

## XVIII Convegno Tecnico ACI

# RETE STRADALE: INCIDENTALITA' E GOVERNO DELLA MOBILITA'

Roma - 27 giugno 2008

## L'ANALISI DEL RISCHIO

# *PREMESSA ESSENZIALE ALLE SOLUZIONI PROGETTUALI*

Prof. Ing. Francesca La Torre - Prof. Inf. Lorenzo Domenichini  
Università di Firenze  
Dipartimento di Ingegneria Civile

[francesca.latorre@unifi.it](mailto:francesca.latorre@unifi.it)

**La valutazione della sicurezza e della affidabilità di una strada è una attività d'ingegneria complicata in quanto quasi tutte le decisioni debbono essere assunte in un regime di incertezza.**

**Le informazioni sulla situazione esistente e le previsioni degli stati futuri che sono la base di ciascun processo decisionale sono dati consapevolmente affetti da errore.**

**L'ASSUNZIONE DI UN CERTO LIVELLO DI RISCHIO  
E' INEVITABILE NEL PROCESSO DI  
PIANIFICAZIONE, PROGETTO, MANUTENZIONE E  
GESTIONE DI UNA STRADA (e anche nella guida ....)**

Le incertezze insite nel processo possono essere definite e valutate in termini probabilistici. Ciò consente di tener conto in modo sistematico delle conseguenze da esse generate sulle decisioni assunte.

In questo modo, **il rischio associato a ciascuna decisione può essere quantizzato e, se ritenuto necessario, possono essere definite le misure occorrenti a ridurre la probabilità di accadimento degli eventi critici oppure a controllarne o minimizzarne le conseguenze.**

**IL CONCETTO DI SAFETY IMPACT ASSESSMENT  
(SIA) INTRODOTTO DALLA BOZZA DI DIRETTIVA  
EUROPEA SUL "ROAD SAFETY MANAGEMENT"**

## Definizione di ANALISI DEL RISCHIO

“Processo di valutazione della probabilità di accadimento di un incidente in una specifica situazione di guida e di analisi delle possibili conseguenze”

E' una procedura che si sviluppa in 3 fasi:

**IDENTIFICAZIONE DEL PROBLEMA**

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

**MONITORAGGIO**



## **IDENTIFICAZIONE DEL PROBLEMA:** definizione di:

- caratteristiche fisiche e funzionali della strada
- tipo di incidenti che possono verificarsi in ciascun tratto di strada di date caratteristiche
- grado di correlazione esistente tra i due

## **VALUTAZIONE DEL RISCHIO:**

- stima della probabilità di ciascun incidente possibile nelle diversi tratti di strada e della gravità delle loro conseguenze (se possibile)
- identificazione delle misure di mitigazione possibili

## **MONITORAGGIO:**

monitoraggio della situazione al fine di calibrare la procedura e di valutare l'efficacia delle misure di mitigazione adottate.

# VALUTAZIONE DEL RISCHIO

## Analisi Qualitativa del rischio

L'analisi qualitativa del rischio è una stima del livello di rischio mediante una valutazione della frequenza attesa e della gravità di eventi critici espressa mediante *giudizi*

L'analisi qualitativa di rischio è un possibile strumento per la selezione degli eventi più critici, che poi potranno essere approfonditi impostando una successiva analisi quantitativa, o per l'assunzione di decisioni preliminari.

## Analisi Quantitativa del rischio

L'analisi quantitativa del rischio (QRA) è la quantificazione del rischio mediante la determinazione della probabilità di accadimento di una serie definita di scenari e la misura delle relative conseguenze



## Analisi QUANTITATIVA del Rischio

“La combinazione della probabilità di un evento indesiderato e della severità delle sue probabili conseguenze”

$$R = P * C^{\alpha}$$

essendo:

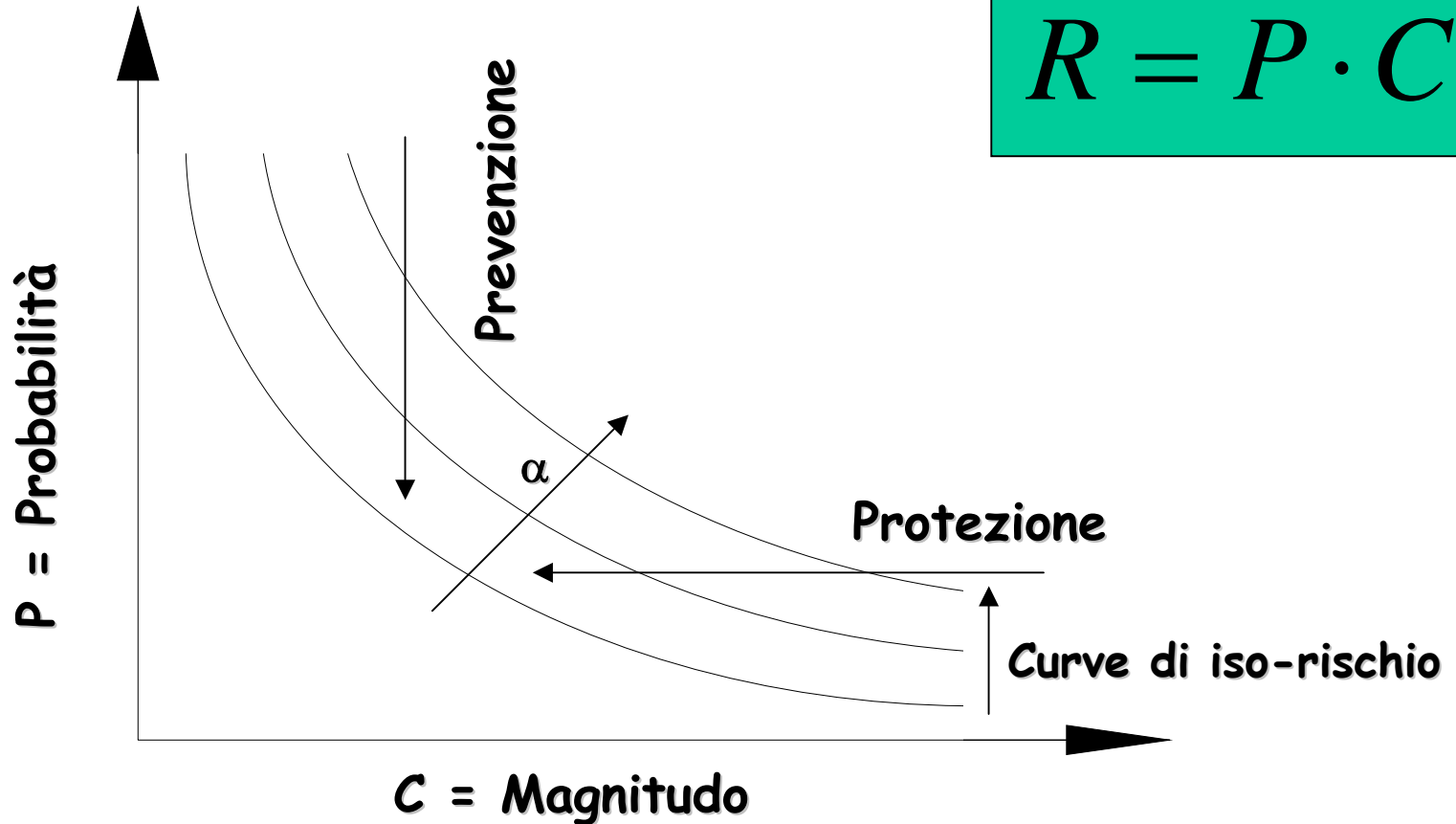
R = indice di rischio

P = probabilità dell'evento iniziatore (incidente)

C = gravità delle conseguenze dell'evento (nessun danno materiale, danni materiali, feriti, morti)

$\alpha$  = fattore di peso delle conseguenze (in funzione della percezione sociale della gravità dell'evento)

## La definizione quantitativa del rischio

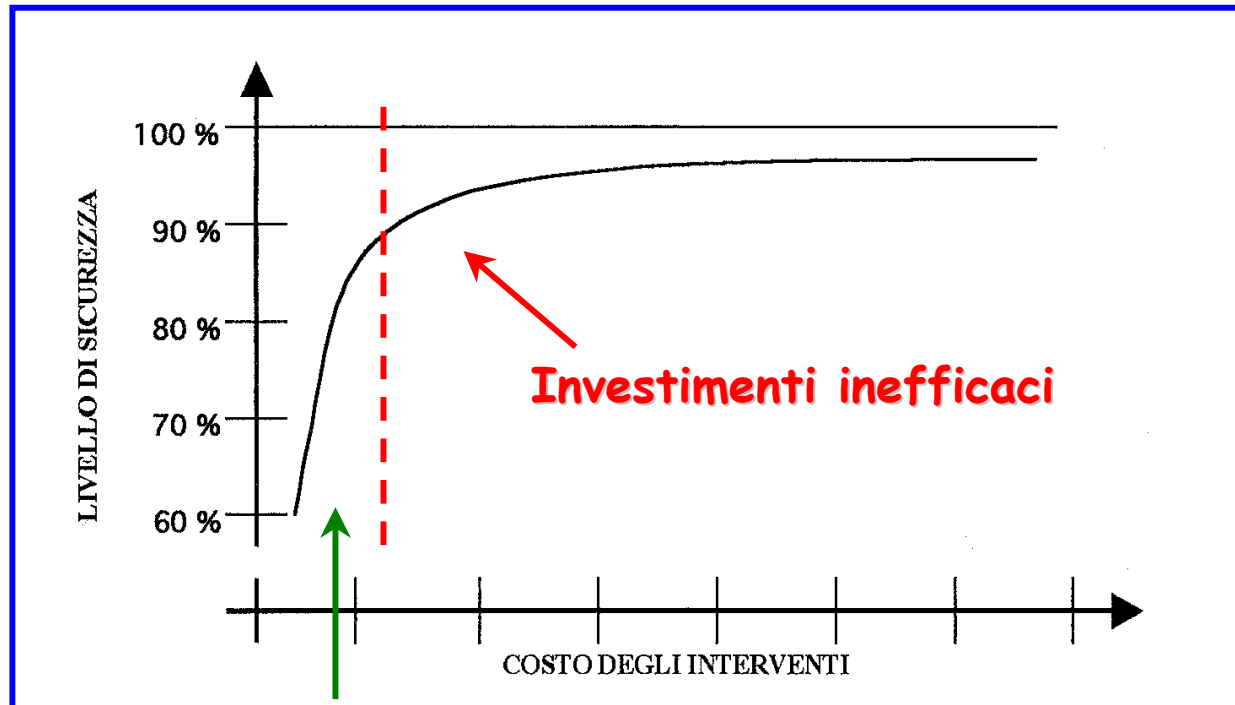


Le ordinate riportano delle probabilità o delle frequenze.



L'Analisi quantitativa del rischio è uno strumento di ottimizzazione delle risorse per la sicurezza; consentendo in particolare di:

- scegliere l'intervento di mitigazione più efficace;
- definire l'entità di risorse disponibili da investire sulla specifica componente dell'infrastruttura (omogeneità del livello di rischio).



**Investimenti efficaci**

## VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Viene fatto uso di procedure analitiche che consentono di identificare le relazioni funzionali (causa - effetto) esistenti tra l'evento considerato e le caratteristiche della sezione stradale nella quale l'evento evolve verso le conseguenze considerate.

Una procedura sistematica che consente di individuare i **modi di "rottura" del sistema** e le rispettive conseguenze sono rappresentate dalle tecniche di analisi

*Albero dei guasti (Fault Tree Analysis - FTA)*

*Albero degli eventi (Event Tree Analysis - ETA)*

# Indicatori del rischio

## Rischio individuale:

Frequenza di decesso individuale per punto geografico nell'intervallo di esposizione.

Si assume che l'individuo non sia protetto e sia presente nel punto (cui si associa il rischio) per tutto il tempo d'esposizione.

Il rischio individuale viene rappresentato con linee di profilo su mappe topografiche.

In campo stradale con diagrammi lineari di esposizione al rischio (**tasso d'incidentalità**)



# Distribuzione di tratti stradali con diverse condizioni di esposizione al rischio (analisi chilometrica)

TRATTO DI STUDIO	Fascia km	Ti	Ti	Tinf	Tsup	Liv
		morti e feriti	totale			
A	178-179	0.057	0.203	0	0.815	M
A	179-180	0.231	0.82	0	0.815	A
A	180-181	0.231	0.818	0	0.815	A
A	181-182	0.116	0.41	0	0.815	M
A	182-183	0.058	0.207	0	0.819	M
	183-184	0.122	0.432	0	0.826	M
	184-185	0	0	0	0.826	B
	185-186	0.263	0.933	0.011	0.794	A
	186-187	0.1	0.354	0.023	0.782	M
	187-188	0.2	0.709	0.023	0.782	M
	188-189	0.207	0.734	0.015	0.79	M
	189-190	0	0	0.014	0.791	B
	190-191	0.105	0.371	0.014	0.791	M
	191-192	0.052	0.185	0.014	0.791	M



Basso rischio



Medio rischio



Alto rischio

REGIONE TOSCANA

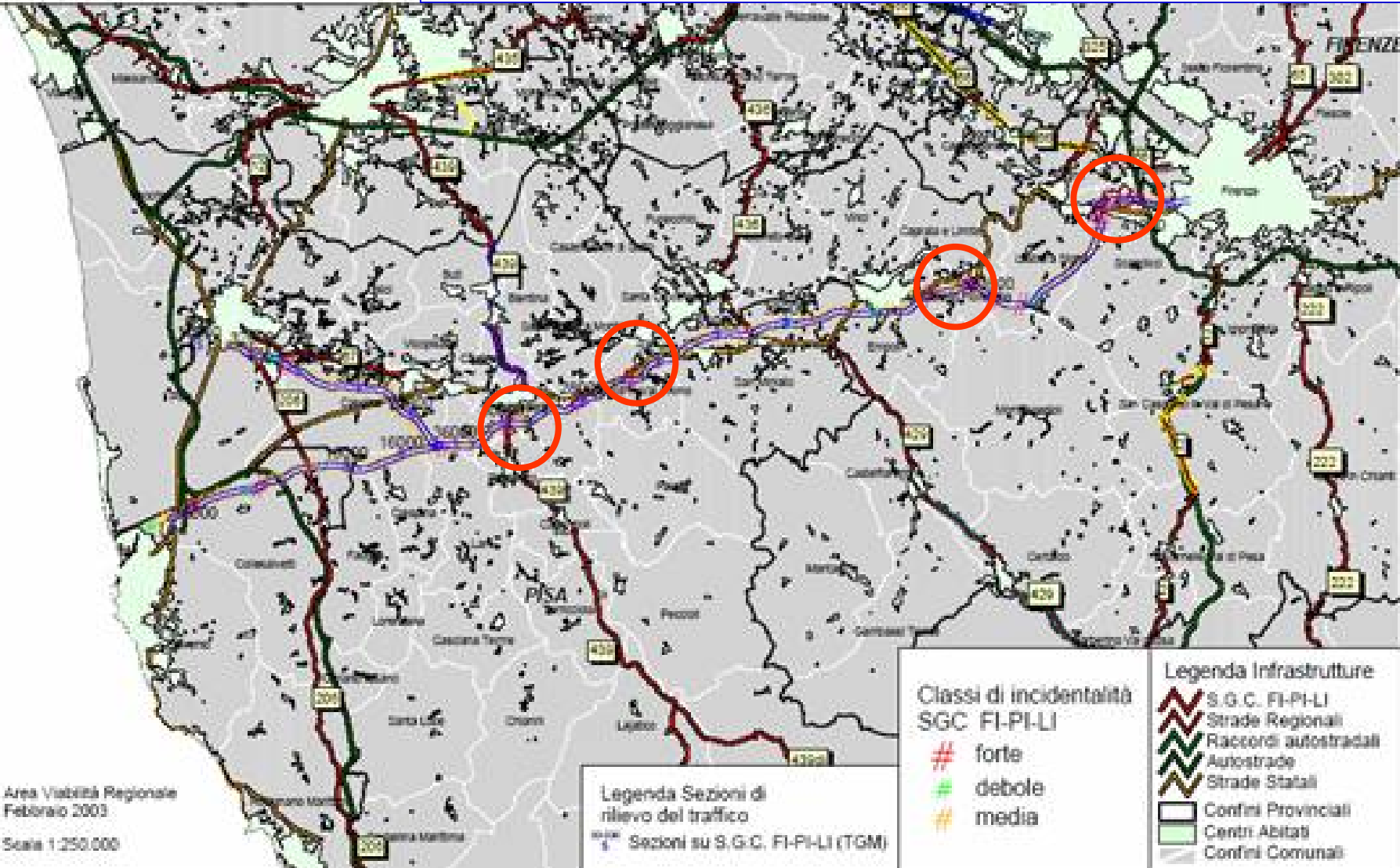


REGIONE TOSCANA

Tronchi a debole, media e forte incidentalità.  
 Criteri per la classificazione della rete stradale  
 (D.P. CNR n 13465 del 11/09/95)

S.G.C. FI-PI-LI

## Localizzazione dei tratti stradali caratterizzati da livelli di esposizione al rischio Alta - Media - Bassa e individuazione dei "tratti neri" della rete



Area Viabilità Regionale  
 Febbraio 2003  
 Scale 1:250.000

Legenda Sezioni di rilievo del traffico  
 1000<sup>mi</sup> Sezioni su S.G.C. FI-PI-LI (TGM)

Classi di incidentalità  
 SGC FI-PI-LI  
 # forte  
 ■ debole  
 ■ media

Legenda Infrastrutture  
 S.G.C. FI-PI-LI  
 Strade Regionali  
 Raccordi autostradali  
 Autostrade  
 Strade Statali  
 Confini Provinciali  
 Centri Abitati  
 Confini Comunali

# Indicatori del rischio

## Rischio sociale:

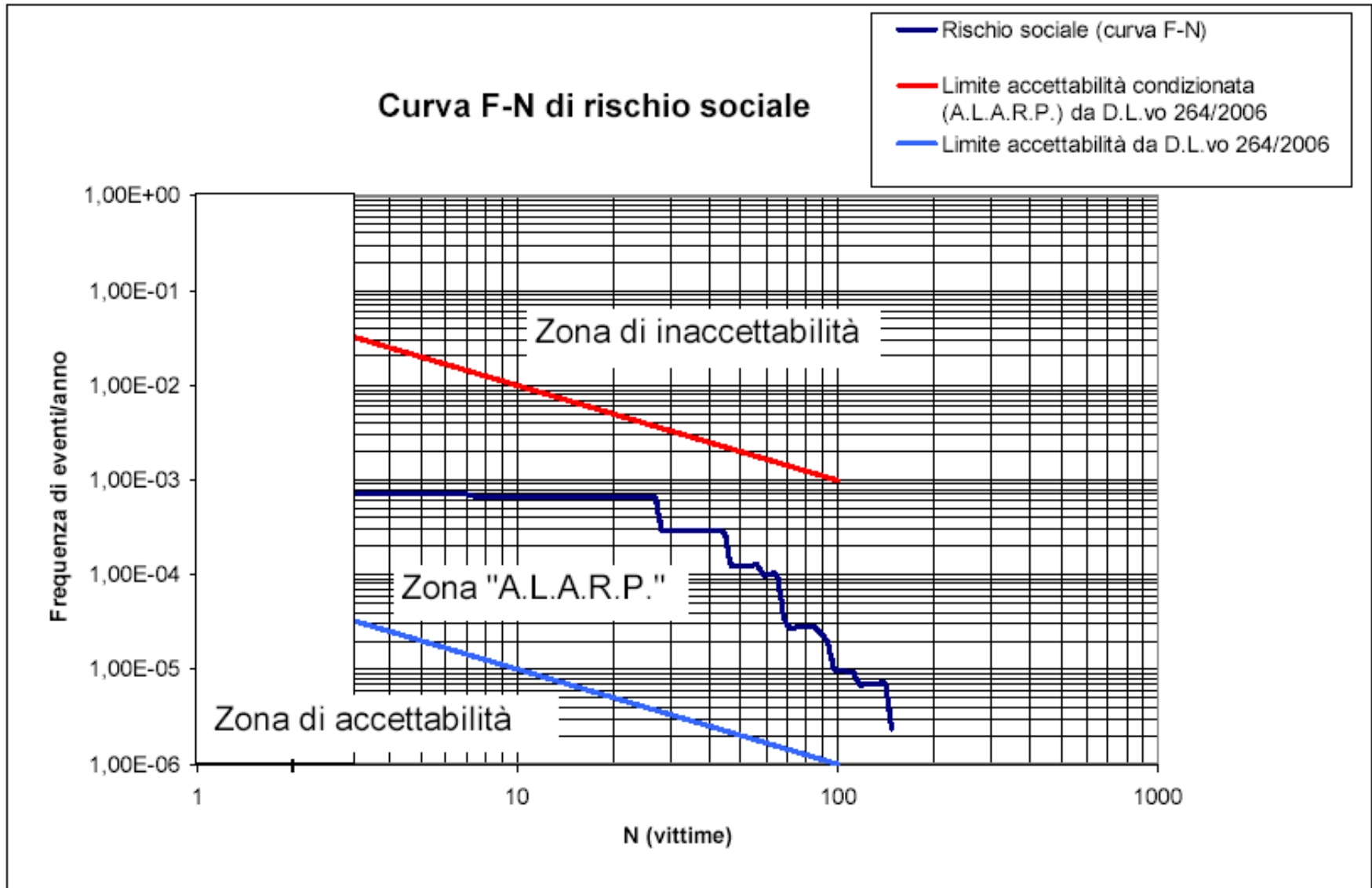
Frequenza di avere un incidente con N o più vittime simultaneamente.

Quindi il rischio sociale valuta la relazione tra il numero di persone che muoiono in un singolo incidente e la probabilità che questo numero sia superato.

Una rappresentazione ampiamente diffusa per la valutazione del rischio sociale è quella delle **curve di rischio cumulato F-N**



# Esempio di curva F/N per la rappresentazione dei risultati di una analisi di rischio





# APPLICAZIONI PIU' FREQUENTI



# LE ANALISI DELLA SICUREZZA E DEL RISCHIO PER LA GESTIONE DELLE "DEROGHE" AL DM 5.11.2001

## OBIETTIVI:

- Analizzare il rapporto tra l'elemento in deroga ed il tracciato nel suo complesso;
- Stimare la pericolosità aggiuntiva introdotta dagli elementi in deroga (valutazione del rischio aggiuntivo) rispetto ad una situazione che si presenta conforme agli standard normativi
- Individuare i fattori di mitigazione in grado di attenuare la pericolosità aggiuntiva
- (Definire le modalità di gestione delle emergenze nei tratti in deroga)

## Esempio

ZONA CON CARENZA DI VISIBILITA'	Prog. Iniziale	Prog. Finale	VISIBILITA' (**)		INCIDENTALITA'	GEOMETRIA	GIUDIZIO GLOBALE		RISCHIO RESIDUO(***) (ΔR)
			Rischio accettato?	Limiti di velocità localizzati (*)		Migliora nel progetto di potenziamento?	Rischio accettabile?	Limiti di velocità?	
NORD									
I	492	1'078	SI	NO	Alta (al limite)	SI	SI	NO	4.0%
II	1'751	2'001	NO	100km/h con pioggia	Media	SI	NO	100km/h con pioggia	3.8%
III	2'742	3'001	SI	NO	Alta	NO	NO	100km/h con pioggia	0%
IV	6'422	6'690	NO	100km/h con pioggia	Alta	NO	NO	100km/h con pioggia	0.9%
V	8'140	9'529	- (***)	NO	in variant e	in variante	SI	NO	0%
VI	14'134	14'625	SI	NO	Alta (molto)	SI	SI	NO	3.4%
VII	15'763	16'310	SI	NO	Bassa	NO	SI	NO	3.4%
VIII	17'909	18'264	- (***)	NO	in variant e	in variante	SI	NO	0%

(\*) se minori di 110 km/h in presenza di pioggia.

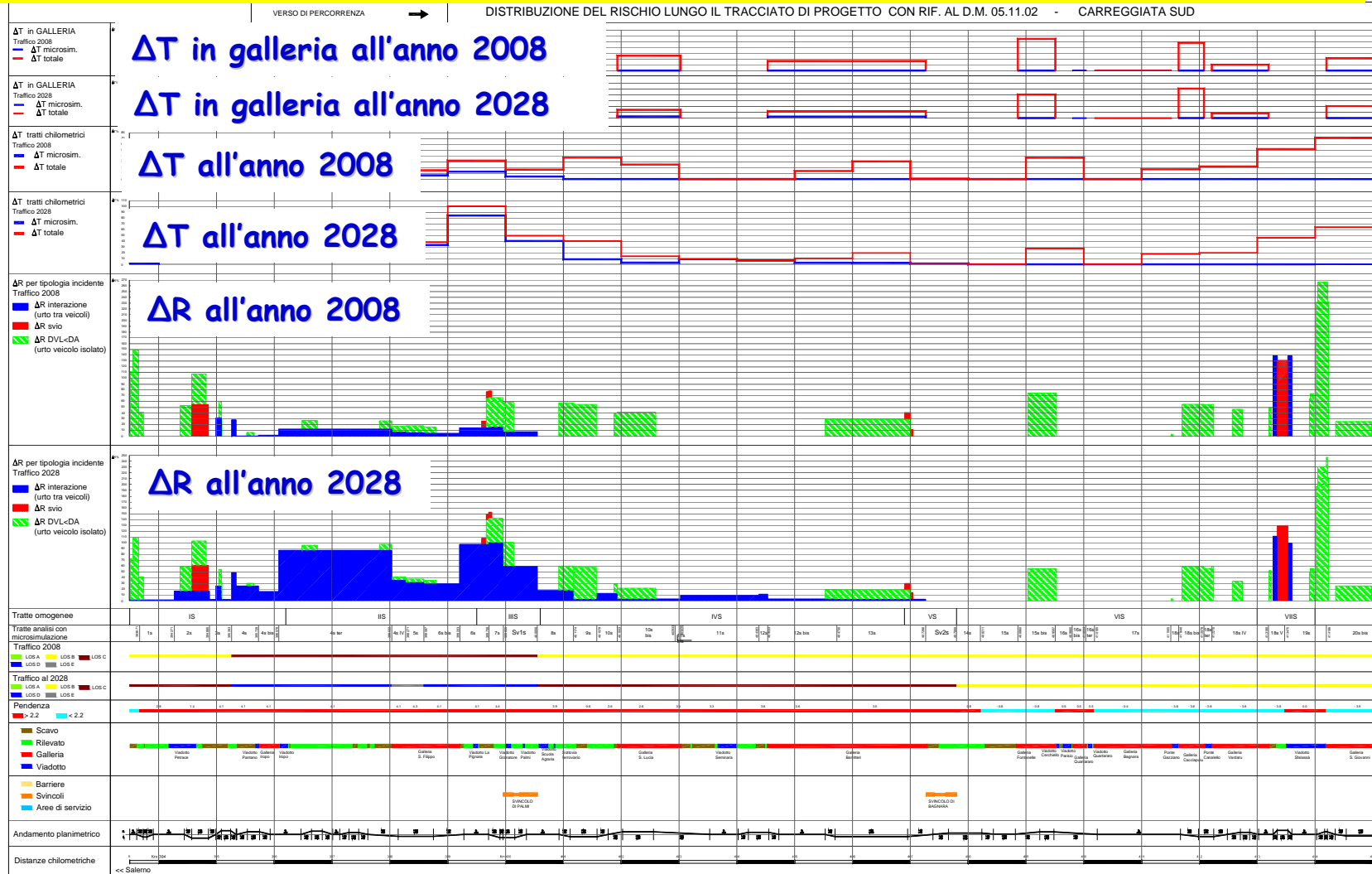
(\*\*) valutato con riferimento al nuovo quadro normativo.

(\*\*\*) gli elementi VI, IX E XII compaiono nell'analisi perché difformi al DM. 6792/2001, ma sono caratterizzati da rischio nullo nel nuovo quadro normativo.



# ESEMPIO: diagramma itinerario per la rappresentazione sintetica dei risultati dell'analisi di sicurezza e di rischio

Analisi di rischio  
 Caratteristiche funzionali  
 Caratteristiche geometriche



Sviluppo linearizzato del tracciato

# LE ANALISI DELLA SICUREZZA E DEL RISCHIO PER L'ADEGUAMENTO DELLE STRADE ESISTENTI

Ä **D.M. 22.4.2004**

Art.4: *"Fino all'emanazione delle suddette norme, [...] i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la **dimostrazione che l'intervento**, nel suo complesso, **è in grado di produrre**, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un **innalzamento del livello di sicurezza**, fermo restando la necessità di garantire la continuità di esercizio della infrastruttura"*

↪ **Bozza di**

**"Norme per gli adeguamenti delle strade esistenti"**

*"Salvo il caso di interventi di adeguamento perfettamente rispondenti al dettato del D.M.5.11.2001, [...], la potenziale idoneità del bilanciato insieme di provvedimenti 'strutturali' e 'non strutturali' previsto in ciascuna soluzione progettuale, [...], dovrà essere supportata mediante la predisposizione di uno specifico elaborato progettuale denominato 'Analisi di sicurezza', redatto a cura del progettista"*

# LE ANALISI DELLA SICUREZZA E DEL RISCHIO PER L'ADEGUAMENTO DELLE STRADE ESISTENTI (segue)

## OBIETTIVI:

- Caratterizzazione dell'incidentalità esistente
- Caratterizzazione dei "difetti" infrastrutturali
- Analisi delle condizioni di incidentalità e di sicurezza in relazione alle condizioni di traffico delle diverse soluzioni progettuali proposte
- Valutare se tra l'elemento che presenta un "difetto" e la tipologia degli incidenti che accadono nel tratto in esame esiste un possibile rapporto di correlazione
- Individuazione dei benefici attesi a seguito degli interventi previsti nelle diverse soluzioni progettuali proposte (riduzione attesa del valore dell'indicatore di rischio prescelto)
- Fornire elementi relativi ai benefici sulla sicurezza delle diverse soluzioni proposte necessari per effettuare una analisi benefici-costi e la ottimizzazione degli interventi

# ANALISI COMPARATIVA DI SOLUZIONI ALTERNATIVE

## RIEPILOGO RISULTATI

	COSTI SOCIALI PER ANNO				
	TOT INCIDENTI (€)	TOT PERDITEMPO INCIDENTE (€)	TOT MOBILITA (€)	TOT AMBIENTE (€)	TOT (€anno)
<b>Soluzione 0</b>	1'462'462	109'523	195'012	6'171	<b>1'773'167</b>
<b>Soluzione 1</b>	1'345'888	81'459	8'103'558	24'228	<b>9'555'133</b>
<b>Soluzione 2</b>	1'359'780	89'125	195'012	6'171	<b>1'650'088</b>
<b>Soluzione 3</b>	1'126'452	80'828	36'229	6'567	<b>1'250'077</b>

	costi investimento (€)	costi manutenzione (€)	costi sociali (€)
<b>Soluzione 0</b>	0	848'036	25'061'838
<b>Soluzione 1</b>	209'250	892'134	135'051'664
<b>Soluzione 2</b>	435'000	882'240	23'322'247
<b>Soluzione 3</b>	5'362'500	1'286'188	17'668'509

# LE ANALISI DELLA SICUREZZA E DEL RISCHIO PER LA **SCELTA DEI DISPOSITIVI DI RITENUTA** E LA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA OFFERTE

## OBIETTIVI:

- Acquisire elementi di giudizio per effettuare la scelta dei dispositivi di ritenuta nei casi in cui la norma consente di adottare barriere caratterizzate da classi di contenimento diverse (ad esempio: per la protezione dello spartitraffico o dei bordi di opere d'arte di strade di tipo A o B sono richieste barriere di classe H3 o H4)
- Nei casi in cui non si riesca ad installare le barriere secondo gli standard previsti dalla norma, valutare la criticità delle condizioni di installazione in relazione alla tipologia degli incidenti che accadono nel tratto in esame e stimare la pericolosità aggiuntiva introdotta rispetto ad una situazione che si presenta conforme agli standard normativi





**ESEMPIO: Valutazione del tempo di ritorno con cui una barriera acustica retrostante una barriera di sicurezza può essere coinvolta nell'urto di un veicolo in svio, in relazione alla distanza dalla barriera di sicurezza a cui è posta la barriera acustica**

Calcolo relativo ad una tratta autostradale di sviluppo L (km)

Sviluppo tratti su opera d'arte con barriera acustica a tergo della barriera di sicurezza

CONDIZIONI DI INSTALLAZIONE PREVISTE IN PROGETTO						CONDIZIONI DI INSTALLAZIONE DI NORMA			
TIPO	BARRIERA	Wd (cm)	ET* (kJ)	Percentile (%)	TR (anni)	W (cm)	ET* (kJ)	Percentile (%)	TR (anni)
1	H3 - rilevato	165	360	90,2	2,07	250	463	93	3,03
3	H4 - bordo ponte	100	260	87	74	200	572	95	213
11	H4 - bordo ponte	85	180	80	324	200	572	95	1390
<b>TOTALE</b>					<b>2,00</b>	<b>TOTALE</b>			<b>2,98</b>

Wd = distanza tra fronte barriera di sicurezza e barriera acustica disponibile nelle diverse modalità di accoppiamento



## LE ANALISI DELLA SICUREZZA E DEL RISCHIO PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IN GALLERIA

➡ D.Lgs 264 del 5 Ottobre 2006 "Attuazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea"

Art. 3 "Qualora[...]. L'efficacia di tali misure deve essere dimostrata mediante una analisi di rischi effettuata in conformità delle disposizioni dell'art. 13. [...]"

Art. 13 "[...] L'analisi dei rischi di una galleria tiene conto di tutti gli elementi inerenti alle caratteristiche progettuali e delle condizioni del traffico che incidono sulla sicurezza, [...]"

Allegato 2 misure di sicurezza - par.1.1.3 "Se una galleria ha una caratteristica speciale riguardante i summenzionati parametri occorre effettuare una analisi dei rischi conformemente all'art.13 per stabilire se siano necessarie misure integrative e/o equipaggiamento complementare per garantire un livello elevato di sicurezza delle gallerie. Questa analisi dei rischi deve tener conto di eventuali incidenti che pregiudicano manifestamente la sicurezza degli utenti della strada nelle gallerie e che possano verificarsi durante la fase di esercizio nonché della natura e dell'ampiezza delle loro possibili conseguenze"

Allegato 3 "Obbiettivi di sicurezza e metodologia di analisi di rischio"

Allegato 4 - par.2.5 "La documentazione di sicurezza di una galleria in esercizio deve includere [...] una relazione ed una analisi sugli incidenti significativi verificatisi dopo l'entrata in vigore della presente direttiva"

# LE ANALISI DELLA SICUREZZA E DEL RISCHIO PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IN GALLERIA (segue)

## OBIETTIVI:

- Valutare le condizioni di incidentalità delle gallerie in esercizio
- Valutare la ammissibilità del livello di rischio, di una o più soluzioni in progetto, stimato in base alle condizioni di circolazione, alle caratteristiche geometriche della galleria ed alle dotazioni impiantistiche
- Favorire il processo decisionale relativo alla scelta ed al dimensionamento delle dotazioni impiantistiche
- Definire possibili provvedimenti di tipo infrastrutturale, impiantistico o di gestione delle emergenze per ridurre il rischio delle gallerie nei casi in cui le soglie di ammissibilità siano superate

**ANALISI DI TIPO  
COMPARATIVO**

**ANALISI DI TIPO  
ASSOLUTO**

## IL RISCHIO CONNESSO CON LA VELOCITA' ECCESSIVA

L'eccesso di velocità (Speed inconsistency) accade quando la "velocità effettiva" ( $V_{actual}$ ) supera la "velocità di sicurezza" ( $V_{safe}$ ).

Dipende dalla discrasia tra il **rischio percepito dall'utente** ed il **rischio effettivo connesso con una data manovra**.

La  $V_{safe}$  dipende da: veicolo, pneumatico, strada, condizioni climatiche etc. (variabile aleatoria)

La  $V_{actual}$  dipende da ... ???? ... (variabile aleatoria)

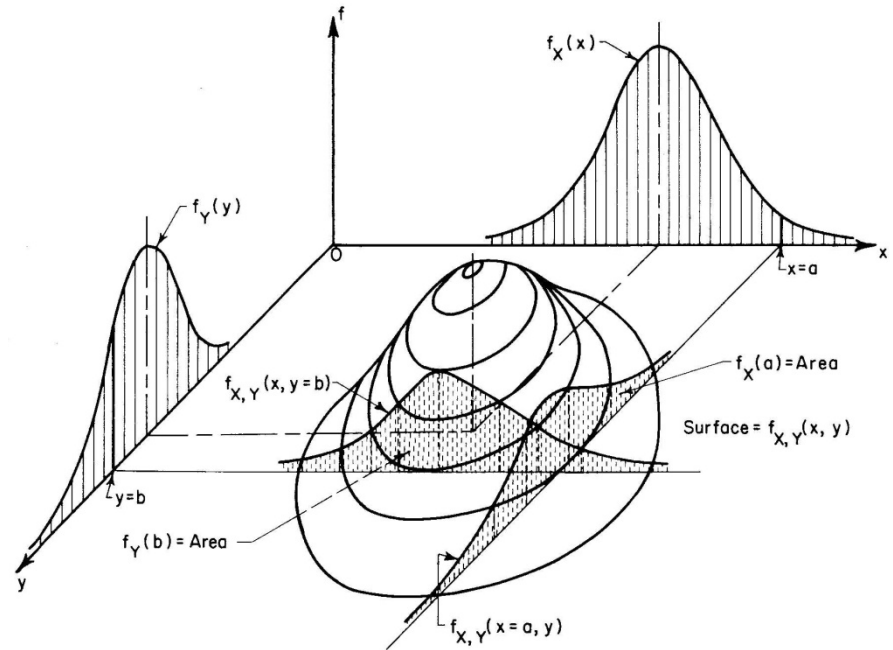
# IL RISCHIO CONNESSO CON LA VELOCITA' ECCESSIVA

Non si è in condizioni di rischio potenziale quando:

$$g = (V_{actual} - V_{safe}) < 0$$

Se  $g > 0$  si è in una condizione di rischio potenziale

Le condizioni di rischio potenziale sono descritte dalla PDF dell'intersezione delle variabili aleatore continue "actual speed" and "safe speed"  $p(g)$



$$\int_0^{+\infty} p(g) = P(V_{actual} \geq V_{safe}) = \int_{V_{safe}=0}^{V_{Safe}=+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{V_{actual}=V_{safe}}^{V_{actual}=+\infty} e^{-\frac{1}{2}V_{actual}^2} dV_{actual}$$

# IL RISCHIO CONNESSO CON LA VELOCITA' ECCESSIVA

Viaggiare ad una velocità superiore alla  $V_{safe}$  (evento) non implica necessariamente che si venga a realizzare un incidente.

Quando anche si venga a verificare l'incidente non tutti gli incidenti saranno caratterizzati dalla stessa gravità.

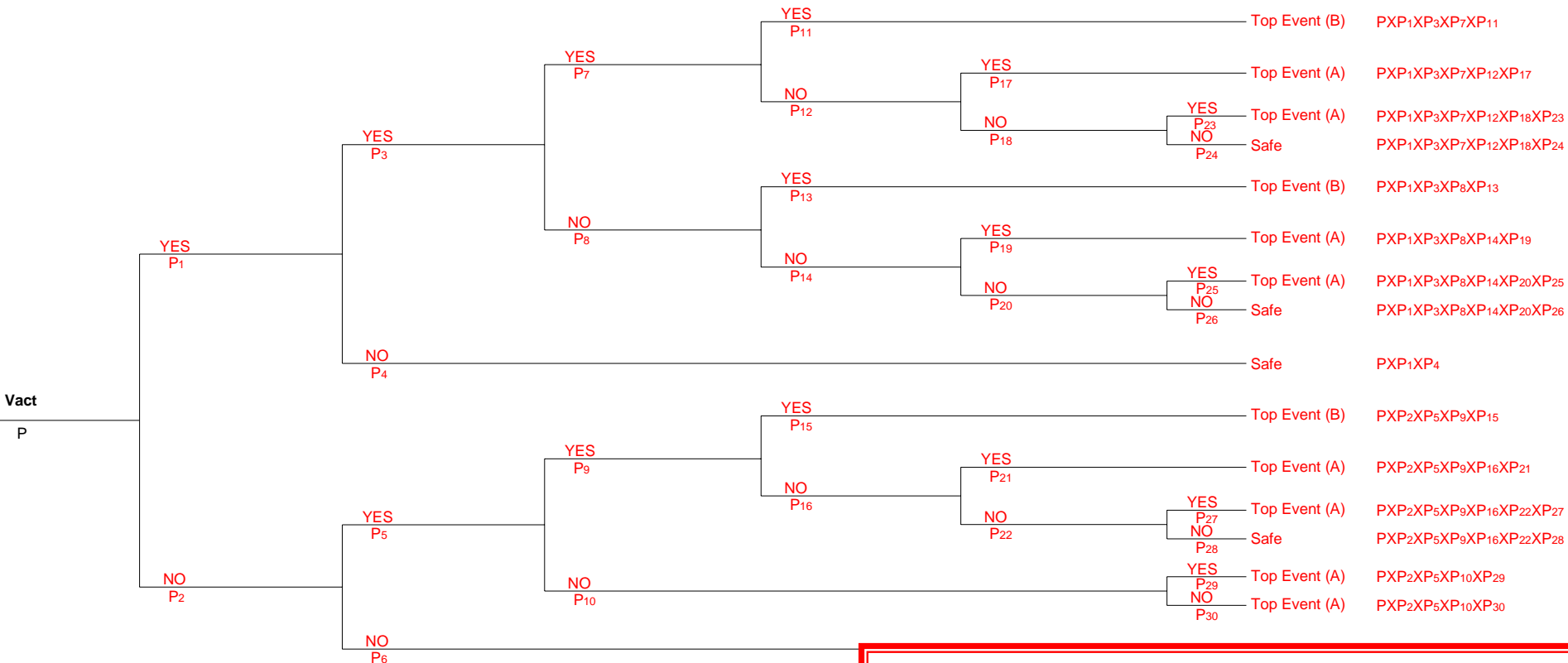
**ESEMPIO: Mancanza di visibilità per l'arresto o per il sorpasso**



# Il rischio che avvenga un incidente in queste condizioni (e le sue potenziali gravità) dipende dall'accadimento di una serie di eventi concomitanti che possono essere analizzate mediante l'albero degli eventi

Vactual > Vsafe	Presence of a vehicle stopped on lane beyond the bend	Wrong or delayed perception of the obstacle by the user	Presence of a vehicle on the opposite direction that prevent the obstacle avoidance manoeuvre	Available friction for the obstacle avoidance manoeuvre lower than that required	Inexpert driver, NOT able to control the vehicle in the emergency manoeuvre
-----------------	---	---	---	--	---

Probabilità:



Vact: Actual driving speed

Vsafe: Safe speed for successful braking

Top Event (A): Loss of control with rear/side/rear-collision with lateral obstacle/or overturning incident

Top Event (B): Rear-Front incident

**Probabilità di accadimento di un dato incidente con data gravità**



## CONCLUSIONI

- ✓ L'analisi del rischio è una attività ormai necessaria in molte applicazioni di progettazione e gestione stradale;
- ✓ Consente di valutare **PREVENTIVAMENTE** la sicurezza connessa con una data scelta progettuale e di **confrontare diverse alternative;**
- ✓ **IDENTIFICAZIONE DEL PROBLEMA, VALUTAZIONE DEL RISCHIO** (quantitativa), **MONITORAGGIO**
- ✓ Occorrono: **dati** per definire la probabilità di accadimento degli eventi innescatori, **modelli** per valutare l'evoluzione dell'albero degli eventi, **dati** per validare/tarare sulla realtà locale i modelli e gli outputs dell'analisi
- ✓ 2 tipi di analisi del rischio con finalità e metodi diversi: **COMPARATIVO - ASSOLUTO**