

# “Progetto Città Sicure”

## Corso di formazione per tecnici dell’Amministrazione sulla Sicurezza Stradale

CENTRO DI RICERCA  
PER IL  
TRASPORTO E LA LOGISTICA

11/01/2012

Luca Persia

Davide Shingo Usami

Antonino Tripodi



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## Pianificazione degli interventi e monitoraggio dei risultati



[www.ctl.uniroma1.it](http://www.ctl.uniroma1.it)  
[info@ctl.uniroma1.it](mailto:info@ctl.uniroma1.it)

# Pianificazione degli interventi e monitoraggio dei risultati (parte 1)

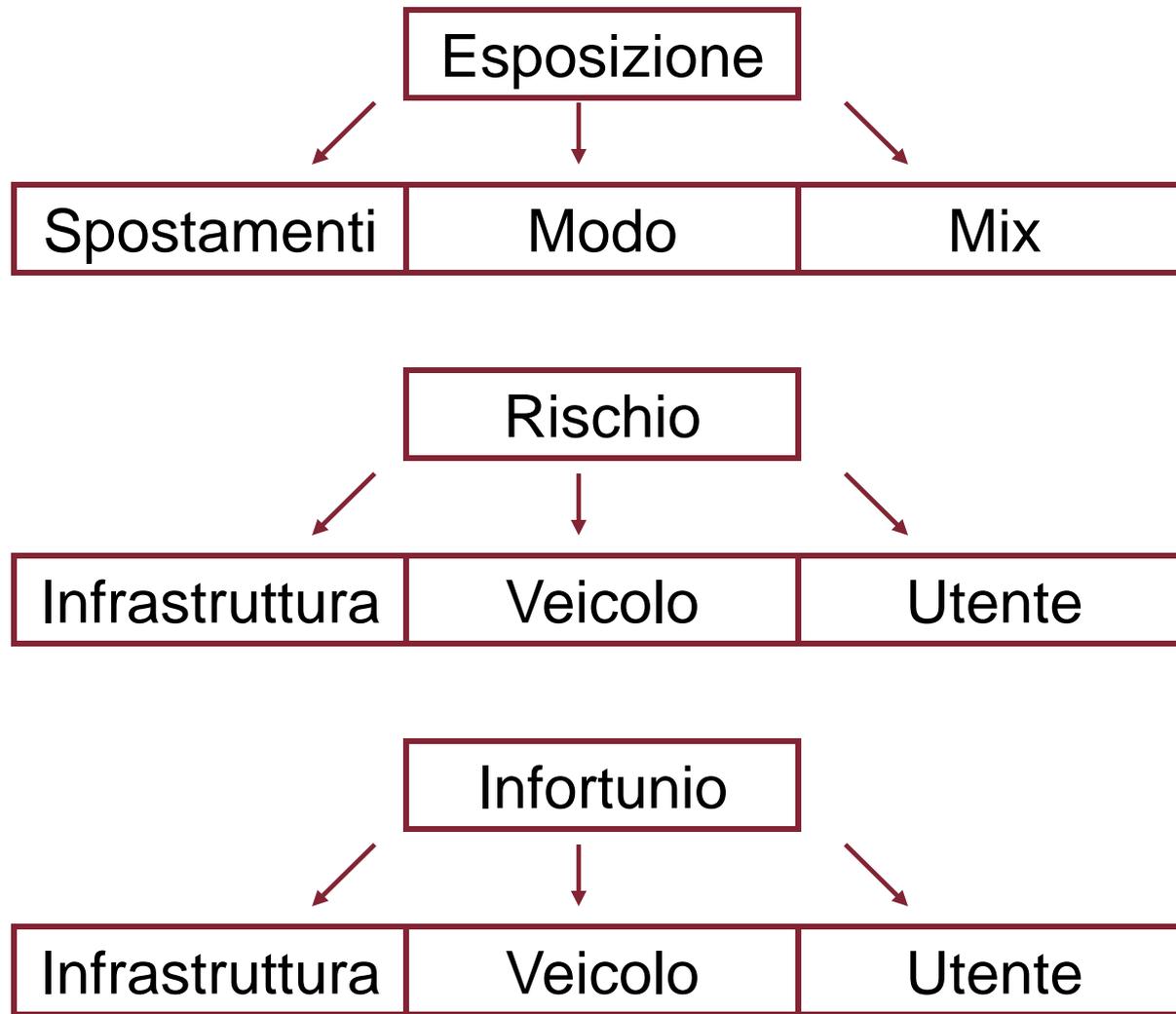
- Fattori di rischio e possibili misure
- Misure fisiche
- Il processo di pianificazione
- La valutazione di efficienza
- La valutazione dei risultati
- Il Sistema di Supporto alle Decisioni

# Pianificazione degli interventi e monitoraggio dei risultati (parte 2)

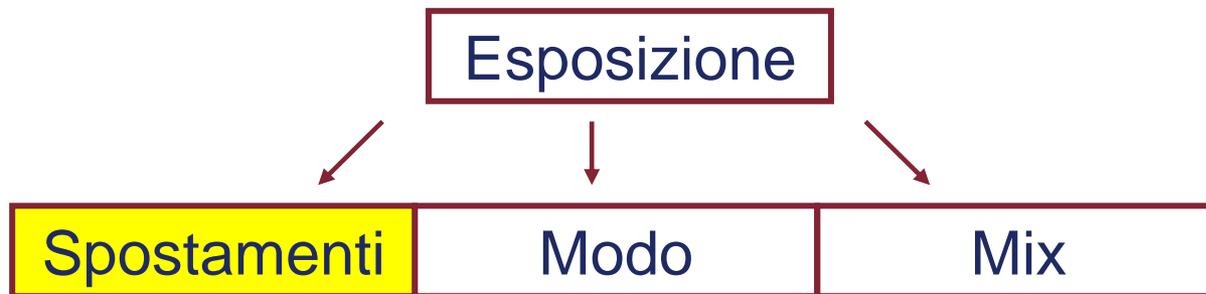
- Repertorio degli Interventi
- La sicurezza degli Utenti Deboli
- Il progetto SaferBrain
- Demo del DSS per Pedoni e Ciclisti

# **FATTORI DI RISCHIO E POSSIBILI MISURE**

# I fattori principali

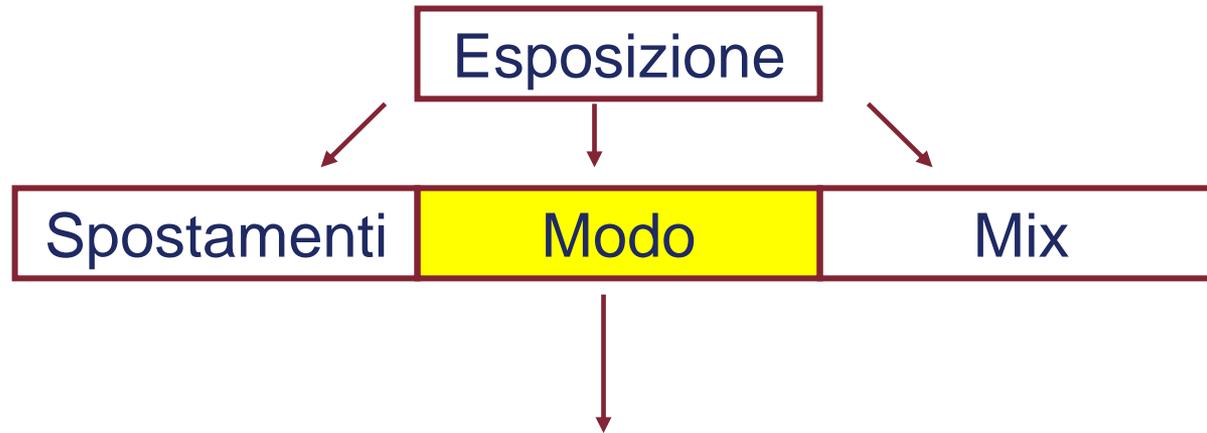


# L'esposizione (1)



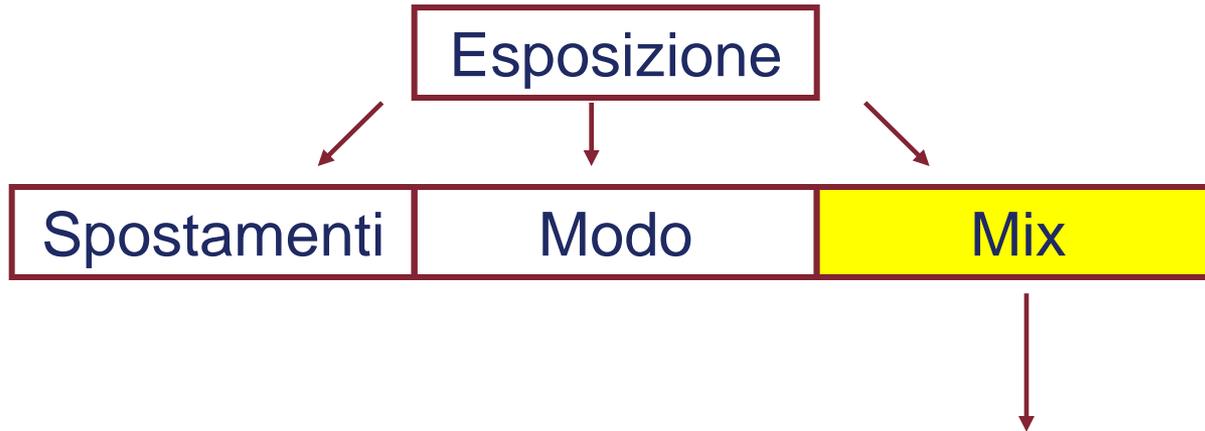
- Il **telelavoro** riduce la necessità di spostarsi
- L'**e-commerce** riduce la necessità di spostarsi (anche se aumenta le problematiche di distribuzione delle merci)
- La **città compatta** accorcia le distanze

# L'esposizione (2)



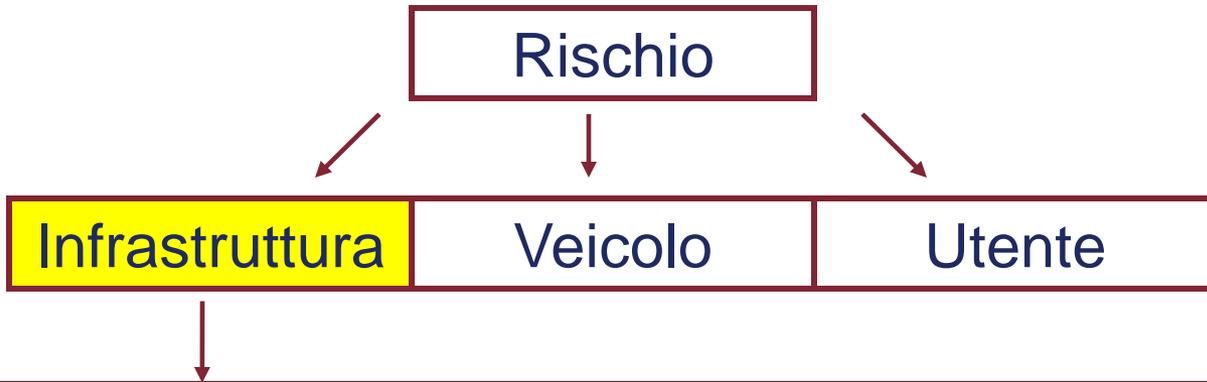
- Le politiche **push** (limitazione all'uso del veicolo privato, *road e parking pricing*) cercano di ridurre l'uso del veicolo privato
- Le politiche **pull** (incremento dell'offerta di TP, priorità del pubblico sul privato, politiche tariffarie) cercano di attrarre gli utenti sul TP

# L'esposizione (3)



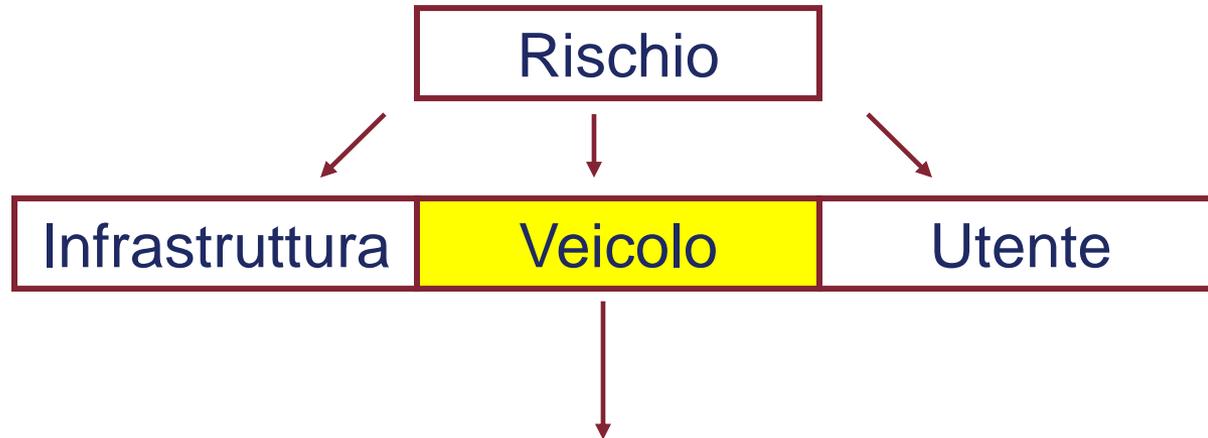
- La **separazione** delle correnti veicolari (es. piste ciclabili) riduce l'interazione fra le diverse categorie
- Le **aree pedonali** creano zone protette per gli utenti deboli

# Il rischio di incidente (1)



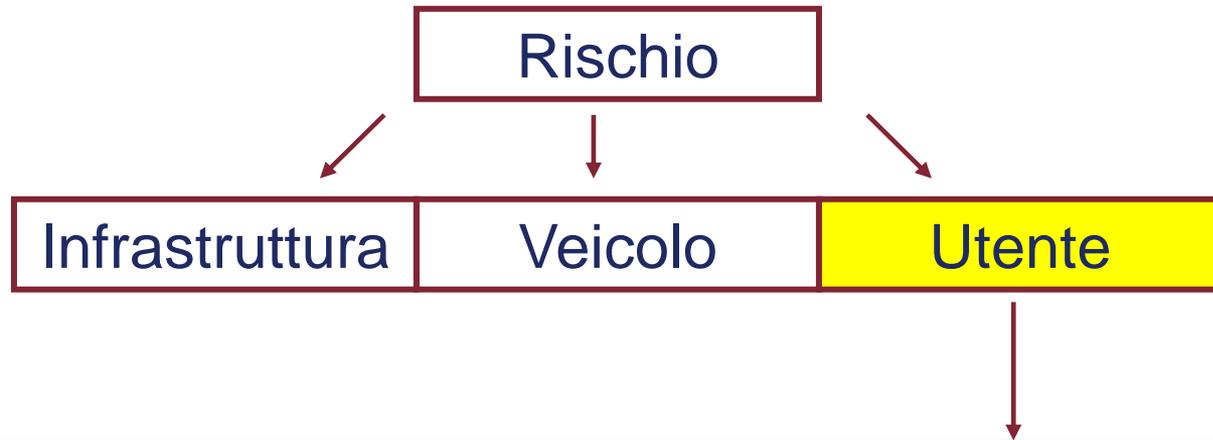
- Le misure di **moderazione del traffico** (*traffic calming*) fanno ridurre la velocità e i punti di conflitto
- Una corretta **manutenzione** aumenta l'aderenza dei pneumatici
- Una corretta **segnaletica** (VMS) guida le manovre degli utenti

# Il rischio di incidente (2)



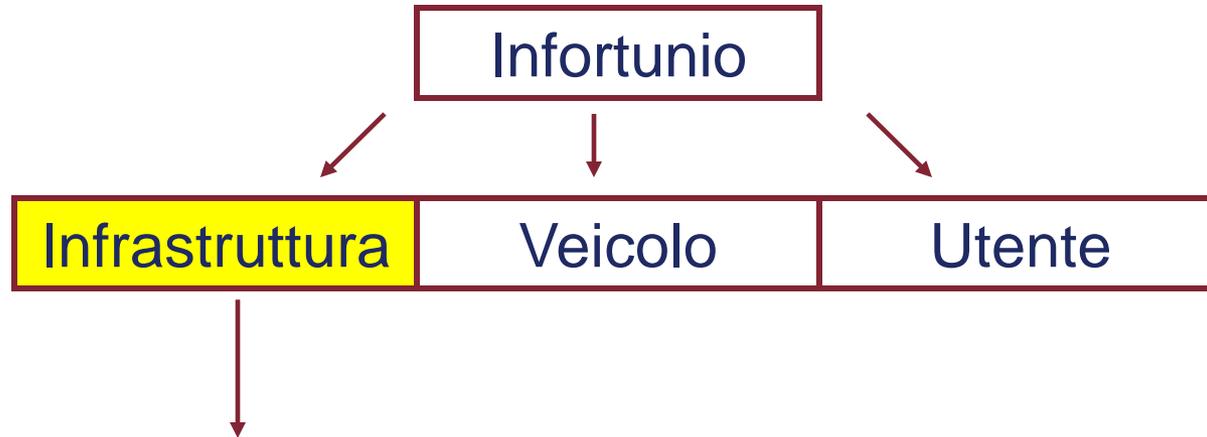
- I **controlli elettronici** (ABS, ESP, ETC) migliorano stabilità e frenata
- I **sistemi intelligenti** aumentano le capacità di guida ed intervengono in caso di pericolo
- Problema della “risk compensation”

# Il rischio di incidente (3)



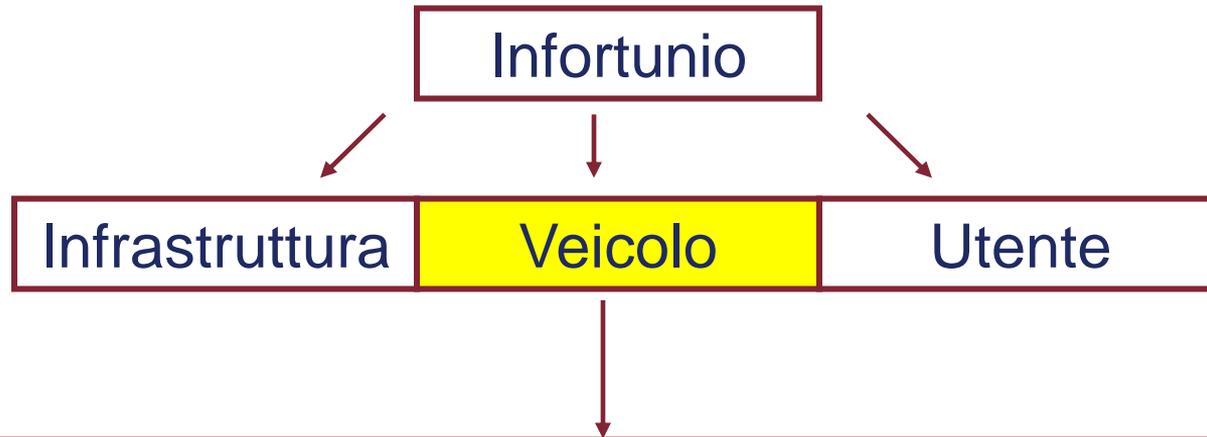
- Le **campagne di informazione ed educazione** stradale cercano di creare una cultura della sicurezza
- Le **leggi restrittive** (es. patente a punti) cercano di dissuadere i comportamenti scorretti
- Il **controllo** su strada cerca di rendere le leggi efficaci

# Il rischio di infortunio (1)



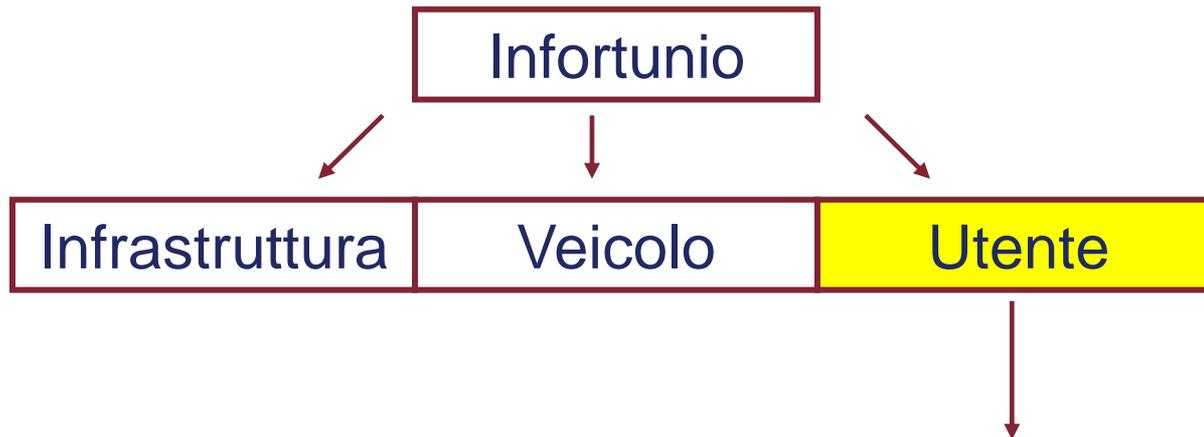
- Le **barriere di sicurezza** possono “redirigere” il veicolo sulla carreggiata e/o assorbire parte dell’urto

# Il rischio di infortunio (2)



- Le **massa** ed i **materiali** influiscono sulle conseguenze dell'incidente
- I sistemi di **sicurezza passiva** (Airbag, cinture, casco) attenuano l'energia d'impatto

# Il rischio di infortunio (3)

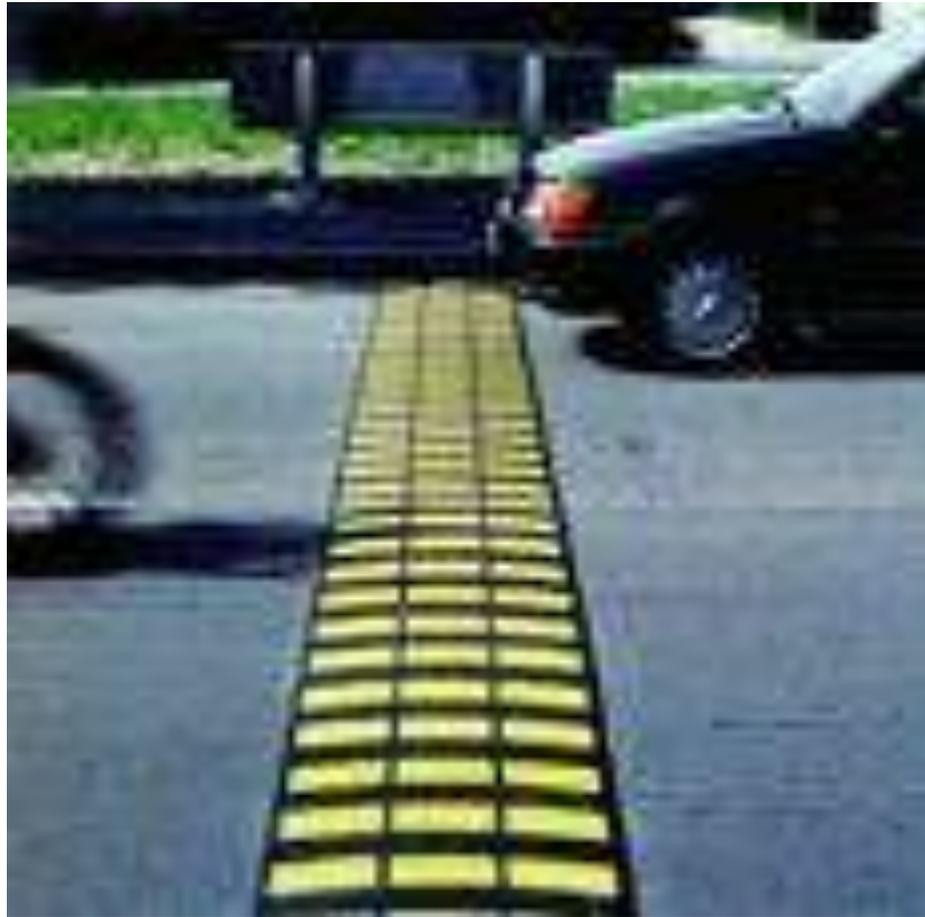


- Come nel rischio d'incidente, le **campagne di educazione**, le **leggi restrittive** ed il **controllo** di polizia inducono l'utente all'uso dei sistemi di sicurezza passiva

# MISURE FISICHE

# Dossi artificiali

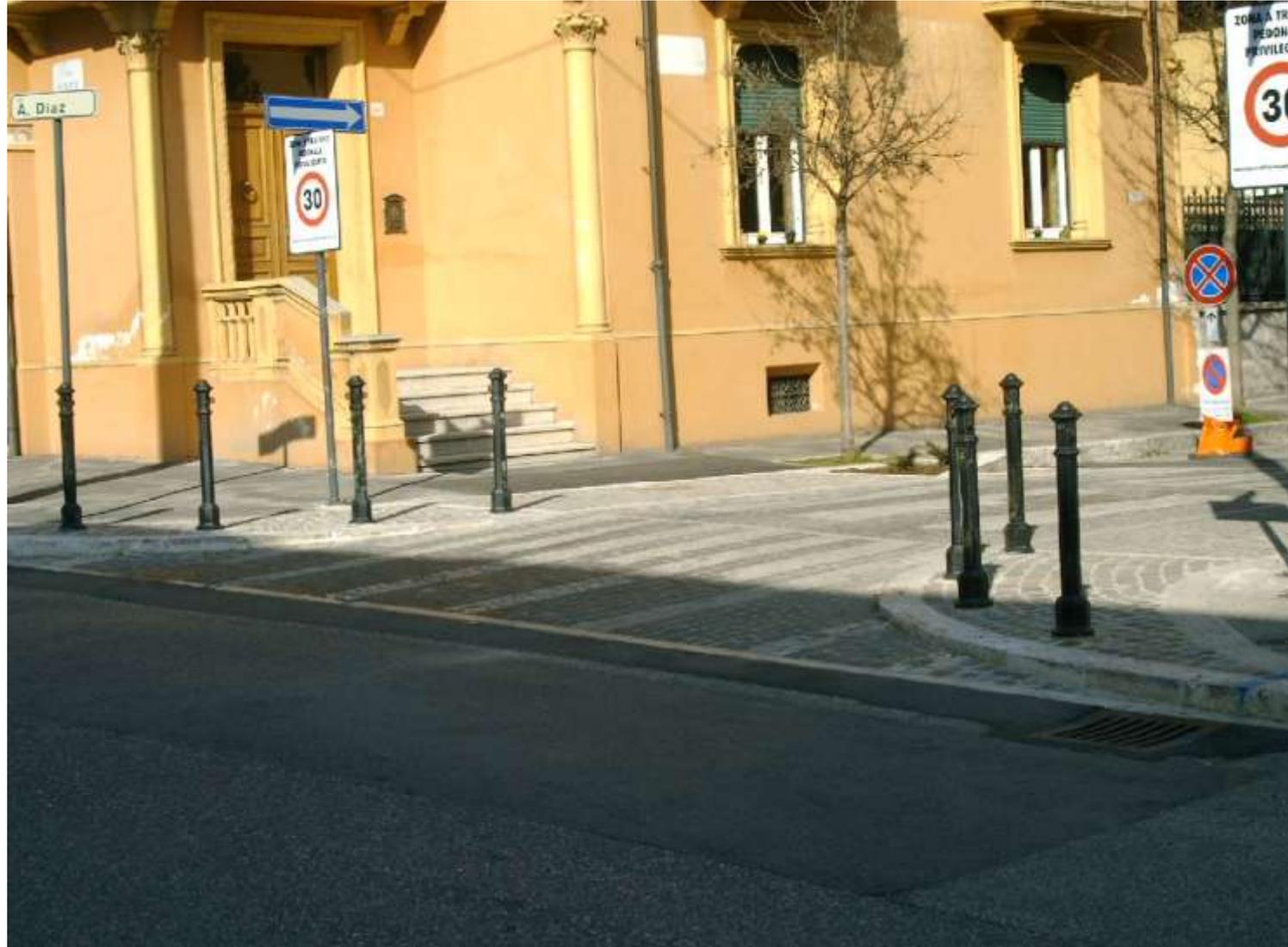
- gomma (limite 40-50 Km/h)
- conglomerato (limite 30 Km/h)



# Attraversamenti pedonali rialzati



# Varchi zone 30



# Rialzamento della carreggiata



# Pinch points

- allargamenti del marciapiede per ridurre la carreggiata



# Chicanes

- Creazione di un percorso con curve



# Restringimenti

- Restringimento della carreggiata per un intero tratto



# Potenzialità e fattori critici

- Applicazioni localizzate: risentono del contesto
- Riduzione della velocità fino al 50% (dossi artificiali)
- Possibili effetti indesiderati di impatto ambientale (emissioni e rumore): applicazioni area-wide
- Reazione iniziale negativa da parte degli utenti
- Effetti particolari: ciclomotori

# Risultati attesi

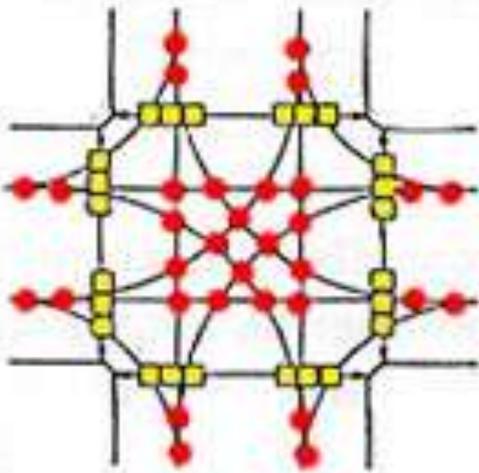
Elvik, 2004

Tipo incidente	Variazione % incidenti
<i>Intera area soggetta ad interventi di traffic calming</i>	
Incidenti con infortunati	-15
Incidenti con soli danni	-15
<i>Strade locali nell'area soggetta a traffic calming</i>	
Incidenti con infortunati	-24
Incidenti con soli danni	-29
<i>Strade principali nell'area soggetta a traffic calming</i>	
Incidenti con infortunati	-8
Incidenti con soli danni	-11

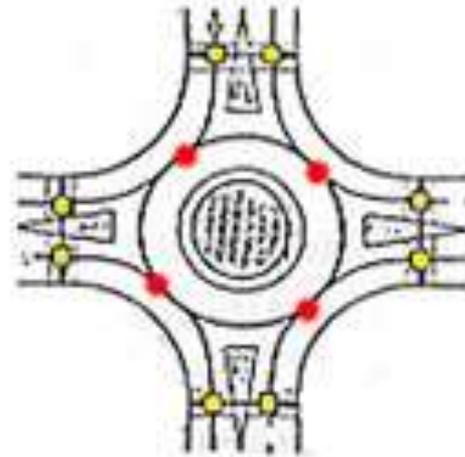
# Rotatorie: obiettivi

- Il numero di punti conflitto si riduce
- Gli utenti che entrano devono osservare il traffico (solo in quelle “alla Francese”)
- Il traffico viene solo da una direzione alla volta
- La traiettoria curvilinea obbliga a ridurre la velocità

# I punti di conflitto

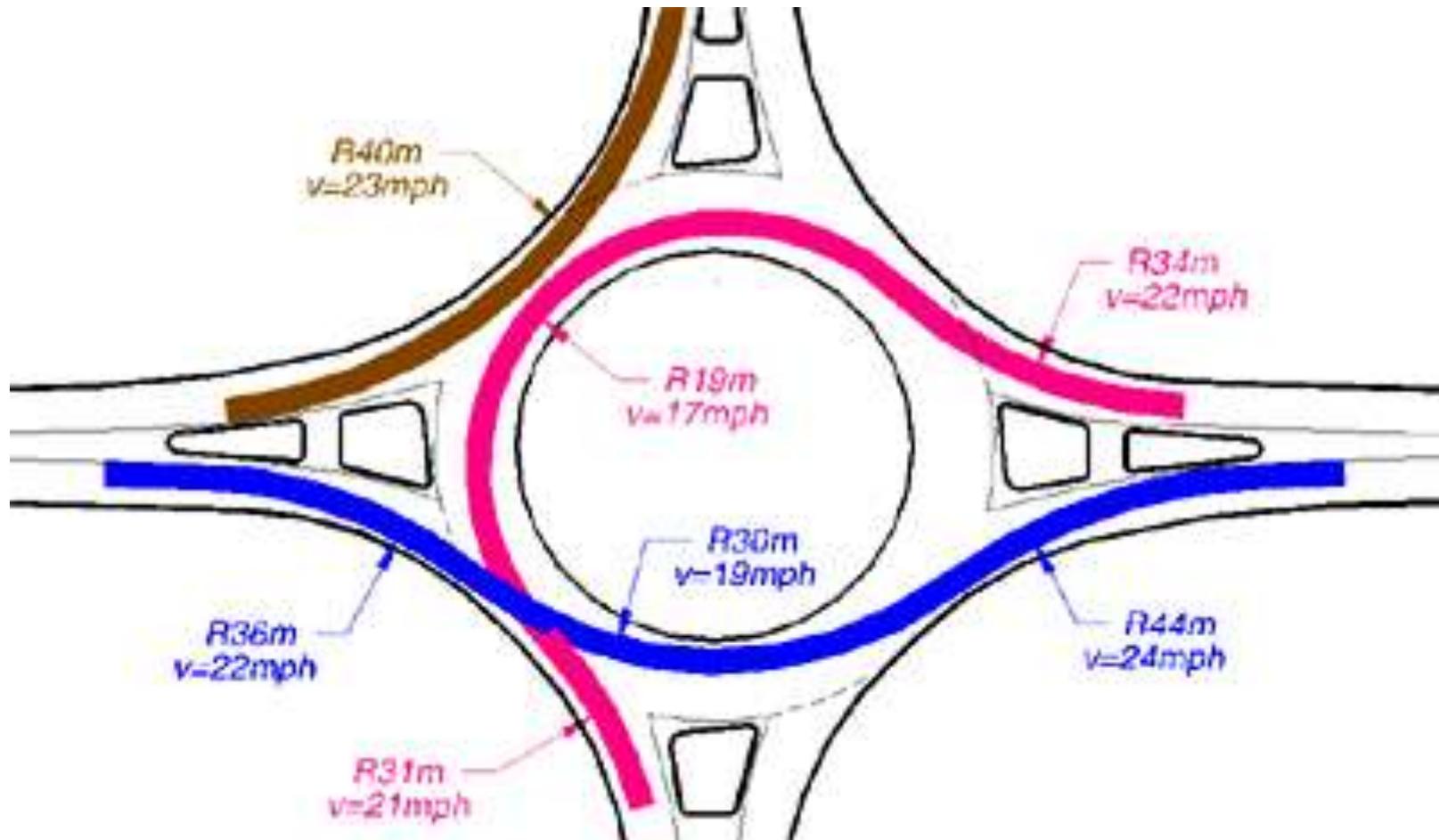


- 32 Vehicle to vehicle conflicts
- 24 Vehicle to pedestrian conflicts



- 8 Vehicle to vehicle conflicts
- 8 Vehicle to pedestrian conflicts

# Le traiettorie



# Esempio di rotatoria



# Risultati attesi

Elvik, 2004

Tipo incidente	Variazione % incidenti
<i>Incroci a T – Prima “precedenza”</i>	
Incidenti con infortunati	-31
Incidenti con soli danni	+73
<i>Incroci a T – Prima semaforo</i>	
Incidenti con infortunati	-11
Incidenti con soli danni	+32
<i>Incroci a 4 braccia – Prima “precedenza”</i>	
Incidenti con infortunati	-41
Incidenti con soli danni	+46
<i>Incroci a 4 braccia – Prima semaforo</i>	
Incidenti con infortunati	-17
Incidenti con soli danni	+42

# **IL PROCESSO DI PIANIFICAZIONE**

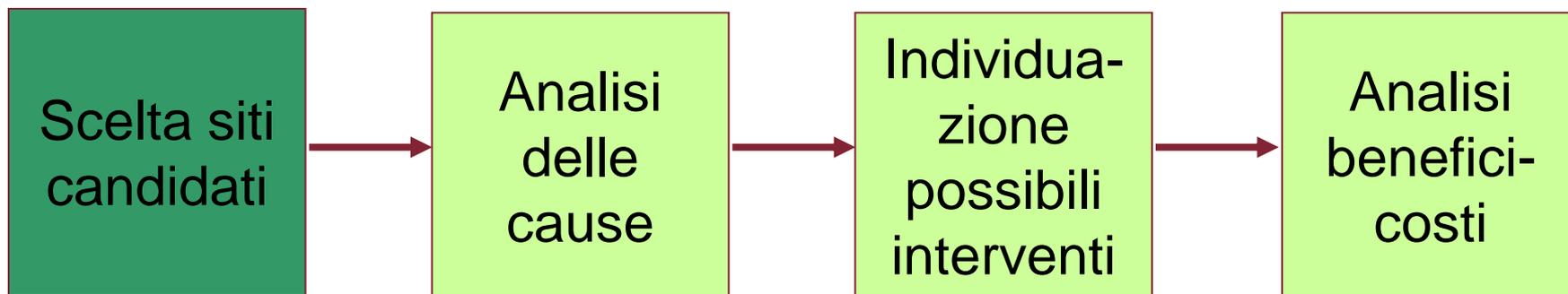
# Debolezze attuali (1)

- Dati incidentalità (incompleti)
- Dati infrastrutture e traffico (quasi assenti)
- Metodo per la stima degli incidenti (*regression-to-the-mean*)
- Metodo di scelta dei siti candidati all'intervento (basato solo sulla frequenza o su fattori emotivi)

## Debolezze attuali (2)

- Metodo di scelta degli interventi (basato solo sull'esperienza)
- Valutazione costi/benefici (assente)
- Valutazione dei risultati degli interventi (assente o condotta con metodo imprecisi)
- Valutazione degli effetti sulla sicurezza di interventi sulla rete (assente)

# Scelta degli interventi



# Scelta siti candidati

**Selezione  
elementi  
stradali**

**Individuazione  
siti**

**Classifica siti**

~~Tronchi~~  
Incroci

Incrocio Z  
Incrocio X  
Incrocio Y  
Incrocio T  
.....

1. Incrocio X  
2. Incrocio Y  
3. Incrocio Z  
.....

# Metodi di classificazione

- **Mappa dei punti neri**
- **Metodo della frequenza** (confronto tra la frequenza media annua di incidenti per elemento ed un valore di soglia)
- **Metodo del tasso** (per ciascun elemento si valuta il tasso di incidentalità in funzione dei flussi veicolari rispetto ad un valore di soglia)
- **Metodo dell'indice di probabilità** (combina l'uso delle frequenze e dei tassi compensando i difetti dei due indicatori)

# Mappa punti neri

- La mappa dei punti neri permette una identificazione semplice ed intuitiva
- Le carte tematiche forniscono ulteriori informazioni
- Si può applicare su reti semplici o porzioni di rete
- Costituisce, in ogni caso, un metodo preliminare agli altri

# Metodo della frequenza (1)

- Si determina la frequenza degli incidenti su ciascun elemento della rete (nel caso di “tronchi”, dividendo per la lunghezza)
- Si determina un valore critico di frequenza (ad es. il 20% in più del valore medio)
- Si considerano elementi critici quelli con frequenze superiori al valore critico

# Metodo della frequenza (2)

- Nel caso di grosse reti questa operazione si ripete per categorie di elementi (punti/tronchi; urbano/rurale; classi di strade; tipo di intersezioni)
- Questo metodo non tiene conto dei volumi di traffico (pericolosità): può essere usato preliminarmente per individuare gli elementi con maggior numero di incidenti

# Metodo del tasso (1)

- Per ciascun elemento si determina il tasso di incidentalità:
  - per i “punti” dividendo la frequenza di incidenti per il numero di veicoli che passano in un certo periodo (es. giorno)
  - per i “tronchi” dividendo la frequenza di incidenti per il numero di veicoli-km che passano in un certo periodo (es. giorno)

# Metodo del tasso (2)

- Per i “punti”:

$$T_{pu} = \frac{1.000.000 \cdot FAM}{365 \cdot TGM}$$

dove:

- FAM = Frequenza Annuale Media
- TGM = Traffico Giornaliero Medio

# Metodo del tasso <sup>(3)</sup>

- Per i “tronchi”:

$$T_{tr} = \frac{1.000.000 \cdot FAM}{365 \cdot TGM \cdot L}$$

dove

- FAM = Frequenza Annuale Media
- TGM = Traffico Giornaliero Medio
- L = Lunghezza del tratto

# Metodo del tasso (4)

- Si determina un valore critico del tasso di incidentalità per le diverse categorie di elementi (ad es. il 20% in più del valore medio)
- Si considerano elementi critici quelli con tassi superiori al valore critico
- Il metodo tende a privilegiare gli elementi a basso traffico

# Metodo dell'indice di probabilità (1)

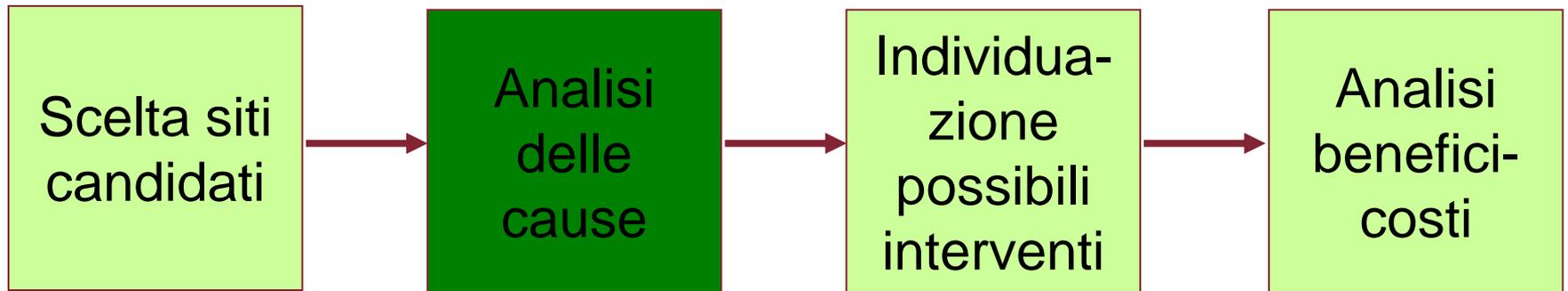
- Combina l'uso delle frequenze e dei tassi compensando i difetti dei due indicatori
- Si determina per ciascun elemento la frequenza degli incidenti, il tasso di incidentalità e un "tasso di ingiuria", definito come:

$$TI = \frac{I_f + I_m}{I_f + I_m + I_{sd}}$$

# Metodo dell'indice di probabilità (2)

- Si determina il valore critico di ciascuno dei 3 indicatori considerati
- Si confrontano i valori di ciascun elemento della rete con i valori critici ottenendo l'indice IP:
  - a) se nessuno dei 3 valori eccede il valore critico,  $IP = 0$
  - b) se la frequenza supera il valore critico, si danno 5 punti
  - c) se il tasso di incidentalità supera il valore critico, si danno 5 punti
  - d) se il tasso di ingiuria supera il valore critico, si danno 10 punti
  - e) si sommano, per ciascun elemento, i punti ottenuti
  - f) si considerano le 3 classi di punteggio: 20; 10/15; 5

# Scelta degli interventi



# Analisi delle cause

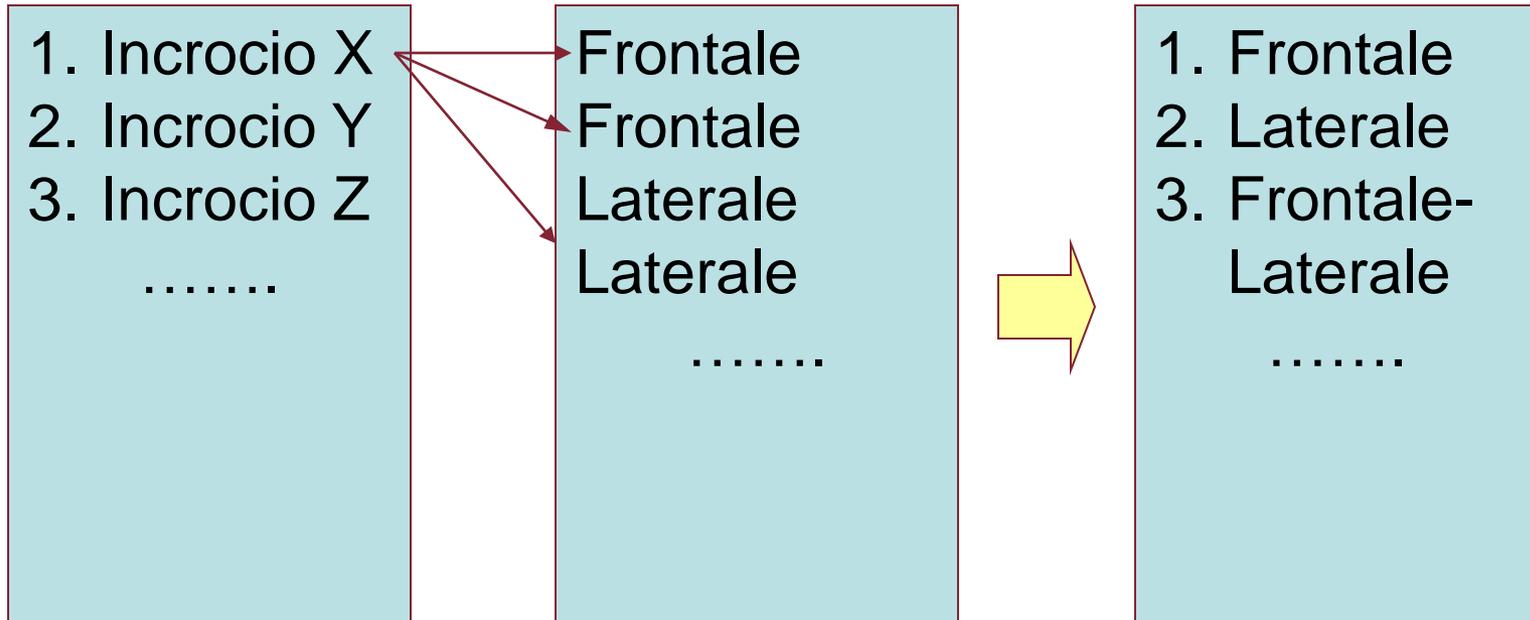
- Il processo si articola in 3 fasi:
  1. determinazione degli incidenti tipo nell'elemento critico
  2. confronto con i valori medi regionali ed individuazione incidenti tipo significativi
  3. associazioni di possibili cause mediante appositi abachi

# Il processo (1)

**Selezione  
elemento critico**

**Individuazione  
incidenti tipo  
significativi**

**Classifica  
incidenti tipo  
significativi**

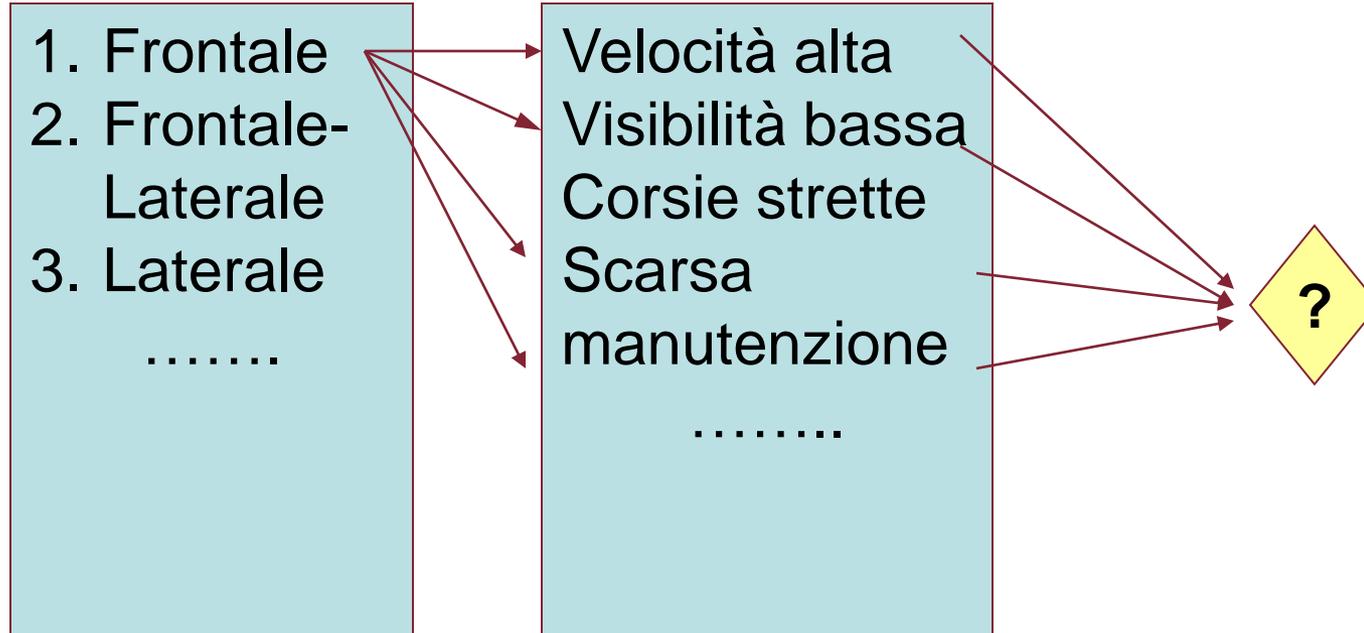


# Il processo (2)

**Selezione  
incidente tipo**

**Individuazione  
possibili cause**

**Scelta possibili  
cause**



# Incidenti tipo

- Gli incidenti tipo si classificano sulla base di specifiche caratteristiche relative a:
  - la natura dell'incidente (frontale, tamponamento, laterale ecc)
  - oggetti coinvolti (oggetto fisso, veicolo parcheggiato, pedone, ecc)
  - la situazione di guida (bagnato, notte ecc)

# Operativamente

- Si determina la % di ogni incidente tipo
- Si confronta tale percentuale con i valori medi regionali
- Si determina la severità dell'incidente tipo (1 per i tamponamenti e gli strisciamenti, 2 per gli altri)
- Si determina un indice di priorità per ciascun incidente tipo

# L'indice di priorità

- *Pattern Priority Index:*

$$PPI = \frac{10}{ORR \times SW}$$

- ORR: indica lo scostamento dal valore medio regionale;
  - SW: indica la gravità dell'incidente tipo
- 
- Minore è il PPI maggiore è la priorità

# L'abaco delle cause

Possible Cause	Crash Pattern					
	Head-On & SS/OD	Rear-Left/ Head-Left	Angle		Rear-End/Rear- Right & SS/SD	
			Sig	Unsig	Sig	Unsig
<b>Pattern Priority Index (PPI)</b>						
<b>Excessive Speed</b>	o	o	o	o	o	o
<b>Restricted Sight Distance</b>	o	o	o	o		o
<b>Slippery Surface</b>			o	o	o	o
<b>Narrow Lanes</b>	o				o	o
<b>Inadequate Signal Change Interval</b>		o	o			
<b>Turning Vehicles Slowing or Stopping in Through Lanes</b>					o	o
<b>Unexpected Slowing and Lane Changing</b>					o	o
<b>Poor Visibility of Traffic Signal</b>			o		o	
<b>Unexpected/Unnecessary Stops Due to Signal</b>			o		o	

# Un esempio (a)

## Intersezione semaforizzata

	Frontale	Frontale -laterale	Laterale	Tamponamento
N° incidenti	12	18	5	4
PPI	3.2	4.1	4.6	-

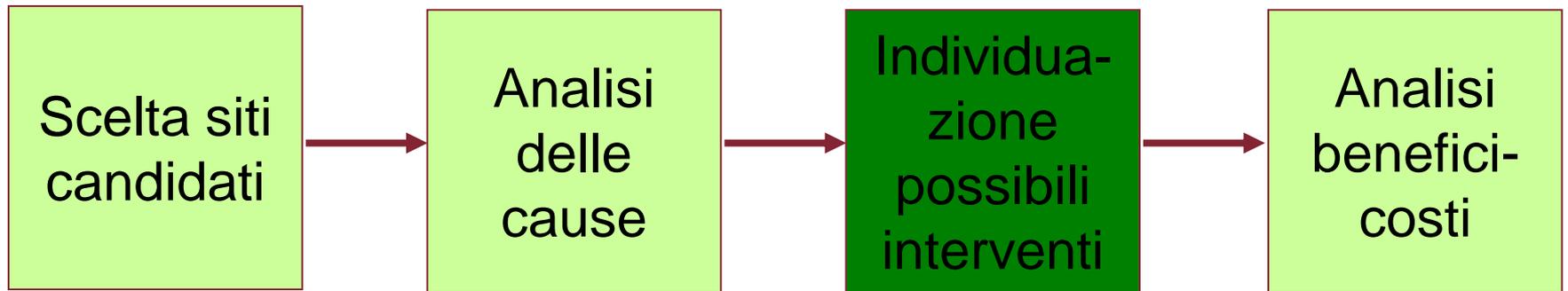
Cause	Frontale	Frontale -laterale	Laterale
Velocità alta	X	X	X
Visibilità bassa	X	X	X
Corsie strette	X	-	-
Scarsa manutenz	X	-	-

# Un esempio (b)

## Intersezione semaforizzata

Cause	Applicabile ?	Commenti
Velocità alta	<b>Si</b>	Condurre un'indagine
<del>Visibilità bassa</del>	<b>No</b>	Visibilità buona
Corsie strette	<b>Si</b>	Dovute ai parcheggi a spina
<del>Scarsa manutenzione</del>	<b>No</b>	Pavimentazione in buone condizioni

# Scelta degli interventi



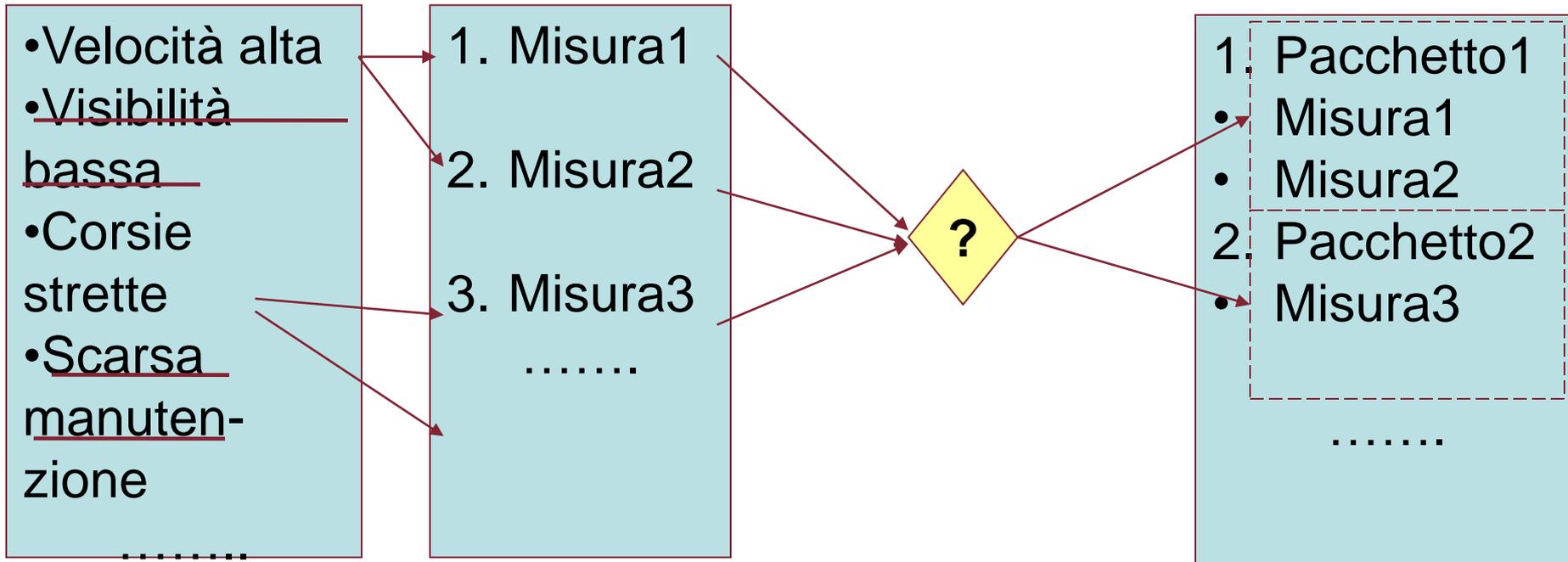
# Individuazione interventi/pacchetti

**Scelta  
possibili  
cause**

**Individuazione  
interventi**

**Selezione  
interventi**

**individuazione  
pacchetti**



# L'abaco degli interventi

**Table 4-9.  
Possible Causes and Countermeasures for Rear-End/Rear-Right and  
Sideswipe/Same-Direction Crashes at Signalized Intersections**

<b>Possible Cause</b>	<b>Possible Countermeasure</b>	
	<b>Specific Name</b>	<b>Code</b>
<b>Narrow Lanes</b>	<b>Eliminate parking</b>	<b>SN-14</b>
	<b>Widen lanes</b>	<b>RD-2</b>
<b>Poor Visibility of Traffic Signal</b>	<b>Remove signal sight obstructions</b>	<b>MS-7</b>
	<b>Post SIGNAL AHEAD warning signs / urban</b>	<b>SN-3</b>
	<b>Post SIGNAL AHEAD warning signs / rural</b>	<b>SN-4</b>
	<b>Install/replace signal visors</b>	<b>SG-19</b>
	<b>Add signal back plates</b>	<b>SG-18</b>
	<b>Add/relocate signal head</b>	<b>SG-17</b>
	<b>Install 12-inch signal lenses</b>	<b>SG-16</b>
	<b>Install advance flasher-signs</b>	<b>SG-21</b>
	<b>Upgrade signalization</b>	<b>SG-14</b>

# Un esempio (c)

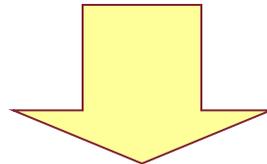
## Intersezione semaforizzata

Cause	Contromisura	Applicabile?	Commenti
Vel. alta	Ridurre il limite di vel.	<b>Si</b>	-
	Aumentare i controlli	<b>Si</b>	-
Corsie strette	Elimina parcheggi	<b>No</b>	Inapplicabile
	Allarga corsie	<b>Si</b>	-

# Un esempio (d)

## Intersezione semaforizzata

Pacchetto	Contromisura	CRF	Costi
<b>A</b>	Ridurre il limite di vel.	<b>10%</b>	Costo 1
	Aumentare i controlli	<b>15%</b>	Costo 2
<b>B</b>	Allarga corsie	<b>20%</b>	Costo 3

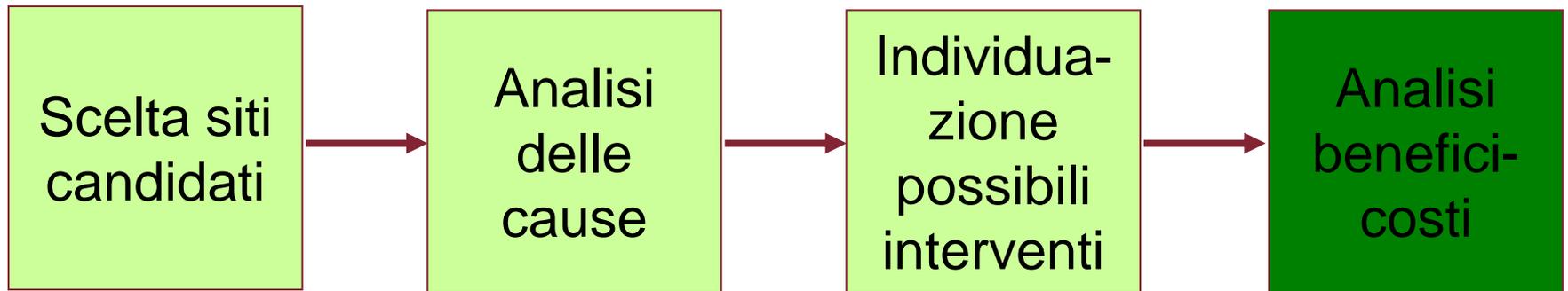


Valutazione economica

# La Safety Inspection

- Nel caso di nuove infrastrutture prende il nome di Safety Audit
- Si basa su una ispezione di una infrastruttura, effettuata, di giorno e di notte, da un gruppo di tecnici
- Il rilievo delle problematiche viene facilitato dall'uso di macchine fotografiche e telecamere
- Vengono utilizzate “Liste di controllo” apposite

# Scelta degli interventi

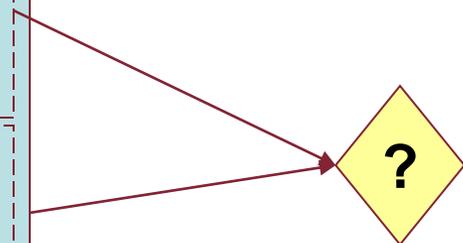
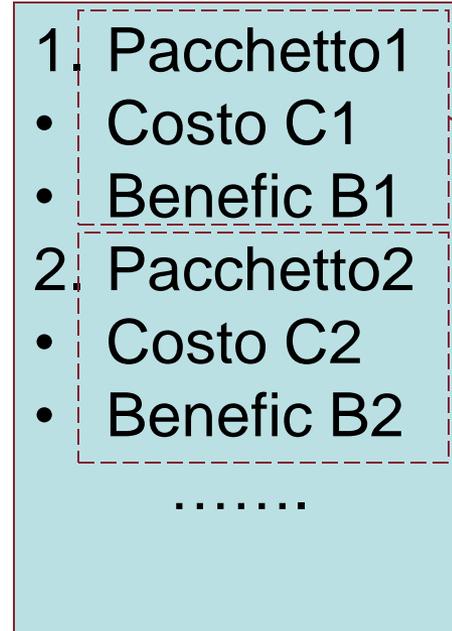
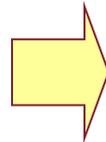
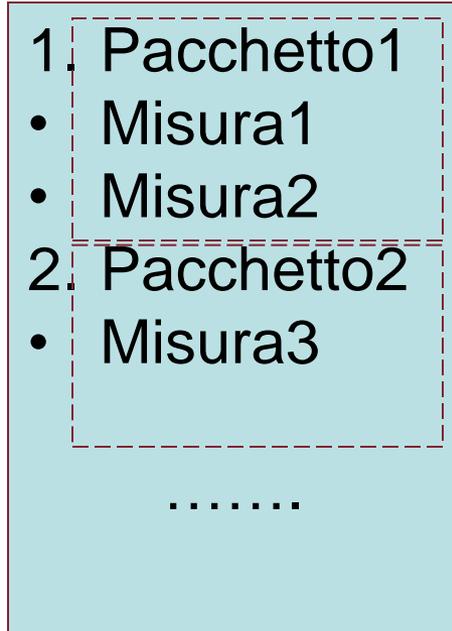


# La valutazione economica

**Selezione  
pacchetti**

**Classifica  
pacchetti**

**Scelta  
pacchetti**



# LA VALUTAZIONE DI EFFICIENZA

# Perché la valutazione di efficienza?

- Il budget disponibile per la sicurezza stradale è (molto) limitato
- L'obiettivo della valutazione è quello di identificare le contromisure più efficienti, in modo da fare l'uso più equo delle risorse disponibili
- Due metodi principali:
  - Analisi Benefici-Costi (CBA)
  - Analisi Costi-Efficacia (CEA)

# La CBA

- Consente di verificare se una misura è efficiente e di classificare diverse misure in ordine di efficienza
- Elementi necessari:
  - Costi di implementazione
  - Riduzione del numero di incidenti
  - Altri effetti (ambiente, tempo di spostamento, costi operativi)
  - Valori monetari

# Gli indicatori nella CBA

- **Net Present Value (NPV)** – Differenza fra i Benefici totali attualizzati ed i Costi totali attualizzati
- **Cost-Benefit Ratio (CBR)** – Rapporto fra i Benefici totali attualizzati ed i Costi totale attualizzati
- **Internal Rate of Return (IRR)** – Pari al valore del tasso di attualizzazione che annulla l'NPV

# Gli step della CBA (1)

1. Definire le unità di misura in base alla tipologia di contromisure (es. tipo di incidenti)
2. Determinare altri parametri (es. vita utile delle misure, tassi di interesse)
3. Stimare la riduzione attesa del numero di incidenti
4. Stimare gli effetti aggiuntivi (es. rumore, emissioni, tempi)
5. Stimare i costi di realizzazione e manutenzione delle misure

## Gli step della CBA (2)

6. Stimare il valore monetario di tutti gli effetti individuati
7. Stimare i benefici globali
8. Attualizzare tutti valori
9. Calcolare gli indici della CBA
10. Fare delle analisi di sensitività

# La CEA

- Consente di classificare diverse misure in ordine di efficienza, valutando:
  - Quale misura fornisce un determinato risultato al minor costo
  - Quale misura fornisce il miglior risultato ad un determinato costo
- Elementi necessari:
  - Costi di implementazione
  - Riduzione del numero di incidenti

# Confronto CBA vs CEA (1)

- La CEA è molto più facile da calcolare della CBA (i risultati vengono misurati in unità fisiche, senza trasformarli in unità monetarie)
- La CEA può essere usata solo per confrontare le alternative ma non per valutarne l'efficienza economica (es.  $NPV > 1$ )
- Nella CEA non si può considerare la diversa gravità degli incidenti

# Confronto CBA vs CEA (2)

- La CEA tiene conto di un solo obiettivo, mentre la CBA può considerare molti obiettivi, anche in conflitto (es. incidenti e tempi di viaggio)
- La CEA si usa quando:
  - Lo sforzo richiesto da una CBA non è giustificato dai risultati attesi (piccoli progetti)
  - Non è possibile monetizzare i benefici
  - C'è un solo obiettivo (gli effetti secondari possono essere trascurati)

# LA VALUTAZIONE DEI RISULTATI

# Quando?

- Valutazione ex-post: verifico se ho raggiunto gli obiettivi prefissati
- Valutazione ex-ante: scelgo fra misure alternative
- La valutazione ex-ante si basa, in larga parte, sui risultati di quella ex-post

# Metodo before/after

- Relativamente semplice in prima analisi
- Fattori critici:
  - Periodi di osservazione
  - Variabilità del fenomeno
  - Influenza di fattori esterni
  - Variabilità degli effetti

# Il periodo di osservazione

- Gli incidenti sono eventi statisticamente rari: periodi di osservazione necessariamente lunghi
- Il periodo di osservazione è tanto più breve, quanto:
  - maggiore è il numero di incidenti in considerazione
  - maggiore è il risultato dell'intervento

# Variabilità del fenomeno

- Fenomeno del *regression-to-the-mean* (RTM)
- Applicazione del metodo *Empirical Bayes* per depurare i dati misurati dall'RTM bias

$$\varepsilon = \alpha E(m) + (1 - \alpha)x$$

# Influenza di fattori esterni

- La rete stradale non è un ambiente “controllato”: inapplicabilità del metodo sperimentale
- Sono molti i fattori “terzi” che possono influire sulle variazioni osservate di incidenti:
  - Variazioni dei flussi
  - Modifiche dei veicoli
  - Modifiche dei comportamenti, ecc

# Come risolvo?

- Occorre confrontare non l'*after* e il *before*, ma l'*after* con l'intervento e l'*after* senza intervento => confronto *with/without*
- Il valore di incidentalità che si sarebbe avuto nella situazione *without* va stimato

# Stima del *without*

- Estrapolazione di un trend storico
- Utilizzo di un *comparison group* (elementi che hanno risentito dei fattori esterni ma non dell'intervento)
- Utilizzo di modelli multivariati che mettono in relazione il numero di incidenti con le caratteristiche costruttive e di traffico

# Esempio: CG + flussi

$$\text{Effetto dell' intervento} = \frac{X_a}{\varepsilon \frac{C_a}{C_b}} \delta$$

con

$$\delta = \frac{1}{\left( \frac{Vc_b}{Vc_a} \right)^{\beta_c} \left( \frac{Vt_a}{Vt_b} \right)^{\beta_t}}$$

## Dove: (1)

- **Xa** – numero di incidenti osservati nel punto in cui è stato eseguito l'intervento, nel periodo after
- $\varepsilon$  – valore “corretto” del numero di incidenti nel punto considerato, nel periodo before
- **Vta** – volume di traffico nel punto di intervento nel periodo after
- **Vtb** – volume di traffico nel punto di intervento nel periodo before
- **Ca** – numero di incidenti negli elementi del comparison group, nel periodo after

## Dove: (2)

- **Cb** – numero di incidenti negli elementi del comparison group, nel periodo before
- **Vca** – volume di traffico negli elementi del comparison group, nel periodo after
- **Vcb** – volume di traffico negli elementi del comparison group, nel periodo before
- $\beta_t$  – parametro della safety performance function per il punto di intervento,
- $\beta_c$  – parametro della safety performance function per gli elementi del comparison group

# **IL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI**

# SFINGE

- È un sistema di gestione degli incidenti stradali e di supporto alle decisioni per la sicurezza stradale con un software basato sul GIS ed una cartografia integrata



# Architettura di SFINGE

Modulo  
RILIEVO

Modulo  
GESTIONE

Modulo  
FrontOffice

Modulo  
STAT

Modulo  
ANALISI

- Raccolta dati sul luogo dell'incidente con GPS
- Struttura client/server per la gestione avanzata dei dati in centrale
- Gestione richieste e rilascio copie al pubblico
- Report statistici pronti ed elaborazione dati in grafici e tabelle
- Analisi ingegneristiche della sicurezza stradale su base cartografica

# Modulo Rilievo

**Dati incidente**

Agenti / Impostazioni    Dati locali    Stato dei luoghi    Dinamica

INCIDENTE

Data: 01/01/2003    Ora: 16.05    Festivo:

Comune: TERNI    Provincia: TR

Natura dell'incidente: URTO CON VEICOLO IN SOSTA

Luogo: INCROCIO

Classe strada: STRADA URBANA

Numero strada: \_\_\_\_\_

**Visualizzazione ed inserimento immagini**

File ?

Sec

VIA

Immagine N° 1

Immagine N° 2

Immagine N° 3

Immagine N° 4

Immagine N° 5

Immagine N° 6

Immagine N° 7



# Modulo Analisi (1)

- Consente di effettuare:
  - Analisi descrittive (es. analisi di base, tavole di contingenza, cluster analysis, correlazione lineare)
  - Analisi esplicative (es. modelli di regressione lineari e non lineari, modelli log-lineari)
  - Benchmarking
  - Carte tematiche con il GIS
  - Report

# Modulo Analisi (2)

