



CRISS

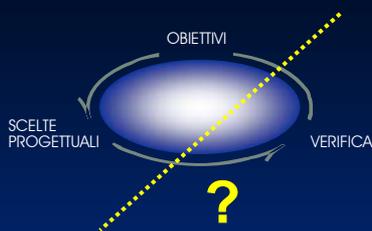
Centro di Ricerca Interuniversitario per la Sicurezza Stradale

Università degli Studi Roma Tre - Università degli Studi La Sapienza - Politecnico di Milano

La verifica di qualità del progetto stradale sotto il profilo della sicurezza d'esercizio

CATANIA 2 . 12. 2005

LO STATO DELL'ARTE



L'efficacia dei processi decisionali si affida alla verifica degli effetti delle scelte tecniche ...

... la progettazione delle geometrie stradali prescinde da una reale verifica della sicurezza d'esercizio...

... si basa infatti sulla presunzione di garantirla tramite il rigoroso rispetto di standard assunti sotto precise ipotesi codificate dal DM 2001

Il DM 2001 è fortemente criticabile e

... la "norma" proposta al Ministro per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti (bozza 25.4.2005) è sotto questo profilo fortemente innovativa:

- > *introduce criteri prestazionali*
- > *impone le analisi di sicurezza*
- > *prevede il monitoraggio degli interventi*

L'ATTUAZIONE DEGLI OBIETTIVI

Il processo progettuale per l'adeguamento della viabilità in esercizio può realizzare i suoi obiettivi prestazionali solo se :

- 1 *l'analisi incidentale***
individua gli interventi alla luce di un'attenta analisi incidentale atta a valutare il comportamento dell'utente di ordinaria prudenza
- 2 *la selezione degli interventi***
sceglie la più opportuna soluzione tecnica tenendo conto della funzionalità sistemica dell'infrastruttura
- 3 *la verifica dell'incidentalità attesa***
verifica l'ammissibilità del prevedibile scenario incidentale tenendo conto delle diverse condizioni di fruizione della strada

1 *l'analisi incidentale*

l'analisi incidentale

prevede nell'ordine :

- la selezione delle tratte omogenee
- la validazione dei dati
- l'imputazione dei sinistri alla strada

a.

I caratteri di omogeneità da considerare sono quelli che influenzano le relazioni di causa/effetto da cui dipende la probabilità del sinistro



l'analisi incidentale

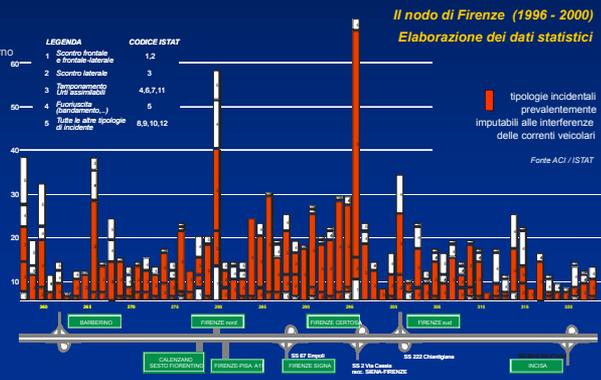
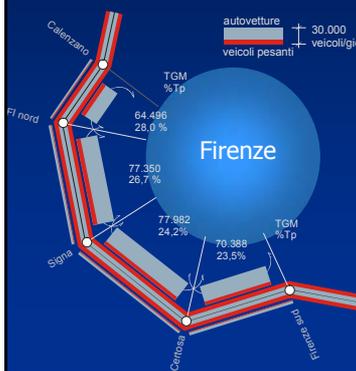
prevede nell'ordine :

- la selezione delle tratte omogenee
- la validazione dei dati
- l'imputazione dei sinistri alla strada

a.

i carichi di traffico

gli effetti dell'entità e della composizione dei flussi



l'analisi incidentale

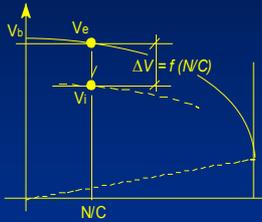
prevede nell'ordine :

- a. **la selezione delle tratte omogenee**
- b. *la validazione dei dati*
- c. *l'imputazione dei sinistri alla strada*

a.

le motivazioni degli spostamenti

influenzano le aspettative degli utenti e regolano l'accettazione di una diversa soglia di rischio in funzione dei disagi subiti



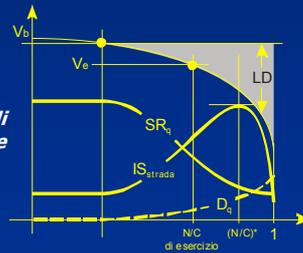
il **livello di disagio (LD)**

la **definizione** $LD = K (V_d - V_e)$

il **calcolo**

$$(LD)_x = K \cdot \frac{\sum_T \frac{1}{N_T} \sum_p N_{PT} \cdot H_{PT} \sum_C (V_{d_c} - V_{e_{x,H_T}}) N_{CT}}{\sum_T N_T \cdot H_T}$$

le **variabili significative**



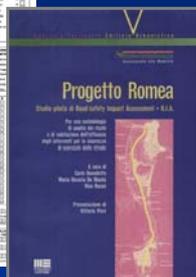
l'analisi incidentale

prevede nell'ordine :

- a. *la selezione delle tratte omogenee*
- b. **la validazione dei dati**
- c. *l'imputazione dei sinistri alla strada*

b.

La carenza delle tecniche di rilevamento dei sinistri impone una puntuale verifica dello scenario incidentale che consenta...



... una corretta attribuzione del sinistro alla progressiva chilometrica...

cfr. La sicurezza stradale - Il contributo della ricerca scientifica Aracne ed. 2000



... una valutazione degli effetti indotti dalla segnaletica d'obbligo e dai regolamenti di fruizione della strada

cfr. La sicurezza stradale - Il contributo della ricerca scientifica Aracne ed. 2000

l'analisi incidentale

prevede nell'ordine :

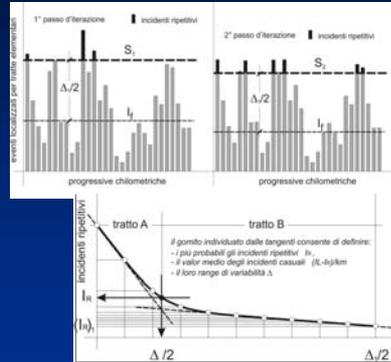
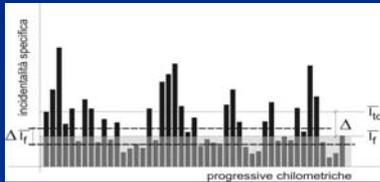
- a. la selezione delle tratte omogenee
- b. la validazione dei dati
- c. ***l'imputazione dei sinistri alla strada***

C.

La casualità vanifica la valutazione del rischio intrinseco della strada se non si seleziona la componente incidentale imputabile all'infrastruttura

La probabilità d'imputazione è funzione della ripetitività degli eventi nelle stesse sezioni

La soglia di ripetitività è individuabile tramite un opportuno procedimento iterativo



Sono imputabili alla strada i sinistri che eccedono la soglia ammissibile di ripetitività

l'analisi incidentale

prevede nell'ordine :

- a. la selezione delle tratte omogenee
- b. la validazione dei dati
- c. ***l'imputazione dei sinistri alla strada***

C.

La casualità vanifica la valutazione del rischio intrinseco della strada se non si seleziona la componente incidentale imputabile all'infrastruttura

La probabilità d'imputazione è funzione della disomogeneità di distribuzione delle tipologie incidentali rispetto alla media nazionale

(fattore di anormalità: f)

Probabilità di appartenenza del sinistro ad una classe tipologica

$$P(h_1, h_2, \dots, h_n) = p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \dots \cdot p_m^{k_m} = \prod_1^m p_i^{k_i}$$

Probabilità della distribuzione per n sinistri

$$P(k_1, k_2, \dots, k_n) = \frac{n!}{k_1! \cdot k_2! \cdot \dots \cdot k_n!} \cdot \prod_1^m p_i^{k_i} = n! \cdot \prod_1^m \frac{p_i^{k_i}}{k_i!}$$

probabilità della distribuzione nazionale **Pmax**

probabilità della distribuzione rilevata **Pi**

$$f = P_{max} / P_i$$

2 la selezione degli interventi

la selezione degli interventi

prevede nell'ordine :

- il riconoscimento delle cause incidentali
- l'analisi delle alternative d'intervento
- la verifica dell'efficacia sistemica

a.

E' possibile una corretta interpretazione dello scenario incidentale solo a valle degli accertamenti sul campo



esito dei rilevamenti ss. xxx - tratta yyy

Dati rilevati al km per le tratte indicate		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
immissioni non regolamentate direzione Adria	a.1	7	2	3	2	3	0	0	2	5	1
immissioni non regolamentate direzione Piove	a.2	5	2	4	4	5	1	1	3	4	6
intersezioni canalizzate Adria / Piove	a.3	0/0	1/2	0/0	0/0	0/0	1/1	0/0	0/0	0/0	0/1
avvisi su livelli filareti	a.4	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
regolazioni semaforiche	a.5	s	n	n	n	n	n	n	n	n	s
attraversamento di centro abitato	b.1	s	n	n	n	n	n	n	n	n	s
adiacenza di case isolate Adria / Piove	b.2	n/n	n/n	s/s	s/s	n/s	s/s	s/s	s/s	s/s	s/s
adiacenza medie produttive Adria / Piove	b.3	n/n	n/n	s/s	n/n	n/n	n/n	n/n	n/n	s/s	s/s
adiacenza servizi commerciali Adria / Piove	b.4	s/s	s/s	n/n	s/s						
adiacenza aree di servizio Adria / Piove	b.5	s/n	s/s	n/n	s/s						
omologazione della sezione al tipo di norme	c.1	VI									
presenza di banchina > 50 cm	c.2	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
presenza di allargatore laterale	c.3	n	s	s	s	s	n	n	n	n	n
corpo stradale a opera d'arte	c.4	n	n	n	n	n	s	n	n	n	s
restringimenti localizzati	c.5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
limite di velocità v < x	d.1	50	50	n	n	n	n	n	50	50	50
limite di velocità (% di sviluppo sul km)	d.2	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0
% divieto di sorpasso su km	d.3	1.0	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0
presenza di curve di raggio minimo	d.4	n	n	s	n	n	s	n	n	n	s
anomalie visuali	d.5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	s

Segnaletica d'obbligo

limite di velocità

divieto di sorpasso



la selezione degli interventi

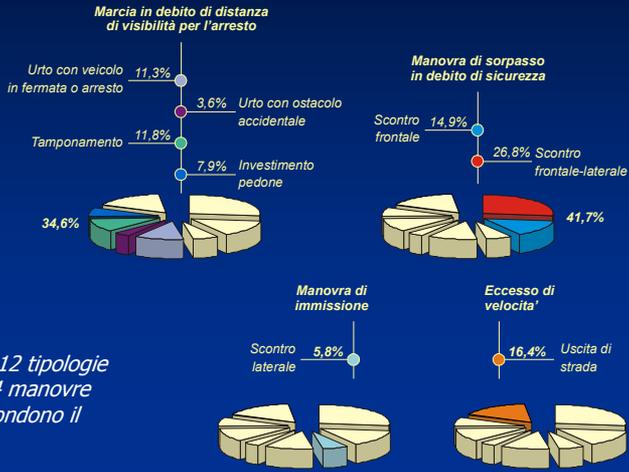
prevede nell'ordine :

- il riconoscimento delle cause incidentali
- l'analisi delle alternative d'intervento
- la verifica dell'efficacia sistemica

a.



La banca dati distingue 12 tipologie incidentali imputabili a 4 manovre elementari a cui corrispondono il 98,5% dei sinistri



la selezione degli interventi

prevede nell'ordine :

- il riconoscimento delle cause incidentali
- l'analisi delle alternative d'intervento
- la verifica dell'efficacia sistemica

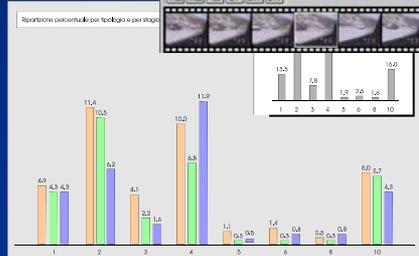
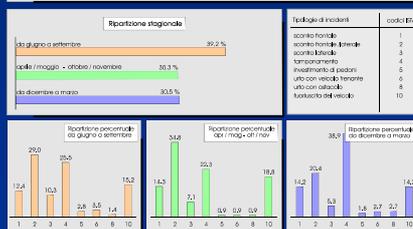
a.

Il definitivo riconoscimento delle cause incidentali è l'esito finale di un processo indiziario che coniuga gli accertamenti sul campo con ...

... l'analisi dello scenario incidentale



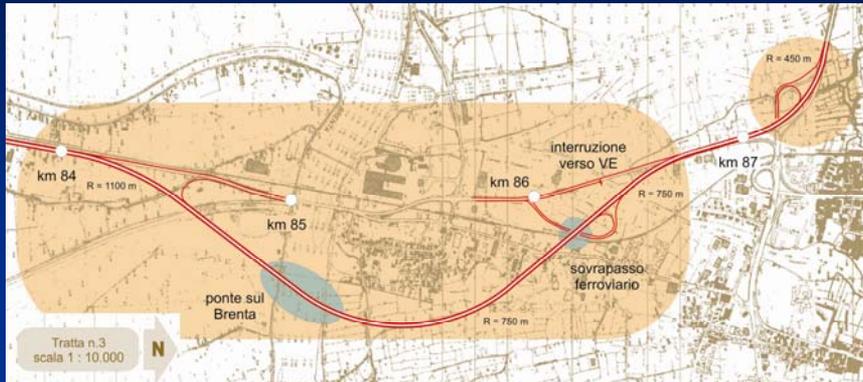
Distribuzione degli incidenti per stagione e per tipologia di cause (anni 1991/1995)



la selezione degli interventi

b.

La scelta degli interventi è un processo tipicamente ingegneristico fondato sul riconoscimento delle cause incidentali



prevede nell'ordine :

- il riconoscimento delle cause incidentali
- l'analisi delle alternative d'intervento
- la verifica dell'efficacia sistemica

la selezione degli interventi

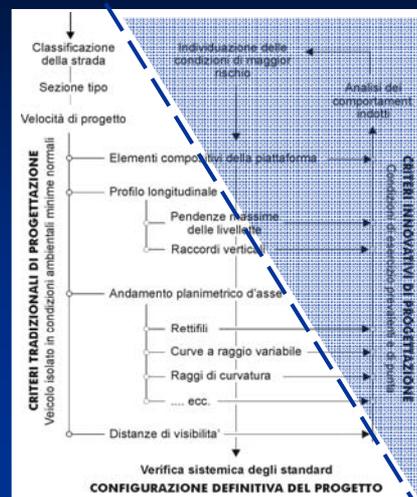
c.

La speculazione scientifica ha ormai chiarito l'importanza che assume la considerazione del comportamento degli utenti per la gestione progettuale della sicurezza d'esercizio

Le preliminari ipotesi progettuali devono quindi essere verificate valutandole nel loro complesso in rapporto alle condizioni di fruizione della strada

prevede nell'ordine :

- il riconoscimento delle cause incidentali
- l'analisi delle alternative d'intervento
- la verifica dell'efficacia sistemica



3 *la verifica dell'incidentalità attesa*

la verifica dell'incidentalità attesa

impone l'individuazione e la validazione del metodo

Metodi tradizionali

indicatori di rischio

Metodi innovativi

*reti neurali
analisi probabilistica*

Metodi sperimentali

verifica in realtà virtuale

La validazione del metodo deve accertare:

la possibilità di interpretare i rapporti di causa/effetto nelle diverse situazioni di fruizione della strada

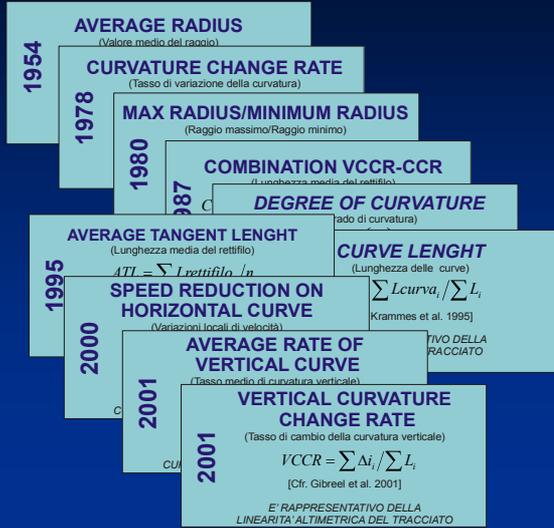
la sussistenza di una reale coerenza tra l'indicatore assunto per la verifica e il livello incidentale rilevato

un soddisfacente coefficiente di regressione tra l'indicatore assunto e il livello di rischio che esso interpreta

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi tradizionali: indicatori di rischio

Le tematiche risalgono agli anni '50 (Taragin 1954)



Le molteplici proposte hanno caratteri comuni ...

... non tengono conto delle condizioni di fruizione della strada

... verificano la coerenza con l'incidentalità solo episodicamente

... non si hanno elementi per valutare la correlazione con i sinistri rilevati

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi innovativi - le reti neurali

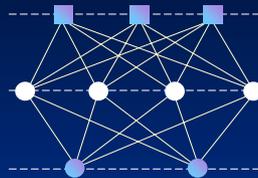
Le reti neurali interpretano rapporti di causa/effetto di particolare complessità

... come quelli che regolano il fenomeno incidentale

Nella fase di training la rete impara ad interpretare i rapporti di causa/effetto che regolano l'incidentalità stradale

La fase di test accerta la capacità della rete di generalizzare l'apprendimento

Livello di input (caratteristiche viarie)



Livello di output (incidentalità)

La rete fornisce una correlazione input/output senza consentirne l'esplicitazione

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi innovativi - le reti neurali

gli input



- Standard geometrici**
 - Caratteristiche plano-altimetriche:
 - raggio planimetrico;
 - raggio altimetrico;
 - pendenza longitudinale;
 - pendenza trasversale;
 - elementi a curvatura variabile.
- Tipologia stradale**
 - stazione tipo;
 - velocità di progetto;
 - raggio minimo;
 - distanze minime di visibilità.
- Caratteristiche del fondo**
 - aderenza;
 - smaltimento delle acque meteoriche;
 - annullamenti.
- Composizione geometrie elementari**
 - anomalie locali;
 - attaccamento;
 - medii;
 - sollaccitazione manovre a rischio;
 - insertimento elementi a curvatura variabile;
 - composizione elementi rettilinei e curvilinei.

Condizioni d'esercizio

- Condizioni di fruizione:
 - notte;
 - giorno;
 - traffico pendolare;
 - traffico stagionale;
 - eventi particolari.
- Condizioni di Russo:
 - Rapporto N/C:
 - alto;
 - medio;
 - basso.
 - Incidenza traffico pesante:
 - alto;
 - medio;
 - basso.
 - Livelli di servizio:
 - livello A e B;
 - livello C e D;
 - livello E e F.
 - Dell'uso:
 - carichi di punta;
 - marcia a pacchetti.

Interferenze

- Incidenza delle intersezioni:
 - Intersezioni regolamentate:
 - numero totale di intersezioni;
 - numero di intersezioni al km;
 - tempi di verde e rosso;
 - tipologia d'intersezione;
 - manovre consentite;
 - Russo in transito;
 - Russo interferente.
 - Intersezioni non regolamentate:
 - numero totale di intersezioni;
 - numero di intersezioni al km;
 - tipologia d'intersezione;
 - manovre consentite;
 - Russo interferente;
 - tempi d'attesa.
- Tipologia urbanistica del territorio:
 - Presenza antropica ai bordi:
 - concentrata;
 - diffusa;
 - assente.
 - Presenza di emergenze ai bordi:
 - presenti;
 - assenti.



Condizioni climatiche

- Ordinarie
 - Stato della piattaforma:
 - asciutta;
 - bagnata;
 - prima pioggia;
 - pioggia battente.
 - Visibilità:
 - sereno;
 - foschia.
- Eccezionali
 - Stato della piattaforma:
 - neve;
 - ghiaccio;
 - liquidi viscosi.
 - Visibilità:
 - banchi di nebbia;
 - nebbia compatta.

Condizionamenti di guida

- Visione interna della strada:
 - adeguata;
 - non adeguata.
- Attenzione alla guida:
 - concentrata;
 - Carico di lavoro mentale:
 - basso;
 - medio;
 - alto.

la numerosità degli input pone difficoltà spesso insuperabili per configurare la rete ed effettuare l'apprendimento

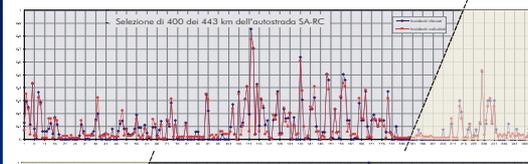
la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi innovativi - le reti neurali

Per l'applicazione si è adottata una rete "perceptron" ad apprendimento supervisionato.

training

Architettura ottimale 6 - 8 - 1



Alcune applicazioni hanno fornito risultati di estremo interesse "scientifico"

test



Il metodo non può essere di generale applicazione

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi innovativi - l'analisi probabilistica

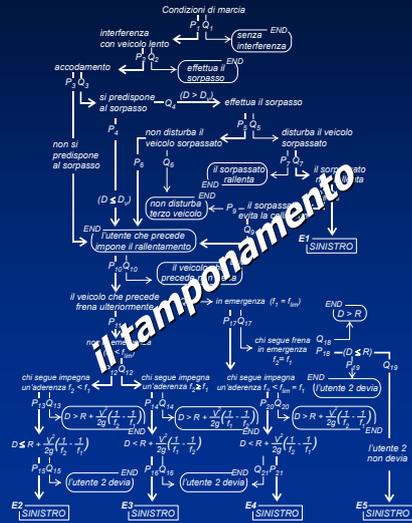
Il metodo si fonda sulla stima delle probabilità degli accadimenti elementari che concorrono a determinare l'evento incidentale

Probabilità a livello del nodo N_i

$$\text{nodo } 1 \\ P(N_1) = P_1 P_2 (P_3 + Q_3 (P_4 + Q_4 ((P_5 P_6 + Q_5 Q_6 P_7 Q_8)))$$

Probabilità degli eventi incidentali

- evento 1 $P(E_1) = P_1 P_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6$
- evento 2 $P(E_2) = P(N_1) P_{10} P_{11} P_{12} P_{13} P_{15}$
- evento 3 $P(E_3) = P(N_1) P_{10} P_{11} P_{12} P_{13} P_{16}$
- evento 4 $P(E_4) = P(N_1) P_{10} Q_{11} P_{12} P_{13} P_{21}$
- evento 5 $P(E_5) = P(N_1) P_{10} P_{11} Q_{12} P_{13} Q_{19}$



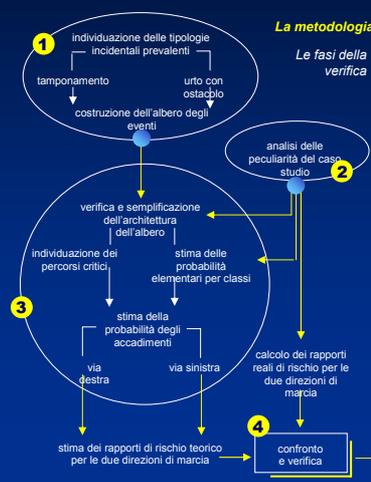
il tamponamento

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi innovativi - l'analisi probabilistica

Il caso studio del Traforo del Gran Sasso

Attribuzione di classe alle probabilità elementari (tamponamento)



L'attribuzione alle classi si è effettuata a stima tenendo conto delle diverse condizioni di fruizione delle due canne, considerati:

- i modesti carichi di traffico
- la fruizione dei laboratori
- le manovre imposte
- la composizione dei traffici
- le condizioni ambientali

v. destra				v. sinistra			
P	B	M	MA	P	B	M	MA
P1	●			P1	●		
P2	●			P2	●		
P3	●			P3	●		
P4	●			P4	●		
P5	●			P5	●		
P6	●			P6	●		
P7	●			P7	●		
P8	●			P8	●		
P9	●			P9	●		
P10	●			P10	●		
P11	●			P11	●		
P12	●			P12	●		
P13	●			P13	●		
P14	●			P14	●		
P15	●			P15	●		
P16	●			P16	●		
P17	●			P17	●		
P18	●			P18	●		
P19	●			P19	●		
P20	●			P20	●		
P21	●			P21	●		
valore				valore			
0.1 0.3 0.5 0.7 0.9				0.1 0.3 0.5 0.7 0.9			

Si è operato analogamente per la tipologia incidentale relativa ad "urto con ostacolo", significava solo per la via sinistra

Sviluppato il calcolo e confrontando i rapporti di rischio (v. sinistra/v. destra) ne è risultato un errore pari a 8,7%	Rapporti di rischio Teorici Reali 1,68 1,84
---	--

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi innovativi - l'analisi probabilistica

L'architettura dell'albero consente di individuare le criticità del fenomeno incidentale

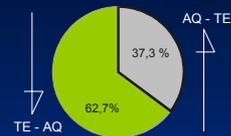
La stima delle probabilità può fondarsi su valutazioni qualitative

L'applicazione al caso studio del Traforo del Gran Sasso ha dimostrato l'affidabilità del metodo

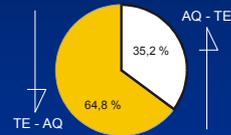
incidenti nel Traforo (1994-2003)



previsione



ripartizione per direzione di marcia (1994-2003)



e realtà

Il metodo è di generale applicazione e rappresenta un importante strumento sia per la diagnosi, sia per la terapia.

la verifica dell'incidentalità attesa

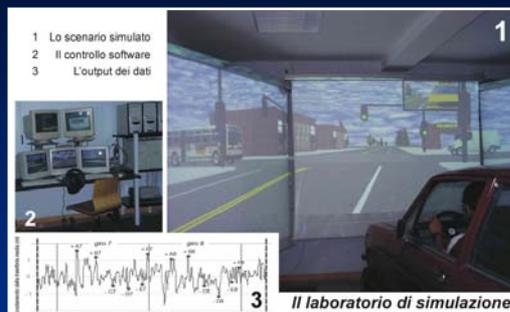
Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

Questo approccio è reso possibile dallo sviluppo delle tecnologie che consentono:

ripetitività e riproducibilità delle misure

rilevamento esaustivo delle condizioni di guida

efficace simulazione della realtà (strada ed esercizio)



Il metodo

costruzione dello scenario

effettuazione delle misure

selezione dei driver

elaborazione dei dati

la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

Il metodo sperimentale consente di analizzare la sicurezza d'esercizio

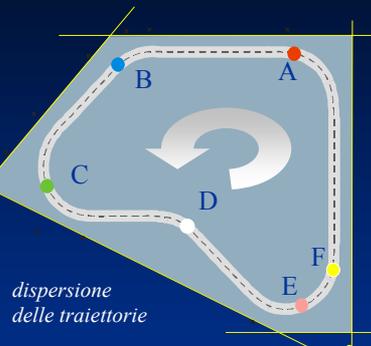
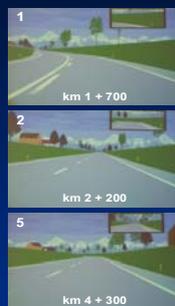


la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti



la verifica dell'incidentalità attesa

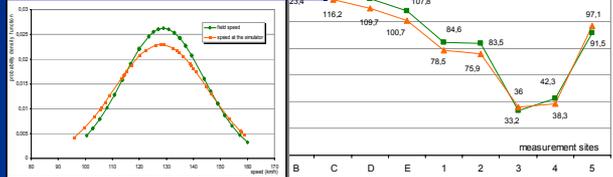
Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti



il campo prove
confronto di traiettorie e velocità
al vero e in simulazione

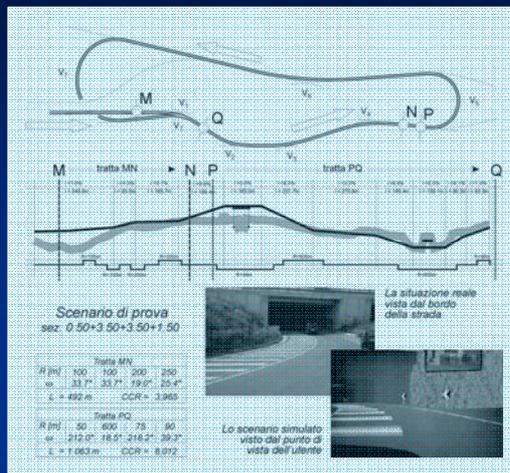


la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti

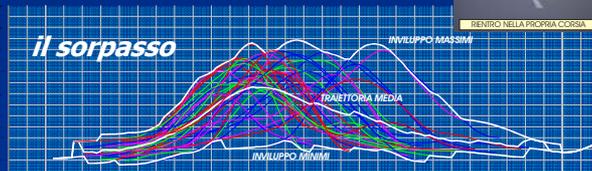


la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti

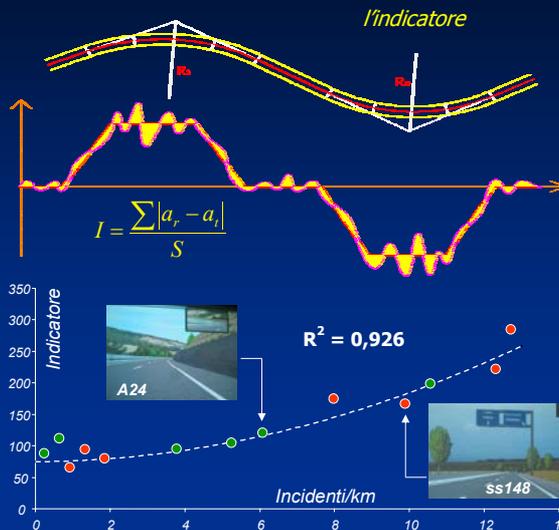


la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti

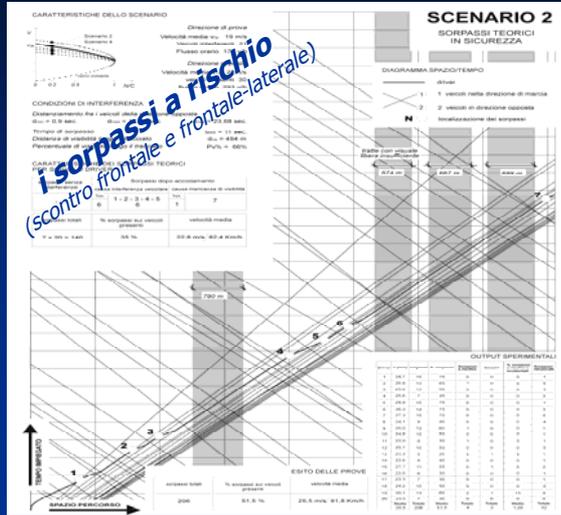


la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti

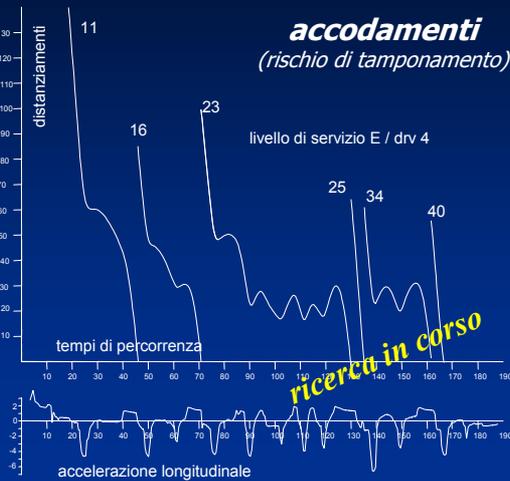


la verifica dell'incidentalità attesa

Metodi sperimentali - la verifica in realtà virtuale

il percorso di ricerca

- validazione della sperimentazione
- verifica di rappresentatività
- accertamento delle anomalie locali
- analisi dei modelli teorici
- verifica della qualità sistemica
- le geometrie
- i comportamenti



la verifica dell'incidentalità attesa

conclusioni

<i>Metodi a confronto</i>	<i>coerenza accertata tra metodi d'analisi e incidentalità</i>	<i>interpretazione sistemica dei rapporti causa/effetto</i>	<i>trasferibilità per l'ottimizzazione progettuale</i>
<i>indicatori di rischio</i>	<i>episodica</i>	NO	NO
<i>reti neurali</i>	SI	NO	NO
<i>analisi probabilistica</i>	SI	SI	SI
<i>realtà virtuale</i>	SI	SI	SI

**Disponiamo ormai di strumenti adeguati per la verifica dei progetti.
E' solo necessario utilizzarli consapevolmente.**