PuntoSicuro

ARTICOLO DI PUNTOSICURO

Anno 27 - numero 5906 di Martedì 26 agosto 2025

VDR: integrazione nell'era dei big data e dell'intelligenza artificiale

Le potenzialità dei Big Data e dell'Intelligenza Artificiale nel miglioramento della sicurezza sul lavoro, con particolare attenzione ai cantieri edili e alle metodologie avanzate per la valutazione del rischio. A cura del Dott. Mario Ferraioli.

Con riferimento all'attuale campagna europea " Lavoro sano e sicuro nell'era digitale", promossa dall'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro e di cui siamo media partner, continuiamo a raccogliere, lo abbiamo fatto con articoli e interviste anche con riferimento alla nostra partecipazione ad Ambiente Lavoro 2025, esempi di sviluppi in materia di sicurezza connessi alle nuove tecnologie e all'uso dell' intelligenza artificiale (IA).

*Per parlarne pubblichiamo un nuovo contributo, dopo altri che hanno affrontato anche il mondo dei cantieri e il miglioramento del Piano di Sicurezza e Coordinamento, inviato da un nostro lettore, il Dott. Mario Ferraioli, dal titolo "**Integrazione nell'era dei big data e dell'intelligenza artificiale: l'evoluzione dell'equazione di Niman Raj verso soluzioni avanzate per la valutazione del rischio**".*

Pubblicità

Integrazione nell'era dei big data e dell'intelligenza artificiale: l'evoluzione dell'equazione di Niman Raj verso soluzioni avanzate per la valutazione del rischio

L'**Equazione di Niman Raj**, originariamente proposta come strumento universale per la valutazione del rischio in contesti lavorativi, inclusi i cantieri edili, trova oggi una naturale e potente evoluzione grazie all'integrazione dei **Big Data** e dell'**Intelligenza Artificiale** (IA). Queste tecnologie emergenti offrono nuovi paradigmi per il trattamento, l'analisi e la previsione dei rischi, potenziando il modello originario con soluzioni avanzate che permettono di affrontare la crescente complessità dei contesti operativi moderni.

Il potenziale trasformativo dei big data nella valutazione del rischio

L'Equazione di Niman Raj si basa su una valutazione **quantitativa** che implica la raccolta e l'analisi di dati riguardanti **pericoli, danni potenziali** e misure di **mitigazione del rischio**. In ambienti complessi come i cantieri edili, dove numerose variabili

interagiscono tra loro, la mole di dati rilevanti è significativamente elevata. I **Big Data**, con il loro **volume, velocità e varietà**, vanno oltre le capacità degli strumenti tradizionali di analisi, permettendo di ottenere una visione complessiva e dettagliata dei rischi.

L'applicazione dei principi dei Big Data al modello di Niman Raj consente di gestire e analizzare un ampio ventaglio di dati provenienti da diverse fonti:

- **Dati storici** su incidenti e infortuni, affinando la stima della probabilità e della gravità degli eventi dannosi.
- **Dati ambientali e operativi**, come le condizioni meteorologiche in cantiere, i livelli di rumore, l'esposizione a polveri e l'utilizzo delle attrezzature.
- **Dati comportamentali**, raccolti attraverso sistemi di monitoraggio, che permettono di identificare pattern di rischio legati alle prassi operative.
- **Dati relativi all'efficacia delle misure preventive**, che consentono di valutare l'impatto concreto dei fattori di riduzione del rischio.

Il ruolo strategico dell'Intelligenza Artificiale nell'ottimizzazione del modello di Niman Raj

L' Intelligenza Artificiale (IA) rappresenta un punto di svolta nella valorizzazione dei **Big Data**, mettendo a disposizione strumenti sofisticati che potenziano le capacità predittive e decisionali del modello di Niman Raj.

- **Analisi predittiva avanzata**: Gli algoritmi di IA, come il **machine learning**, possono essere addestrati su dataset ampi e diversificati per identificare **correlazioni complesse**, migliorando la previsione dei livelli di rischio futuri e integrandosi perfettamente con gli obiettivi del modello di Niman Raj.
- **Ponderazione dinamica dei rischi**: L'IA permette di **aggiornare e ricalibrare dinamicamente** i pesi (w) attribuiti a ciascuna categoria di rischio (macchinari, salute, ambiente, ecc.), sulla base dell'analisi dei **dati in tempo reale** e delle condizioni operative in evoluzione.
- **Individuazione di pattern nascosti**: Le tecniche di **data mining**, applicate ai Big Data, consentono di scoprire combinazioni di fattori di rischio che non emergono da un'analisi manuale, identificando correlazioni che aumentano significativamente la probabilità di incidenti.
- **Automazione e supporto decisionale**: L'IA ha la capacità di **automatizzare** fasi del processo di valutazione, come l'**analisi preliminare dei dati**, e di generare **allerte tempestive** quando i rischi superano soglie predefinite. I sistemi di supporto decisionale basati su IA, inoltre, sono in grado di fornire **raccomandazioni** concrete sulle misure preventive più efficaci.
- **Gestione proattiva del rischio nel tempo**: Grazie all'IA, l'evoluzione del rischio nel tempo, come previsto dall'Equazione di Niman Raj, può essere analizzata con maggiore precisione, considerando le **interazioni complesse** tra i vari fattori di rischio. L'IA consente di individuare in anticipo i momenti critici in cui i rischi potrebbero superare soglie accettabili, suggerendo interventi preventivi mirati.

Integrazione operativa delle tecnologie avanzate

L'integrazione dei Big Data e dell'Intelligenza Artificiale nel modello di Niman Raj può concretizzarsi attraverso l'adozione di tecnologie avanzate:

- **Piattaforme software** capaci di raccogliere, integrare e analizzare dati provenienti da diverse fonti, come sensori IoT, **sistemi di gestione della sicurezza** e **registri di manutenzione**.
- **Algoritmi di machine learning**, utilizzati per l'**analisi predittiva del rischio** e l'**ottimizzazione delle misure preventive**.
- **Interfacce utente intuitive**, che presentano i risultati in modo chiaro e accessibile, fornendo supporto decisionale a **operatori e responsabili della sicurezza**.

L'integrazione dei Big Data e dell'Intelligenza Artificiale nel modello di Niman Raj consente di gestire il rischio in maniera **più efficace, informata e proattiva**, trasformando il modello in uno strumento operativo in grado di rispondere alle sfide della sicurezza nei contesti lavorativi moderni.

SCHEDA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO ? LAVORO AL TORNIO

Descrizione della fase di lavoro

Il lavoro al tornio prevede la lavorazione di pezzi metallici o lignei attraverso la rotazione ad alta velocità, utilizzando utensili da taglio per modellare il materiale. L'operatore deve fissare il pezzo, avviare la macchina, controllare la lavorazione e rifinire il pezzo prodotto.

B) Elenco delle macchine ed attrezzature	Livello di Pericolo	Danno	Rischio
Tornio parallelo	Alto	Alto	Alto
Chiavi di serraggio	Medio	Medio	Medio
Utensili da taglio (sgorbie, punte, inserti, scalpelli)	Alto	Alto	Alto
Strumenti di misura (calibro, micrometro, comparatore)	Basso	Basso	Basso

C) Elenco dei rischi della fase di lavoro	Livello di Pericolo	Danno	Rischio
Contatto con parti in movimento	Alto	Alto	Alto
Proiezione di schegge	Medio	Alto	Medio
Taglio e abrasioni da utensili affilati	Alto	Medio	Medio
Rottura dell'utensile con espulsione	Alto	Alto	Alto

D) Elenco dei rischi per la salute	Livello di Pericolo	Danno	Rischio
Esposizione a polveri e fumi	Medio	Medio	Medio
Rumore prolungato (>85 dB)	Medio	Alto	Medio
Vibrazioni mano-braccio	Medio	Medio	Medio
Postura non ergonomica	Medio	Medio	Medio

E) Elenco dei rischi del contorno	Livello di Pericolo	Danno	Rischio
Scarsa illuminazione	Medio	Medio	Medio
Pavimentazione non idonea	Medio	Alto	Medio
Affollamento della zona di lavoro	Medio	Medio	Medio

F) Fattori di riduzione dei rischi	Livello di Attenzione
Installazione di protezioni sulle macchine	Alta
Uso corretto di utensili affilati e in buono stato	Alta
Aspirazione localizzata per fumi e polveri	Alta
Segnaletica e delimitazione delle aree di sicurezza	Media
Formazione e addestramento degli operatori	Alta

G) DPI necessari	Importanza
Occhiali di protezione o visiera	Alta
Guanti antitaglio (solo se sicuri)	Medio
Tappi o cuffie antirumore	Alta
Maschera con filtro P3	Alta
Scarpe antinfortunistiche	Alta
Indumenti aderenti	Alta

H) Rischi residui	Livello di Pericolo	Danno	Rischio
Possibile rottura utensile	Medio	Alto	Medio
Esposizione a polveri residua	Medio	Medio	Medio
Errori umani nella gestione della macchina	Alto	Alto	Alto

I) Livello di rischio medio	Medio-Alto

Considerazioni del consulente

Lavorare al tornio comporta elevati rischi meccanici e per la salute. È essenziale implementare protezioni efficaci, formare adeguatamente gli operatori e ridurre il rischio residuo attraverso misure di automazione, aspirazione efficiente e monitoraggio continuo. La gestione attenta delle attrezzature e l'uso corretto dei DPI sono fondamentali per minimizzare incidenti e problematiche a lungo termine. Inoltre, una manutenzione periodica delle macchine e la verifica delle condizioni operative possono contribuire a ridurre ulteriormente i pericoli associati a questa fase lavorativa.

EQUAZIONE DI NIMAN PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

L' Equazione di Niman, sviluppata da Mario Ferraioli, rappresenta un modello matematico avanzato per la valutazione quantitativa del rischio in ambienti di lavoro complessi come cantieri edili e aree industriali. Nella sua forma integrale, l'equazione è espressa come:

$$RT = \int_a^b \left[\frac{\sum_i L_i(x) \cdot P_i(x)}{\sum_i P_i(x)} - \frac{\sum_j L_j(x) \cdot P_j(x)}{\sum_j P_j(x)} \right] dx$$

Dove:

- $L_i(x)$ rappresenta i livelli dei fattori di rischio associati a impianti, strutture e attrezzature
- $P_i(x)$ denota il peso relativo di ciascun fattore di rischio
- $L_j(x)$ e $P_j(x)$ rappresentano rispettivamente i livelli e i pesi dei fattori correttivi
- $[a, b]$ identifica l'intervallo di integrazione

FONDAMENTI TEORICI

Questo approccio si basa su tre elementi fondamentali:

1. 1.Un campione rappresentativo ampio e diversificato di valutazioni
2. 2.L'utilizzo della curva di Gauss per individuare i rischi con maggiore probabilità
3. 3.L'applicazione della probabilità bayesiana per pesare i rischi e i correttivi

FORMULA DELLA FUNZIONE GAUSSIANA

L'equazione generale della funzione gaussiana è:

L'equazione generale della funzione gaussiana è:

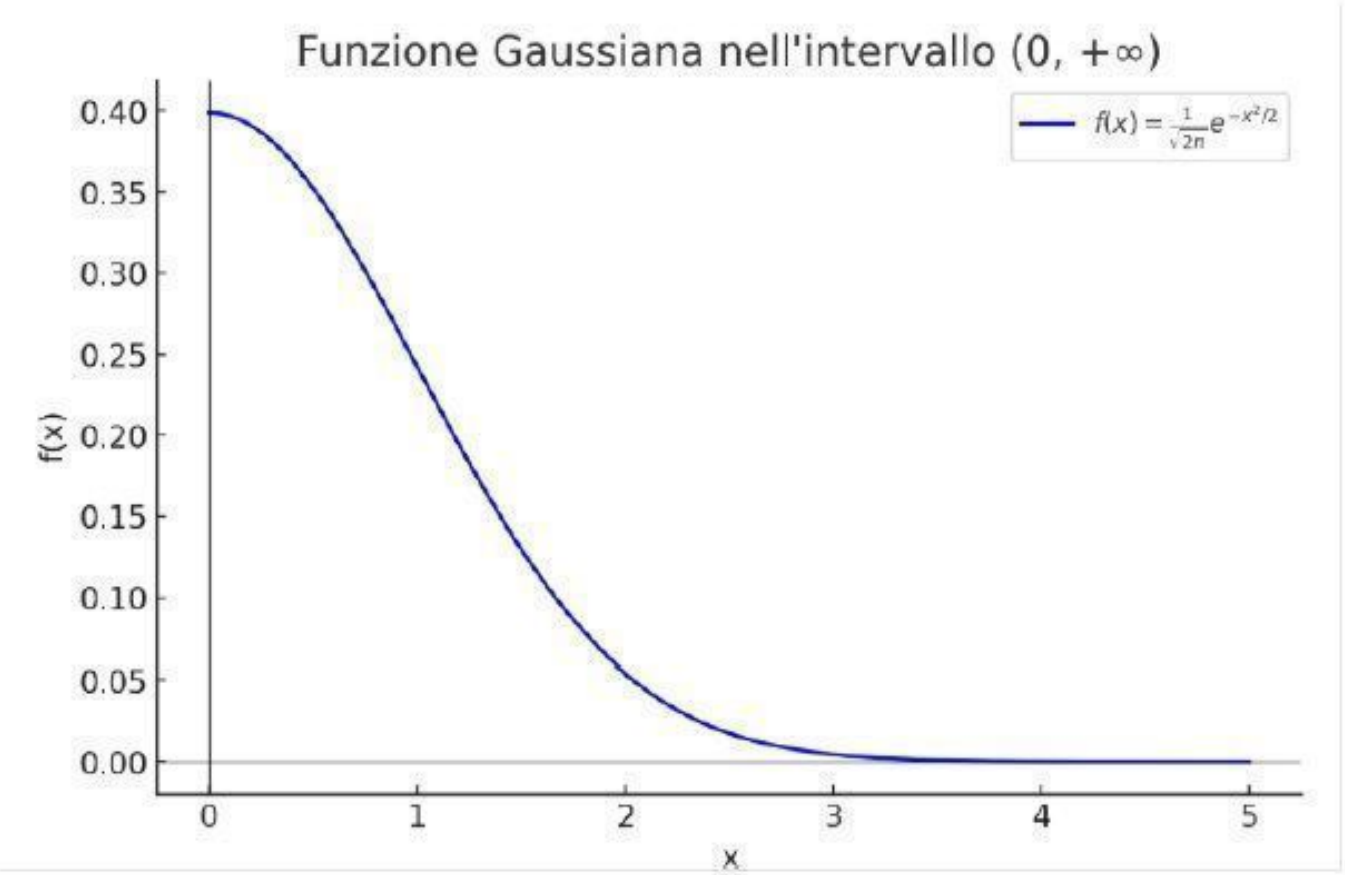
$$f(x) = Ae^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

dove:

- A è l'ampiezza della distribuzione (altezza massima della curva)
- μ è la media, che determina il centro della campana
- σ è la deviazione standard, che determina la larghezza della curva

Nel caso particolare della funzione gaussiana standard:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-x^2/2}$$



TEOREMA DI BAYES

L'equazione della probabilità bayesiana è data da:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

dove:

- $P(A|B)$ è la probabilità condizionata di A dato che B è vero
- $P(B|A)$ è la probabilità di ottenere B se A è vero
- $P(A)$ è la probabilità a priori dell'evento A
- $P(B)$ è la probabilità dell'evento B, calcolata come: $P(B) = P(B|A)P(A) + P(B|\neg A)P(\neg A)$

RAFFORZAMENTO DEL METODO

Il rischio complessivo della fase di lavoro può essere calcolato come:

$$RC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i \times D_i) - \sum_{j=1}^{m} F_j}{n}$$

Dove:

- Pi*Pi* rappresenta il livello di pericolo di ciascun rischio (Basso=1, Medio=2, Alto=3)
- Di*Di* rappresenta il danno potenziale di ciascun rischio (Basso=1, Medio=2, Alto=3)
- Fj*Fj* rappresenta il fattore di riduzione del rischio (Bassa=1, Media=2, Alta=3)
- n*n* è il numero totale dei rischi identificati
- m*m* è il numero totale dei fattori di riduzione

Dettagliando ulteriormente l'equazione:

$$RC = \frac{w_M \sum(P_M \times D_M) + w_L \sum(P_L \times D_L) + w_S \sum(P_S \times D_S) + w_C \sum(P_C \times D_C) + w_R \sum(P_R \times D_R) - \sum_{j=1}^{m} F_j}{w_M + w_L + w_S + w_C + w_R}$$

Dove i pedici M, L, S, C e R rappresentano rispettivamente i rischi legati a macchine, lavorazione, salute, contorno e rischi residui, mentre i coefficienti ww rappresentano i pesi attribuiti a ciascuna categoria.

INTEGRAZIONE CON IL MODELLO DI NIMAN

Integrando il modello di Niman con quanto sopra esposto:

$$EINRJ = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i \times D_i \times \omega_i)}{\sum_{i=1}^{n} W_i}\right] \times \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^{m}(F_j \times \beta_j) \times \eta}{\sum_{j=1}^{m} \beta_j \times F_{max}}\right] \times \gamma(t)$$

Dove:

- P_i = Livello di pericolo del rischio i-esimo (scala 1-3)
- D_i = Danno potenziale del rischio i-esimo (scala 1-3)
- ω_i = Peso bayesiano assegnato al rischio i-esimo basato su dati storici
- F_j = Fattore di riduzione j-esimo (scala 1-3)
- β_j = Coefficiente di efficacia del fattore di riduzione j-esimo (0-1)
- η = Coefficiente di implementazione delle misure preventive (0-1)
- F_{max} = Valore massimo possibile per i fattori di riduzione
- $\gamma(t)$ = Funzione temporale che modella l'evoluzione del rischio nel tempo

Componenti Derivate dal Metodo di Niman

1. Pesi bayesiani ω_i: Calcolati secondo la formula:
   $W_i = \frac{P(E|R_i) \times P(R_i)}{P(E)}$
   Dove $P(E|R_i)$ è la probabilità di un evento dannoso dato il rischio R_i, $P(R_i)$ è la probabilità a priori del rischio, e $P(E)$ è la probabilità generale dell'evento.
2. Coefficiente di efficacia β_j: Determinato attraverso l'analisi statistica sui dati di efficacia delle misure preventive in contesti simili.
3. Funzione temporale $\gamma(t)$: Modellata secondo l'approccio integrale:
   $\gamma(t) = \int_{t_0}^{t} \alpha(x) x e^{-\lambda(t-x)} dx$
   Dove $\alpha(x)$ rappresenta la variazione del rischio nel tempo e λ è il tasso di decadimento dell'efficacia delle misure preventive.

EVOLUZIONE DEL RISCHIO NEL TEMPO

Considerando l'evolversi del rischio in funzione del tempo:

$$\frac{d(EINRJ)}{dt} = \frac{dR(t)}{dt} \times M(t) \times \gamma(t) + R(t) \times \frac{dM(t)}{dt} \times \gamma(t) + R(t) \times M(t) \times [\alpha(t) - \lambda\gamma(t)]$$

Dove:

$$R(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i \times D_i \times \omega_i(t))}{\sum_{i=1}^{n} W_i(t)}$$

$$M(t) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{m}(F_j(t) \times \beta_j(t)) \times \eta(t)}{\sum_{j=1}^{m} \beta_j(t) \times F_{max}}$$

La soluzione integrale fornisce il valore dell'EINRJ a qualsiasi tempo t:

$$EINRJ(t) = e^{-\lambda(t-t_0)}\left[\int_{t_0}^{t} e^{\lambda(s-t_0)}\left(\frac{dR(s)}{ds} \times M(s) \times \gamma(s) + R(s) \times \frac{dM(s)}{ds} \times \gamma(s) + R(s) \times M(s) \times \alpha(s)\right) ds + EINRJ(t_0)\right]$$

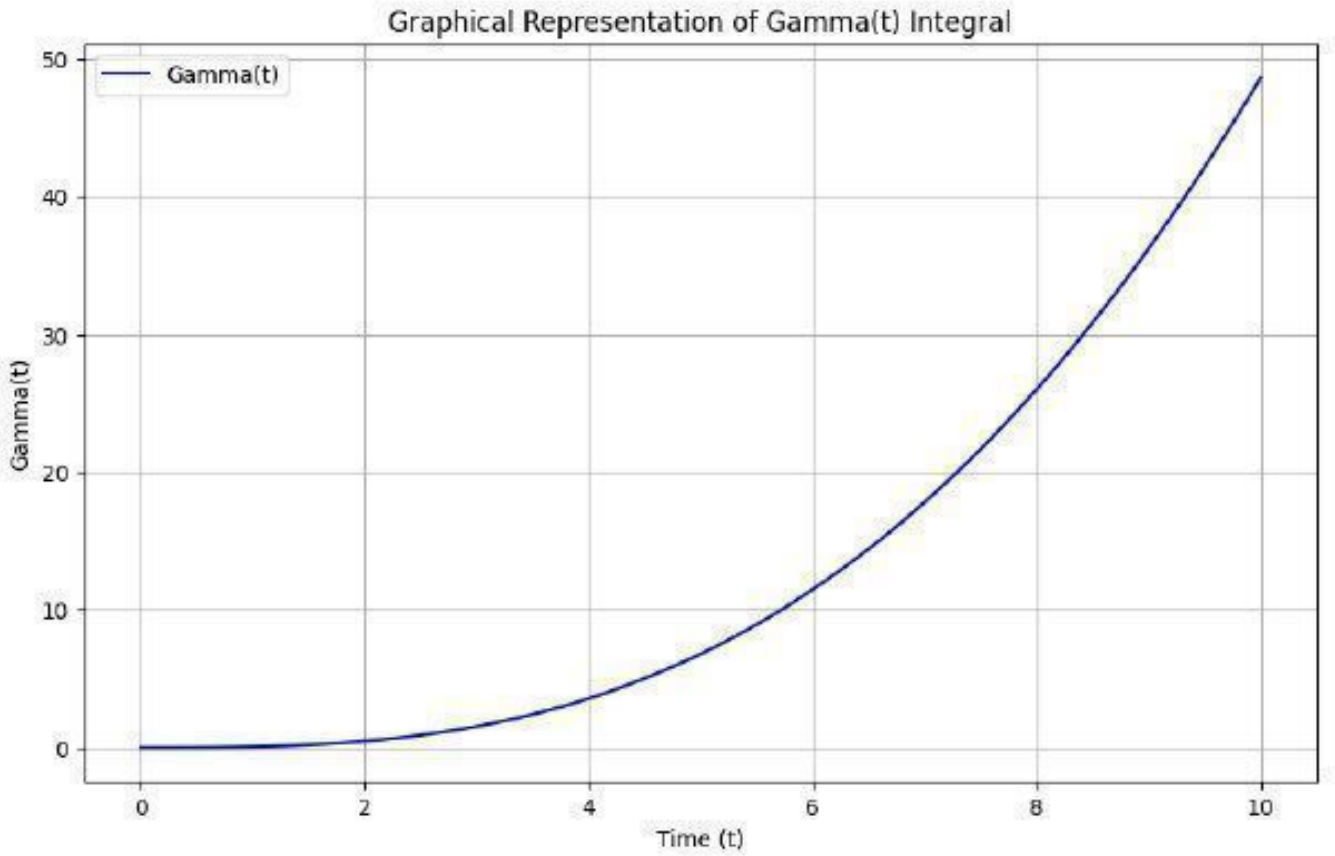
Questa soluzione permette di:

1.Tracciare la curva di rischio nel tempo

2.Prevedere i livelli futuri di rischio

3.Valutare l'impatto a lungo termine delle misure preventive

4.Identificare i momenti critici in cui il rischio potrebbe superare soglie accettabili



Il grafico mostra la rappresentazione della funzione temporale ?(t) utilizzata nell'equazione EINRJ per modellare l'evoluzione del rischio nel tempo.

Il grafico mostra chiaramente come il valore dell'integrale aumenti in modo non lineare nel tempo, con una crescita più rapida dopo t=4. Questo andamento esponenziale indica che il rischio tende ad aumentare significativamente nel lungo periodo se non vengono implementate nuove misure di controllo.

Partendo da un valore prossimo a zero all'inizio (t=0), la funzione ?(t) raggiunge circa 50 unità a t=10, evidenziando come l'accumulo del rischio possa diventare sostanziale con il passare del tempo.

Questa rappresentazione è particolarmente utile per:

1. 1.Prevedere l'evoluzione temporale del rischio
2. 2.Identificare i punti critici in cui il rischio accelera
3. 3.Pianificare interventi preventivi prima che il rischio raggiunga livelli inaccettabili

Per calcolare numericamente questa integrale in casi specifici, si utilizzerebbero metodi di integrazione numerica come la regola trapezoidale o il metodo di Simpson, implementati in software specializzati per la valutazione del rischio.

Mario Ferraioli

 Licenza Creative Commons

www.puntosicuro.it