimenti PIR (soggetti al D.lgs. 105/2015) è esposto al Rischio NaTech

**Classificazione sismica del territorio italiano**



**Distribuzione stabilimenti PIR sul territorio italiano**



# PROBLEMATICHE CORRELATE AGLI EVENTI NATECH

L'evento NaTech investe tutto lo stabilimento causando più danni contemporaneamente con conseguenti scenari incidentali simultanei

**SI POSSONO VERIFICARE  
RILASCI DI SOSTANZE  
PERICOLOSE DA UNA O IN  
PIÙ FONTI ALL'INTERNO DI  
UN'AZIENDA O DI PIÙ  
AZIENDE CON **EVENTUALE  
EFFETTO DOMINO**  
NELL'AREA DI IMPATTO DEL  
DISASTRO NATURALE**



**INCREMENTO DELLA  
FREQUENZA DEGLI  
INCIDENTI RILEVANTI**

**I SISTEMI DI  
SICUREZZA E  
MITIGAZIONE  
POTREBBERO  
ESSERE  
INDISPONIBILI  
PERCHÉ  
DANNEGGIATI  
DALL'EVENTO  
NATURALE.**



**CONSEGUENZE  
PIÙ SEVERE**

- **impegno contemporaneo delle risorse preposte alla gestione dell'emergenza**
- **possibili problemi delle infrastrutture e della viabilità**

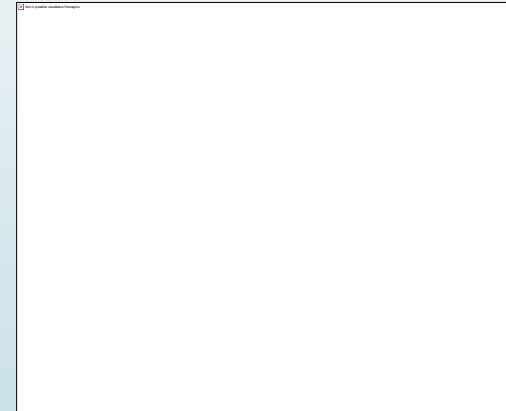


## DEFINIZIONE DEL RISCHIO NATECH NEGLI STABILIMENTI PIR



**RISCHIO = PERICOLOSITÀ X VULNERABILITÀ X ESPOSIZIONE (CONSEGUENZE)**

- la **pericolosità** esprime l'entità del fenomeno e la probabilità che si manifesti;
- la **vulnerabilità** esprime il danno atteso sullo stabilimento;
- le **conseguenze** si esprimono come il danno atteso.



Per ridurre il rischio si deve agire sui tre fattori (pericolosità, vulnerabilità e conseguenze), ricercando la miglior combinazione in termini di costi/ benefici.

# RISCHIO IDROGEOLOGICO

...è un termine complesso che attualmente presenta diverse definizioni anche in contrasto tra loro

I fenomeni di **dissesto idrogeologico** sono fenomeni naturali legati all'azione di una **forzante idraulica**, che determinano in un dato momento l'alterazione degli equilibri esistenti.



Il **pericolo idrogeologico**, nell'ambito del **D.Lgs. 105/2015**, ricomprende in particolare, i pericoli derivanti dalle **alluvioni** e/o dalle **frane**:

**Gli eventi idrogeologici possono causare gravi danni agli stabilimenti, provocare il rilascio accidentale di sostanze pericolose ed eventualmente innescare un incidente rilevante.**

# PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA

Il **pericolo** correlato ad eventi idrogeologici non può essere mai completamente eliminato



prepararsi in anticipo a **limitarne l'impatto**



**studio conoscitivo della pericolosità** del sito



- **pianificazione** dedicata che tenga conto che un evento di questo tipo potrebbe innescare o rendere più grave un incidente rilevante, in maniera diretta o indiretta
- **adeguamento** del rapporto di sicurezza, dell'analisi di rischio e del SGS-PIR
- **misure necessarie per prevenire o limitare le conseguenze** per la salute umana e l'ambiente.

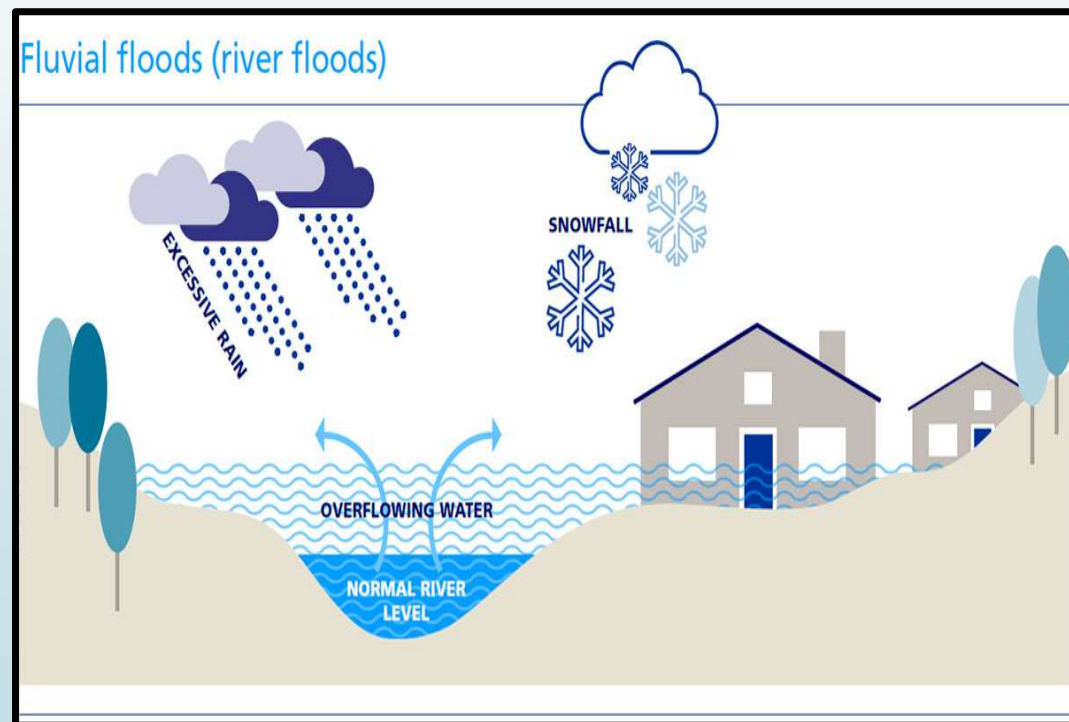


# Classificazione e pericolosità da alluvione

**Alluvione:** allagamento temporaneo, anche con trasporto ovvero mobilitazione di sedimenti, di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua [Fonte: D.Lgs 49/2010]

**Pericolosità da alluvione:** Probabilità di accadimento di un evento alluvionale in un intervallo temporale prefissato e in una certa area

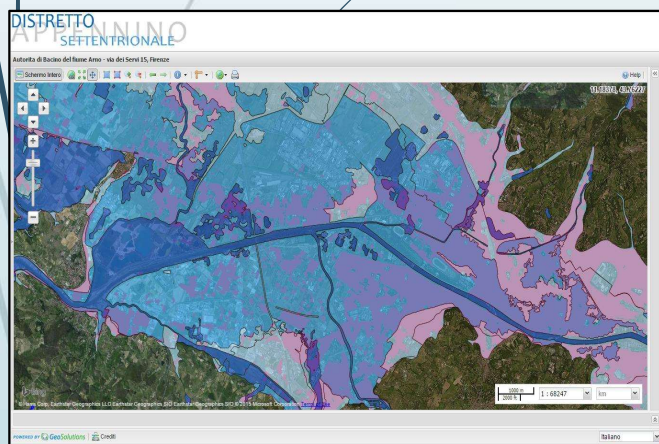
Tipologie di inondazione	Profondità	Velocità	Intervallo di allerta	Durata	Vie di flusso /deflusso
	secondo la conformazione della valle; le aree protette da argini possono essere profonde	aumentare i danni			
fiumi di minori dimensioni	varia notevolmente secondo la conformazione della valle; le aree protette da argini possono essere profonde	-elevata nei tratti più ripidi del corso d'acqua: sono possibili danni dovuti alla velocità - bassa nelle aree pianeggianti - bassa nelle aree di espansione	breve; molto breve in aree scoscese	breve: da meno di 1 giorno a diversi giorni  flash flood (alluvione improvvisa) in aree ripide: < 3 ore	straripamento dalle sponde
letti asciutti di corsi d'acqua	fronte di onda alto; rigurgiti in corrispondenza delle ostruzioni	elevata: sono possibili danni dovuti alla velocità	breve (poche ore al massimo)	breve: da meno di 1 giorno a diversi giorni.	flash flood (alluvione improvvisa)
riflusso interno dietro le protezioni dalla piena	livello basso (< 1 metro)	bassa: la velocità non dovrebbe aumentare i danni	breve, ma variabile con il tipo di piena	più lunga: varia con il tipo di piena	1-pioggia o riflusso interno 2-infiltrazioni al di sotto di argini o diga marittima
costiera	da 5 a 10 metri superiore al livello di alta marea	elevata vicino alla costa; sono possibili danni dovuti alla velocità	-formazione della tempesta: fino ad 1 settimana; -fase di azione per lo stabilimento: da 2 a 3 giorni prima dell'arrivo a terra;	breve: ore	acque di mare spinte sulla terraferma



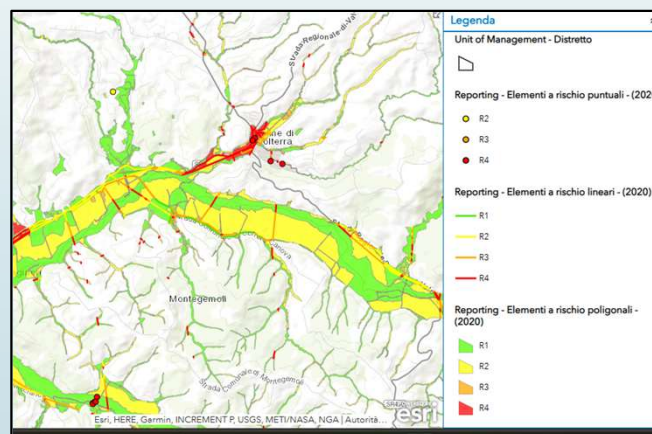
# Classificazione e pericolosità da alluvione

## Strumenti disponibili:

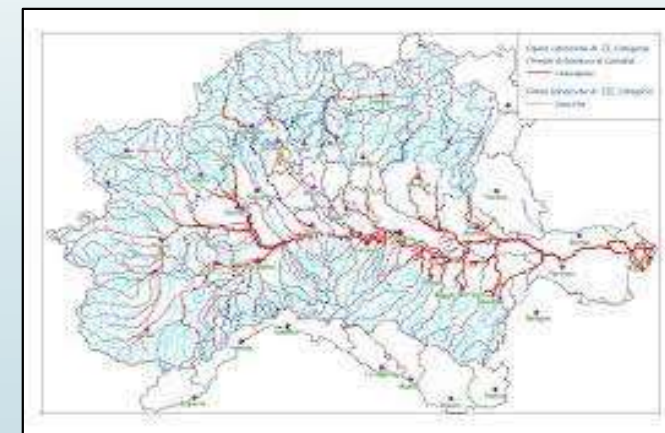
- Mappe di pericolosità da alluvione– Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)
- Mappe di pericolosità idraulica secondo gli scenari del D.Lgs. 49/2010 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.
- Mappa dell'idrografia del territorio circostante



PAI - Arno



PGRA - Volterra



Mappa idraulica - Po



# Classificazione e pericolosità da alluvione

## Parametri:

- Altezza della colonna d'acqua;
- Velocità dell'acqua.

Scenario	Pericolosità	Tempo di ritorno
H-Elevata probabilità di alluvioni	P3	10-20 anni
M-Media probabilità di alluvioni	P2	100-200 anni
L-Bassa probabilità di alluvioni	P1	500 anni

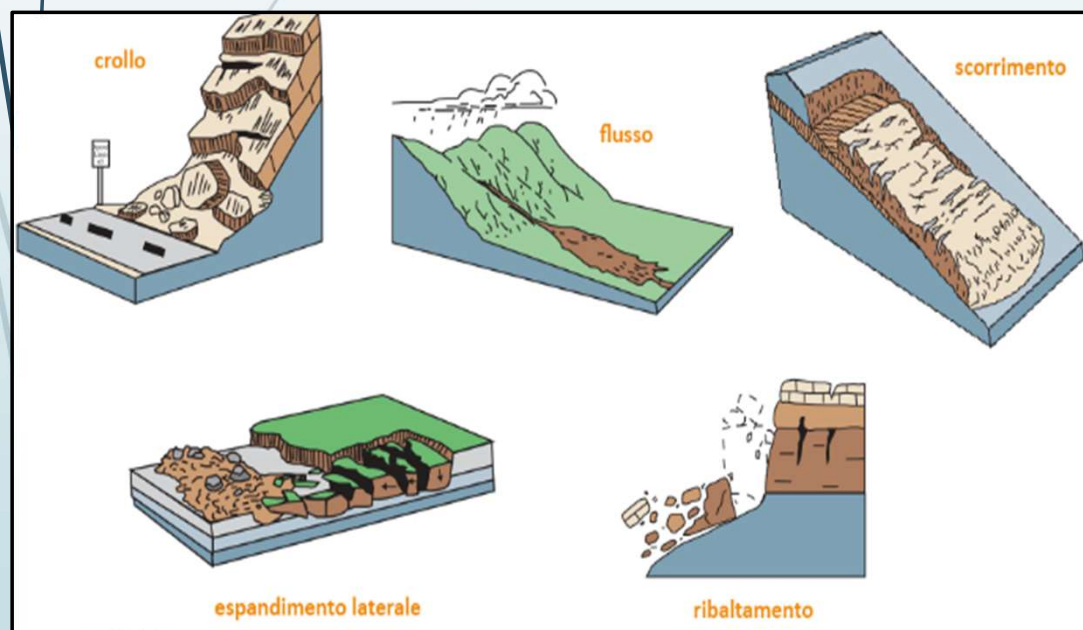
Rischio molto elevato	R4
Rischio elevato	R3
Rischio medio	R2
Rischio moderato	R1

Matrice del rischio idraulico			
Classi	P3	P2	P1
Danno molto elevato D4	R4	R3	R2
Danno elevato D3	R4	R3	R1
Danno medio D2	R3	R2	R1
Danno lieve D1	R1	R1	R1

# Classificazione e pericolosità da frana

**Frana:** movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante [*Cruden, 1991*].

**Pericolosità da frana:** probabilità di accadimento di un evento franoso di una determinata intensità in un dato periodo e in una data area.

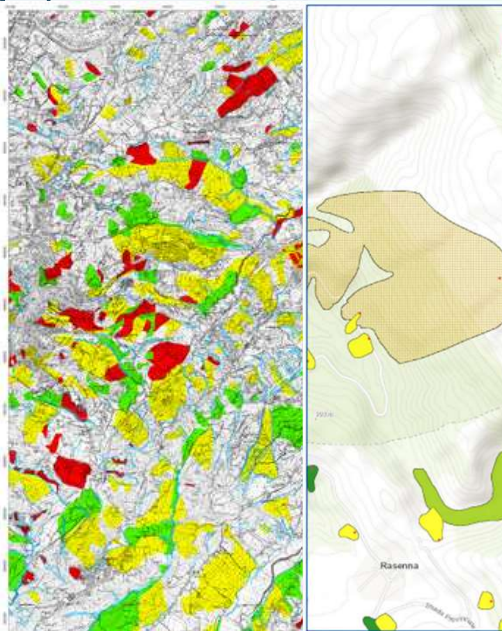


Tipologia	Materiale	Velocità (m/s)	Volume (m <sup>3</sup> )	Profondità (m)	Durata	Danni osservabili
Crollo	Roccia	da molto rapido (circa 3 m/min) a estremamente rapido (circa 5 m/s)	10 <sup>2</sup> - >10 <sup>6</sup>	-	breve < ore	Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone, edifici distrutti, perdita di diverse vite umane.
Scivolamento	Roccia	da molto lento (circa 16 mm/anno) a molto rapido (circa 3 m/min)	-	da 2 m (scivolamento localizzato) a >50 m (scivolamento eccezionale)	Variabile, da mesi fino a meno di un'ora	Danni variabili: le strutture possono non rimanere danneggiate fino alla perdita di vite umane
	Terra	da molto lento (circa 16 mm/anno) a molto rapido (circa 3 m/min)	-	da <2 m (scivolamento superficiale) a >50 m (scivolamento eccezionale)	Variabile, da mesi fino a meno di un'ora	Danni variabili: le strutture possono non rimanere danneggiate fino alla perdita di vite umane
Colata	Detrito	da estremamente lento (<16 mm/anno) a estremamente rapido (circa 5 m/s)	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	-	Variabile, da mesi fino a meno di un'ora	Danni variabili: le strutture possono non rimanere danneggiate fino alla perdita di vite umane
	Terra	da estremamente lento (< 16 mm/anno) a moderato (circa 13 m/mese)	5*10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup>	-	Variabile, da qualche giorno	La struttura non subisce danni evidenti con la possibilità che alcune strutture temporanee siano danneggiate

# Classificazione e pericolosità da frana

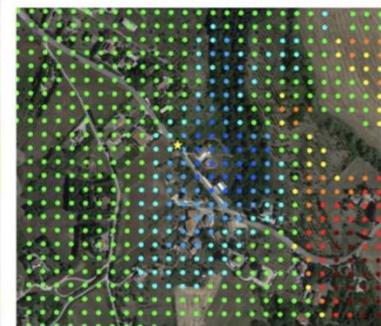
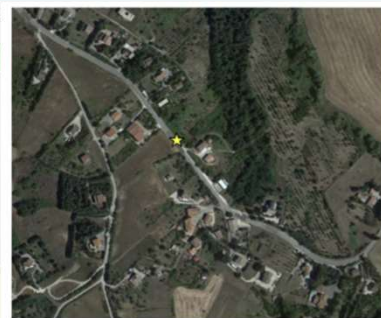
## Strumenti disponibili:

- Mappe di pericolosità da frana – Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)
- Inventario Fenomeni Franosi – IFFI
- confronto fra foto aeree o dati satellitari
- Bibliografia e letteratura esistente

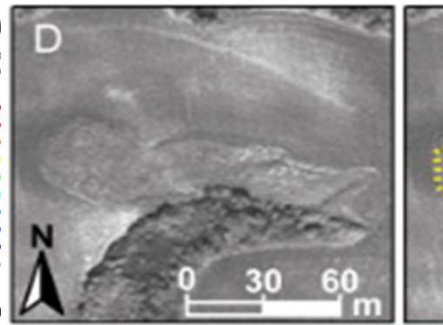
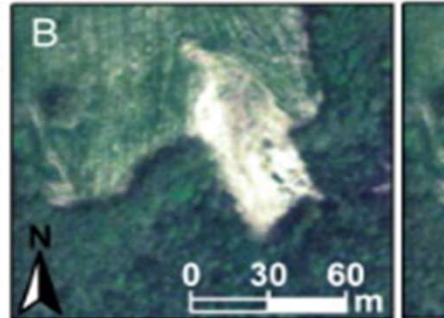


PAI

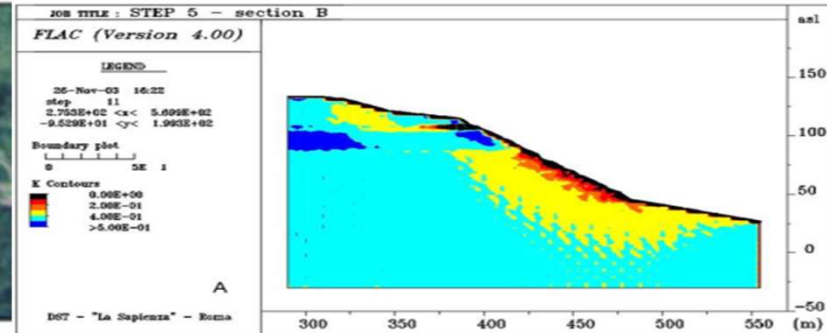
IFFI



NHAZCA



Fiorucci et al., 2011



Bozzano et al., 2006



# Classificazione e pericolosità da frana

- Parametri:**
- l'intensità della frana;
  - il tempo di ritorno del fenomeno.

Classi di velocità (definizione da Cruden & Varnes, 1996)		Intervalli di velocità
Descrizione	Velocità tipica	
Estremamente rapida	5 m/sec	3
Molto rapida	3 m/min	
Rapida	1,8 m/hr	
Moderata	13 m/mese	2
Lenta	1,6 m/anno	
Molto lenta	16 mm/anno	
Estremamente lenta	< 16 mm/anno	1

Classi di severità geometrica per i fenomeni di crollo (definizione da Heinemann et al., 1998)	Classi di severità geometrica per i fenomeni di scorrimento e colata lenta (definizione da Heinemann et al., 1998)	Classi di severità geometrica per i fenomeni di colata rapida (Profondità della corrente o del deflusso solido)	Intervalli di severità geometrica
Diametro dei blocchi > 2 m	Spessore > 15 m	Profondità > 1 m	3
Diametro dei blocchi 0,5 – 2 m	Spessore 2 – 15 m	Profondità 0,5 – 1 m	2
Diametro dei blocchi < 0,5 m	Spessore < 2 m	Profondità ≤ 0,5 m	1

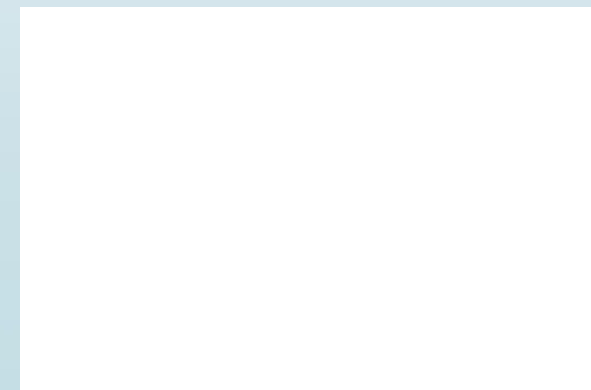
Stato di attività	Frequenza probabile
frane attive, continue e/o intermittenti	1 – 30 anni
frane quiescenti – episodiche ad alta frequenza	
frane quiescenti – episodiche a media frequenza	30 – 100 anni
frane quiescenti – episodiche a bassa frequenza	100 – 300 anni
frane antiche e paleofrane	> 300 anni

## Classificazione e pericolosità da frana

Noto il livello di pericolosità da frana del sito e definita l'interferenza dell'evento sugli item critici è necessario stabilire azioni di intervento, da modulare in virtù della stima del **tempo di ritorno**, dell'**intensità** e della **pericolosità**.

Pericolosità da frana connessa con la velocità	Probabilità di frequenza			
	Alta (1-30 anni)	Media (30-100 anni)	Bassa (100-300 anni)	(> 300 anni)
Intervalli di velocità				
Alta velocità V3	P4	P4	P3	P1
Media velocità V2	P3	P3	P2	
Bassa velocità V1	P2	P1	P1	

Qualora si ritenga necessario, e possibile effettuare delle valutazioni di tipo quantitativo **ad hoc** sul fenomeno franoso attraverso un'**analisi di stabilità** del versante.





# VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEL RISCHIO NaTech da eventi idrogeologici

La **procedura** per la **valutazione quantitativa del rischio negli stabilimenti PIR** deve essere estesa per includere la valutazione degli **eventi Na-Tech da eventi idrogeologici**.

**caratterizzazione dell'evento** esterno attraverso parametri che ne rappresentino l'impatto



**identificazione degli elementi critici** che possono causare uno scenario grave a causa dell'azione innescata dall'evento naturale.



**identificazione di possibili modalità di danneggiamento** con **definizione degli stati di danno**.



**Stima della probabilità di danno** attraverso specifici **modelli di vulnerabilità o fragilità**



individuazione degli **scenari incidentali** credibili



**valutazione delle conseguenze** di ciascuna combinazione credibile di rilasci di riferimento.

# Misure di protezione e mitigazione di tipo strutturale e gestionale

## Eventi franosi:

- Operazioni sul versante
- Controllo erosione superficiale
- Interventi di drenaggio
- Interventi di sostegno
- Difesa massi e ancoraggi

## Eventi alluvionali:

- Costruzione di opere di difesa;
- Chiusura di aperture e punti di ingresso delle acque;
- Impermeabilizzazione dei muri;
- Installazione di pompe per la raccolta e rimozione delle acque (idrovoce)
- Isolamento o interruzione in condizioni di sicurezza delle utilities

**Adozione di sistemi di allerta preventivi (Early Warning) per i pericoli idrogeologici in collegamento con il sistema di allertamento nazionale allo scopo di mitigare gli effetti dell'evento anche attraverso l'attivazione dei sistemi di sicurezza.**



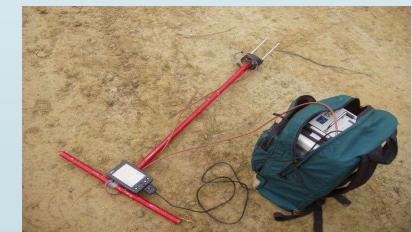
## Sistemi di Early Warning

- I sistemi di Early Warning vengono applicati in funzione del rischio naturale (**frane, alluvioni**, terremoti) in funzione della loro tipologia, della velocità, dell'intensità e dalle possibili cause di innesco del fenomeno.
- Gli **obiettivi principali** di un **sistema di early warning locale, e/o l'integrazione nel sistema di early warning regionale predisposto dalle pubbliche Autorità** sono:
  - **preallarme** del personale dello stabilimento e della popolazione nelle aree limitrofe allo stabilimento;
  - eventuale **interruzione e messa in sicurezza dei processi industriali pericolosi**;
  - **riduzione delle conseguenze** sia interne che esterne;
- **L'efficacia di un sistema di Early Warning** è strettamente correlata al **tempo di preavviso** che può consentire l'attivazione delle misure di mitigazione e **che è legato al tipo di evento e all'efficienza del sistema stesso**

# SISTEMI DI EARLY WARNING per i fenomeni alluvionali

- Integrazione nel sistema di early warning regionale e corretta interpretazione del contenuto informativo acquisito.
- Dati da sistemi di rilevazione locali:
  - sensori ultrasonici o radar;
  - stazione meteorologica completa;

<i>Flood Type</i>	<i>Depth</i>	<i>Velocity</i>	<i>Warning Time</i>	<i>Duration</i>	<i>Flow Paths/ Drainage</i>
Large, long rivers	Varies widely, governed by valley shape; levee-protected areas can be deep.	Low: velocity not expected to increase damage.	Up to 2 weeks or more	Days or weeks	Overbank
Smaller sized rivers	Varies widely, governed by valley shape; levee-protected areas can be deep.	High in steep areas; velocity damage possible. Low in flat areas. Low in ponding areas.	Short; very short in steep-sloped areas	Short: less than 1 day to several days. Flash flood in steep areas: <3 hours.	Overbank
Dry stream beds	High wave fronts; backup at obstructions.	High; velocity damage possible.	Short (few hours at most)	Short: less than 1 day to several days	Flash flooding
Interior drainage behind flood protection	Low level: <3 ft (1 m).	Low; velocity not expected to increase damage.	Short, but varies by flood type	Longer: Varies by flood type	1. Rain or interior streams; 2. seepage under levee or sea wall
Coastal	From 15 to 30 ft (5 to 10 m) or more above high tide	High near coastline; velocity damage possible.	Storm formation: up to 1 week; action stage for facility 2 to 3 days prior to landfall; 1 day out evacuation may be ordered	Short: hours	Ocean water pushed onto land
Alluvial Fan	High level: <3 ft (1 m).	High; velocity damage possible.	Short: <3 hours	Short: <3 hours	Onto base of steep-sloped mountains
Seiche	Several feet (meters).	High; velocity damage possible.	Short: hours	Short: hours	From water oscillation in a lake, sea, bay
Stormwater	Low level: <1 ft (0.3 m) except for below grade spaces.	Potentially high for steep slopes; low for ponding areas.	Short: minutes to 1 hour	Short: minutes to 1 hour	Surcharged drainage systems, ponding, and sheet flow
Groundwater	Low level: <1 ft (0.3 m).	Low; velocity not expected to increase damage.	Long: 1 day to days	Long: 1 day to days	From adjacent rivers, lakes, and streams
Sewer systems	Typically low level: <1 ft (0.3 m).	Low; velocity not expected to increase damage.	Short: minutes to 1 hour	Short: minutes to 1 hour	Flow out of toilets, floor drains, and sinks

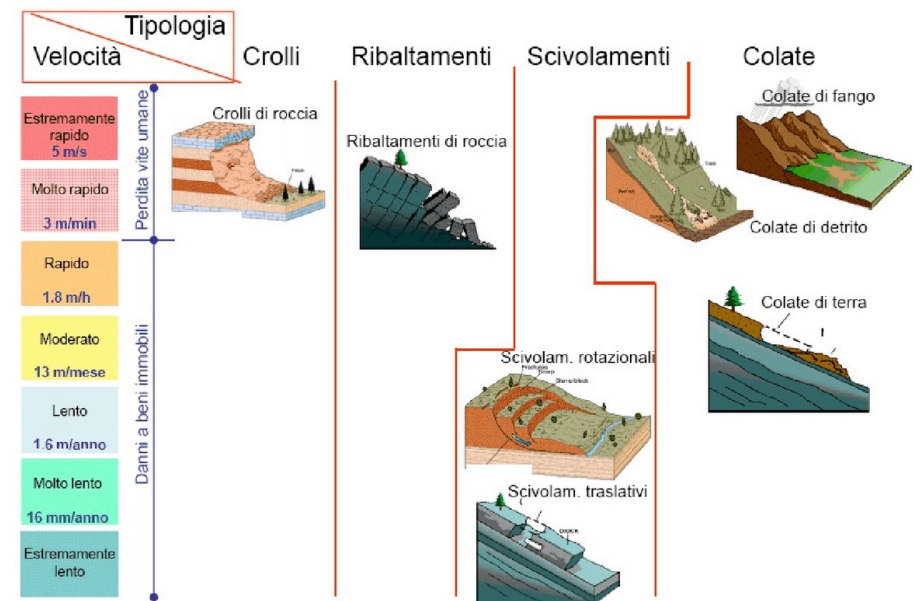


# SISTEMI DI EARLY WARNING per i fenomeni franosi

L'efficacia dei sistemi di Early warning per la mitigazione del Rischio NaTech da frane dipende molto dalla **tipologia**, dalla **velocità del fenomeno considerato** e dalle possibili cause di innesco.

- Se si prendono in considerazione **fenomeni lenti** è possibile prevedere sistemi di monitoraggio dei versanti che, integrando informazioni sulla possibile forzante idraulica, consentano l'attivazione di allarmi e misure di mitigazione.
- Se invece si prende a riferimento **fenomeni veloci** come le colate detritico-fangose il tempo intercorrente tra l'innesco del fenomeno ed il suo impatto sugli elementi è dell'ordine delle decine di secondi.

Principali fenomeni di frana  
(Cruden e Varnes, 1994)





# La ricerca INAIL nel campo della prevenzione e gestione del rischio NaTech



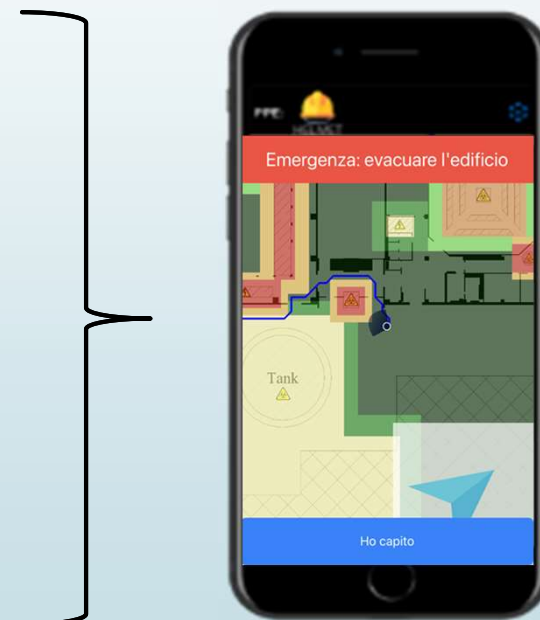
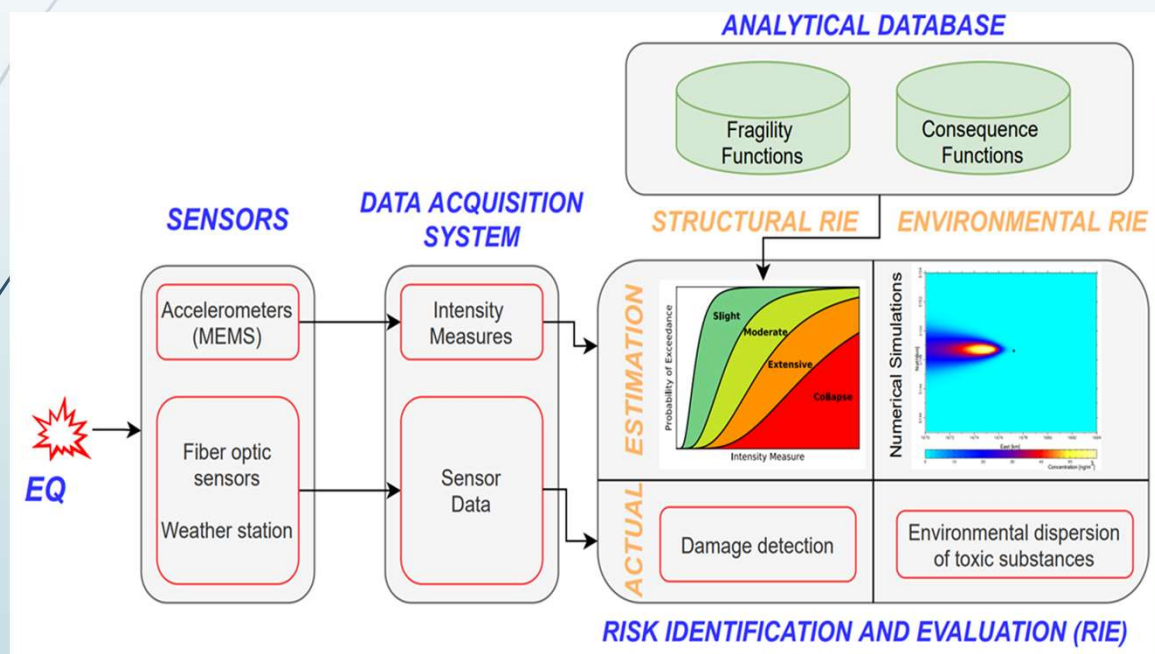
**INAIL**

DIPARTIMENTO INNOVAZIONI  
TECNOLOGICHE E SICUREZZA  
DEGLI IMPIANTI PRODOTTI  
E INSEDIAMENTI ANTROPICI



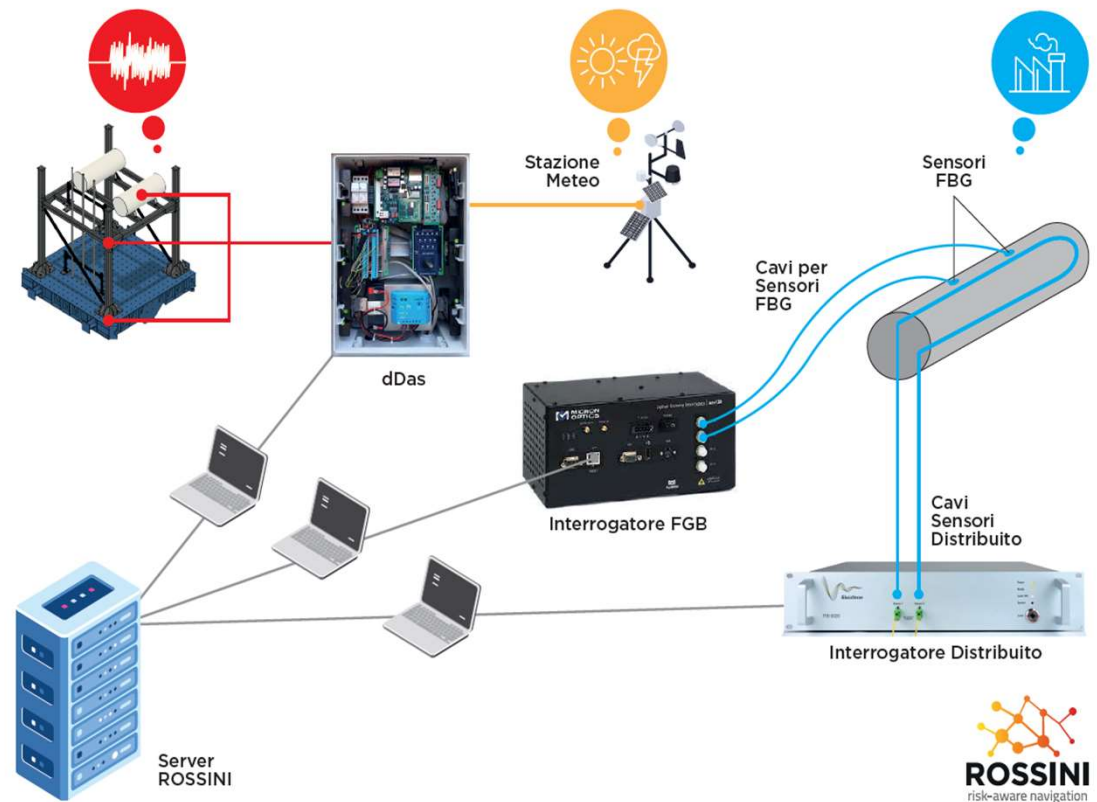
## Obiettivo

- Progettare, implementare e testare un prototipo di sistema di navigazione *risk-aware* al fine di gestire e mitigare il rischio NaTech negli stabilimenti PIR

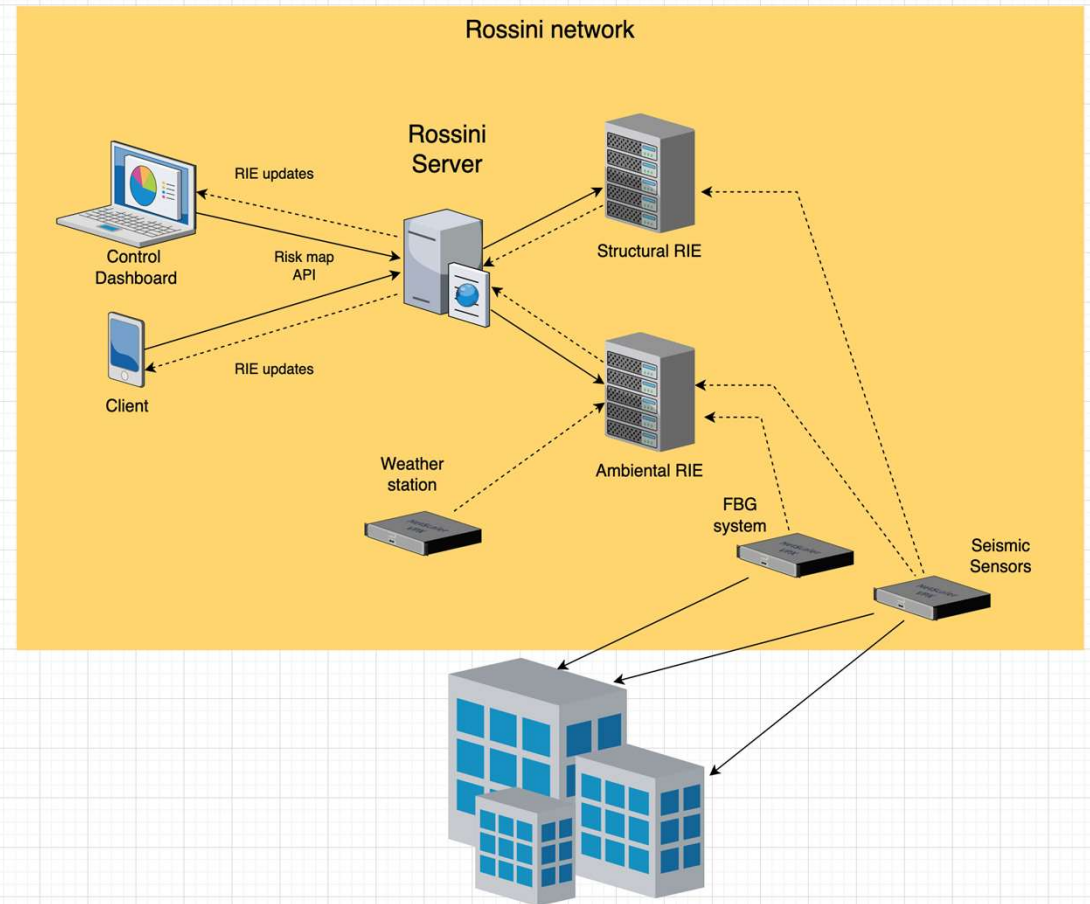
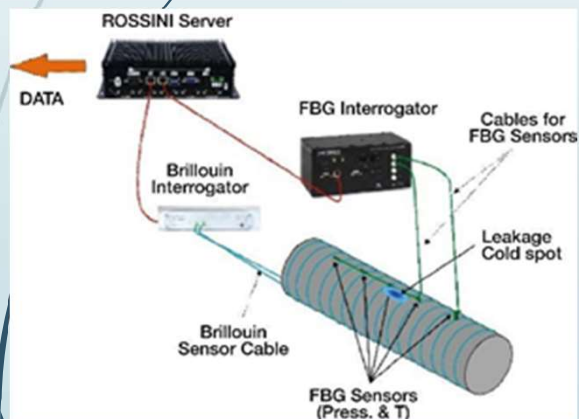
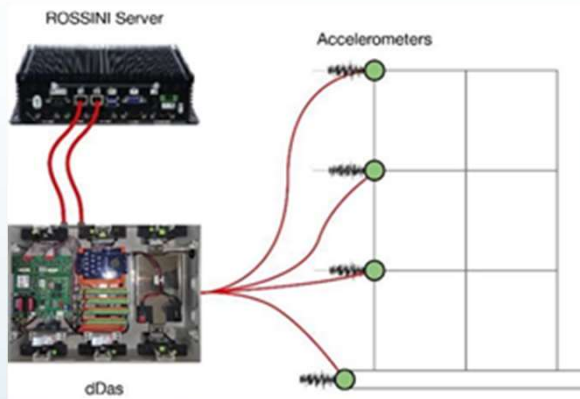


## Identificazione dei sensori

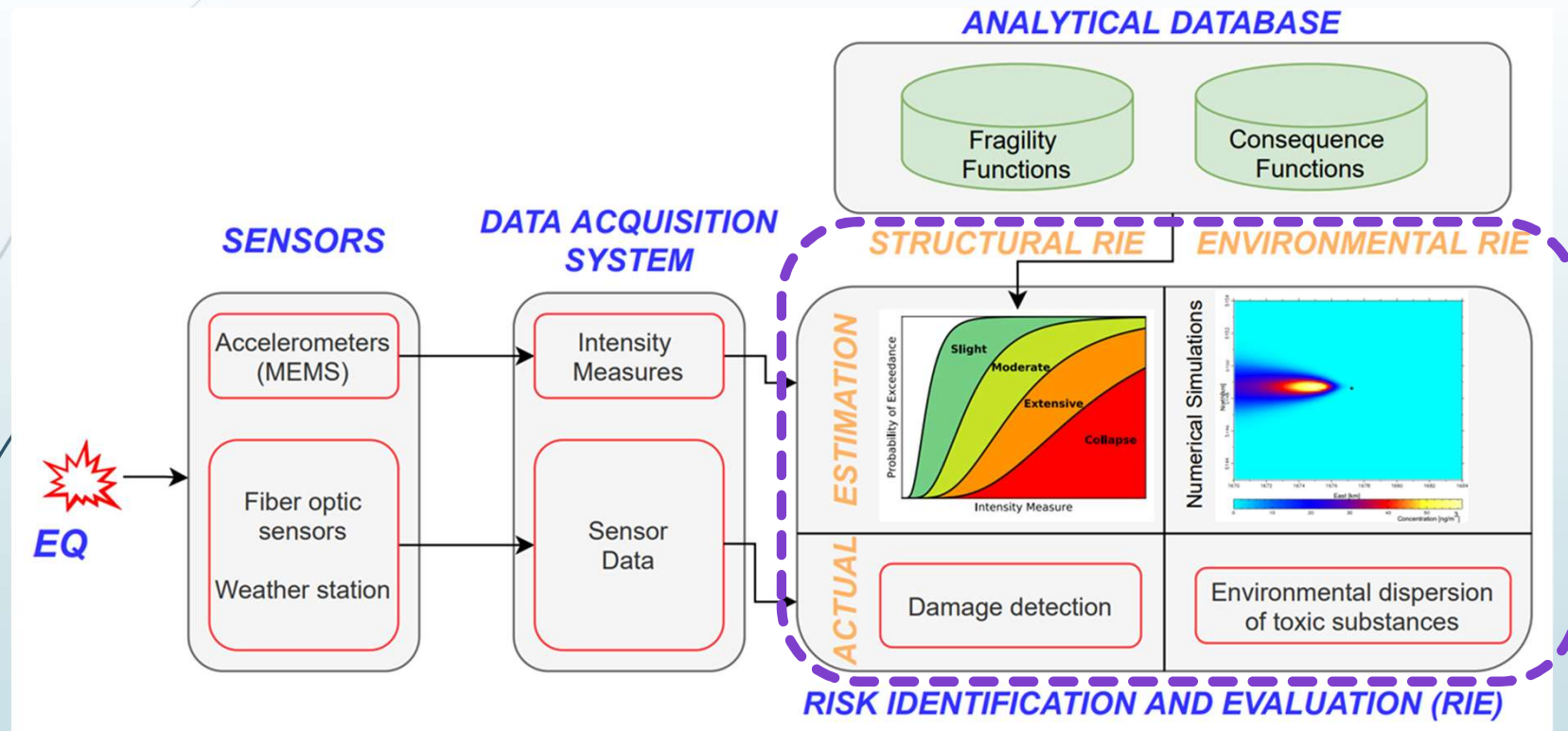
- La piattaforma ROSSINI è in grado di acquisire dati da diverse tecnologie sensoristiche, anche con caratteristiche radicalmente differenti
- In particolare sono stati previsti e integrati i seguenti sensori:
  - accelerometri triassiali (MEMS)
  - stazione meteo
  - sensori in fibra ottica



## *ROSSINI: Progettazione e sviluppo del sistema di sensori e ottimizzazione della scheda di acquisizione dati*

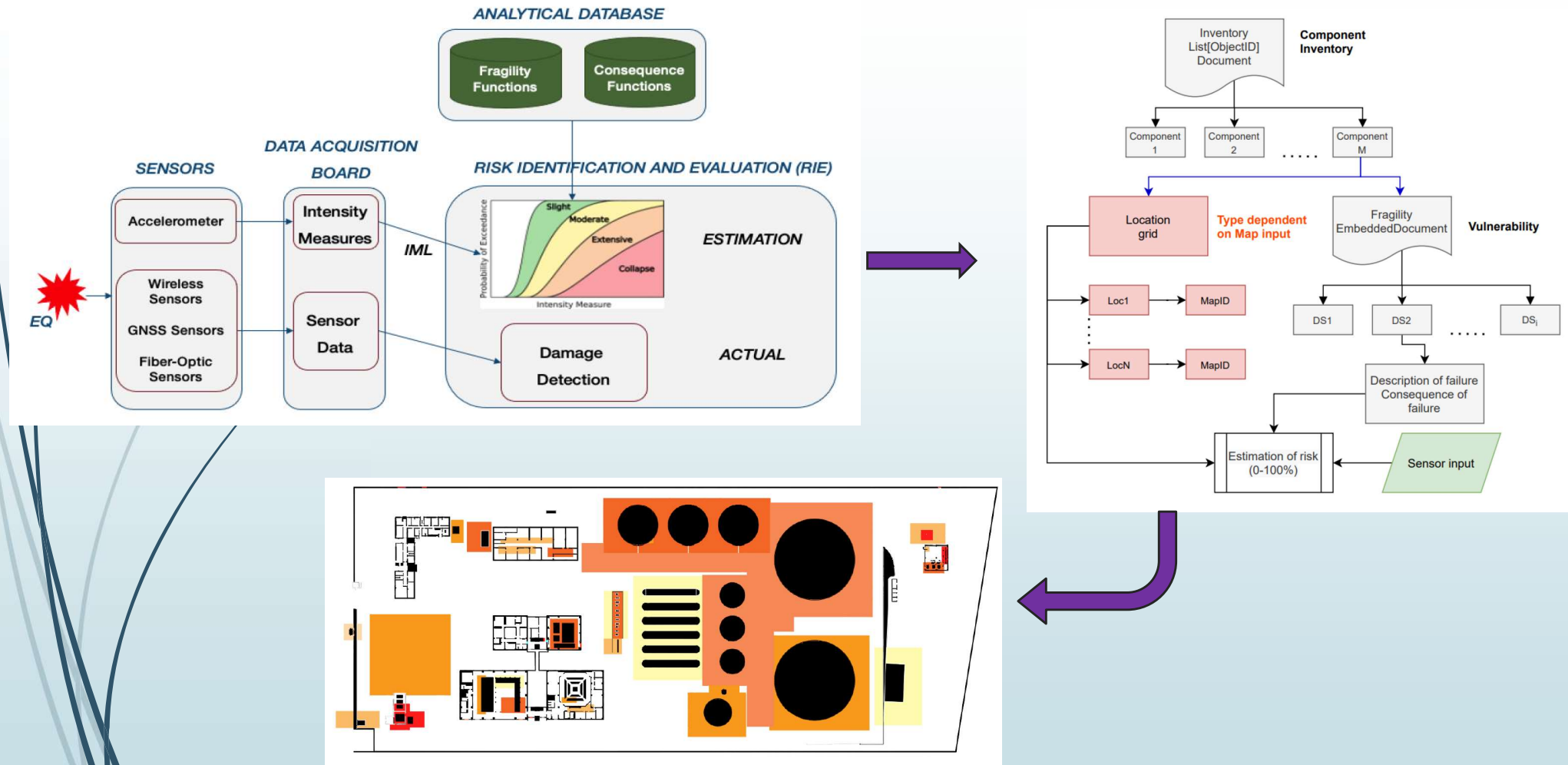


## Sistema di Risk Identification and Evaluation (RIE)

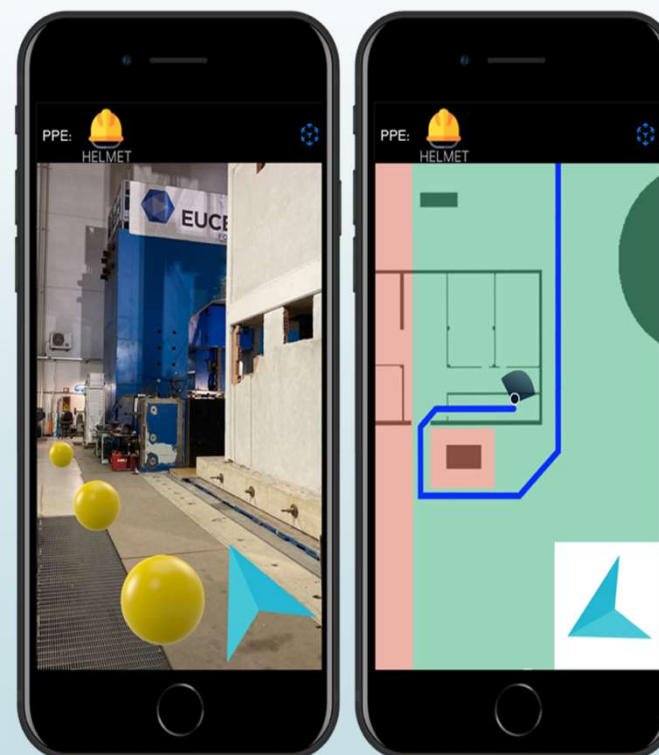
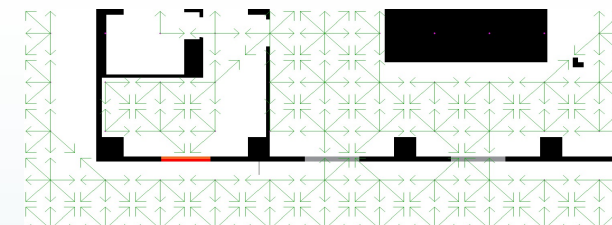
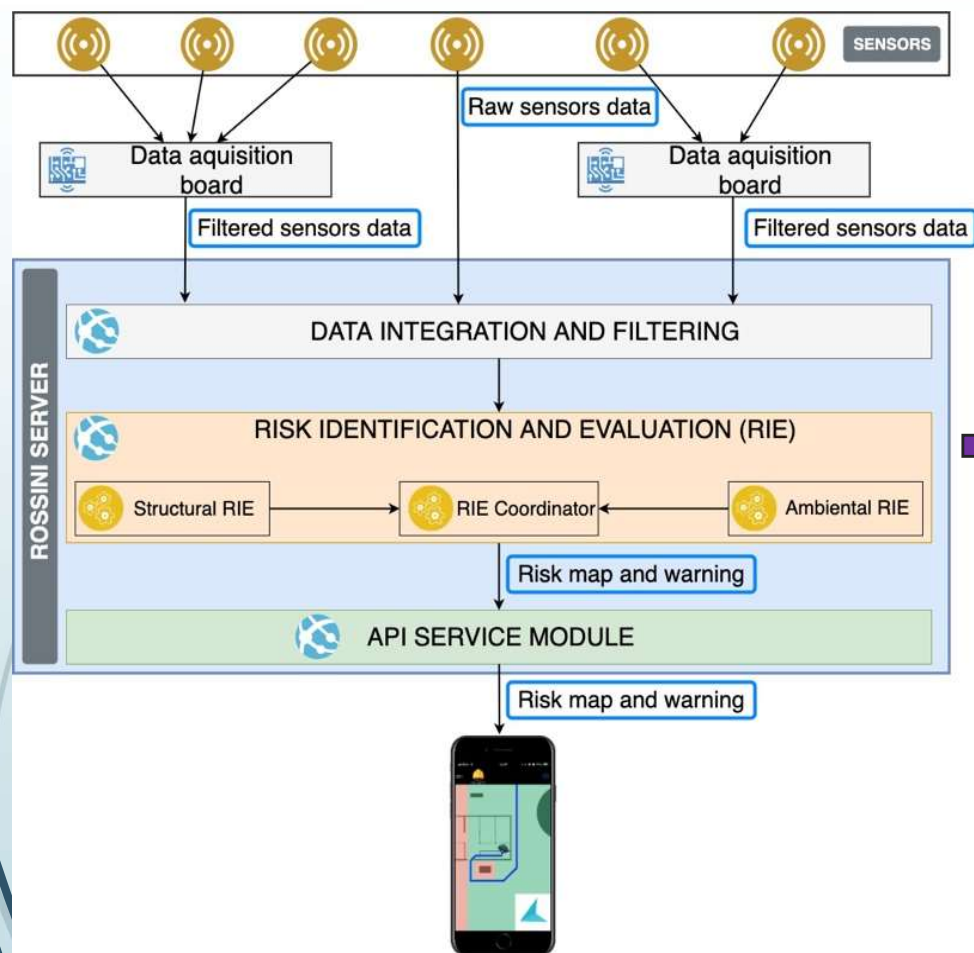




*ROSSINI: Sviluppo di un sistema per il calcolo del valore di rischio combinato (RIE strutturale+ RIE ambientale)*



## ROSSINI: Progettazione e implementazione del sistema di navigazione



## *Sistema di navigazione*

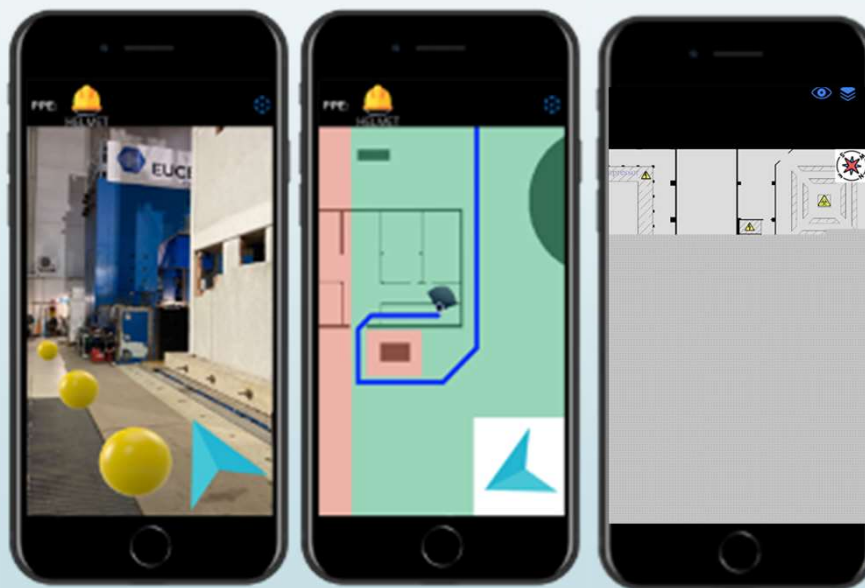
- È stato realizzato con tecniche di cloud-computing un servizio che acquisisce i dati di rischio e che permette il calcolo del percorso nell'area industriale sulla base di tale rischio
- È stata realizzata un'applicazione di navigazione per dispositivi mobili in grado fornire indicazioni chiare anche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



## *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





## Sperimentazione presso EUCENTRE

### SHAKELAB Uni-axial Shaking Table



Strong Walls & Floor



Bearing Tester System

### 6DLAB



### Multi-axial Shaking Table



### Damper Tester System

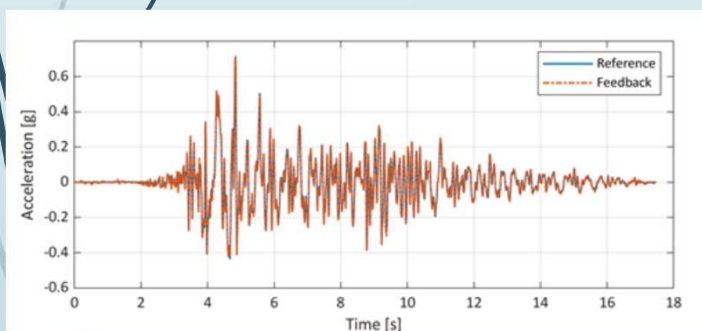
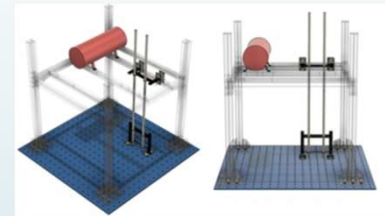
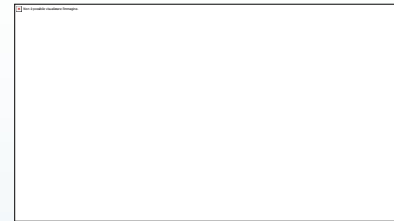
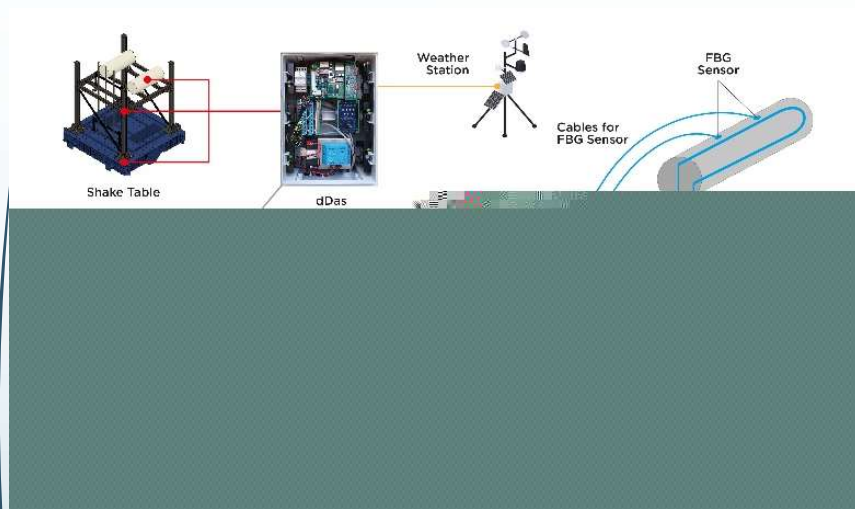


### MOBILAB

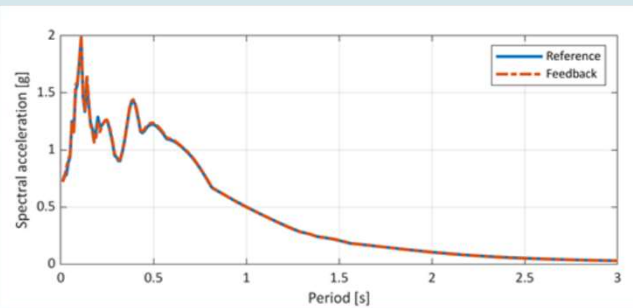




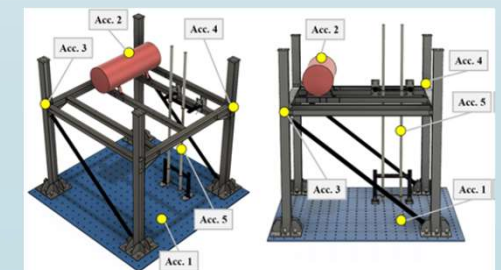
## Simulazione di uno scenario in ambiente industriale per la validazione del sistema di navigazione



Acceleration time-histories - Test Aquila

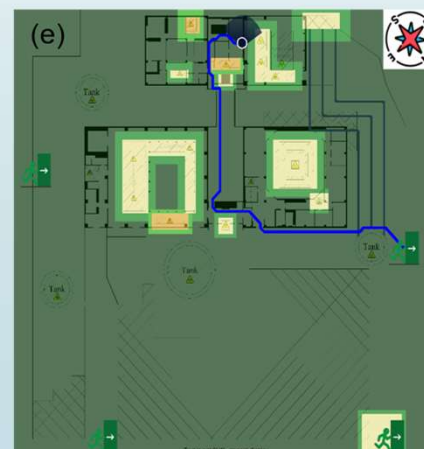
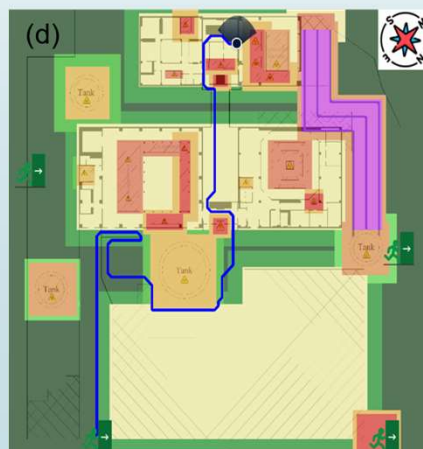
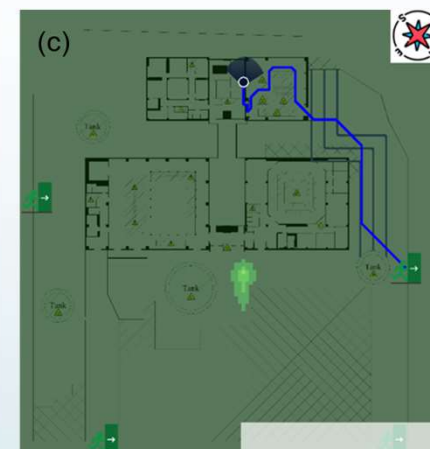
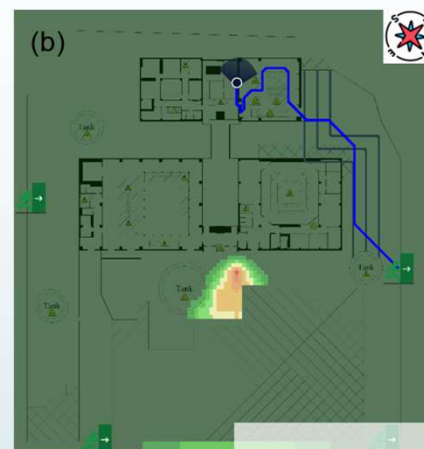
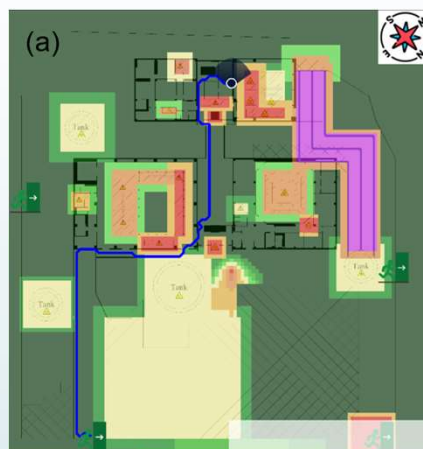


Acceleration spectra - Test Aquila



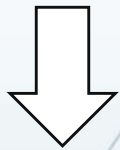
## Scenari sulla Mappa A

- La Mappa A è stata utilizzata come esempio da navigare nella realtà
- E' servito per testare e perfezionare il prototipo del sistema ROSSINI
- Si vede:
  - diversi casi di terremoti (rischio strutturale)
  - diversi scenari di rilasci (rischio ambientale)
- (a) scenario 1; rischio strutturale e ambientale
- (b) scenario 2; solo rischio ambientale
- (c) scenario 2a; solo rischio ambientale
- (d) scenario 3; solo rischio strutturale
- (e) scenario 3a; solo rischio strutturale inferiore al caso 3
- (f) scenario 4 come scenario 1 ma con un punto di partenza differente



# Sistemi APR per la Gestione in sicurezza dell'emergenza da eventi NaTech

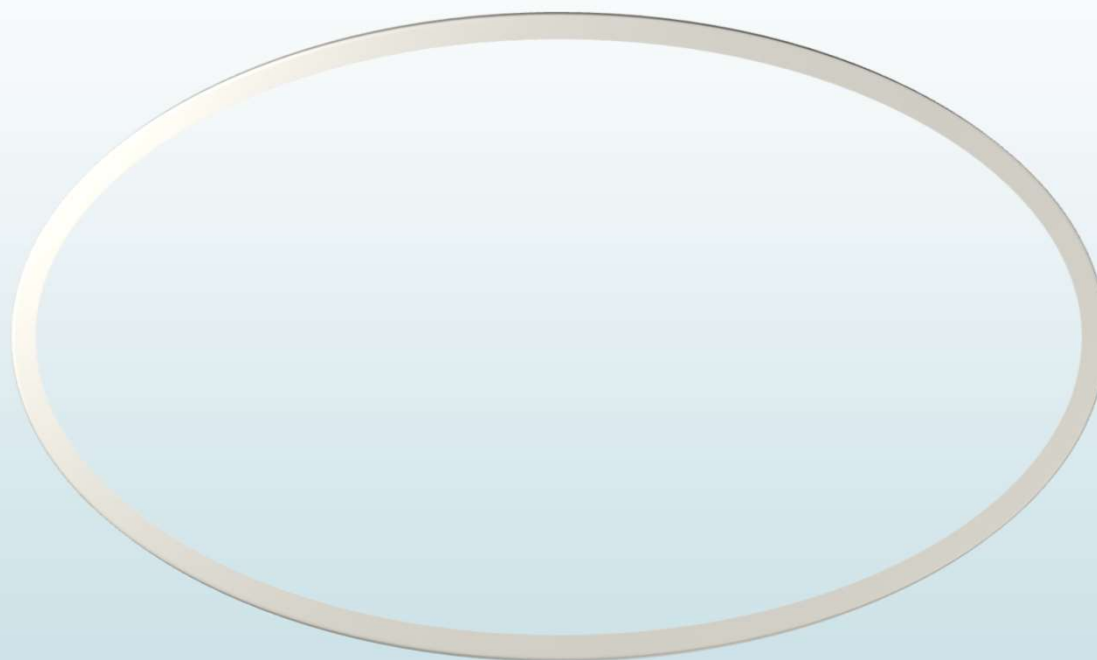
In seguito ad un incidente rilevante, è possibile accedere all'interno degli stabilimenti PIR tramite sistemi ad «**Aeromobile a Pilotaggio Remoto**» (APR)



- Maggiore sicurezza
- Fornisce informazioni real-time sull'incidente rilevante
- Controllo delle aree inaccessibili agli operatori



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**



[a.marino@inail.it](mailto:a.marino@inail.it)