



Development & Innovation
in Transport Systems

Startup di



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Sicurezza ferroviaria: Quanta e come?

Roma, 23 giugno 2026

Ing. Giuliano Rossi
giuliano.rossi@uniroma1.it

La sicurezza ferroviaria: quanta e come?

- sicurezza attesa, tecnica e legale: alla ricerca di un equilibrio
- livello di sicurezza e prestazione di sicurezza
- rischio residuo e HOF come frontiera della sicurezza, non ancora conquistata
- problemi emergenti

Cosa è la sicurezza ferroviaria?



Cosa è la sicurezza ferroviaria?



E' l'aspettativa di non avere preoccupazioni

Cosa è la sicurezza ferroviaria?



E' una responsabilità professionale

Quando l'aspettativa fallisce

Se l'impegno professionale fallisce, la
tensione tra aspettativa e realtà è risolta
nella dimensione del diritto



L'evento avverso analizzato nella logica giurisdizionale

La **giurisdizione** procede:

- Riscontrando il **nesso causale**;
- Verificando le **responsabilità legali**;
- Attribuendo **sanzioni** penali
- Riconoscendo diritto al **risarcimento** per i danneggiati



La sicurezza tecnica



LA RESPONSABILITA' DELLA SICUREZZA TECNICA

- Rispetto delle norme tecniche e degli standard di settore
- Adempimento documentale e formale (STI, CSM, norme CENELEC)
- Oggetto verificabile **ex ante**, di natura ingegneristica
- **Sicurezza è assenza di rischi inaccettabili** di danno alle persone, ai beni o all'ambiente.



Il diritto alla sicurezza



LA RESPONSABILITA' LEGALE

- SICUREZZA LAVORO: Sanzione in relazione ad obbligo cautelare ex art. 2087 c.c.: atipico e residuale
- PUBBLICA INCOLUMITA': sanzione in relazione di esercizio colposo di poteri di gestione non utilizzati per la prevenzione efficace del fatto
- Obbliga a ciò che esperienza e tecnica in concreto **ex post** è riconosciuto come efficace nella prevenzione del FATTO

La sicurezza tecnica



LA RESPONSABILITA' DELLA SICUREZZA TECNICA

- Generale
- A priori
- Si basa su stime
- Assume accettabile l'esistenza del rischio residuo
- Realizza un punto di compromesso tra la spinta all'innovazione e la tutela a priori della pubblica incolumità



Il diritto alla sicurezza



LA RESPONSABILITA' LEGALE

- Particolare
- A posteriori
- Si basa sui fatti
- Assume inaccettabile l'esistenza di un danno ingiusto
- Garantisce la sanzione del comportamento lesivo e il risarcimento del danno ingiusto

La sicurezza tecnica

Il diritto alla sicurezza

In ultima analisi la tensione principale è sulla rilevanza
legale del concetto ALARP



Una misura scartata come
sproporzionata in un'analisi ALARP può
essere ritenuta doverosa ex post dal
giudice penale: la ragionevole
praticabilità non è, di per sé, uno scudo
rispetto al vaglio penale.

EN50126-2:2007 sezione E, risk matrix, per la gestione del criterio sfumato
(indesiderabilità, tollerabilità): il criterio di gestione del rischio prevedeva un **accordo**
con Railway Authority

La sicurezza tecnica

Il diritto alla sicurezza

In ultima analisi la tensione principale è sulla rilevanza legale del concetto ALARP

Tab. 6 Typical Example of Risk Evaluation and Acceptance Esempio tipico di valutazione e accettazione del rischio

* Frequenza di accadimento di una situazione pericolosa * Frequency of occurrence of a hazardous event	Livelli di rischio Risk Levels			
Frequente Frequent	Indesiderabile Undesirable	Intollerabile Intolerable	Intollerabile Intolerable	Intollerabile Intolerable
Probabile Probable	Tollerabile Tolerable	Indesiderabile Undesirable	Intollerabile Intolerable	Intollerabile Intolerable
Occasionale Occasional	Tollerabile Tolerable	Indesiderabile Undesirable	Indesiderabile Undesirable	Intollerabile Intolerable
Remoto Remote	Trascurabile Negligible	Tollerabile Tolerable	Indesiderabile Undesirable	Indesiderabile Undesirable
Improbabile Improbable	Trascurabile Negligible	Trascurabile Negligible	Tollerabile Tolerable	Tollerabile Tolerable
Inverosimile Incredible	Trascurabile Negligible	Trascurabile Negligible	Trascurabile Negligible	Trascurabile Negligible
	Insignificante Insignificant	Marginale Marginal	Critico Critical	Catastrofico Catastrophic
	Livelli di gravità delle conseguenze della situazione pericolosa Severity Levels of Hazard Consequence			

* La scala per la frequenza di accadimento delle situazioni pericolose dipenderà dall'applicazione in esame. (4.6.2.2)
Scaling for the frequency of occurrence of hazardous events will depend on the application under consideration (4.6.2.2)

Valutazione del rischio
Risk Evaluation

Intollerabile
Intolerable

Indesiderabile
Undesirable

Tollerabile
Tolerable

Trascurabile
Negligible

Riduzione/controllo del rischio
Risk reduction/control

Deve essere eliminato
Shall be eliminated

Deve essere accettato solo quando la riduzione del rischio è impraticabile e con l'accordo dell'Autorità Ferroviaria

Shall only be accepted when risk reduction is and with the agreement of the Railway

Accettabile con controllo adeguato e con l'accordo dell'Autorità Ferroviaria

Acceptable with adequate control and the Railway Authority

Accettabile senza alcun accordo
Acceptable without any agreement

Imparare dalla sanità: Legge Gelli-Bianco (L. 24/2017)

Versante penale (art. 590-sexies c.p.)

non punibile* il sanitario nel caso in cui l'evento (morte o lesioni) si sia verificato per **imperizia**, a condizione che:

siano state rispettate le **linee guida** accreditate ai sensi di legge (o, in mancanza, le buone pratiche clinico-assistenziali);

le raccomandazioni risultino **adeguate alle specificità del caso concreto**.

Versante civile

la **struttura sanitaria** risponde a titolo di **responsabilità contrattuale** (art. 1218 c.c.), con onere probatorio e prescrizione (10 anni) più favorevoli al danneggiato

il **sanitario dipendente** risponde a titolo di **responsabilità extracontrattuale** (art. 2043 c.c.) con onere della prova a carico del danneggiato e prescrizione più breve (5 anni).
La rivalsa è possibile solo per dolo o colpa grave

Assicurazione di ultima istanza nei settori strategici

risk-bearer of last resort

Nucleare

La Convenzione di Parigi (1960) e quella di Vienna, insieme a normative nazionali come il Price-Anderson Act statunitense, prevedono che la responsabilità dell'operatore sia limitata (channeling e cap), con uno strato superiore di copertura garantito dagli Stati

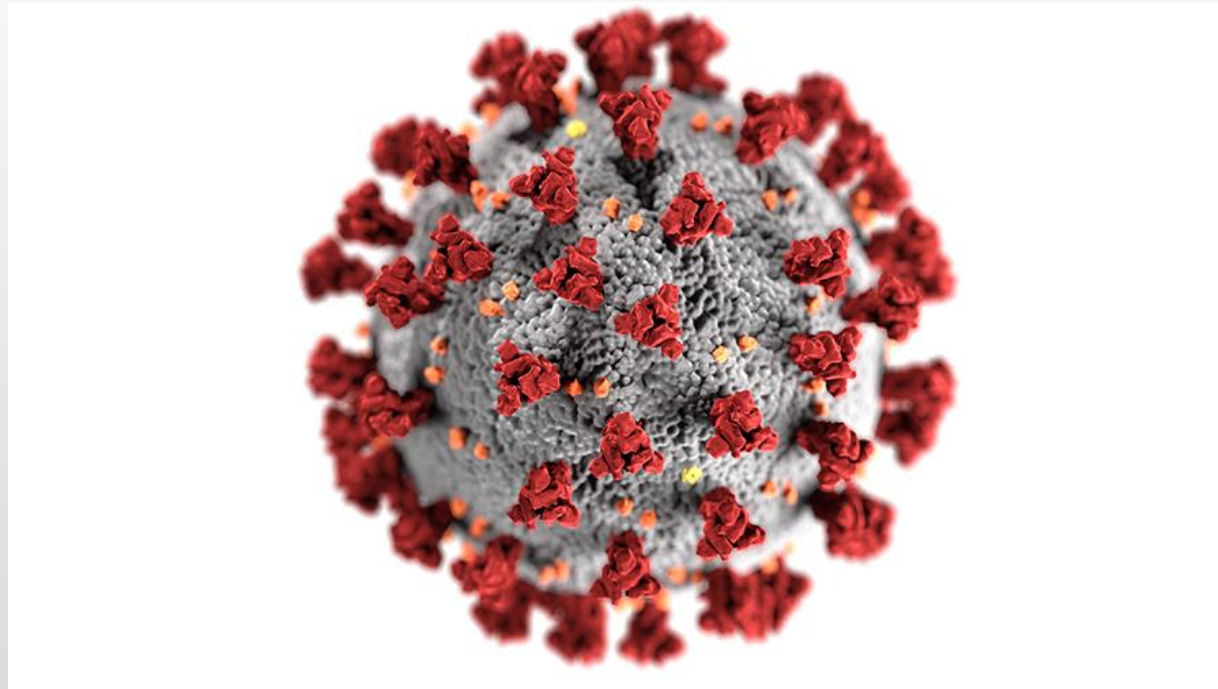
Terrorismo

Riassicurazione pubblica per rischi che il mercato privato non copre adeguatamente: il TRIA/TRIP statunitense per il terrorismo (dopo l'11 settembre), Pool Re nel Regno Unito, il regime Cat-Nat francese, Consorcio de Compensación de Seguros spagnolo, GAREAT in Francia per il terrorismo

Stato innovatore di Mariana Mazzuccato

Assicurazione di ultima istanza nei settori strategici

risk-bearer of last resort



La sicurezza insostenibile

Incertezze nell'adozione di strategie prestazionali, con **incremento dei fattori di sicurezza** abnormi:

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 4 marzo 2025.

Approvazione delle linee guida in materia di sicurezza ferroviaria.

10. Nella stima della velocità di esodo (non superiore a 0,6 m/s) si dovranno considerare oltre le caratteristiche infrastrutturali anche la presenza (stimata in forma statistica, sulla base delle indicazioni fornite dalle imprese ferroviarie) di persone di fascia di età o di particolare stato fisico per i quali la velocità non dovrà superare 0,3 m/s. Per gallerie in cui il percorso per raggiungere un luogo sicuro supera i 1000 m, le velocità di spostamento di ogni fascia di età e stato fisico degli utenti prese in considerazione dovranno essere ridotte del 30% dopo la percorrenza di metà del percorso previsto fino al raggiungimento dell'uscita.

DM 4 marzo 2025, Allegato A, §12, punto 10

La sicurezza insostenibile

Ambiti pluridisciplinati, con richieste di conformità, prestazioni specifiche e prestazioni complessive di difficile ottenimento.



Difficoltà dei procedimenti derogatori

Prestazioni qualitative di difficile ingegnerizzazione

Il Livello di Sicurezza del sistema ferroviario

- Fonte: final draft CSM ASLP, art. 3, (b):

“Safety Level” means , in the context of this regulation, **safety risk level** as **estimated and assessed** by the method defined in Annex IV

“Livello di sicurezza” indica il **livello di rischio per la sicurezza come stimato e valutato** secondo il metodo definito nell'Allegato IV.

SAFETY LEVEL

Quanto è sicuro il sistema?

Basato sulle occorrenze riportate.

Misurato attraverso gli indicatori di safety level (Appendice C – Part A del CSM ASLP), alimentati dai dati sugli eventi.

Interpretazione retrospettiva:
cosa è accaduto?

Il Livello di Sicurezza del sistema ferroviario

- Fonte: final draft CSM ASLP, art. 3, (b):

“Safety Level” means , in the context of this regulation, **safety risk level** as **estimated and assessed** by the method defined in Annex IV

“Livello di sicurezza” indica il **livello di rischio per la sicurezza come stimato e valutato** secondo il metodo definito nell'Allegato IV.

SAFETY LEVEL

Quanto è sicuro il sistema?

Basato sulle occorrenze riportate.

Misurato attraverso gli indicatori di safety level (Appendice C – Part A del CSM ASLP), alimentati dai dati sugli eventi.

Interpretazione retrospettiva:
cosa è accaduto?

La Prestazione di Sicurezza del sistema ferroviario

- **Fonte: final draft CSM ASLP, art. 3, (c):**

“Safety Performance” means the level of maturity of a railway operator to manage its RCM, as assessed by the method defined in Annex V

“Prestazione di Sicurezza” indica il **livello di maturità** di un operatore ferroviario nel gestire le proprie misure di controllo del rischio, come valutato secondo il metodo definito nell'Allegato V

SAFETY PERFORMANCE

Quanto è capace l'organizzazione?

Maturità e capacità nel governare la sicurezza.

Misurata attraverso la self-estimation della maturità gestionale (Appendice B del CSM ASLP).

Interpretazione prospettica:
quanto siamo capaci di prevenire?

La Prestazione di Sicurezza del sistema ferroviario

- Fonte: final draft CSM ASLP, art. 3, (c):

“Safety Performance” means the level of maturity of a railway operator to manage its RCM, as assessed by the method defined in Annex V

“Prestazione di Sicurezza” indica il **livello di maturità** di un operatore ferroviario nel gestire le proprie misure di controllo del rischio, come valutato secondo il metodo definito nell'Allegato V

SAFETY PERFORMANCE

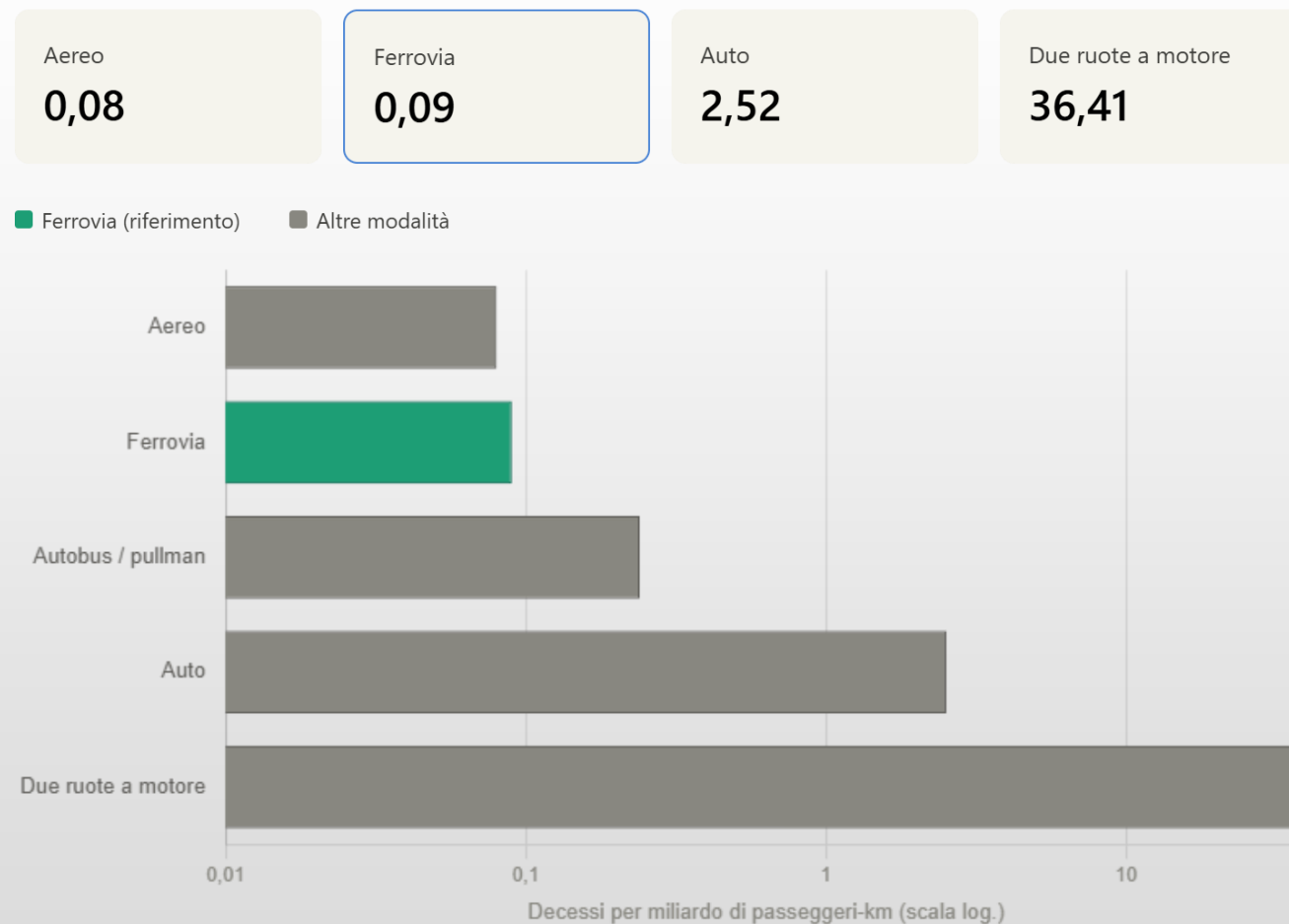
Quanto è capace l'organizzazione?

Maturità e capacità nel governare la sicurezza.

Misurata attraverso la self-estimation della maturità gestionale (Appendice B del CSM ASLP).

Interpretazione prospettica:
quanto siamo capaci di prevenire?

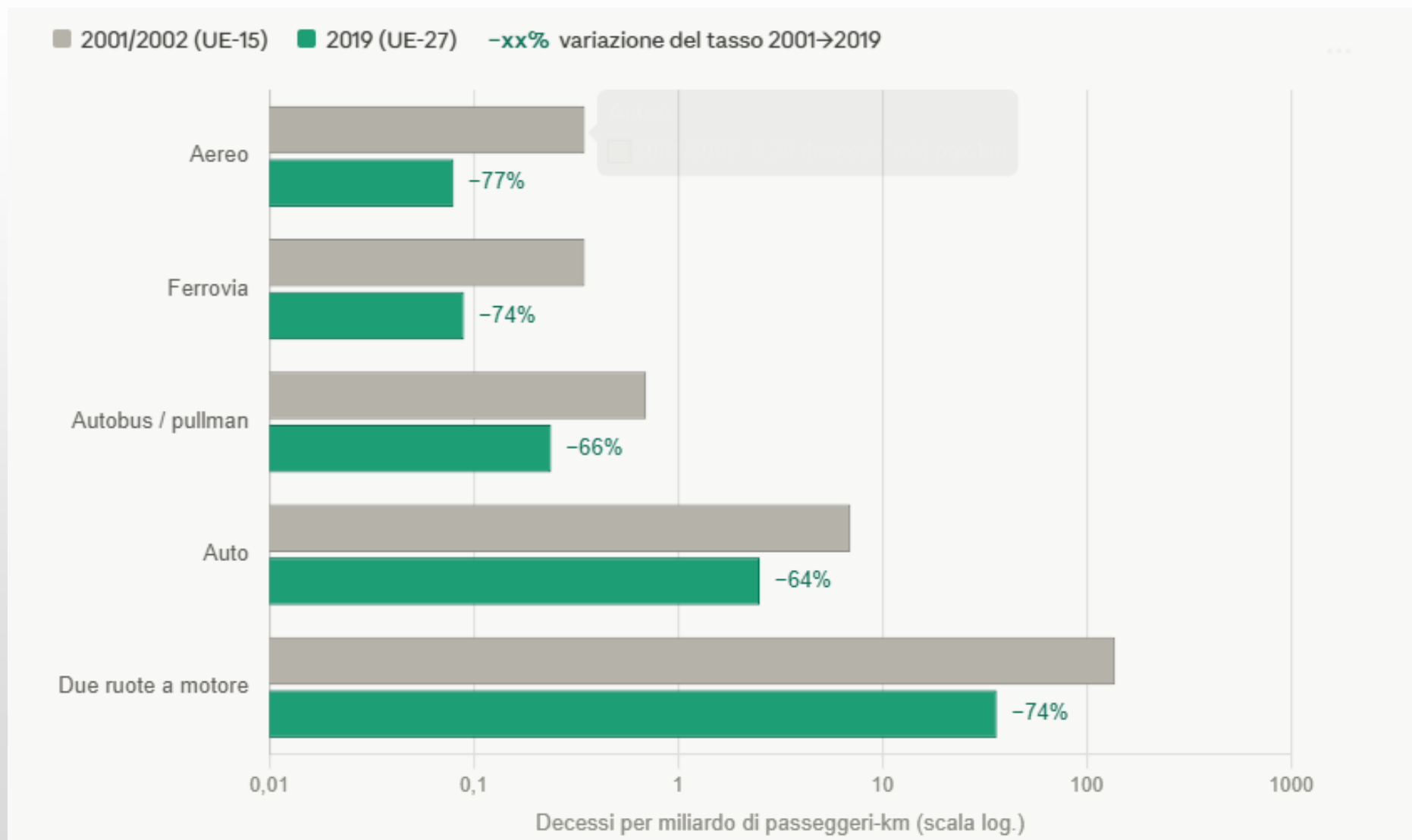
Il Livello di sicurezza per passeggero trasportato



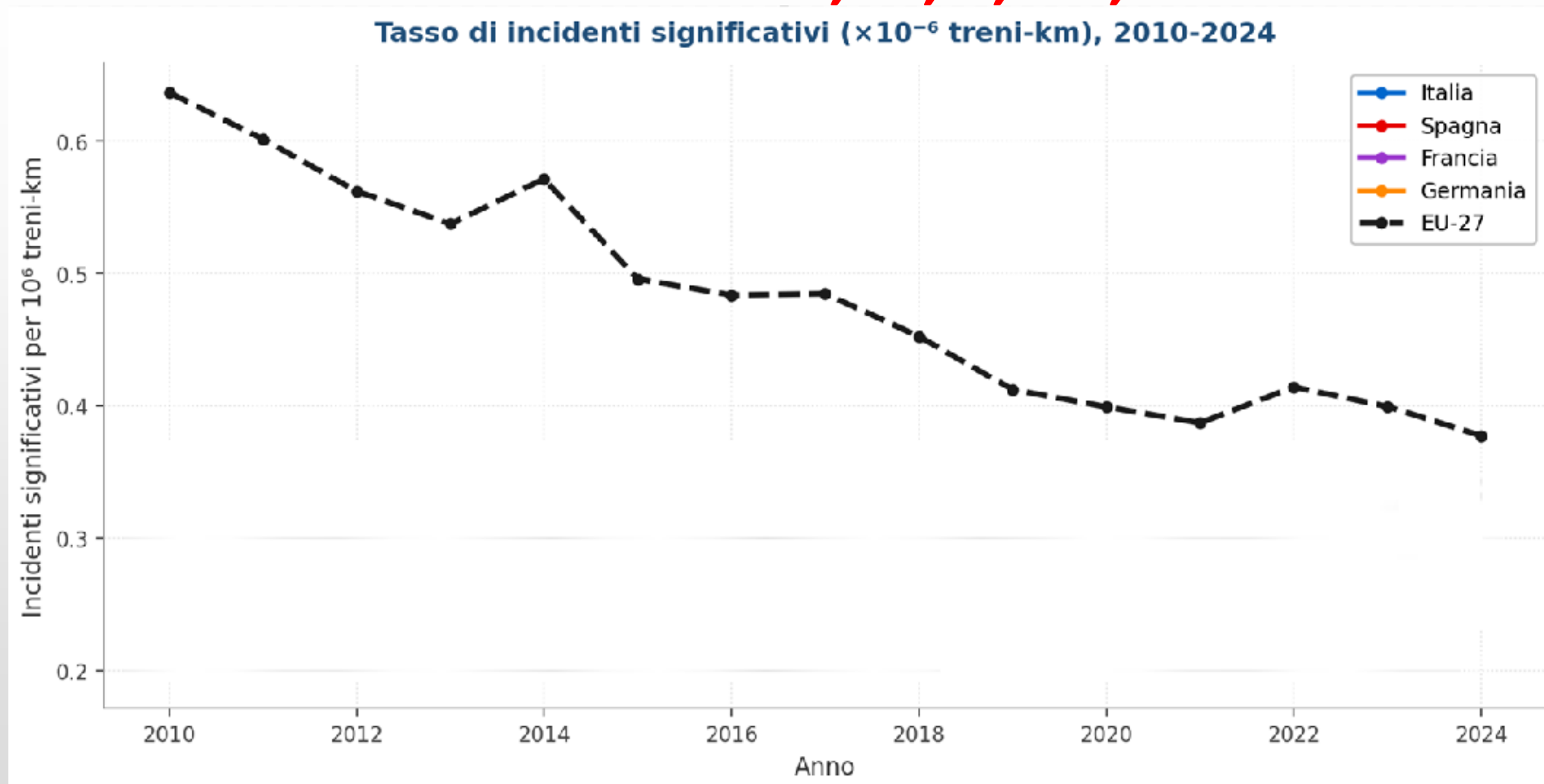
Fonte:
Commissione europea,
EU Transport in
Figures – Statistical
Pocketbook (dati ERA)

Scala logaritmica. Decessi per miliardo di passeggeri-km · UE-27, anno di riferimento 2019. Fonte: Commissione europea, EU Transport in Figures – Statistical Pocketbook (dati ERA).

Il Livello di sicurezza per passeggero trasportato

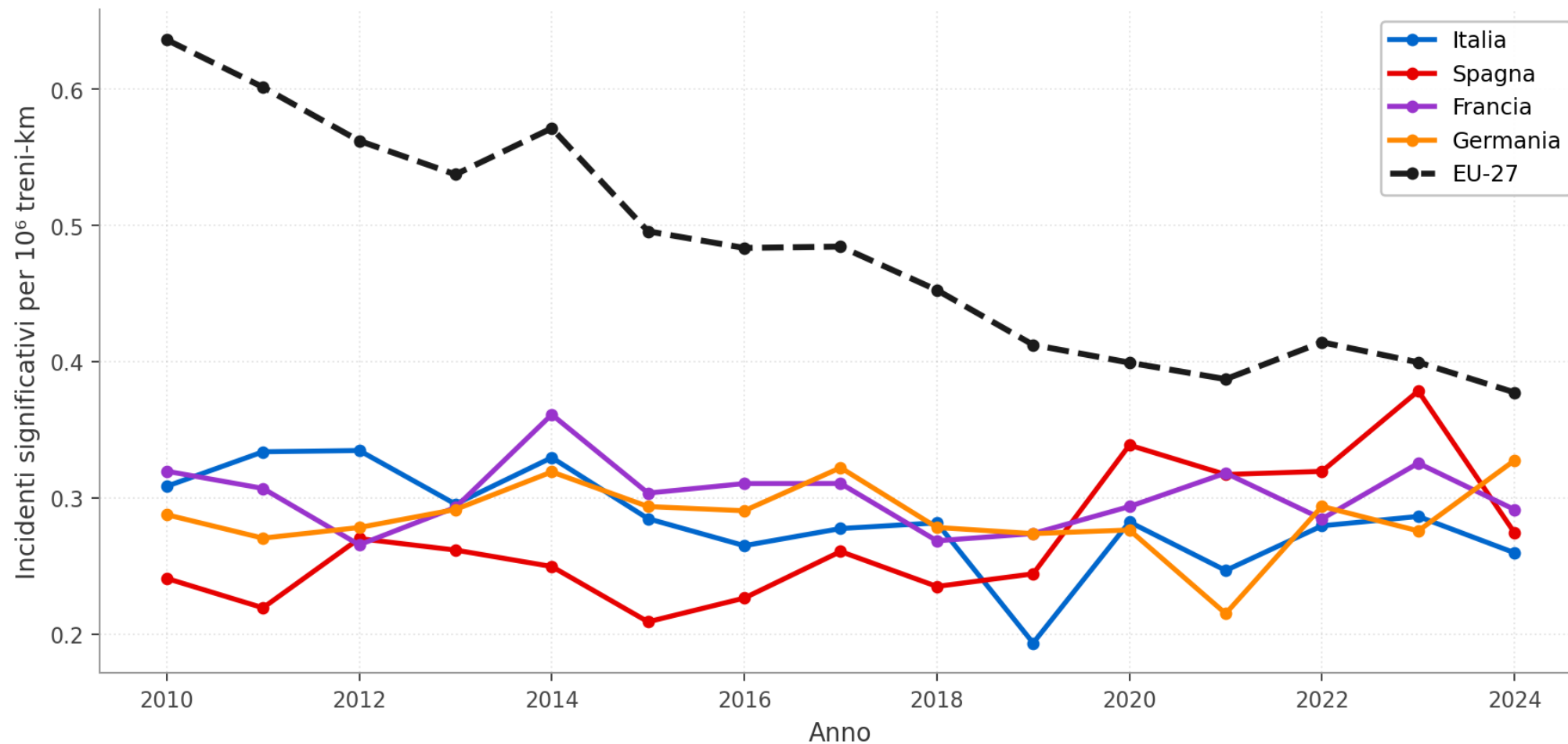


Il livello di sicurezza: EU 27, IT, F, ES, D



Il livello di sicurezza: EU 27, IT, F, ES, D

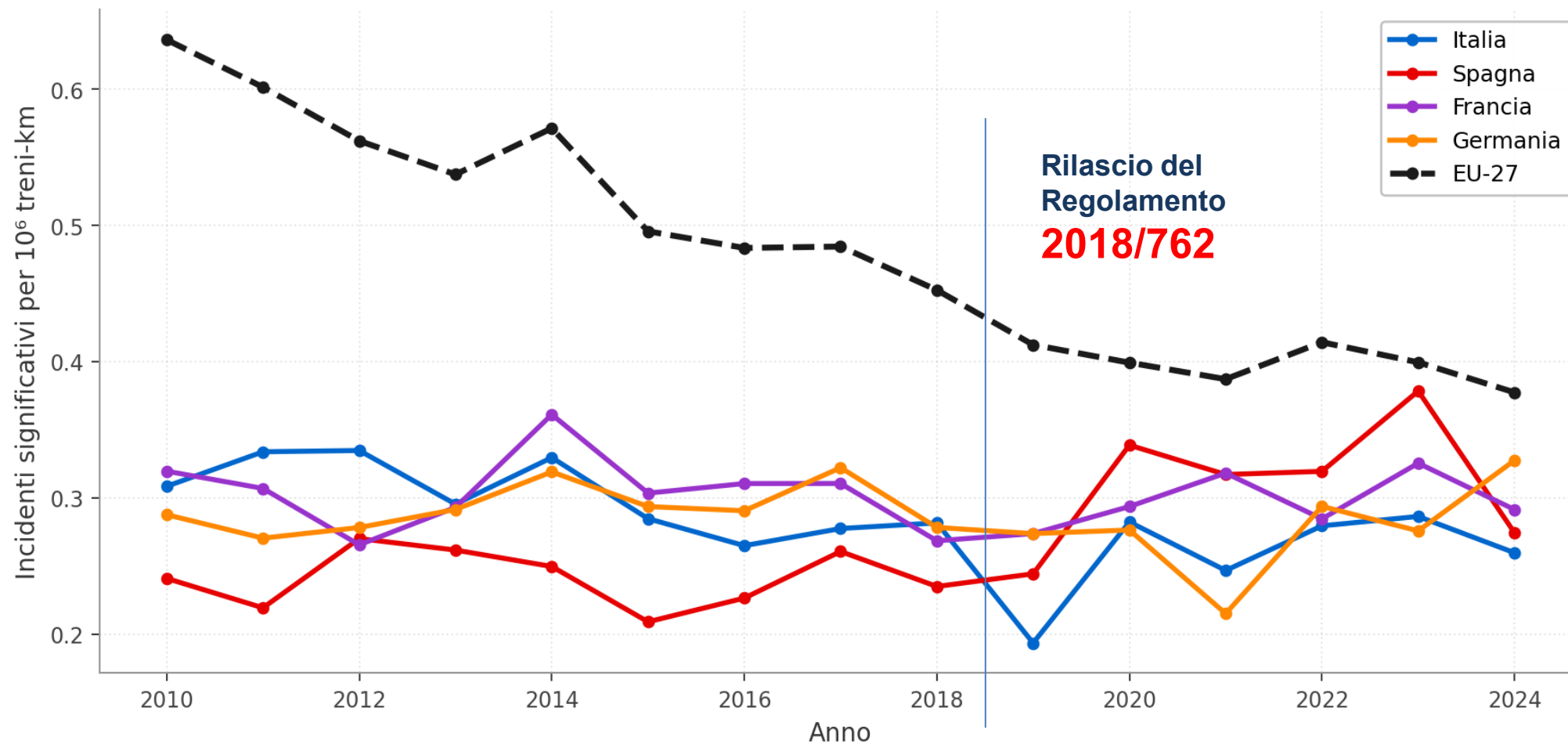
Tasso di incidenti significativi ($\times 10^{-6}$ treni-km), 2010-2024



Variazione 2010→2024: IT -15,8 % | ES +13,9 % | FR -8,8 % | DE +13,9 % | EU-27 -40,7 %

Il livello di sicurezza: EU 27, IT, F, ES, D

Tasso di incidenti significativi ($\times 10^{-6}$ treni-km), 2010-2024



Variazione 2010→2024: IT -15,8 % | ES +13,9 % | FR -8,8 % | DE +13,9 % | EU-27 -40,7 %

Evidenze sul rischio residuo



La prestazione umana è fino a 1,000,000 di volte inferiore alla prestazione tecnica.

L'ulteriore incremento della sicurezza di un sistema complesso è chiaramente possibile solo incrementando la prestazione dell'anello debole della catena, che è l'uomo.

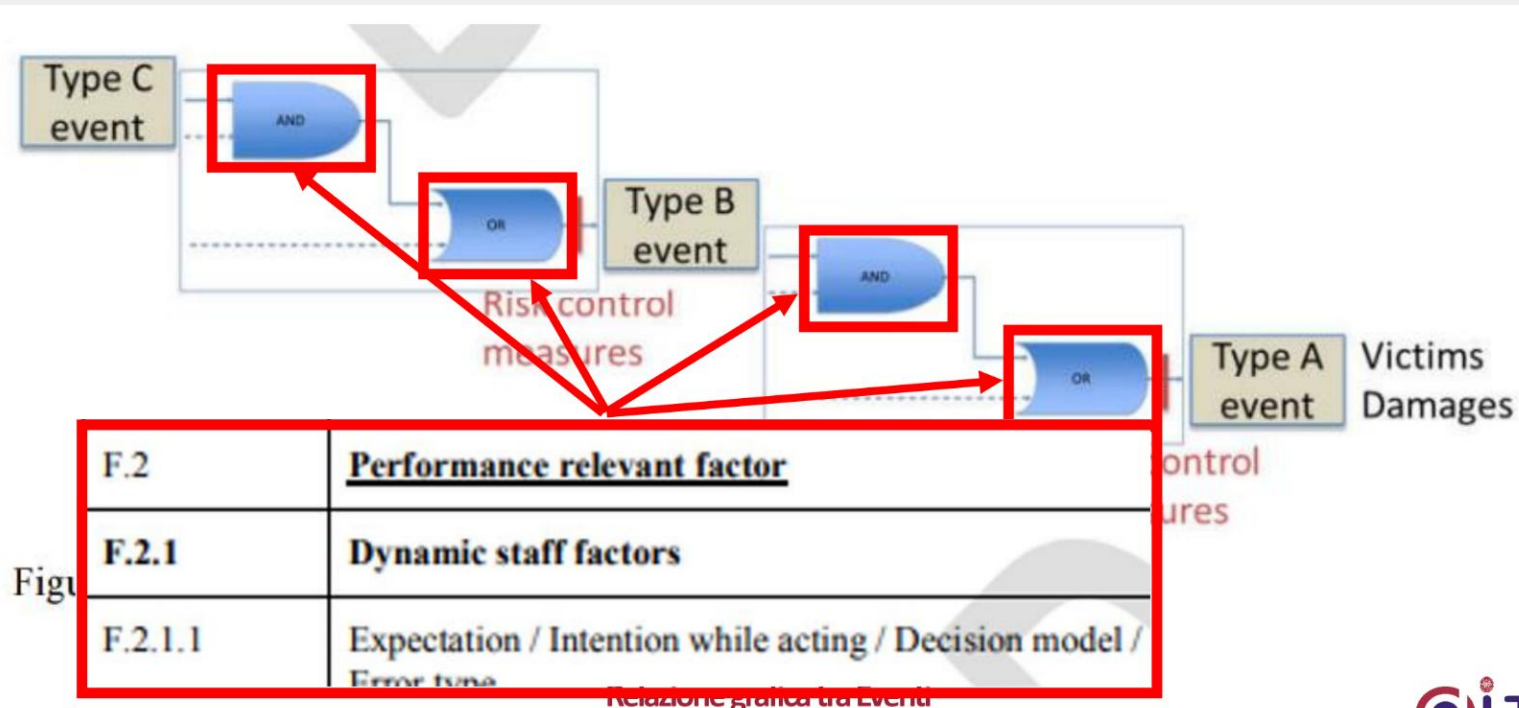


Final Draft CSM ASLP: una concezione di genesi del pericolo evoluta

Il modello **5x5** propone una raccolta sistematica di 25 cd Fattori contribuenti.

I 25 fattori sono in relazione **incerta** (non dubbia) con la relazione tra cause – EP – Incidenti.

I 25 fattori del 5x5 sono corrispondenti nella bozza di Regolamento CSM di prossima (?) emanazione



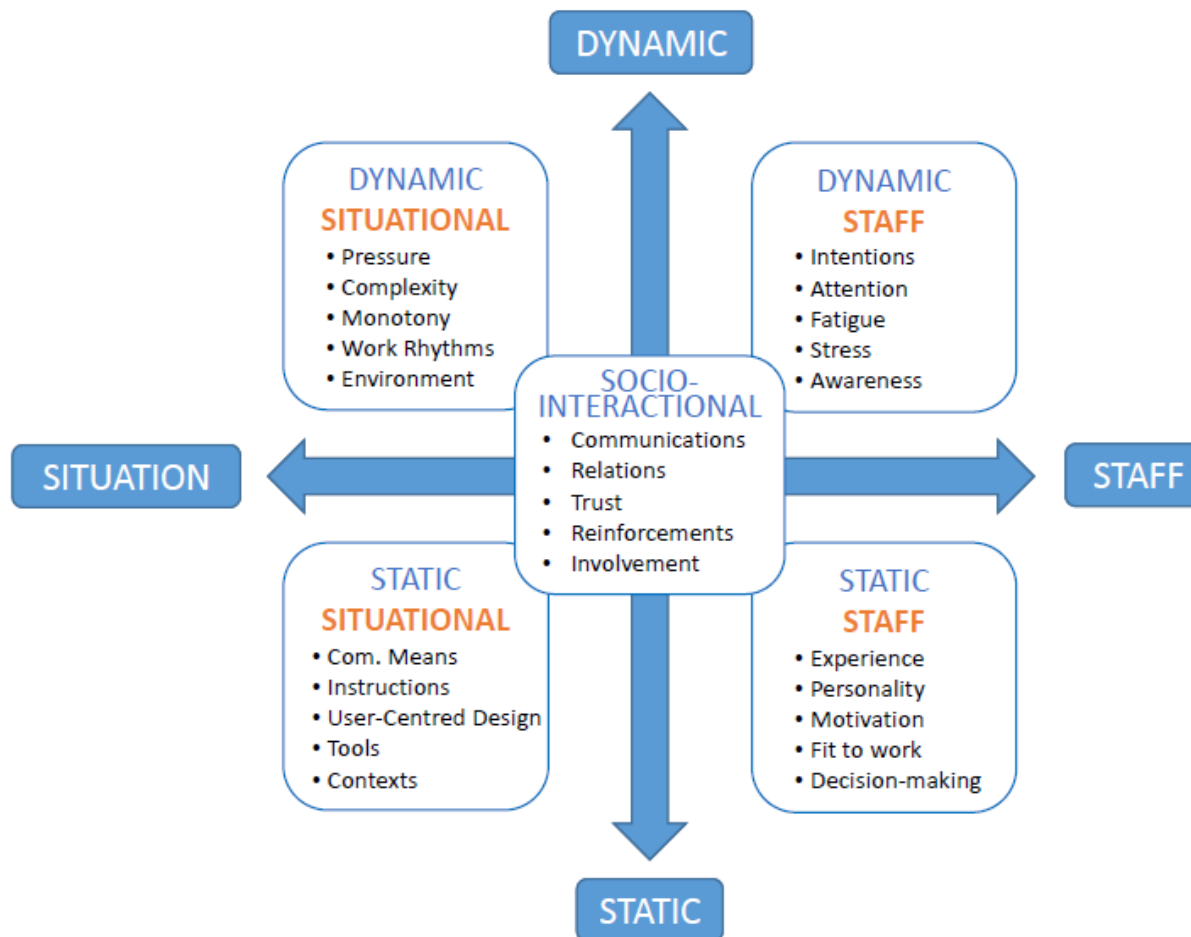
Il fattore umano come definito nei documenti di orientamento ERA

I fattori contribuenti

sono eventi o condizioni che influenzano un evento aumentandone la probabilità,

accelerandone l'effetto nel tempo o aumentando la gravità delle conseguenze, ma **la cui eliminazione non impedisce in generale la realizzazione dell'evento avverso**.

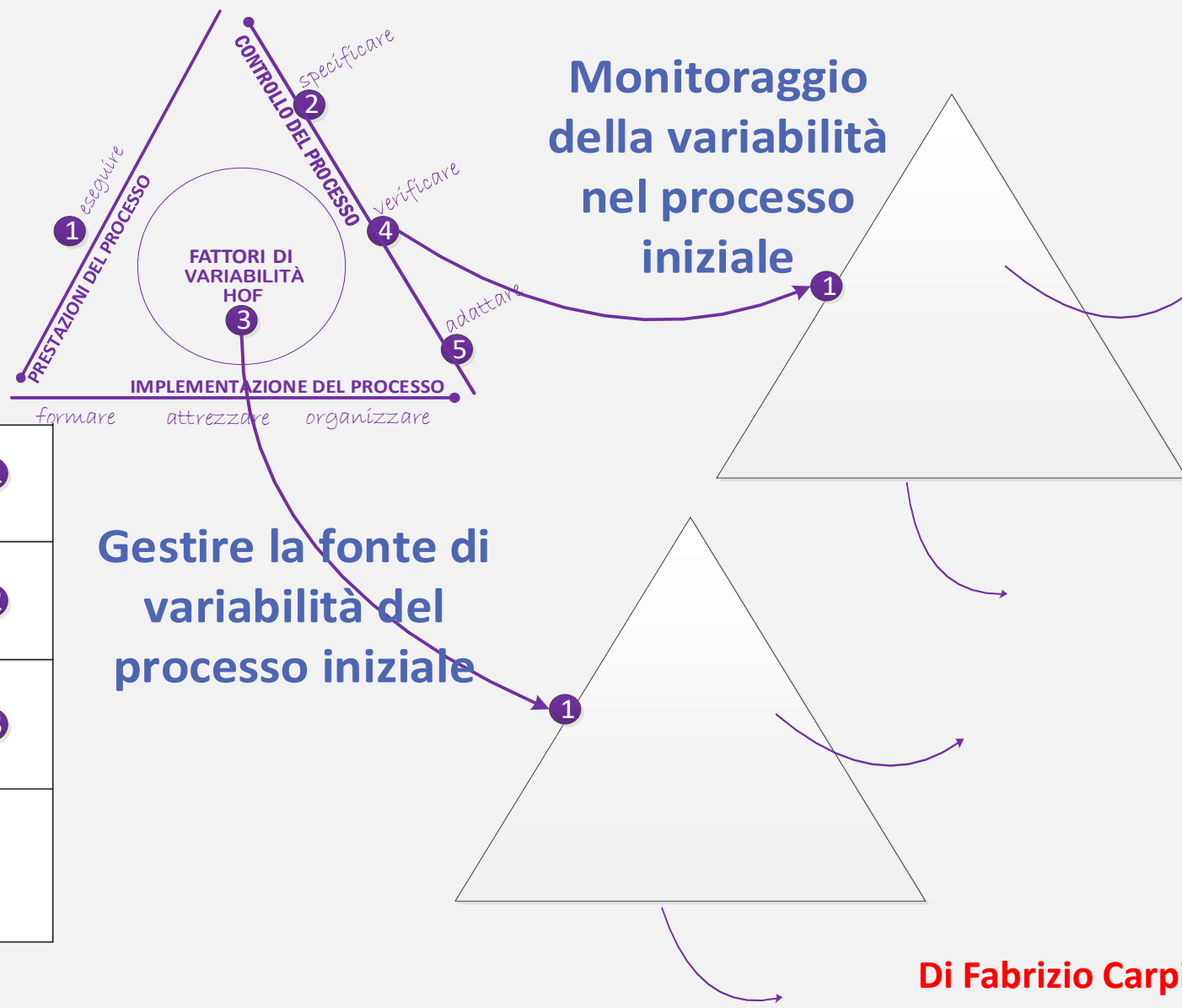
I fattori proposti sono riconducibili a 5 aree.



Analisi frattale della sicurezza: per scoprire i livelli di complessità (SGS e oltre)

= HOF 5x5 è parte di SAFRAN

Safety FRactal ANalysis



COS'È SUCCESSO? QUALE VARIABILITÀ IDENTIFICHI?

1

COSA CI SI ASPETTAVA CHE ACCADESSE?

2

PERCHÉ QUESTA DIFFERENZA? COSA SPIEGA LA VARIABILITÀ?

3

PROSSIMA FUNZIONE DA INDAGARE?

Come viene identificata la variabilità da parte dell'organizzazione?

Come viene gestita la fonte di variabilità da parte dell'organizzazione?

= esplorare il sistema

Come migliorare

- **Conoscere:**

Servono dati, serve standardizzazione, servono evidenze di buone prassi

Vanno in questa direzione:

- la realizzazione dell'**ISS** previsto dalla bozza del CSM ASLP
- I sistemi di **autovalutazione**
- la produzione di **linee guida esperte**

- **Diffondere:**

Serve una ridefinizione strategica dell'orientamento alla sicurezza, che **superi**:

- i confini della responsabilità legale,
- I costrutti interpretativi risalenti (come il GEMS 1990)
- L'approccio per competenze e organizzazione puramente verticali

Problemi emergenti

- **Livello istituzionale:** scarsa qualità dei testi, delle traduzioni, mancata condivisione di significati, scopi, orizzonti
 - **Livello dirigenziale:** complessità crescente del sistema e perdita della visione unitaria
- **Livello operativo:** lo sviluppo tecnologico e la retrocessione della capacità tecnica di discernimento - intervento delle figure professionali ferroviarie
 - **IA**