



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

dipartimento per i trasporti, la navigazione ed i sistemi informativi e statistici

DIREZIONE GENERALE PER LA SICUREZZA STRADALE

MONITORAGGIO DEL PNSS

Linee Guida per la Valutazione dei Risultati degli Interventi di Sicurezza Stradale

Autore: Luca Persia, Davide Shingo Usami

ID Documento: Rapporto - PA3.3

Data: 15/05/2012



INDICE

PREMESSA	2
1 Introduzione.....	4
1.1 Cosa si intende per intervento per la sicurezza stradale?	4
1.2 Cosa si intende per valutazione di un intervento per la sicurezza stradale? .	7
1.3 Problematiche connesse alla stima della sicurezza	8
1.4 Struttura delle Linee Guida.....	11
2 Raccogliere i dati necessari.....	12
2.1 Pianificare la raccolta dati per la valutazione di efficacia	12
2.2 Pianificare la raccolta dati per la valutazione di efficienza	18
3 Individuare il metodo di valutazione	22
3.1 Metodi di valutazione dell'efficacia dell'intervento	22
3.2 Metodi di valutazione dell'efficienza degli interventi.....	25
4 Valutare l'efficacia dell'intervento.....	26
4.1 Metodo before/after (incidenti)	26
4.2 Metodo before/after sul comportamento	32
4.3 Valutazione di interviste	34
5 Valutare l'efficienza dell'intervento	37
5.1 Analisi Costi-Benefici (ACB).....	37
5.2 Analisi Costi-Efficacia (ACE).....	39
6 Appendici.....	41
6.1 Appendice 1 – Migliorare la valutazione: calcolo dell'intervallo di confidenza	41
6.2 Appendice 2 – Migliorare la valutazione: il metodo Empirico Bayesiano....	42
6.3 Appendice 3 – Metodo Cross-Section	43
6.4 Appendice 4 – Test t di Student	44
6.5 Appendice 4 – Test chi quadro 2.....	45
BIBLIOGRAFIA	47



PREMESSA

Queste Linee Guida per la Valutazione dei Risultati degli Interventi di Sicurezza Stradale costituiscono un prodotto del “Servizio di monitoraggio e assistenza tecnica ed amministrativa per l’attuazione del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale”, svolto, per conto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, dal RTI composto da:

- I.T. Ingegneria dei Trasporti Srl,
- Deloitte SpA
- Sintagma Srl.

Obiettivi

Conoscere quali effetti ha prodotto un intervento è fondamentale per diversi motivi, in primo luogo perché la conoscenza di tali effetti aiuta a valutare se applicare lo stesso trattamento a un contesto simile.

Le Linee Guida forniscono gli strumenti necessari alle Amministrazioni Pubbliche per poter valutare un loro intervento di sicurezza stradale. Le domande cui si cerca di rispondere sono:

- L’intervento è stato efficace nel ridurre il numero e/o la gravità degli incidenti?
- L’intervento è stato efficiente (i benefici risultanti sono stati maggiori dei costi sostenuti)?

Per rispondere a tali domande dovranno essere affrontati diversi quesiti, legati ad esempio alla scelta degli indicatori da utilizzare per misurare gli effetti dell’intervento, o all’analisi dei fattori che possono aver influito sui risultati misurati.

Si tratta di quesiti cui non sempre si è in grado di dare una risposta precisa, anche a causa dell’oggettiva complessità del fenomeno in esame. Le Linee Guida suggeriscono come affrontare tali quesiti e forniscono dei criteri per scegliere il metodo di valutazione più appropriato al caso in esame. I metodi proposti si basano su un approccio di tipo statistico, e sono scelti tra quelli maggiormente utilizzati nell’ambito delle valutazioni di efficacia e di efficienza degli interventi di sicurezza stradale.

A chi di rivolgono

Le Linee Guida si rivolgono a professionisti e tecnici delle Amministrazioni interessate a valutare gli effetti degli interventi per la sicurezza stradale, con particolare riferimento agli interventi finanziati nell’ambito del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale (PNSS).

L’utilizzo delle Linee Guida presuppone una minima esperienza nelle tematiche della sicurezza stradale e nei concetti base della statistica.



Struttura del documento

Il processo di valutazione si articola secondo le seguenti macro-fasi:

- 1) Definizione di indicatori per la misurazione dei cambiamenti attesi.
- 2) Definizione del metodo di raccolta dati.
- 3) Individuazione dell'intervento da realizzare (o realizzato) e del metodo di valutazione appropriato.
- 4) Applicazione del metodo di valutazione.

Le Linee Guida sono strutturate nei seguenti cinque capitoli:

- Capitolo 1 Introduzione
- Capitolo 2 Raccogliere i dati necessari
- Capitolo 3 Individuare il metodo di valutazione
- Capitolo 4 Valutare l'efficacia dell'intervento
- Capitolo 5 Valutare l'efficienza dell'intervento



1 INTRODUZIONE

La valutazione degli interventi di sicurezza stradale mira a stimare il cambiamento introdotto con un certo intervento, cercando di rilevare delle modifiche negli indicatori scelti per misurare la sicurezza o l'insicurezza delle entità sottoposte a intervento. L'intento di queste Linee Guida è indicare quale approccio di valutazione seguire e quali informazioni è necessario acquisire per poter eseguire correttamente la valutazione, limitando così il rischio di arrivare a conclusioni errate.

Prima di procedere però è opportuno capire quale è l'oggetto di tali valutazioni, specificare cioè cosa si intende per intervento per la sicurezza stradale.

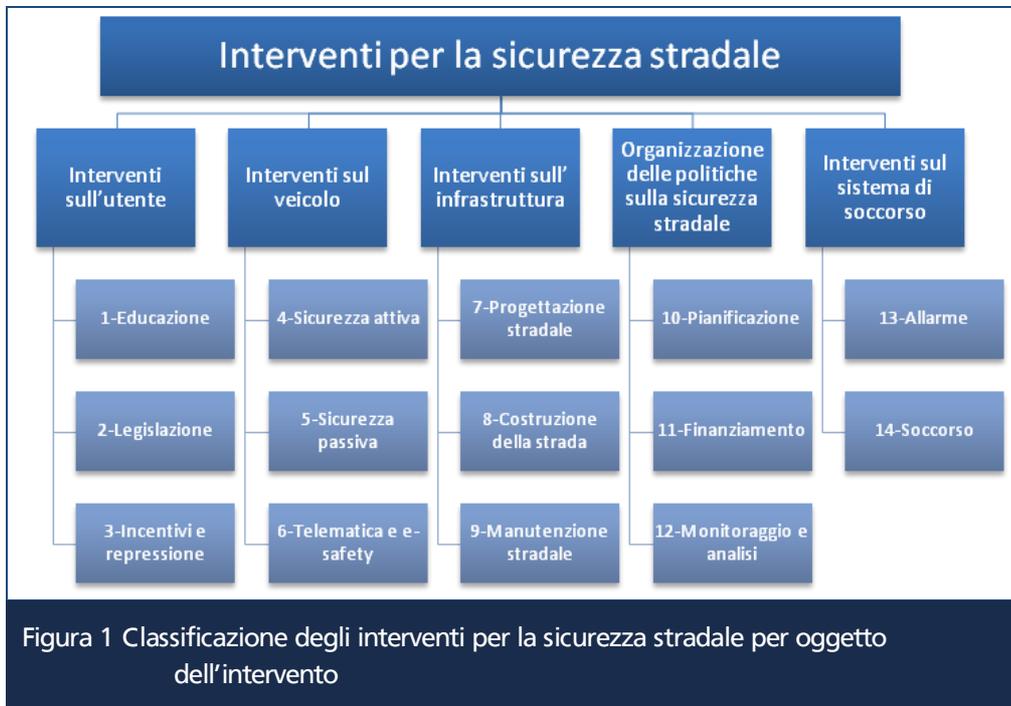
1.1 Cosa si intende per intervento per la sicurezza stradale?

Un intervento per la sicurezza stradale può essere definito come un'azione intesa a modificare una o più caratteristiche del sistema stradale al fine di migliorarne la sicurezza. Il miglioramento della sicurezza può essere finalizzato al raggiungimento di uno o entrambi i seguenti obiettivi:

- ridurre la probabilità che si verifichino degli incidenti stradali (tutti gli incidenti o solo quelli che presentano una certa caratteristica; ad esempio gli incidenti che coinvolgono i pedoni);
- ridurre la gravità degli incidenti stradali, ossia ridurre la probabilità di ferimento o decesso dei coinvolti.

Attualmente esistono molteplici interventi a favore della sicurezza stradale che possono essere classificati in base a diversi criteri. Una classificazione già adottata in diversi programmi di ricerca finanziati dalla Commissione Europea fa riferimento alle seguenti categorie di intervento (Figura 1):

- Interventi sull'utente della strada.
- Interventi sull'infrastruttura.
- Interventi sul veicolo.
- Interventi relativi all'organizzazione delle politiche di sicurezza stradale.
- Interventi sul sistema di soccorso.



Interventi sull'utente della strada

Il comportamento dell'utente su strada è influenzato da molteplici fattori, molti dei quali sono relativi alle caratteristiche proprie di ogni persona. Esistono differenze, ad esempio, in termini di conoscenza delle comuni regole di circolazione stradale e di esperienza di guida (si pensi ai neopatentati o ai bambini), di capacità di guida, di caratteristiche fisiche (si pensi a difficoltà a deambulare o vedere correttamente), di tendenze, credenze e motivazioni che possono spingere a comportamenti non sicuri.

Questa categoria di intervento mira a ridurre i possibili comportamenti a rischio degli utenti della strada (ad esempio le violazioni ai limiti di velocità, il mancato uso delle cinture di sicurezza, la guida in stato di ebbrezza, ecc.) attraverso misure quali:

- l'educazione stradale, le campagne di sensibilizzazione, i corsi di guida sicura avanzata, i corsi di riabilitazione alla guida, finalizzati in particolare alla conoscenza delle regole di circolazione, alla consapevolezza dei propri limiti, alla conoscenza delle proprie capacità di guida, ecc.;
- l'introduzione di nuove norme sulla circolazione stradale, come la patente a punti, le restrizioni alla guida dei neopatentati, l'obbligo di uso del casco per ciclisti e motociclisti;
- l'incentivazione di comportamenti sicuri (ad esempio, l'uso del disco bus per accompagnare a casa i giovani dopo la discoteca) e il controllo e la repressione e il sanzionamento dei comportamenti a rischio, non conformi a quanto previsto dal Codice della Strada.



Interventi sull'infrastruttura

La tendenza attuale è costruire e “mettere in sicurezza” le strade in modo da rendere consapevole l'utente sul tipo di strada in cui si trova e sul tipo di utenti che potrebbe incontrare, indirizzarlo sul comportamento da tenere, e dotare l'infrastruttura di dispositivi atti a limitare, per quanto possibile, le conseguenze di eventuali errori di guida da parte degli utenti (es. barriere stradali, spartitraffico, ecc.).

Si tratta di interventi che mirano principalmente alla riduzione del rischio di incidente o a limitarne le conseguenze attraverso soluzioni progettate per assorbire o deviare le forze e le energie in gioco in caso di impatto (come le barriere stradali o gli attenuatori d'urto).

Fanno parte di questa categoria:

- interventi che modificano il progetto di un'infrastruttura, come i cambiamenti alla sezione stradale, la regolazione della circolazione alle intersezioni stradali, il miglioramento del margine stradale;
- interventi di messa in sicurezza dei cantieri stradali;
- la manutenzione stradale, che include la manutenzione invernale delle strade e il monitoraggio e controllo delle caratteristiche di aderenza della pavimentazione stradale.

Interventi sul veicolo

Questa categoria di interventi mira al miglioramento e alla manutenzione del livello di sicurezza del veicolo. I principali effetti attesi sono, anche in questo caso, la riduzione del rischio di incidente o, in caso di incidente, delle conseguenze del sinistro.

Sono inclusi in questa categoria interventi come:

- interventi sulla “sicurezza attiva” del veicolo: sistemi e dispositivi come l'ABS (Anti-lock Braking System), l'ESP (Electronic Stability Control), la manutenzione periodica del veicolo, ecc.;
- interventi sulla “sicurezza passiva” del veicolo, come airbag, cinture di sicurezza, sistemi di ritenuta per bambini, frontali dei veicoli progettati per la sicurezza dei pedoni, ecc.;
- sistemi di telematica e e-safety, ad esempio: alcolocks, sistemi intelligenti per la gestione della velocità, sistemi di monitoraggio del conducente, sistemi di miglioramento della visibilità (vision enhancement), ecc.

Gli interventi sul veicolo non rientrano, generalmente, tra gli interventi finanziati nell'ambito dei Programmi di Attuazione del Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale. Pertanto saranno forniti solo dei cenni sui relativi metodi di valutazione degli effetti.

Interventi relativi all'organizzazione delle politiche di sicurezza stradale

Gli interventi sull'organizzazione delle politiche di sicurezza stradale riguardano il miglioramento dei processi di gestione della sicurezza stradale. Gli effetti attesi sono un'azione decisionale più efficace ed efficiente, il supporto per l'individuazione degli



interventi, l'incremento di conoscenza e di competenze professionali per i tecnici preposti alla predisposizione di politiche di interventi. Fanno parte di questa categoria:

- miglioramento dell'azione di pianificazione, attraverso la definizione di obiettivi quantitativi specifici, programmi di intervento e la formazione e informazione ai tecnici e ai decisori politici, per fornire gli elementi utili per la definizione di strategie di contrasto efficaci;
- sistemi di finanziamento della per la sicurezza stradale, come i finanziamenti attivati dal Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale e l'utilizzo dei proventi delle contravvenzioni ai fini della sicurezza stradale;
- analisi e monitoraggio del fenomeno per individuare e studiare i fattori di rischio esistenti.

Interventi sul sistema di soccorso

Questa categoria si riferisce agli interventi di miglioramento del trattamento di chi è rimasto infortunato a causa di un incidente stradale. L'effetto atteso è la riduzione della gravità delle conseguenze degli incidenti stradali.

Gli interventi sul sistema di soccorso comprendono:

- i sistemi di allerta, come ad esempio l'attivazione di un numero di emergenza unico o l'installazione di scatole nere in grado di rilevare un possibile sinistro al veicolo e di comunicarlo al pronto intervento;
- miglioramento della rapidità di intervento, ad esempio con elicotteri, e il miglioramento della capacità di intervento dei reparti di traumatologia negli ospedali.

1.2 Cosa si intende per valutazione di un intervento per la sicurezza stradale?

Come illustrato, esistono molteplici misure che modificano l'organizzazione e le caratteristiche del sistema stradale per migliorarne la sicurezza. In queste Linee Guida si fa specifico riferimento agli interventi di sicurezza stradale che le Amministrazioni possono realizzare accedendo ai finanziamenti resi disponibili dai Programmi di Attuazione del Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale.

Generalmente, quando si parla di valutazione, si intende la stima di aspetti o caratteristiche di un fenomeno non direttamente misurabili. Nell'ambito della sicurezza stradale ci si riferisce in particolare a due tipologie di valutazione: la valutazione di efficacia e la valutazione di efficienza.

La **valutazione di efficacia** ha come fine generale la verifica del raggiungimento di uno o più obiettivi specifici. In generale, l'efficacia fornisce una misura di quanto ci si è avvicinati a tali obiettivi. Nel campo della sicurezza stradale, l'obiettivo generale è quello di ridurre il numero di incidenti sulle strade. Di conseguenza, per valutazione di efficacia di una misura, si intende la stima di quanto essa ha contribuito a ridurre il numero di incidenti. Può essere realizzata per valutare sia una singola misura che un gruppo di misure.



La **valutazione di efficienza** ha come obiettivo quantificare in maniera chiara: costi, benefici e impatti legati alla realizzazione di un intervento, al fine di comprendere se i benefici derivati dalla realizzazione sono stati superiori ai costi totali dell'intervento. La valutazione di efficienza non dice solo se gli obiettivi di riduzione sono stati raggiunti ma anche "come" sono stati raggiunti. Questo tipo di valutazione può essere utilizzata anche per decidere quale intervento realizzare tra diverse alternative. Noti da altri studi gli effetti sulla sicurezza delle alternative considerate, la valutazione di efficienza consente di valutare quale intervento produce maggiori benefici a parità di costi.

In sintesi, la valutazione di efficacia consente di dimostrare il successo o l'insuccesso di un intervento, evidenziando se questo è stato efficace nel ridurre l'incidentalità stradale. La valutazione di efficienza permette di verificare se le risorse impiegate sono state utilizzate in maniera efficiente.

1.3 Problematiche connesse alla stima della sicurezza

L'indicatore più utilizzato per misurare la sicurezza è la frequenza di incidenti, definita come il numero annuale di incidenti che si verificano su un certo elemento, come ad esempio un'intersezione stradale.

Bisogna avere bene a mente però che gli incidenti hanno un andamento casuale nel tempo, il fenomeno è soggetto cioè a delle fluttuazioni, indipendentemente dal fatto che siano stati realizzati o meno degli interventi. Questo significa che, realizzato un intervento, nel successivo periodo si può rilevare una variazione del numero di incidenti dovuta all'effetto della suddetta casualità, che potrebbe, invece, essere erroneamente attribuito all'intervento stesso.

Un esempio tratto da uno studio di Hauer (1997), può aiutare a comprendere meglio questo aspetto del fenomeno.

Nel 1982, in Ontario, è stata approvata una legge che autorizzava gli agenti di polizia a sospendere la patente a coloro che commettevano infrazioni gravi.

Le statistiche ufficiali nel 1982 hanno riportato una riduzione del 23% di morti per incidenti stradali: da 61 morti nel gennaio del 1981, i morti sono passati a 47 nel gennaio del 1982. Questi dati potrebbero far pensare che l'attuazione della nuova legge abbia migliorato la sicurezza sulle strade; in realtà, nel momento in cui si va ad esaminare un arco temporale più esteso, riferito ad un maggiore numero di anni (1970-1990), emerge che la diminuzione del numero di morti tra un gennaio e quello dell'anno successivo non è inusuale: si osservino (Figura 2) le frecce che congiungono i dati del 1973 con quelli del 1974 e quelli del 1975 con quelli del 1976.

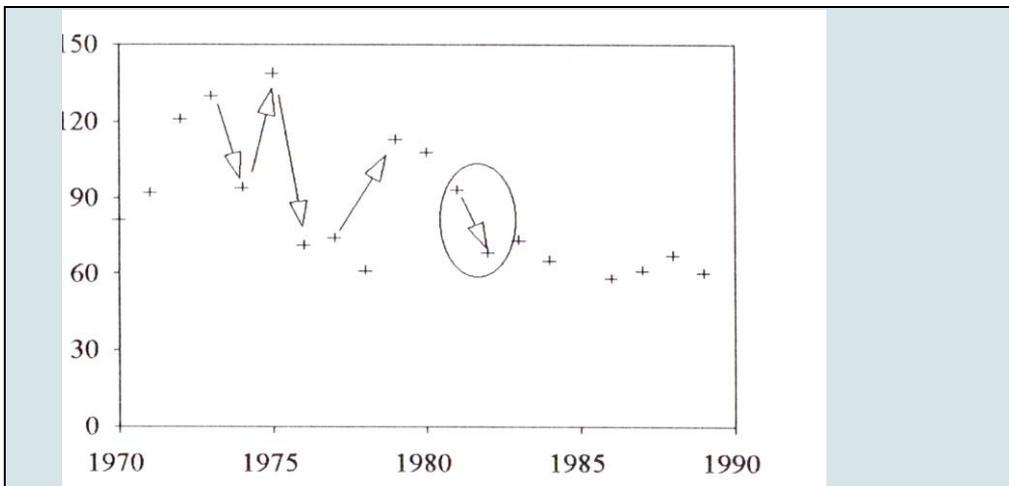


Figura 2 Morti nell'Ontario nei mesi di gennaio 1970-1990 - Fonte: Hauer E. (1997)

Questo esempio conferma il carattere fortemente aleatorio del fenomeno dell'incidentalità stradale. Dall'esempio, infatti, risulta inappropriato attribuire ad una determinata variazione (nel caso specifico, la diminuzione del 23% del numero di morti tra il gennaio 1981 ed il gennaio 1982), simile a quelle verificatesi negli anni precedenti, l'effetto di un determinato intervento (nell'esempio, l'applicazione della legge).

Per poter capire se effettivamente un intervento apporta miglioramenti alla sicurezza degli utenti, è necessario non confondere le oscillazioni dovute alla natura aleatoria del fenomeno (variabilità "casuale") con le variazioni "sistematiche" del numero di incidenti, che esprimono la variazione dovuta a fattori specifici, come la realizzazione di un intervento di sicurezza.

1.3.1 Caratteristiche del fenomeno

Due aspetti principali del fenomeno di incidentalità sono:

- **Rarità:** gli incidenti stradali sono eventi rari, rappresentano una percentuale ridottissima di tutti gli eventi che si verificano nel sistema stradale.
- **Casualità:** gli incidenti stradali sono eventi aleatori, si verificano in funzione di una serie di eventi condizionati da molteplici fattori che solo in parte possono essere previsti.

Questi due aspetti comportano delle limitazioni all'uso della frequenza osservata di incidenti come indicatore per misurare la sicurezza. Infatti, la presenza di fluttuazioni fa sì che la frequenza media di incidenti osservata per un breve periodo di tempo (ad esempio due anni) non sia un indicatore affidabile della sicurezza di un elemento. Per poter valutare l'efficacia di un intervento, bisogna tenere conto delle limitazioni imposte dalla casualità e dalla variabilità del fenomeno:

- Le fluttuazioni rendono difficile stabilire se una variazione della frequenza osservata è dovuta ad un cambiamento introdotto o è legata a una



fluttuazione del fenomeno. Se si osserva un periodo con un'incidentalità elevata, è statisticamente probabile che nel periodo successivo si registri una frequenza di incidenti minore. Questo significa che, in alcuni periodi, le frequenze osservate su determinati punti della rete stradale possono essere maggiori (o minori) dei valori medi che possono essere attesi in quegli stessi punti. Questa tendenza è detta "fenomeno di regressione alla media".

- Gli incidenti avvengono in un ambiente che, al contrario di ciò che succede in un laboratorio, non è "controllato". Pertanto, per alcune tipologie di incidenti, si possono osservare dei trend di medio-lungo periodo determinati da fattori quali il miglioramento delle dotazioni di sicurezza dei veicoli, un cambiamento delle abitudini dei guidatori, ecc.
- Per gli stessi motivi visti al punto precedente (ambiente non controllato), possono agire sul numero di incidenti registrati nel luogo di intervento altri fattori esterni; ad esempio, ci può essere una riduzione o un aumento dei flussi di traffico, che determina una variazione degli incidenti, indipendente dall'intervento realizzato.

1.3.2 Misurazioni indirette della sicurezza

Non sempre è possibile valutare gli interventi in termini di frequenza di incidenti stradali. La rarità e la casualità degli incidenti e, in alcuni casi le difficoltà nel reperimento dei dati di incidentalità, spingono a considerare l'utilizzo di altri indicatori della sicurezza, riferiti a eventi più frequenti degli incidenti stradali e che siano dei loro "predittori", cioè che evidenzino un legame con la frequenza attesa degli incidenti.

Tali indicatori possono essere associati, ad esempio, a comportamenti che aumentano il rischio di incidente, come la velocità eccessiva, che aumenta la distanza di arresto del veicolo e la probabilità di collisione in presenza di ostacoli inattesi.

Si tratta di indicatori indiretti della sicurezza, che misurano comportamenti e attitudini degli utenti della strada influenzati dall'intervento posto in essere. La scelta di eventuali indicatori indiretti da utilizzare è legata principalmente alle caratteristiche dell'intervento realizzato e, in particolare, alla conoscenza dei fattori di rischio potenzialmente influenzati dall'intervento (velocità, violazioni, comportamenti o tendenze particolari, ecc.).

1.3.3 Metodi statistici per stimare la sicurezza

Per trattare alcune delle limitazioni legate alle caratteristiche del fenomeno, in particolare la variabilità dei fattori locali come il traffico, è possibile utilizzare opportuni modelli statistici di regressione, in grado di stimare l'incidentalità in funzione delle caratteristiche dell'elemento valutato. In questi modelli si tenta di includere tutte le variabili che possono avere effetti sulla sicurezza stradale, ad esempio, nel caso di un'intersezione stradale, includendo il numero di bracci (tre, quattro o più bracci), il tipo di regolazione della circolazione (semaforica, stop, precedenza a destra, ecc.) e il traffico giornaliero medio entrante nell'intersezione.

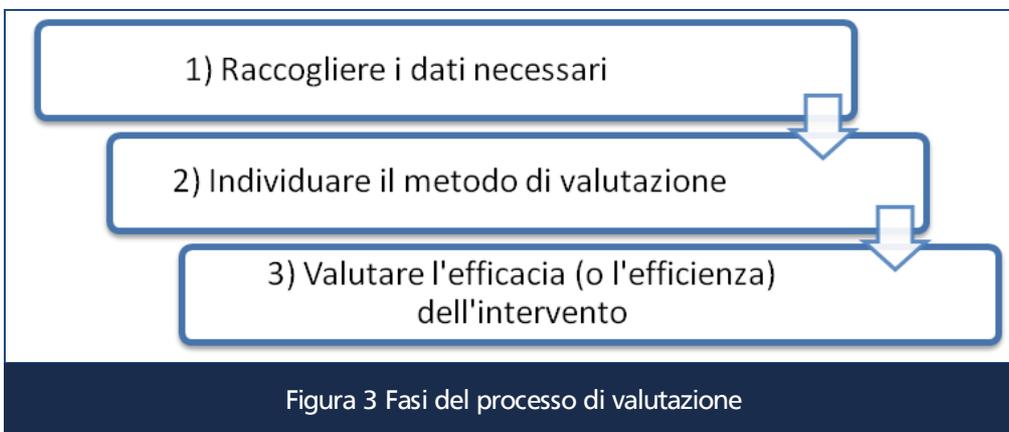
Esistono inoltre opportuni metodi statistici che consentono di ovviare al fenomeno di regressione alla media combinando la stima valutata tramite un modello statistico

con la frequenza osservata degli incidenti sull'elemento in esame (Cfr. Appendice 2 - metodo Empirico Bayesiano).

1.4 Struttura delle Linee Guida

Il processo di valutazione descritto nelle Linee Guida comprende tre fasi principali (Figura 3):

- 1) Raccogliere i dati necessari per le valutazioni.
- 2) Individuare il metodo di valutazione.
- 3) Valutare l'efficacia o l'efficienza dell'intervento.



Dato che esistono diversi metodi per effettuare una valutazione di efficacia o di efficienza di un intervento, per poter scegliere quale adottare è necessario conoscere che tipo di intervento sarà realizzato e quali sono gli impatti attesi. La prima fase imposta le tempistiche e le modalità con cui condurre la valutazione.

La raccolta dei dati è la fase che in genere richiede maggiori risorse. È buona norma prevedere di condurre la valutazione di un intervento sin dalla sua progettazione. Questo fa sì che siano esplicitati in maniera chiara gli obiettivi che si intende perseguire e che siano attivate le necessarie procedure di raccolta dati già prima di iniziare a realizzarlo.

La terza fase concerne la valutazione vera e propria, mediante l'applicazione ai dati raccolti delle procedure di analisi previste dal metodo scelto.

È possibile migliorare la valutazione tenendo conto dell'influenza di possibili fattori di disturbo (cosiddetti *confounding factors*) attraverso opportune tecniche (ad esempio: metodo Empirico Bayesiano). Alcuni di questi aspetti sono approfonditi nelle Appendici.



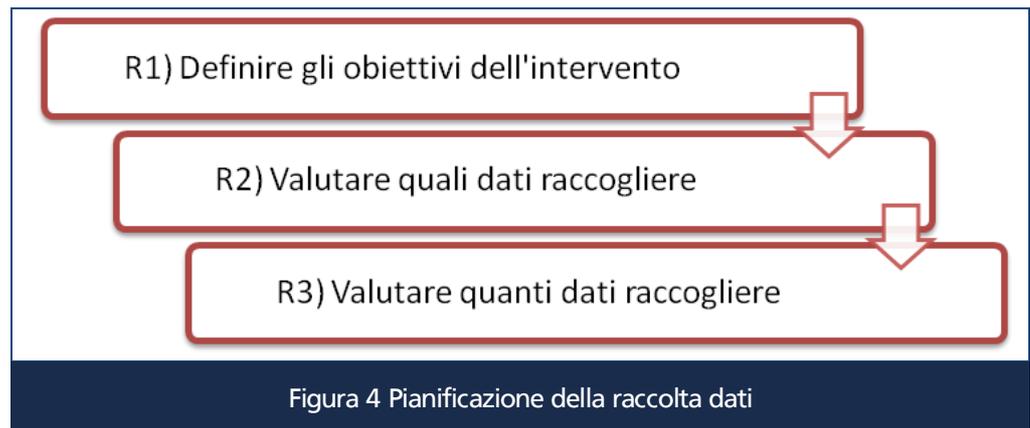
2 RACCOGLIERE I DATI NECESSARI

Il tipo di dati che devono essere reperiti per valutare gli interventi di sicurezza stradale dipende dal metodo di valutazione e dagli obiettivi specifici dell'intervento.

Nel precedente capitolo sono state illustrate le principali categorie di intervento a favore della sicurezza stradale e i loro possibili effetti. In questo capitolo sono descritti gli indicatori impiegati per la valutazione degli interventi migliorativi della sicurezza stradale e le modalità di raccolta.

2.1 Pianificare la raccolta dati per la valutazione di efficacia

La scelta dell'indicatore di sicurezza più appropriato dipende da diversi fattori attinenti le caratteristiche dell'intervento e i dati che è possibile acquisire per l'analisi. La pianificazione della raccolta dati passa per tre fasi: R1) Definire gli obiettivi dell'intervento; R2) Valutare quali dati raccogliere; R3) Valutare quanti dati raccogliere.



2.1.1 Obiettivi dell'intervento

Prima di procedere alla valutazione è necessario porsi alcune domande come:

- Quali sono gli elementi sottoposti all'intervento?
- Quale è l'obiettivo dell'intervento? Oltre ad un'eventuale riduzione dell'incidentalità, quali altri effetti ci si attende dall'intervento (ad es.: variazioni di traffico, riduzione della velocità media o aumento della percentuale d'uso del casco)?

In primo luogo bisogna avere ben chiaro quali sono gli elementi interessati dall'intervento, cioè chi o cosa l'intervento andrà a modificare. Questi possono essere in generale: utenti della strada, veicoli (sebbene questo tipo di interventi interessi maggiormente le case produttrici di veicoli o i governi nazionali) e elementi stradali (tipicamente intersezioni o tronchi stradali).

L'intervento difficilmente sarà rivolto a tutti gli utenti o a tutte le intersezione stradali. Piuttosto interesserà un gruppo di utenti, di veicoli o di elementi stradali, aventi caratteristiche specifiche (il cosiddetto "*target group*"). Ad esempio una particolare categoria di utenti, pedoni o conducenti anziani, o un'intersezione stradale specifica o ancora i veicoli che effettuano particolari manovre nell'intersezione.

Quando un intervento è localizzato in un'area o è rivolto ad uno specifico gruppo, il numero di incidenti influenzato dall'intervento è quello associato al "*target group*" e dalle statistiche disponibili sull'area in esame. Per operare una stima accurata dell'efficacia è opportuno selezionare, fra tutti gli incidenti disponibili, quelli che possono essere effettivamente influenzati dall'intervento, ed inserirli nelle analisi. Se ad esempio l'intervento migliora la sicurezza dei pedoni, nella valutazione si dovrebbe tenere conto degli incidenti che coinvolgono pedoni.

È importante, inoltre, definire in maniera chiara quale è o quali sono gli obiettivi dell'intervento, individuando quei comportamenti e/o atteggiamenti che l'intervento sta tentando di modificare.

Un obiettivo potrebbe essere, ad esempio, ridurre le velocità dei veicoli transitanti su una sezione stradale o aumentare il tasso di utilizzo delle cinture di sicurezza posteriori, o ancora ridurre il numero di persone che utilizzano il telefonino alla guida.

2.1.2 Valutare quali dati raccogliere

Per valutare l'efficacia di un intervento è preferibile sempre fare riferimento a indicatori basati sull'incidentalità. Possono però sussistere diversi motivi che portano a dover scegliere indicatori alternativi:

- L'inaffidabilità o l'assenza di dati d'incidentalità.
- l'impossibilità di monitorare l'incidentalità riferita al particolare gruppo di elementi interessato dall'intervento. Utilizzando i dati di incidentalità reperibili dalle attuali fonti (forze di polizia e ISTAT) è possibile risalire alla localizzazione dell'incidente e quindi a un certo elemento stradale sottoposto a intervento, ma non allo specifico utente o veicolo trattato. Questo avviene principalmente perché, per aspetti legati alla privacy, i dati di incidentalità sono depurati di informazioni "sensibili".
- La necessità di una valutazione dell'intervento in tempi brevi. Le valutazioni basate sull'incidentalità, per risultare statisticamente significative, richiedono almeno tre anni di monitoraggio prima e dopo la realizzazione dell'intervento.
- La presenza di fattori esterni che possono influenzare la variazione d'incidentalità nel periodo successivo all'intervento (ad esempio la presenza di un altro intervento che influenza le condizioni di sicurezza dell'elemento considerato).
- La valutazione di interventi temporanei che hanno effetti solo su un periodo relativamente breve di tempo (dell'ordine di qualche mese). Un esempio sono gli interventi di miglioramento della sicurezza dei cantieri stradali.



Quando non è possibile reperire il dato di incidentalità per il gruppo di elementi sottoposti a intervento, invece di valutare direttamente la sicurezza, possono essere condotte: valutazioni che misurano un cambiamento in termini di comportamento osservato degli utenti, valutazioni che misurano un cambiamento nelle tendenze di comportamento o nella percezione del rischio delle persone (attraverso interviste).

Incidentalità

Quando si valuta l'efficacia dell'intervento in termini di incidentalità, è preferibile fare riferimento all'incidentalità associata a periodi multipli di 12 mesi, in modo che i risultati non siano influenzati da possibili fattori stagionali.

L'indicatore da preferire è la frequenza annuale media di incidenti, definita come:

$$[1] \quad \text{Frequenza annuale media di incidenti} = \text{Numero incidenti} / \text{periodo in anni};$$

Il periodo pre-intervento deve concludersi prima dell'inizio della realizzazione dell'intervento, mentre l'inizio del periodo post-intervento si fissa dopo il completamento dello stesso (in genere qualche mese dopo aver il termine), in modo da non considerare nelle misurazioni, soprattutto nel caso di interventi sull'infrastruttura, possibili effetti transitori sulle condizioni di circolazione dovuti all'intervento realizzato.

Per semplificare il reperimento dei dati, è preferibile far coincidere i periodi di analisi con periodi formati da anni civili (dal 1° gennaio al 31 dicembre). In tal caso, l'anno in cui è stato realizzato l'intervento non è incluso nella valutazione.

Quando la valutazione è basata sull'incidentalità è opportuno considerare il rilievo di dati di traffico o in generale di esposizione a rischio di incidente (ovvero la quantità di tempo speso nel traffico o di chilometri percorsi in cui si è esposti a un evento incidentale).

. Il traffico veicolare è uno dei principali fattori che contribuiscono alla variazione sistematica del valore atteso degli incidenti stradali. Quando ci si aspetta che i volumi di traffico possono variare a seguito della realizzazione di un intervento, nel processo di valutazione degli effetti è necessario considerare anche indicatori di traffico.

Per le intersezioni o per le sezioni stradali, il traffico (o l'esposizione al rischio) è espresso attraverso il numero di veicoli transitanti nell'unità di tempo. L'indicatore utilizzato è il Traffico Giornaliero Medio annuale (TGM), definito come il numero medio giornaliero di veicoli che transita attraverso una sezione stradale o che entra in un'intersezione.

Per le sezioni stradali, il traffico si esprime come:

$$[2] \quad \text{Numero annuale di veicoli} * \text{km percorsi} = \text{TGM} * T * L$$

Dove: TGM è il Traffico Giornaliero Medio annuale, L è la lunghezza tronco della sezione in esame (in chilometri) e T è il numero di giorni nel periodo di analisi considerato (in genere ci si riferisce a un anno).

Un esempio di scheda di raccolta di dati di incidentalità e di traffico è riportata in Tabella 1.



Tabella 1 Esempio di scheda di raccolta dati di incidentalità e traffico per un intervento su un'infrastruttura

Elemento: _____ Periodo di riferimento: Da ____ a ____	Incidenti totali	Incidenti tipo A (es. Tamponamenti)	Incidenti tipo B	Incidenti tipo C
Incidenti stradali totali				
Incidenti mortali				
Incidenti con feriti				
Incidenti con soli danni				
Traffico Giornaliero Medio				

Indicatori indiretti osservabili di comportamento degli utenti (*Safety Performance Indicator*)

Quando si parla di interventi di sicurezza stradale, l'effetto che si vuole esaminare è la variazione in termini di numero e gravità degli incidenti legata all'introduzione dell'intervento. In alcuni casi è però difficile valutare l'efficacia mediante indicatori diretti dell'incidentalità (numero di incidenti, di feriti, di morti). In altri casi emerge l'esigenza di comprendere i processi che hanno portato agli incidenti. Questo fa sì che spesso siano utilizzati degli indicatori indiretti, basati sulla misurazione di una serie di grandezze influenzate dall'intervento ed in relazione con i suddetti indicatori diretti dell'incidentalità. Tali indicatori sono anche detti *Safety Performance Indicator (SPI)*. Si tratta di misure che riflettono le condizioni operative del sistema stradale e che influenzano le condizioni di sicurezza del sistema (Hakkert et al, 2007).

La scelta dell'indicatore appropriato è strettamente connessa agli obiettivi dell'intervento. I *Safety Performance Indicator* possono essere monitorati adottando diversi metodi di raccolta. Generalmente le tecniche di raccolta si basano sull'osservazione e la misurazione del comportamento degli utenti. La Tabella 2 2 riporta alcuni degli indicatori del comportamento degli utenti e le relative modalità di raccolta.



Tabella 2 Esempi di Indicatori indiretti e relative modalità di raccolta

Comportamento	Indicatore	Modalità di raccolta
Velocità	Velocità media dei veicoli Percentuale di conducenti con velocità superiori ai limiti stabiliti	Con strumenti di misurazione delle velocità (ad es. Radar).
Sorpassi	Numero di sorpassi per 1.000 veicoli	Osservazione sul campo o monitoraggio di registrazioni video.
Violazioni (rosso semaforico)	Numero di violazioni per 1.000 veicoli	Osservazione sul campo o monitoraggio di registrazioni video.
Uso del cellulare alla guida	Percentuale di utilizzo del cellulare alla guida	Osservazione sul campo, in particolare all'altezza di intersezioni o impianti semaforici.
Utilizzo dei sistemi di protezione e ritenuta	Percentuale di utilizzo diurna delle cinture per sedili anteriori; Percentuale di utilizzo diurna delle cinture per sedili posteriori Percentuale d'uso del casco	Osservazione sul campo, in particolare all'altezza di intersezioni o impianti semaforici.
Alcol e droga alla guida	Percentuale di conducenti alla guida con tasso alcolemico superiore ai limiti vigenti tra quelli fermati per fare il test di controllo	Controlli su strada

Indicatori indiretti non osservabili

In alcuni casi risulta difficile effettuare una misurazione diretta affidabile dei risultati tramite osservazioni sul campo o tramite esperimenti di laboratorio. In questi è possibile fare ricorso ad interviste (questionari), possibile che permettono di valutare l'opinione che particolari gruppi di utenti hanno nei confronti di specifici interventi e, quindi, stimare in maniera indiretta i loro effetti. In particolare, l'uso dei questionari risulta di notevole utilità per la quantificazione degli effetti di:

- misure che hanno un impatto indiretto sulla sicurezza (misure relative all'utente e misure organizzative);
- misure innovative mirate al controllo del comportamento del conducente.

I risultati possibile possono essere analizzati grazie a semplici tecniche di analisi statistica, che forniscono le percentuali di giudizio su determinate affermazioni contenute nelle domande.



Esistono anche tecniche più raffinate di analisi, che permettono di mettere in relazione le risposte fornite dagli intervistati sui vari argomenti, evidenziando le relazioni causa-effetto fra i diversi fattori che intervengono negli incidenti stradali. Tali tecniche permettono di capire perché e mediante quali meccanismi si genera un incidente, oltre che quantificare gli effetti di una misura.

Un importante utilizzo di questi metodi di analisi si ha nello studio delle relazioni tra il comportamento dell'utente e il suo atteggiamento rispetto agli interventi (ad esempio, la tendenza a valutare un elemento in modo positivo o negativo). In altre parole, si cerca di valutare quali sono i fattori che portano un utente ad avere un certo comportamento (ad esempio, indossare il casco, rispettare i limiti di velocità, guidare sotto l'effetto di alcool e droghe, ecc.).

Gli atteggiamenti possono consistere in opinioni, autovalutazioni, pensieri, intenzioni, ecc. Per valutare quantitativamente questi aspetti si adottano indagini con questionari strutturati. Questi includono due tipologie principali di domande: quelle cui bisogna rispondere scegliendo tra diverse possibili alternative e quelle associate a una scala di valutazione.

Un esempio della prima categoria è la domanda: "Durante le vacanze preferisci andare in motocicletta o guidare l'automobile?"

Volendo utilizzare invece delle domande con associata una scala di valutazione, la stessa domanda, leggermente diversa, può essere posta attraverso due domande distinte:

- Quanto ti piace guidare in vacanza? (1: per niente; 5: moltissimo)
- Quanto ti piace andare in motocicletta in vacanza? (1: per niente; 5: moltissimo)

Utilizzando una scala si possono avere delle risposte maggiormente diversificate.

2.1.3 Valutare quanti dati raccogliere

La dimensione del campione statistico di analisi deve essere tale da permettere di identificare come "statisticamente significativa" una variazione di effetto ma anche tale da poter rilevare se la variazione esiste.

Quando il numero di incidenti stradali avvenuti nel periodo pre-intervento è dell'ordine di pochi incidenti, considerato per poter considerare un intervento efficace, deve risultare dalla valutazione una riduzione molto elevata dell'incidentalità. Infatti, più è piccolo il numero di incidenti nel periodo "pre-intervento", maggiore deve essere la riduzione percentuale, per essere poterla considerare statisticamente significativa. È necessario quindi valutare preliminarmente la riduzione attesa di incidenti che l'intervento può portare e proseguire nella valutazione solo se sugli elementi interessati dall'intervento si registra un numero sufficientemente ampio di incidenti tale da consentire l'analisi statistica.

Per dare un'idea dell'entità della variazione percentuale richiesta, si riporta in Tabella 3 la variazione percentuale minima necessaria per poter individuare una differenza per un livello di confidenza pari al 80% , per diversi livelli di incidentalità.



Ad esempio, si consideri un sito dove il numero atteso di incidenti è pari a 20 in tre anni. Per poter ottenere una riduzione significativa almeno al 80% del livello di confidenza del numero di incidenti, la variazione percentuale del numero di incidenti deve essere pari ad almeno il 23%. Questo significa che se si ottiene una riduzione minore, ad esempio pari al 20%, non si è in grado di stabilire se la variazione è imputabile completamente all'intervento realizzato.

Se dai risultati di altri studi simili ci si aspetta una riduzione inferiore a quella minima attesa per un prefissato livello di confidenza, per ottenere risultati statisticamente significativi, è necessario ricorrere ad altre soluzioni, come ad esempio il raggruppamento di interventi uguali, in modo da aumentare la numerosità degli incidenti. In alternativa si deve ricorrere a misurazioni indirette della sicurezza stradale, individuate sulla base degli obiettivi dell'intervento.

Tabella 3 Variazione percentuale minima attesa per un livello di confidenza pari a 80%

	N° di siti trattati: 1	N° di siti trattati: 2	N° di siti trattati: 3	N° di siti trattati: 4
N° di incidenti registrati per tre anni su ogni sito trattato	Riduzione minima attesa (%) per un livello di confidenza pari a 80%	Riduzione minima attesa (%) per un livello di confidenza pari a 80%	Riduzione minima attesa (%) per un livello di confidenza pari a 80%	Riduzione minima attesa (%) per un livello di confidenza pari a 80%
5	90%	45%	30%	23%
10	45%	23%	15%	11%
15	30%	15%	10%	8%
20	23%	11%	8%	6%
25	18%	9%	6%	5%

2.2 Pianificare la raccolta dati per la valutazione di efficienza

Un intervento o un programma di intervento è valutato efficiente se i benefici sono maggiori dei costi, cioè se il rapporto tra i benefici e i costi è maggiore di 1. Il rapporto benefici-costi (RBC) di una misura è definito come:

$$[3] \quad RBC = \frac{B}{C}$$

Nella formula, B rappresenta il valore attualizzato dei benefici e C il valore attualizzato dei costi di realizzazione.

Per il calcolo di RBC occorrono quattro informazioni:



- 1) La specifica dell'unità di realizzazione dell'intervento con cui poter quantificare cosa si prevede di realizzare.
- 2) Una stima dell'efficacia della misura in termini di numero di incidenti che ci si aspetta siano prevenuti, per unità di misura realizzata.
- 3) Una stima dei costi di realizzazione per unità di misura realizzata.
- 4) La monetizzazione dei benefici legati alla realizzazione della misura.

1) Unità di realizzazione

Gli interventi sull'utente riguardano l'informazione all'utenza e l'educazione stradale, gli interventi normativi e la repressione dei comportamenti non a norma. Nel caso di campagne informative, di interventi educativi/formativi o di misure legislative, ci si riferisce in genere al gruppo di utenti che sarà influenzato dall'intervento (es. gli studenti di una particolare fascia d'età, i motociclisti, ecc.) o all'area interessata (es. una città o una regione). nel caso del controllo e repressione dei comportamenti, si può fare invece riferimento ai chilometri di strada sottoposti a un certo livello di controllo, quantificabile, ad esempio, con il numero di ore impiegate dagli agenti annualmente per controllare una sezione stradale.

Nel caso di interventi sui veicoli, in generale, l'unità di realizzazione più appropriata è il veicolo stesso. Nel caso di interventi legislativi che prevedono, ad esempio, l'installazione di un particolare sistema a bordo dei veicoli, ci si riferisce alla percentuale di veicoli equipaggiati con il sistema.

Nel caso di interventi sull'infrastruttura stradale, l'unità di misura è di norma l'intersezione stradale o il chilometro di strada. Nel caso di interventi che interessano un'area o una porzione di rete, l'unità più idonea è una categoria di strade o un'area.

Interventi di sull'utente	Interventi sul veicolo	Interventi sull' infrastruttura	Interventi sul sistema di soccorso
<ul style="list-style-type: none">• Una città/area• Categoria di utenti (es. studenti, anziani...)• Tronco stradale (3-Repressione)	<ul style="list-style-type: none">• Un veicolo• % di veicoli equipaggiati	<ul style="list-style-type: none">• Un'intersezione stradale• Km di strada• Categoria di strade• Un'area	<ul style="list-style-type: none">• % di veicoli equipaggiati

Figura 5 Unità di realizzazione per categoria di misura

È importante evidenziare che questo tipo di analisi non è applicabile a qualsiasi tipo di intervento. Tra gli interventi per i quali l'RBC risulta di difficile applicazione vi sono gli strumenti di pianificazione e le politiche di sicurezza stradale. Alcuni esempi possono essere la regolamentazione del trasporto commerciale e la pianificazione urbana e regionale. In via generale, gli effetti della maggior parte degli strumenti di politica sono indiretti sulla sicurezza stradale, a causa della complessità di tali misure.



Proprio per questo, spesso, tali interventi non si prestano bene ad un'analisi costi/benefici.

2) Efficacia della misura

L'efficacia rappresenta l'effetto atteso di un intervento ed è comunemente misurata attraverso la percentuale di riduzione dell'incidentalità che si registra dopo un certo trattamento. L'efficacia delle misure è valutata generalmente attraverso specifici studi (in inglese noti come *observational study*) condotti con le tecniche descritte nel Capitolo 4 e in Appendice.

Conoscere l'efficacia di una misura non significa conoscere solo la percentuale media di riduzione dell'incidentalità associata, ma anche il corrispondente intervallo di confidenza dell'effetto atteso, che indica quanto è significativo il valore di efficacia che viene utilizzato.

Nella letteratura internazionale si trovano diversi esempi di tali valutazioni. Nell'analisi costi-benefici è preferibile utilizzare l'efficacia risultante da studi di valutazione condotti nella stessa area interessata dall'intervento, in modo che i risultati si riferiscano ad interventi applicati a un contesto simile a quello in esame (in particolare in termini di norme e comportamenti). Si ricorre a studi internazionali solo nel caso in cui non siano disponibili valutazioni locali.

Tabella 4 Esempi di interventi e loro efficacia stimata - Fonte: Elvik et al. (2009)

Tipo di intervento	Tipo di incidente interessato	Stima della variazione %	Intervallo di confidenza al 95%
Marciapiede/percorso pedonale	Incidenti con pedoni (con feriti)	-4%	(-7%; -1%)
Rialzo di attraversamento pedonale	Tutti gli incidenti (con feriti)	-65%	(-83%; -27%)
Rotatoria	Tutti gli incidenti	-36%	(-43%; -29%)
Introduzione di illuminazione stradale	Incidenti notturni mortali	-60%	(-62%; -57%)

3) Costi di realizzazione

I costi di realizzazione si riferiscono ai costi relativi a tutti i mezzi di produzione (capitale investito e lavoro) impiegati per la realizzazione dell'intervento (o di un gruppo di interventi).

Tutte le voci previste nei costi di realizzazione dovrebbero essere incluse ed esplicitate facendo riferimento a costi tipici, ad esempio calcolati sulla base di prezzi regionali.



I costi di realizzazione includono anche i costi operativi e di manutenzione dell'intervento. Questi costi vanno poi attualizzati, convertiti cioè al valore dei prezzi riferiti a un anno specifico, generalmente quello in cui viene realizzata l'analisi.

4) Monetizzazione dei benefici

I costi dell'incidentalità possono riferirsi a cinque voci principali:

- costi sanitari;
- costi legati alla perdita di capacità produttiva di un ferito o di un deceduto;
- costi dovuti a un decadimento della qualità della vita (danni morali e biologici);
- costi associati a danni a beni (es. veicoli, arredi urbani, infrastruttura stradale, edifici);
- costi amministrativi (giudiziari e di intervento da parte delle Forze di Polizia);

Tali voci di costo si differenziano da paese a paese e hanno un peso diverso a seconda della gravità dell'incidente.

Nel RBC si utilizza la quantificazione in termini monetari di un deceduto in un incidente stradale, di un ferito o di un incidente con danni alle sole cose. Ogni paese ha generalmente le proprie stime ufficiali per tali costi. In Italia, tali stime sono state valutate nell'ambito del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale 2001-2010.



3 INDIVIDUARE IL METODO DI VALUTAZIONE

3.1 Metodi di valutazione dell'efficacia dell'intervento

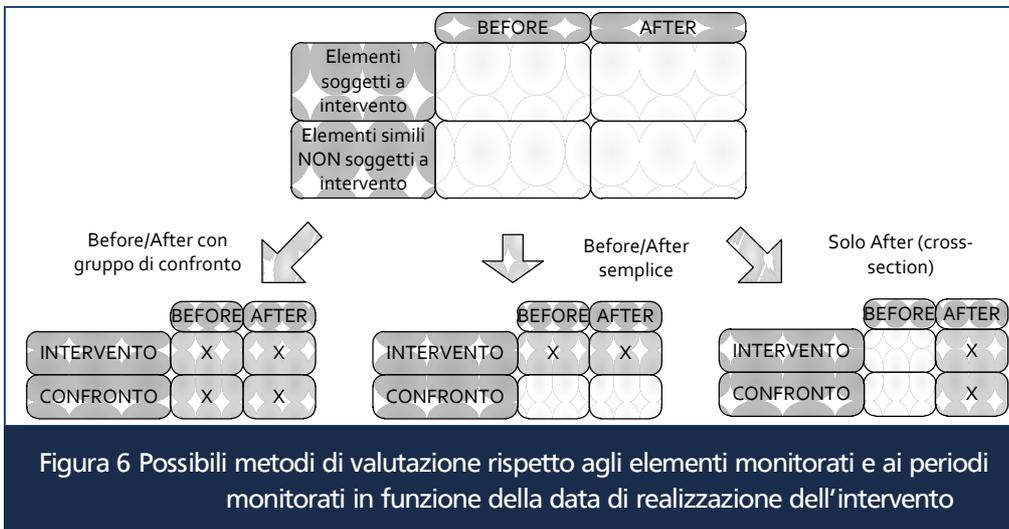
La valutazione di un intervento si basa sull'individuazione e quantificazione delle variazioni dei livelli di sicurezza che emergono a seguito dell'introduzione di un intervento. Occorre quindi un indicatore per misurare quanto è sicuro (o rischioso) l'elemento (o gli elementi) interessato dall'intervento e un metodo per valutare se l'introduzione di tale intervento ha modificato o no tale indicatore.

La scelta del metodo di valutazione dipende da tre aspetti che contraddistinguono il monitoraggio dell'intervento:

- l'indicatore scelto per il monitoraggio (affrontato nel precedente capitolo);
- i periodi durante i quali viene svolto il monitoraggio;
- gli elementi sottoposti a monitoraggio.

Gli altri due aspetti sono correlati a tre casi possibili che corrispondono ad altrettanti metodi di valutazione (Figura 6):

- Monitoraggio degli elementi interessati dall'intervento sia prima che dopo la realizzazione dell'intervento, in modo da confrontare il "prima" con il "dopo": **metodo before-after semplice**.
- Monitoraggio degli elementi interessati dall'intervento e di elementi con caratteristiche simili non interessati dall'intervento (gruppo di confronto) sia prima che dopo l'intervento, in modo da confrontare il "prima" con il "dopo" e gli elementi sottoposti ad intervento con quelli non sottoposti: **metodo before-after con gruppo di confronto**.
- Monitoraggio degli elementi interessati dall'intervento e di elementi con caratteristiche simili non interessati dall'intervento solo dopo la realizzazione dell'intervento, in modo da confrontare chi è stato sottoposto a intervento con chi non lo è stato: **metodo cross-section**.



Il metodo *before-after* semplice con gruppo di confronto è quello maggiormente utilizzato; la sua applicazione è riportata nel Capitolo 4. Un esempio di applicazione del metodo *cross-section* è riportata, invece, nell'Appendice 3.

L'Appendice 2 presenta una tecnica da applicare al metodo *before-after*, facendo uso di dati di incidentalità, che migliora la precisione e l'affidabilità dell'efficacia stimata (metodo *Empirico Bayesiano*).

Sebbene i dati ottenuti da interviste possano essere trattati anche con i tre metodi suggeriti, si è preferito considerare la valutazione tramite interviste come metodo ulteriore, distinto dalle valutazioni *before-after* e *cross-section*.

La Tabella 5 suggerisce il metodo di valutazione da adottare tra quelli proposti in funzione dei dati a disposizione.



Tabella 5 Selezione del metodo di valutazione in funzione dei dati disponibili

Dati riferiti agli Elementi trattati Quando: Prima dell'interv.	Dati riferiti agli Elementi trattati Quando: Dopo l'interv	Dati riferiti agli Elementi simili non trattati Quando: Prima dell'interv.	Dati riferiti agli Elementi simili non trattati Quando: Dopo l'interv	Metodo di valutazione
X	X			Metodo Before-After semplice
X	X	X	X	Metodo Before-After con gruppo di confronto
	X		X	Metodo Cross-section

Il metodo di valutazione che può esser adottato per ogni categoria di intervento è riportato in Tabella 6.

Tabella 6 Categorie di intervento e metodi di valutazione applicabili

Categoria di intervento	Metodo Before-After (incidenti)	Metodo Cross-Section (incidenti)	Metodo Before-After sul comporta m.	Metodo Cross-Section sul comporta m.	Valutazion e attraverso interviste
Educazione	X	X	X	X	X
Informazione	X	X	X	X	X
Incentivi o Repressione	X	X	X	X	-
Intervento legislativo	X	-	X	-	X
Progetto della strada	X	X	X	X	-
Costruzione della strada	X	X	X	X	-
Manutenzione della strada	X	X	X	X	-
Pianificazione	-	-	-	-	X
Finanziamento	-	-	-	-	X
Monitoraggio	-	-	-	-	X
Allarme	X	-	-	-	-
Soccorso	X	-	-	-	-

3.2 Metodi di valutazione dell'efficienza degli interventi

I principali metodi per la valutazione dell'efficienza degli interventi di sicurezza stradale sono:

- l'analisi costi-efficacia;
- l'analisi benefici-costi.

Entrambi i metodi sono applicabili a interventi per i quali si conoscono gli effetti sull'incidentalità dovuti all'intervento. Questo significa che, per l'intervento in questione, è stata già condotta un'analisi di efficacia ed è nota la variazione percentuale di incidentalità causata dall'intervento (cosiddetto Crash Modification Factor - CMF).

L'analisi benefici-costi necessita di un dato in più rispetto all'analisi costi-efficacia: la conoscenza della stima del valore monetario associato a un incidente per diversi livelli di gravità (costo di un incidente mortale, con feriti e con soli danni).

Se tale informazione non è disponibile, l'analisi benefici-costi non può essere applicata, e si deve optare per l'analisi costi-efficacia.



4 VALUTARE L'EFFICACIA DELL'INTERVENTO

In generale le fasi per la valutazione di efficacia dell'intervento sono due: la predisposizione dei dati e il calcolo dell'efficacia dell'intervento.

Queste si differenziano a seconda del metodo di valutazione adottato.

4.1 Metodo before/after (incidenti)

Il metodo di analisi *before/after* semplice (*naive before/after*) consiste nel misurare l'incidentalità prima e dopo l'esecuzione di un intervento che ha modificato le caratteristiche di un gruppo di elementi sottoposti a trattamento.

Questo metodo si basa, però, sull'ipotesi (errata) che la sicurezza di un sito rimanga costante nel tempo e presuppone che l'unico fattore ad aver influito su un cambiamento dell'incidentalità sia l'intervento stesso.

In realtà esistono diverse possibili fonti di errore o fattori esterni di disturbo (detti "*confounding factors*") che possono influire sulla stima della variazione di sicurezza. Attribuire quindi la variazione misurata al solo intervento può condurre ad errori. Nel caso dell'incidentalità, i principali *confounding factors*, ovvero i fattori estranei all'intervento che però influenzano la sicurezza stradale, sono rappresentati da:

- Trend generali di incidentalità: gli incidenti avvengono in un ambiente che, al contrario di ciò che succede in un laboratorio, non è "controllato". Pertanto, per alcune tipologie di incidenti, si possono osservare dei trend di medio-lungo periodo, determinati da fattori quali il miglioramento delle dotazioni di sicurezza dei veicoli, un cambiamento delle abitudini dei guidatori, ecc.
- Variazioni di flusso di traffico, sia a livello locale che di intera rete stradale: per gli stessi motivi visti al punto precedente (ambiente non controllato), possono agire sul numero di incidenti registrati nel luogo di intervento altri fattori esterni; ad esempio, ci può essere una riduzione o un aumento dei flussi di traffico, sia a livello di rete stradale che a livello di locale, per l'applicazione di provvedimenti nelle vicinanze del sito stesso.
- Fenomeno di regressione verso la media: gli incidenti hanno un andamento casuale nel tempo, per il quale si può assumere una determinata distribuzione di frequenza (ad esempio Poisson). Questo significa che, in alcuni periodi, i valori misurati su determinati punti della rete possono essere maggiori (o minori) dei valori medi che ci si sarebbe attesi in quegli stessi punti (*regression to the mean bias – RTM bias*). Dunque, anche i dati rilevati (soprattutto se in periodi non sufficientemente lunghi) possono condurre a conclusioni errate sugli elementi più pericolosi della rete, dove effettuare gli interventi (*selection bias*). Quando i siti sono scelti sulla base della loro elevata frequenza di incidenti, gli effetti del trattamento possono essere sovrastimati. Infatti, nel periodo successivo all'intervento si può rilevare una variazione del numero di



incidenti dovuta all'effetto della suddetta casualità, che potrebbe, invece, essere erroneamente attribuito all'intervento stesso.

Pertanto, per effettuare una corretta quantificazione degli effetti di un intervento, più che fare un confronto *before/after*, occorre confrontare la situazione con l'intervento (*after*) con la situazione che si sarebbe avuta (*after*) senza l'intervento.

1) Predisposizione dei dati

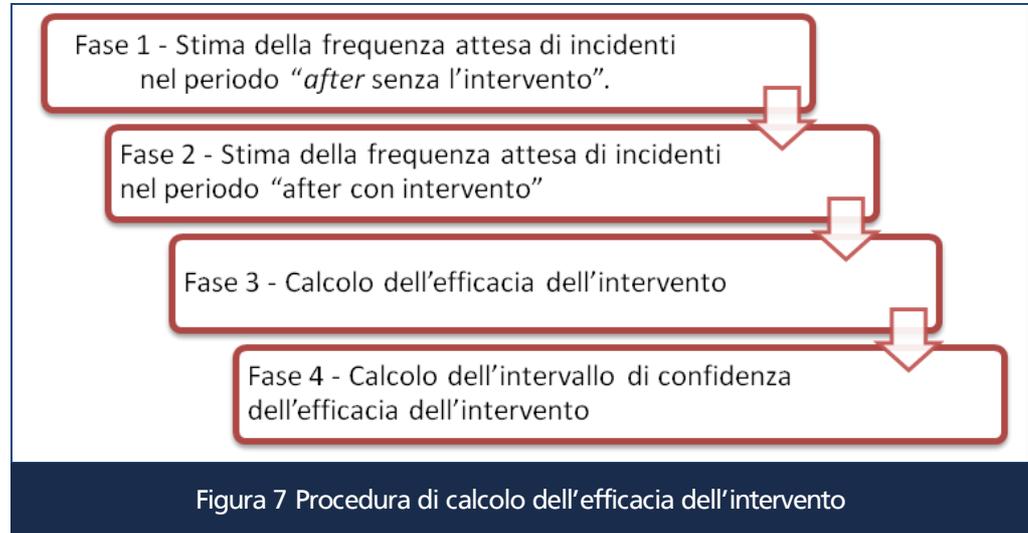
Una volta conclusa la raccolta dati è possibile compilare una tabella come quella riportata in Tabella 4.1 contenente i dati di incidentalità e di esposizione a rischio (traffico). I dati riportati saranno utilizzati per il calcolo dell'efficacia dell'intervento.

Indicatore	Intervent o – Before	Intervent o – After	Gruppo di confront o – Before	Gruppo di confront o – After
Incidenti stradali osservati nel periodo
Frequenza media annuale di incidenti
Indicatore di esposizione a rischio (es. Traffico Giornaliero Medio)

2) Calcolo dell'efficacia dell'intervento

L'analisi *before/after* si articola in quattro fasi:

- 1) Stima della frequenza attesa di incidenti nel periodo "*after senza l'intervento*".
- 2) Stima della frequenza attesa di incidenti nel periodo "*after con intervento*".
- 3) Calcolo dell'efficacia dell'intervento, in termini di variazione percentuale della frequenza attesa di incidenti
- 4) Calcolo dell'intervallo di confidenza dell'efficacia dell'intervento (il calcolo dell'intervallo di confidenza richiede alcune elaborazioni complesse che sono state riportate in Appendice)



Le differenze tra i metodi before/after risiedono nell'elaborazione delle prime due fasi. In base al metodo selezionato nel Capitolo 3 si possono avere tre casi:

- Metodo before/after semplice.
- Metodo before/after con correzione degli effetti dovuti al traffico, permette di "depurare" i dati misurati dagli effetti dovuti a eventuali variazioni dei flussi di traffico.
- Metodo before/after con gruppo di confronto, considera un gruppo di elementi analoghi a quello oggetto di intervento, per i quali si può supporre che intervengano le stesse variazioni esogene che si sarebbero avute nell'elemento in questione, in assenza dell'intervento.

Un ulteriore metodo, il metodo Empirico Bayesiano, che consente di depurare gli effetti legati al fenomeno di regressione alla media, è spiegato in Appendice.

Il dettaglio di ogni fase (ad esclusione dell'ultima, per la quale si rimanda all'Appendice) per i casi individuati è riportato di seguito.

4.1.1 Metodo before/after semplice (incidenti)

Nel caso di before-after semplice, il valore FA_{senza} della frequenza attesa di incidenti nel periodo after senza intervento è pari al valore osservato FO_{Bi} nel periodo "before", prima dell'intervento. Di conseguenza si ha:

$$\text{Fase 1} \quad FA_{\text{senza}} = FO_{\text{Bi}}$$

$$\text{Fase 2} \quad FA_{\text{con}} = FO_{\text{Ai}}$$

$$\text{Fase 3} \quad \text{Effetto dell'intervento (\%)} = \left[\frac{(FA_{\text{senza}} - FA_{\text{con}})}{FA_{\text{senza}}} \right] \cdot 100$$

Dove:

FA_{senza} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento qualora nel periodo after in assenza dell'intervento

FO_{BI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

FA_{con} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in presenza dell'intervento

FO_{AI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo after sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

Qualora si rilevi la presenza di una chiara tendenza del fenomeno, per stimare la frequenza media attesa nel periodo after senza intervento, è possibile estrapolare una curva di tendenza sulla base dei valori storici misurati prima dell'intervento e considerare così gli effetti legati a trend generali di incidentalità in atto.

4.1.2 Metodo before/after con correzione degli effetti dovuti al traffico (incidenti)

In questo caso, il valore della frequenza attesa di incidenti nel periodo after senza intervento è ottenuta utilizzando un coefficiente dato dal rapporto tra i livelli di esposizione a rischio (ad esempio i flussi di traffico) tra i periodi after e before. La procedura di calcolo è:

Fase 1 $FA_{senza} = FO_{BI} * Tr_A / Tr_B$

Fase 2 $FA_{con} = FO_{AI}$

Fase 3 Effetto dell'intervento (%) = $\left[\frac{FA_{senza} - FA_{con}}{FA_{senza}} \right] * 100$

Dove:

FA_{senza} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in assenza dell'intervento¹

FO_{BI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

Tr_A = Valore medio dell'esposizione a rischio nel periodo after. Se gli elementi sottoposti a intervento sono dei tronchi stradali, Tr_A si utilizza il valore medio del Traffico Giornaliero Medio annuale, nel caso di intersezioni stradali si usa il numero giornaliero medio di veicoli entranti le intersezioni, infine, nel caso di utenti ci si riferisce alle percorrenze medie annuali (numero medio di chilometri percorsi annualmente).

Tr_B = Valore medio dell'esposizione a rischio nel periodo before. Se gli elementi sottoposti a intervento sono dei tronchi stradali, Tr_B si riferisce al valore medio del Traffico Giornaliero Medio annuale, nel caso di intersezioni stradali si usa il numero giornaliero medio di veicoli entranti le intersezioni,

¹ Ai fini del calcolo di FA_{senza} è più corretto utilizzare modelli predittivi (detti *safety performance functions*), se disponibili, che legano il numero atteso di incidenti su una determinata tipologia di elemento della rete ai flussi veicolari,



infine, nel caso di utenti ci si riferisce alle percorrenze medie annuali (numero medio di chilometri percorsi annualmente).

FA_{con} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in presenza dell'intervento

FO_{AI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo after sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

4.1.3 Metodo before/after con gruppo di confronto (incidenti)

Nel caso di before/after con gruppo di confronto, se non sono disponibili i flussi di traffico, o in generale i dati sull'esposizione a rischio, per la stima della frequenza media attesa nel periodo after senza intervento (Fase 1) si ha:

$$\text{Fase 1} \quad FA_{\text{senza}} = FO_{BI} * FO_{AC} / FO_{BC}$$

Dove:

FA_{senza} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento qualora nel periodo after in assenza dell'intervento

FO_{BI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

FO_{AC} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo after sugli elementi del gruppo di confronto (non interessato dall'intervento)

FO_{BC} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sugli elementi del gruppo di confronto (non interessato dall'intervento)

Quando i flussi di traffico sono disponibili, la stima della frequenza media attesa nel periodo after va corretta sia rispetto alle variazioni di traffico sul sito, sia tenendo conto delle variazioni di traffico e di incidentalità osservate nel gruppo di confronto. La Fase 1 diventa:

$$\text{Fase 1} \quad FA_{\text{senza}} = FO_{BI} * (FO_{AC} / FO_{BC}) * (Tr_A / Tr_B) * (Tr_{BC} / Tr_{AC})$$

Dove:

FA_{senza} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in assenza dell'intervento

FO_{BI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

FO_{AC} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo after sugli elementi del gruppo di confronto (non interessato dall'intervento)

FO_{BC} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sugli elementi del gruppo di confronto (non interessato dall'intervento)

Tr_A = Valore medio dell'esposizione a rischio sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after.



Tr_B = Valore medio dell'esposizione a rischio sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo before.

Tr_{AC} = Valore medio dell'esposizione a rischio sugli elementi del gruppo di confronto nel periodo after.

Tr_{BC} = Valore medio dell'esposizione a rischio sugli elementi del gruppo di confronto nel periodo before.

Fase 2 $FA_{con} = FO_{AI}$

Fase 3 Effetto dell'intervento (%) = $\left[\frac{FA_{senza} - FA_{con}}{FA_{senza}} \right] \cdot 100$

Dove:

FA_{con} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in presenza dell'intervento

FO_{AI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo after sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

FA_{senza} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in assenza dell'intervento

4.1.4 Metodo before/after: Esempi

Before/after semplice

Si ipotizzi un ramo di un'intersezione dove si verificano molti tamponamenti. L'intervento consiste nell'aumento del tempo di giallo semaforico e nell'installazione di segnaletica di avviso della presenza di intersezione semaforizzata.

Indicatore	Intervent o – Before	Intervent o – After	Gruppo di confront o – Before	Gruppo di confront o – After
Incidenti stradali interessati dall'intervento (Periodo 3 anni)	38	14
Frequenza media annuale di incidenti	12,7	4,7
Indicatore di esposizione a rischio (TGM)	9.100	10.500



Poichè sono stati monitorati sia gli incidenti che i flussi di traffico all'intersezione si utilizza il metodo before-after con correzione degli effetti dovuti al traffico:

$$\text{Fase 1} \quad FA_{\text{senza}} = 12,7 * 10.500/9.100 = 14,6$$

$$\text{Fase 2} \quad FA_{\text{con}} = 4,7$$

$$\text{Fase 3} \quad \text{Effetto dell'intervento (\%)} = [(14,6-4,7)/14,6]*100 = 67,9\%$$

Before/after con gruppo di confronto

Si consideri un intervento su un tratto di strada di 2 km consistente nell'aumento del raggio di curvatura. Obiettivo dell'intervento è quello di ridurre gli incidenti, con particolare riferimento alle fuoriuscite. Un tratto di strada con caratteristiche simili è stato utilizzato come gruppo di confronto.

Indicatore	Intervent o – Before	Intervent o – After	Gruppo di confront o – Before	Gruppo di confront o – After
Incidenti stradali interessati dall'intervento (Periodo 3 anni)	24	18	30	21
Frequenza media annuale di incidenti	8	6	10	7
Indicatore di esposizione a rischio (TGM)	3.589	4.329	4.566	4.904

$$\text{Fase 1} \quad FA_{\text{senza}} = 24 * (21/30) * (4.329/3.581) * (4.566/4.904) = 18,9$$

$$\text{Fase 2} \quad FA_{\text{con}} = 18$$

$$\text{Fase 3} \quad \text{Effetto dell'intervento (\%)} = [(18,9-18)/18,9]*100 = 4,8\%$$

4.2 Metodo before/after sul comportamento

Anche in questo caso le fasi sono due: la predisposizione dei dati e il calcolo della variazione dell'indicatore scelto.

1) Predisposizione dei dati

Una volta conclusa la raccolta dati è possibile compilare una tabella come quella riportata in Tabella 10 contenente i dati pre e post intervento sia per gli elementi sottoposti a intervento che per quelli del gruppo di confronto.

Tabella 10 Esempio di tabella di sintesi per l'elaborazione dei dati

Indicatore	Intervent o – Before	Intervent o – After	Gruppo di confront o – Before	Gruppo di confront o – After
Indicatore 1
Indicatore 2
...

2) Calcolo della variazione dell'indicatore scelto

Il metodo before/after applicato a indicatori quali velocità media o prevalenza d'uso del casco si articola in due fasi:

- 1) Stima del valore atteso dell'indicatore scelto nel periodo "after senza l'intervento".
- 2) Calcolo della variazione percentuale del valore atteso dell'indicatore scelto

4.2.1 Metodo before/after semplice (comportamento)

Nel caso di before/after semplice il valore atteso dell'indicatore scelto nel caso in cui l'intervento non è stato realizzato è pari valore osservato "before", prima dell'intervento.

Fase 1
$$VA_{\text{senza}} = VO_{\text{BI}}$$

Fase 2
$$\text{Effetto dell'intervento} = \left[\frac{(VA_{\text{senza}} - VO_{\text{AI}})}{VA_{\text{senza}}} \right] \cdot 100$$

Dove:

VA_{senza} = Valore atteso dell'indicatore scelto sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento

VO_{BI} = Valore osservato dell'indicatore scelto nel periodo "before"

VO_{AI} = Valore osservato dell'indicatore scelto nel periodo "after"

4.2.2 Metodo before/after con gruppo di confronto (comportamento)

Nel caso di before/after con gruppo di confronto la fase 1 diventa:

Fase 1
$$VA_{\text{senza}} = VO_{\text{BI}} \cdot (VO_{\text{AC}} / VO_{\text{BC}})$$

Fase 2
$$\text{Effetto dell'intervento} = \left[\frac{(VA_{\text{senza}} - VO_{\text{AI}})}{VA_{\text{senza}}} \right] \cdot 100$$

Dove:

VA_{senza} = Valore atteso dell'indicatore scelto sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento



VO_{BI} = Valore osservato dell'indicatore scelto nel periodo "before"

VO_{AC} = Valore osservato sul gruppo di confronto dell'indicatore scelto nel periodo "after"

VO_{BC} = Valore osservato sul gruppo di confronto dell'indicatore scelto nel periodo "before"

VO_{AI} = Valore osservato dell'indicatore scelto nel periodo "after"

2) Test statistico sulla significatività della variazione calcolata

Successivamente si effettuano dei test statistici per verificare se gli effetti misurati sono statisticamente significativi, in particolare si verifica:

- l'assenza di cambiamenti statisticamente significativi tra gruppo di confronto e gruppo trattato prima dell'intervento;
- la presenza di cambiamenti statisticamente significativi negli elementi interessati prima e dopo l'intervento.

La scelta del test statistico più appropriato dipende dalle caratteristiche dell'indicatore utilizzato:

- nel caso l'indicatore di variabili categoriche si utilizza il test "chi quadro";
- nel caso si abbia a che fare con differenze tra valori medi (es. velocità medie) si usa il test "t" di Student, per differenze tra gruppo di intervento e gruppo di confronto, o il test "t a coppie" per differenze before-after;
- nel caso si abbia a che fare con differenze tra proporzioni (es. percentuale d'uso del casco) si usa il test "Z";

Si rimanda all'Appendice per la procedura di applicazione dei test statistici più utilizzati (test "t di Student", "chi quadro").

4.3 Valutazione di interviste

Generalmente ci si basa su campioni costituiti da un gruppo di trattamento e un gruppo di controllo monitorati tramite intervista prima e dopo il trattamento.

Si effettuano quindi dei test statistici (ad es. test "t di student", "chi quadro") per verificare quattro ipotesi:

- l'assenza di cambiamenti statisticamente significativi tra gruppo di controllo e gruppo di trattamento prima del trattamento
- la presenza di cambiamenti statisticamente significativi nel gruppo di trattamento prima e dopo il trattamento
- la presenza di cambiamenti statisticamente significativi tra gruppo di controllo e gruppo di trattamento dopo il trattamento
- l'assenza di cambiamenti statisticamente significativi nel gruppo di controllo prima e dopo il trattamento

Se si vuol valutare ad esempio la significatività di una variazione di frequenza si utilizza il test chi-quadro (vedi Appendice).



Si cerca poi stabilire gli effetti dell'intervento (anche se non ci sono dei metodi standard) e studiare tramite apposite tecniche le relazioni esistenti tra le variabili incluse nel questionario. Analisi specifiche che prevedono lo sviluppo di modelli predittivi consentono di verificare una particolare teoria comportamentale dell'utente (ad es. la teoria del comportamento pianificato).

4.3.1 Valutazione di interviste: Esempio

È stato condotto uno studio per valutare gli effetti di una campagna di sensibilizzazione all'uso del casco per i ciclisti (Boulanger et al, 2009). La campagna è rivolta agli impiegati di una società di assicurazioni svedese dislocata su tre città.

Individuazione della categoria di intervento

Le campagne di sicurezza rientrano nella categoria degli interventi all'utente (educazione/formazione).

Individuazione del metodo di valutazione suggerito

Il metodo di valutazione suggerito è il metodo *before/after* con gruppo di confronto. Gli impiegati di due delle tre città sono stati utilizzati come gruppo di trattamento, mentre la terza città come gruppo di confronto. Il gruppo di confronto è stato selezionato in modo tale da renderlo confrontabile al gruppo di trattamento rispetto alle variabili: sesso, età e tipo di lavoro.

Di seguito si riportano le caratteristiche dei gruppi (Tabella 11).

Indicatore	Gruppo di trattamento	Gruppo di confronto
Before	109 F- 86 M	24 F- 31 M
After	82 F- 51 M	16 F- 24 M

Individuazione degli indicatori necessari per l'applicazione del metodo di valutazione e del metodo di raccolta dati

Gli indicatori da rilevare sono in primo luogo il comportamento in termini di utilizzo del casco in bicicletta (per andare a lavoro e nel tempo libero). In secondo luogo, si vogliono studiare le relazioni tra comportamento dichiarato e alcuni aspetti della Teoria del Comportamento Pianificato (norme soggettive, attitudine verso il comportamento, norme sociali).

È stato predisposto un questionario distinto in diverse sezioni attraverso cui rilevare l'utilizzo dichiarato del casco in bicicletta e una serie di elementi attinenti per poter studiare le cause del mancato utilizzo del casco. È stato chiesto di valutare i diversi elementi secondo una scala da 1 a 7 dove 1 corrisponde a "mai" e 7 a "tutti i giorni".



Il questionario è stato somministrato prima dell'intervento informativo sui benefici legati all'uso del casco in bicicletta e dopo sei settimane dall'intervento.

Per la valutazione è stata condotta prima una verifica della presenza di variazione significativa del comportamento (uso del casco) tra prima e dopo l'intervento e tra gruppi utilizzando come test statistico il test t di Student.

Per studiare la forza della relazione tra la variabile indipendente (la campagna) e la variabile dipendente (l'intenzione di utilizzare il casco), nello studio è stato utilizzato l'indicatore d di Cohen², definito come la differenza tra due medie diviso la deviazione standard.

^{2 2} Theory of Planned Behavior (Boulanger et al, 2009)

² AA.VV. (2009)

5 VALUTARE L'EFFICIENZA DELL'INTERVENTO

Quando si definisce un programma di interventi ci si scontra di norma con le risorse effettivamente disponibili per poterlo realizzare. Per poter arrivare a individuare quali interventi includere nel programma e scegliere come allocare le risorse ci si affida quindi a criteri di efficacia ed efficienza.

Nel campo della sicurezza stradale per la scelta degli interventi da realizzare concorrono spesso fattori diversi da una razionale ed efficiente allocazione delle risorse stesse. La scelta può infatti esser influenzata dall'onda emotiva legata al verificarsi di incidenti molto gravi e/o particolarmente "spettacolari". Quest'aspetto, assieme ad altri fattori quali la carenza di informazione sui dati e sugli strumenti di valutazione oggi disponibili, fa sì che l'uso delle analisi di efficienza (Costi-Benefici o Costi-Efficacia) per la scelta degli interventi di riduzione dell'incidentalità stradale non sia ancora sufficientemente diffusa.

Nelle seguenti pagine vengono descritti due metodi frequentemente utilizzati per poter effettuare un'analisi economica, cioè l'analisi Costi-Benefici (ACB) e l'analisi Costi-Efficacia (ACE).

5.1 Analisi Costi-Benefici (ACB)

L'analisi costi-benefici (ACB) è un tipo di analisi formale degli impatti di un intervento o di un programma di interventi, finalizzata a valutare se i vantaggi (benefici) che derivano dalla realizzazione dell'intervento sono superiori ai suoi svantaggi (costi). In altre parole, l'ACB è uno strumento di calcolo che consente di scegliere, tra un ventaglio di alternative progettuali, quella che massimizza il rapporto tra i benefici e i costi attesi.

Procedura di calcolo

Come già detto, obiettivo della valutazione è l'efficienza dell'intervento. Senza entrare nel dettaglio, un intervento o un programma è giudicato efficiente se i benefici sono maggiori dei costi, cioè se il rapporto tra i benefici B e i costi C è maggiore di 1:

$$RBC = \frac{B}{C}$$

[4]

Per identificare gli interventi o i programmi pertinenti, si dovrà valutare un ventaglio di interventi potenzialmente efficaci per la sicurezza stradale. Per ogni intervento, oltre a studiare le varie alternative, si dovrà prendere in considerazione lo scenario di "non intervento". Se, ad esempio, l'obiettivo è ridurre i ciclisti infortunati e l'intervento considerato è il casco da bicicletta, allora le possibili alternative potrebbero essere:

- non fare nulla, lasciare che il ciclista decida se indossare il casco o meno;



- condurre una campagna informativa, lasciando il loro utilizzo su base volontaria;
- rendere l'uso del casco obbligatorio per i bambini.

Le opzioni valutate nell'analisi costi-benefici sono sempre confrontate rispetto ad uno scenario di riferimento e rappresentano le alternative a tale scenario. Per quanto riguarda gli impatti rilevanti, questi dovrebbero essere stimati in prima battuta nelle loro "naturali" unità (numero di incidenti evitati, numero di ore supplementari per il viaggio, ecc.) e successivamente essere convertiti in termini monetari, applicando le relative valutazioni economiche.

Per il calcolo dei benefici derivati dalla riduzione del numero di incidenti è necessario conoscere in primo luogo il numero osservato di incidenti (o meglio ancora di coinvolti), per livello di gravità, verificatisi sul sito in esame.

In secondo luogo, per ogni intervento presente in un programma, è necessario individuare dei fattori di riduzione degli incidenti (Crash Reduction Factor, CRF) distinti se possibile per gravità del sinistro (mortale, con feriti, con soli danni alle cose). Alcuni interventi possono essere, infatti, maggiormente efficaci ad esempio per i sinistri mortali piuttosto che per i sinistri con soli danni alle cose. Per il calcolo del CRF totale riferito al complesso delle misure previste in un programma è stata utilizzata la formula:

$$[5] \quad CRF_{TOT} = 1 - [(1 - CRF_1) \times (1 - CRF_2) \times (1 - CRF_3) \dots]$$

Dove:

CRF_{TOT} è il fattore di riduzione totale per il programma in esame per un dato livello di gravità dei sinistri;

CRF_1 , CRF_2 e CRF_3 sono i fattori di riduzione relativi ai singoli interventi inclusi nel programma per un dato livello di gravità dei sinistri;

La terza informazione necessaria a stimare i benefici è il valore monetario assegnato agli incidenti. I benefici sono stimati calcolando il beneficio medio annuale del programma con la formula:

$$[6] \quad B = (M \times CRF_M \times C_M) + (F \times CRF_F \times C_F) + (SD \times CRF_{SD} \times C_{SD});$$

Dove:

B è il beneficio medio annuale;

M, F e SD sono rispettivamente: il numero di incidenti con morti, il numero di incidenti con feriti e il numero di incidenti con soli danni alla proprietà osservato sul sito ove si vuol applicare il pacchetto di misure;

CRF_M , CRF_F e CRF_{SD} sono i fattori di riduzione totale riferiti rispettivamente a incidenti con morti, incidenti con feriti e incidenti con soli danni alla proprietà.



C_M , C_F e C_{SD} rappresentano i costi monetari rispettivamente di un incidente mortale, con feriti e con soli danni alla proprietà (possono essere stimati in base del costo sociale attribuito ad un decesso o ad un ferimento indicati nel Piano Nazionale della Sicurezza Stradale).

Infine, per la stima dei costi e dei benefici attualizzati è richiesta la conoscenza del tasso di interesse e della vita utile di ogni misura, ove la vita utile, espressa in anni, esprime la durata dell'effetto migliorativo dell'intervento specifico sul sito. Il tasso di sconto può essere scelto sulla base della crescita della produttività attesa in Italia nel lungo periodo. Nelle Linee Guida europee sulla valutazione degli impatti delle politiche europee è suggerito un tasso di sconto pari al 4%. Per il calcolo del valore attualizzato di costi e benefici all'anno zero si utilizza la formula:

$$[7] \quad X_n = \frac{X_0}{(1+i)^n}$$

Dove:

X_n è una somma all'anno n ;

X_0 è una somma all'anno zero;

n è l'anno rispetto al quale si vuol attualizzare;

i è il tasso di sconto.

5.2 Analisi Costi-Efficacia (ACE)

L'analisi costi-efficacia consente di scegliere l'investimento meno costoso capace di garantire che le esigenze dei beneficiari siano soddisfatte almeno ad alto livello. L'analisi costi-efficacia (ACE) non intende valutare la convenienza sociale di un intervento, ma semplicemente, posto un obiettivo considerato assolutamente prioritario, individua la soluzione che, a parità di efficacia, minimizza il valore attuale dei costi o il programma più efficace per un dato costo.

La tipologia di analisi in esame consente di valutare diversi interventi in ordine di efficienza, stabilendo:

- quale misura fornisce il miglior risultato al minor costo;
- quale misura fornisce il miglior risultato ad un costo determinato.

Gli elementi principali che caratterizzano questo studio sono due:

- costi di implementazione;
- riduzione del numero di incidenti, senza però considerare la diversa gravità degli incidenti.

Le valutazioni tramite l'analisi costi-efficacia è semplicemente espressa tramite un indicatore, cioè il rapporto costi-efficacia CER (*cost-effectiveness ratio*):



[8]

$$CER = \frac{C}{E}$$

Dove E è la riduzione attesa nel numero di incidenti e C il costo.

6 APPENDICI

6.1 Appendice 1 – Migliorare la valutazione: calcolo dell'intervallo di confidenza

Oltre alla variazione percentuale, un altro indicatore utilizzato per valutare gli effetti dell'intervento è "l'indice di efficacia" dell'intervento, dato dal rapporto tra la frequenza media attesa di incidenti sull'elemento interessato dall'intervento nel periodo after in presenza dell'intervento (FA_{senza}) e FA_{con} la frequenza media attesa di incidenti sull'elemento interessato nel periodo after in assenza dell'intervento (Hauer, 1997).

$$[9] \quad CMF = FA_{con} / FA_{senza}$$

L'indice di efficacia è detto anche *Odds Ratio* o *Crash Modification Factor (CMF)*. Noto CMF è agevole calcolare la variazione percentuale con la:

$$[10] \quad \text{Effetto dell'intervento (\%)} = (1 - CMF) \cdot 100$$

La deviazione standard $DS(CMF)$ di CMF è utilizzata per definire l'intervallo di confidenza.

$$[11] \quad DS(\text{Effetto dell'intervento}) = DS(CMF) \cdot 100$$

Per ottenere una stima caratterizzata da una buona precisione, il rapporto $CMF/DS(CMF)$ è buona norma che sia uguale o superiore a 1,7. Con tale valore l'effetto dell'intervento è significativo con un livello di confidenza pari a circa il 90%.

L'intervallo di confidenza del 95% della variazione percentuale dovuta all'intervento è:

$$[12] \quad \text{Eff. intervento (\%)} \pm 1,96 \cdot DS(CMF) \cdot 100$$

6.1.1 Metodo before/after semplice

Per calcolare l'errore standard di CMF è necessario conoscere la varianza di FA_{senza} e di FA_{con} . Nel metodo before/after semplice, la varianza di FA_{senza} e di FA_{con} di sono pari a:

$$[13] \quad \text{Var}(FA_{senza}) = FA_{senza}$$

$$[14] \quad \text{Var}(FA_{con}) = FA_{con}$$

A questo punto è possibile calcolare la varianza di CMF:

$$[15] \quad \text{Var}(CMF) = \frac{CMF^2 \left[\text{Var}(FA_{senza}) / FA_{senza}^2 + \text{Var}(FA_{con}) / FA_{con}^2 \right]}{\left[1 + \text{Var}(FA_{senza}) / FA_{senza}^2 \right]^2}$$

La deviazione standard di CMF, $DS(CMF)$, è data dalla:



$$[1] \quad DS(CMF) = \sqrt{Var(CMF)}$$

6.1.2 Metodo before/after con gruppo di confronto

Se il gruppo di confronto è adeguato³, la varianza di FA_{senza} può essere stimata approssimativamente dalla seguente:

$$[17] \quad Var(FA_{senza}) = FA_{senza}^2 (1/FO_{BI} + 1/FO_{BC} + 1/FO_{AC})$$

Si tratta di una stima approssimata dal momento che si applica a un gruppo di confronto con trend annuali simili a quelli del gruppo di intervento. Una stima più precisa, tipicamente minore di quella ricavata, si trova in (Hauer, 1997).

Nel caso ideale il CMF e la sua varianza sono stimati dalle:

$$[18] \quad CMF = (FA_{con} / FA_{senza}) / (1 + (Var(FA_{senza}) / FA_{senza}^2))$$

$$[19] \quad Var(CMF) = \frac{CMF^2 \left[(1/FA_{con}) + (Var(FA_{senza}) / FA_{senza}^2) \right]}{\left[1 + Var(FA_{senza}) / FA_{senza}^2 \right]^2}$$

La deviazione standard di CMF, $DS(CMF)$, è data dalla:

$$[20] \quad DS(CMF) = \sqrt{Var(CMF)}$$

6.2 Appendice 2 – Migliorare la valutazione: il metodo Empirico Bayesiano

Il metodo *Empirical Bayes* costituisce un efficace strumento per risolvere il problema del fenomeno di regressione alla media (*regression to the mean bias*), facendo riferimento ai valori di incidentalità che nello stesso periodo hanno presentato elementi della rete molto simili a quello dove si vuole realizzare l'intervento (*reference group*).

Il numero atteso (o corretto) di incidenti nel periodo before viene stimato con la formula (Hauer, 1997):

$$[21] \quad \varepsilon = \alpha E(m) + (1 - \alpha)x$$

Dove α è calcolato con la:

$$[2] \quad \alpha = \frac{1}{1 + \frac{VAR(m)}{E(m)}}$$

Dove:

ε = valore "corretto" del numero di incidenti nell'elemento considerato,

x = valore misurato del numero di incidenti nel medesimo elemento,

³ Per essere un gruppo di confronto adeguato i trend del gruppo di confronto e del gruppo di intervento dovrebbero essere simili sulla base del test di confronto proposto da Hauer (1997)

m = valore atteso del numero di incidenti per elementi dello stesso tipo, con $E(m)$ valore medio e $VAR(m)$ varianza, stimati sulla base degli elementi appartenenti al *reference group*, nella maniera seguente (*metodo dei momenti campionari*):

$$[3] \quad \hat{E}(m) = \bar{x}$$
$$\hat{VAR}(m) = s^2 - \bar{x} \quad \text{dove } s^2 = \hat{VAR}(x)$$

Sebbene sia preferibile utilizzare sempre il metodo Empirico Bayesiano, possono esistere dei casi in cui il fenomeno di regressione alla media può essere trascurato e si può quindi procedere alla valutazione before/after con gruppo di confronto (Gross et al, 2010):

- 1) gli elementi da trattare sono individuati senza considerare la frequenza degli incidenti osservati;
- 2) la valutazione di sicurezza è strettamente legata a un cambiamento realizzato per motivi operativi;
- 3) l'intervento è realizzato su tutti gli elementi di una data categoria.

6.3 Appendice 3 – Metodo Cross-Section

Gli studi *cross-section* considerano la storia incidentale degli elementi in relazione alla presenza/assenza di una certa caratteristica e attribuiscono la differenza nel livello di sicurezza a quella caratteristica. Per poter considerare affidabili i risultati di questo approccio, è importante che tutti gli elementi siano simili gli uni agli altri in tutti gli altri fattori che incidono sul rischio di incidente. Nella pratica questo è un requisito molto difficile da rispettare.

Il metodo *cross-section* è particolarmente utile quando non ci sono elementi sufficienti dove è stato applicato il trattamento per condurre uno studio before/after. Per esempio, possono essere pochi o nessuno gli interventi ove la banchina è stata ampliata da 1,25 a 1,75 metri. Tuttavia, possono invece essere molti i tratti di strada con banchine da 1,25 metri e 1,75 metri.

Nel caso di la frequenza media attesa in assenza di intervento è pari al valore della frequenza media osservata sul gruppo di confronto corretta secondo le variazioni di traffico.

$$\text{Fase 1} \quad FA_{\text{senza}} = FO_{BC} * Tr_{AI} / Tr_{AC}$$

$$\text{Fase 2} \quad FA_{\text{con}} = FO_{AI}$$

$$\text{Fase 3} \quad \text{Effetto dell'intervento (\%)} = \left[\frac{FA_{\text{senza}} - FA_{\text{con}}}{FA_{\text{senza}}} \right] \cdot 100$$

Dove:

FA_{senza} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in assenza dell'intervento.



FO_{BC} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo before sul gruppo di confronto.

Tr_{AI} = Valore medio dell'esposizione a rischio nel periodo after nel gruppo di elementi sottoposti a intervento.

Tr_{AC} = Valore medio dell'esposizione a rischio nel periodo after nel gruppo di confronto.

FA_{con} = Frequenza media attesa di incidenti sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento nel periodo after in presenza dell'intervento.

FO_{AI} = Frequenza media osservata di incidenti nel periodo after sull'elemento (o sul gruppo di elementi) interessato dall'intervento.

6.4 Appendice 4 – Test t di Student

Il test *t di Student* serve a verificare l'ipotesi di assenza di una differenza significativa tra i valori medi di due gruppi, ad es. elementi sottoposti a intervento e gli elementi del gruppo di confronto.

Il primo passo è la scelta del livello di confidenza 1-alfa necessario.

Successivamente si calcolano le medie X_1 e X_2 e le varianze S_1^2 e S_2^2 dei due gruppi confrontati.

Il terzo punto è il calcolo della statistica t. Possono aversi due casi:

Se i valori delle varianze dei due gruppi hanno valori simili, la statistica t si calcola con:

$$[24] \quad t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)}}$$

Con:

$$[25] \quad S = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Altrimenti si utilizza la:

$$[26] \quad t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

Successivamente si determina il valore critico t_c per un numero di gradi di libertà pari a: $(n_1 + n_2 - 2)$.

Se le varianze dei due gruppi sono diverse, il valore critico t_c si determina con la:



$$[27] \quad t_c = \frac{\frac{S_1^2 t_1}{n_1} + \frac{S_2^2 t_2}{n_2}}{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

Se il valore calcolato è maggiore del valore critico t si rifiuta l'ipotesi nulla e si conclude che l'intervento è stato efficace al livello di confidenza stabilito. Altrimenti l'ipotesi nulla non può essere scartata e si conclude che non vi è una differenza significativa al livello di confidenza scelto.

6.5 Appendice 4 – Test chi quadro 2

Il χ^2 di Pearson è la statistica test maggiormente impiegata nello studio dell'associazione tra due variabili di una tavola di contingenza. Esso si basa sulle differenze tra le frequenze osservate e le frequenze attese nel caso di assenza di associazione tra le variabili. Il χ^2 viene calcolato con la seguente formula:

$$[28] \quad \chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (n_{ij} - n_{ij})^2 / n_{ij}$$

dove n_{ij} e n_{ij} sono rispettivamente la frequenza osservata e quella attesa nella cella (i,j) .

Evidentemente il χ^2 è tanto più grande quanto più forte è la divergenza tra le n_{ij} e le n_{ij} , cioè quanto più le frequenze osservate n_{ij} si allontanano dalle n_{ij} proprie di una situazione di non associazione. Ciò significa che al crescere dell'intensità del legame tra le due variabili oggetto di studio (e quindi a mano a mano che si allontana dalla situazione di non associazione), cresce il valore di χ^2 .

Quando il χ^2 assume un valore elevato, è possibile rifiutare l'ipotesi di indipendenza (ipotesi nulla) tra le variabili. Per definire elevato tale valore, è necessario confrontarlo con i valori critici della distribuzione del χ^2 , che dipende dalla numerosità del campione e dal numero delle combinazioni delle modalità delle variabili in esame (ovvero dal numero delle celle della tavola di contingenza), sulla base delle quali si calcolano i gradi di libertà della distribuzione stessa.

I valori critici del χ^2 sono tabulati in funzione dei suoi gradi di libertà e del suo livello di significatività. Per una tavola $r \times c$, i gradi di libertà (*df: degree of freedom*) sono pari al prodotto tra il numero di righe – 1 ed il numero di colonne – 1, ovvero:

$$[29] \quad df = (r - 1) * (c - 1)$$

I gradi di libertà della tavola di contingenza in esame sono pari a $df = (2 - 1) * (2 - 1) = 1$.

Per individuare i valori critici della distribuzione del χ^2 , è necessario conoscere, oltre i gradi di libertà, anche il livello di significatività (p).

Il livello di significatività del χ^2 esprime la probabilità massima che, in caso di assenza di associazione tra le variabili in esame, si è disposti a tollerare per valori alti del χ^2 . A tale probabilità corrisponde il valore soglia del χ^2 . Valori superiori ad esso



sono considerati poco probabili nel caso di assenza di associazione tra le variabili, per cui si ritiene plausibile che tale ipotesi sia falsa, e che la misura di associazione tra variabili indicata dal χ^2 sia effettiva, non dovuta al caso.

Non esiste un metodo generale per poter definire la soglia al disopra della quale è possibile rifiutare l'ipotesi nulla di indipendenza tra le variabili. Nella maggior parte degli studi condotti, la soglia massima di accettabilità dell'ipotesi di indipendenza tra le variabili viene, generalmente, fissata allo 0,05 o allo 0,01. Perciò, se la probabilità p associata al χ^2 è più bassa di 0,05 (o di 0,01), (cioè se il valore del χ^2 osservato nel campione in esame è maggiore del χ^2 associato alla probabilità 0,05 o 0,01), l'ipotesi di indipendenza tra le variabili viene rifiutata. Ad esempio se la tavola di contingenza ha 3 gradi di libertà ed il livello di significatività è stato fissato allo 0.05, allora il valore critico del χ^2 corrisponde a 7,815; per valori stimati del χ^2 superiori a 7,815 è possibile rifiutare l'ipotesi di indipendenza tra le variabili in esame.



BIBLIOGRAFIA

- 1) AA.VV. (2009) "A theoretical approach to assess road safety campaigns Evidence from seven European countries", Progetto europeo CAST.
- 2) Aberg, L. (1999) "The role of attitudes in decisions to violate traffic regulation"s. Paper presented at the European conference of transport psychology in Angers, France, June.
- 3) Anderson, G (2003) Detection and avoidance of collisions: the ACT model. <http://www.path.berkeley.edu/PATH/Research/AVCSS/vsafety2.html>.
- 4) Boulanger et al, (2009). "Evaluation tool for road safety campaigns" . Progetto europeo CAST, Deliverable 2.3.
- 5) Carsten, O., Tate, F. (2000) "External Vehicle Speed Control Project, Final Report: Integration". University of Leeds, Institute for Transport Studies.
- 6) Commandeur, J.J.F. & Koopman, S.J. (2007). "An introduction to state space time series analysis". Oxford practical econometrics series, nr. 1. Oxford University Press, Oxford.
- 7) Eagly, A. H., Chaiken S. (1993) The psychology of attitudes. Fort Worth, TX: Harcourt Brace Jovanovich.
- 8) Elvik, R. (1997). "A Framework for Cost-Benefit Analysis of the Dutch Road Safety Plan". Institute of Transport Economics, Oslo
- 9) Elvik (2003) "Assessing the validity of road safety evaluation studies by analysing causal chains", Accident Analysis and Prevention 35, 741 – 748.
- 10) Elvik, R., T. Vaa. A. Høy, A. Erke, M. Sørensen, (2009). "Handbook of Road Safety Measures". Second Edition, Emerald.
- 11) ETSC (2001). "Transport Safety performance indicators". European Transport Safety Council.
- 12) Frindstom, L. (1998) TRULS: an econometric model of road use, accidents and their severity. 8th WCTR, Antwerp, July.
- 13) Gitelman, V., Hakkert, S., Doveh, E., Cohen, A. (2001) A study of safety effects of road infrastructure improvements under Israeli conditions. International Conference: Traffic Safety on Three Continents; VTI Konferens 18A, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden (CD-ROM).
- 14) Gross F., B Persaud, C Lyon (2010). "A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors". Federal Highway Administration (FHWA), FHWA-SA-10-032
- 15) Hauer, E. (1997). "Observational Before-After Studies in Road Safety". Pergamon Press, Oxford, UK,
- 16) Hauer E., D. W. Harwood, F. M. Council and M. S. Griffith (2001) "Estimating safety by the Empirical Bayes method: a tutorial", EB in IHSDM, TBR Paper.



- 17) Gross, F., B. Persaud, C. Lyon (2010). "A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors", FHWA-SA-10-032
- 18) Hakkert, A.S and V. Gitelman (Eds.) (2007). "Road Safety performance indicators: Manual". Deliverable D3.8 of the EU FP6 project SafetyNet.
- 19) Hakkert A.S., Gitelman V. and M.A. Vis (Eds.) (2007). "Road Safety performance indicators: Theory". Deliverable D3.6 of the EU FP6 project SafetyNet.
- 20) Harvey, A.C. & Durbin, J. (1986). "The effects of seat belt legislation on British road casualties: A case study in structural time series modeling". In: Journal of the Royal Statistical Society A, vol. 149, nr. 3, p. 187–227.
- 21) Ljung, M. (2007). "Manual for SNACS: SafetyNet Accident Causation System, version 1.2", Gothenburg, Sweden, Chalmers University of Technology, 2007 (internal report)
- 22) Maher, M. J., Summersgill, I. (1996) A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. Accident Analysis and Prevention 28, n. 3, 281 – 296.
- 23) Rodegerdts et al, (2007). "Roundabouts in the United States". National Cooperative Highway Research Programme (NCHRP); NCHRP Report 572.
- 24) ROSEBUD consortium, (2005) "Screening of efficiency assessment experiences Report State of the art", ROSEBUD European project report.
- 25) Taggi, F., G Dosi, M Giustini, A Crenca, C Cedri, G Fondi, P Iascone, P Marturano. (2006). "Il Sistema "Ulisse" per il monitoraggio dell'uso delle cinture di sicurezza e del casco in Italia (2000-2005)". Istituto Superiore di Sanità, 2006, xiii, 96 p. Rapporti ISTISAN 06/39
- 26) Vagverket – Swedish National Road Administration (2003) "Results of the world's largest ISA trial". <http://www.isa.vv.se/index.en.htm>.