

# PERICOLOSITÀ STRADALE ED INTERVENTI PER OTTENERE L'ISORISCHIO DI PERCORRENZA

SASCIA CANALE

FRANCESCO NICOSIA

SALVATORE LEONARDI

## 1. PREMESSE.

Lo studio della pericolosità di un tracciato stradale non può prescindere dall'analisi del comportamento umano. L'uomo, infatti, rappresenta l'unico fattore che è in grado di modificare ed adattare il proprio comportamento di guida alle condizioni della strada, dell'ambiente e del proprio veicolo.

La condotta di guida è basata su una serie di azioni – reazioni intraprese dal guidatore per condurre il proprio mezzo correttamente sulla strada; quando le azioni – reazioni non risultano adeguate, l'attività di guida può sfociare in incidente.

L'incidente è generalmente causato da una non corretta interpretazione degli stimoli che derivano dall'esterno; quando gli incidenti si localizzano in determinate aree, è plausibile che sia proprio l'ambiente esterno ad indurre gli utenti ad atteggiamenti di guida impropri.

Lo studio delle motivazioni che provocano l'addensamento dei sinistri in determinate zone è molto complesso; una corretta interpretazione del fenomeno non può prescindere dall'analisi della "storia della attività di guida" che ha preceduto l'evento incidentale.

E' ormai opinione comune considerare la guida come un'attività rischiosa, per la quale, il verificarsi di un sinistro, rappresenta l'evento temibile; pertanto, in analogia a qualunque altra attività rischiosa, è impensabile eliminare del tutto gli eventi negativi: è però possibile contenerli entro limiti fisiologici.

Nel presente lavoro investigheremo, mediante l'analisi del rischio, sulle connessioni esistenti tra l'isorischio di percorrenza e la pericolosità stradale.

## 2. LA PROGETTAZIONE COME ELEMENTO PER LA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE.

Il trasporto su strada è un fenomeno in continua crescita; il suo incremento è dovuto soprattutto alla libertà di scelta, da parte dell'automobilista, di tutti quei "parametri" che determinano l'origine e l'evoluzione dei flussi veicolari (l'ora della partenza, l'itinerario da seguire, la velocità di percorrenza, le soste durante il viaggio, ecc.).

La progettazione stradale classica si basa su un atteggiamento dell'utente definito mediante un modello comportamentale. Tutti gli elementi geometrici di un tracciato, siano essi planimetrici, altimetrici o trasversali, vengono progettati supponendo che il conducente, durante le fasi di guida, adotti comportamenti adeguati. Quando il comportamento dell'automobilista non rispetta certi assiomi, vengono a crearsi delle situazioni anormali di funzionamento che possono produrre conseguenze negative, tra cui la più grave è senza dubbio costituita dagli incidenti stradali.

Analogamente ad ogni ciclo produttivo, in cui è possibile individuare lavorazioni ad alta vulnerabilità, anche per le infrastrutture stradali si possono identificare i tratti ad alta pericolosità, cioè dove si concentrano i difetti di lavorazione (gli incidenti).

Se assimiliamo il ciclo produttivo al viaggio sopra una determinata strada, ed ipotizziamo l'infrastruttura stradale come costituita da una popolazione di n entità (sezioni, nominalmente identiche e perfettamente funzionanti in determinate condizioni al tempo t), (Fig.1), possiamo definire "incidente" un non funzionamento del sistema strada-veicolo che innesca l'evento sfavorevole: l'interruzione non volontaria del viaggio (blocco del ciclo produttivo).

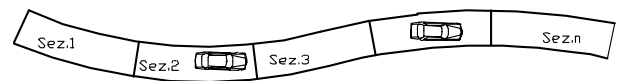


Fig. 1 Schematizzazione di una infrastruttura stradale.

Si definisce sicurezza di viaggio  $S(t)$  al tempo  $t$ , nei riguardi dell'evento sfavorevole (incidente), il rapporto tra il numero  $x(t)$  delle sezioni in cui il passaggio è avvenuto in assenza di incidente dopo il tempo  $t$ , e il numero totale delle sezioni  $n$  percorse:

$$S(t) = \frac{x(t)}{n}$$

mentre l'insicurezza o pericolo rappresenta la probabilità che avvenga un incidente:

$$P = 1 - S(t) = 1 - \frac{x(t)}{n}$$

Quando si trattano i problemi relativi all'incidentalità stradale, lo studio dell'interazione veicolo-strada diviene particolarmente complesso, in quanto, a causa delle interazioni fra la molteplicità dei parametri entranti in gioco, non è possibile ricondurre la dinamica di ogni incidente a schematizzazioni standard; in questo contesto, anche la rappresentazione che prevede il percorso stradale suddiviso in sezioni identiche risulta irrealistica. Per investigare sulla incidentalità stradale è necessario introdurre i concetti di analisi del rischio.

L'analisi del rischio, nata nell'ambito delle lavorazioni industriali, è, da molti autori, ritenuta uno strumento ottimale per lo studio della percorribilità stradale.

L'utilizzo dell'analisi del rischio consente di studiare la percorribilità stradale in modo non deterministico, mettendo in conto numerosi fattori la cui combinazione può degenerare nell'evento incidentale temuto.

Il rischio, per definizione, rappresenta la probabilità che una situazione di pericolo si concretizzi in danno. Indicando con  $D(t)$  l'entità del danno associabile al tempo  $t$  e con  $P(t)$  la probabilità che si verifichi l'evento sfavorevole, è possibile adottare la seguente espressione del rischio:

$$R(t) = P(t) \times D(t)$$

L'incidente stradale è un fenomeno molto complesso provocato dalla concomitanza di numerosi fattori legati:

- al comportamento degli utenti (esperienza, capacità, emotività, ecc.);
- alle caratteristiche dei veicoli (prestazioni, manutenzione, ecc.);
- all'infrastruttura (geometria, pavimentazione, ecc.);
- all'ambiente (intensità di traffico, condizioni meteorologiche, ecc.).

La progettazione stradale dovrebbe essere concepita in maniera da offrire all'utente dell'infrastruttura lo stesso grado di rischiosità lungo tutto lo sviluppo del tracciato.

Lo sforzo che i progettisti devono compiere nelle fasi di progettazione è relativamente semplice, in quanto, all'inizio della fase progettuale, è possibile prevedere tutti quegli accorgimenti finalizzati a limitare la frequenza incidentale o il danno associato; mentre quando ci si trova ad operare su una infrastruttura esistente il compito di intervenire risulta arduo: *il progettista si trova nelle condizioni di affrontare l'adeguamento con la consapevolezza che i suoi interventi dovranno essere localizzati in determinate aree, e lo sforzo maggiore non sarà quello di realizzare le opere, bensì quello di eseguire studi per poter interpretare correttamente dove e come impegnare le risorse.*

Lo sforzo rivolto all'individuazione delle zone pericolose ed alla programmazione degli interventi deve portare a definire, per ogni infrastruttura, una "curva di isorischio" la quale dovrà caratterizzare l'attività di guida.

### 3. IL RISCHIO.

Il rischio è il risultato dell'incertezza, della incompletezza delle informazioni possedute relativamente ad uno o più eventi futuri, ovvero ai risultati futuri di eventi attuali. Il concetto di rischio è, per sua natura, associato ad un processo decisionale, i cui risultati si manifesteranno nel futuro.

Tutte le attività progettuali comportano delle scelte, e scegliere significa "rischiare". In un'ottica moderna, ogni attività progettuale deve essere analizzata mediante la valutazione del grado di rischio associato.

La valutazione del rischio si basa su qualunque tipo di informazioni, esperienze che possono aiutare a definire in maniera corretta il valore del rischio.

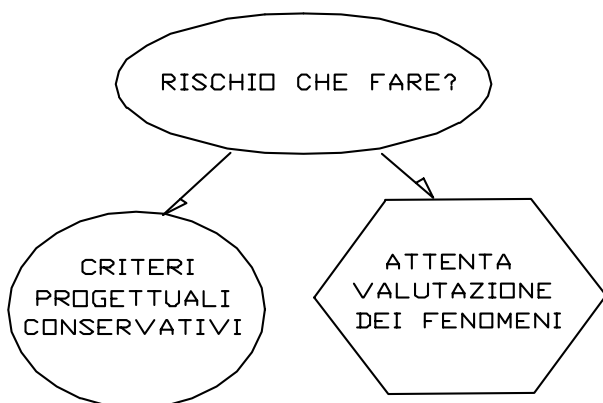


Fig. 2 Modi di affrontare l'incertezza.

Per affrontare il controllo del valore del rischio esistono due strategie preminenti (Fig. 2):

- ◆ la prima, per tenere conto delle incertezze, richiede l'adozione di criteri progettuali fortemente conservativi, cioè, in altre parole, l'incremento dei coefficienti di sicurezza. Tale scelta comporta un impegno notevole di risorse e di materiali (si pensi, ad esempio, ai coefficienti di sicurezza che si usano nella progettazione strutturale);

- ◆ la seconda consiste nell'impiegare maggiori sforzi nell'attenta valutazione della probabilità di accadimento, per cercare di confinare il valore del rischio entro determinati valori. Facendo sempre riferimento al campo strutturale vuol dire, ad esempio, incrementare le sezioni dove la probabilità di avere forti carichi risulta elevata, in modo tale da avere in ogni elemento lo stesso stato tensionale.

Ogni analisi di rischio deve essere analizzata in un determinato "contesto". Col termine "contesto" ci si riferisce a tutto ciò che è connesso all'analisi della situazione di rischio, e che ha effetto su di essa.

Nell'ambito degli studi di analisi del rischio è importante stabilire se è possibile definire uno standard di rischio accettabile. Gli standard di rischio accettabile dovrebbero presumibilmente riflettere i "desideri" della società. Definire gli standard di rischio è un passo necessario per gli ingegneri per poter determinare i requisiti adeguati a costruire con sicurezza e valutare quante risorse impegnare nella sicurezza.

Nell'analisi del rischio è necessario distinguere un *rischio in senso assoluto* che esiste quando sussiste sempre l'incertezza nel verificarsi di un evento futuro dannoso, ed un *rischio in senso relativo* quando c'è la certezza che l'evento dannoso si verificherà in futuro, ma non si sa quanto prossimo o remoto questo futuro sia, né in quale forma l'evento si manifesterà. Tra i valori estremi rappresentati dalla certezza che l'evento non si verificherà e dalla certezza opposta, giacciono tutti i valori che l'incertezza può assumere, e, di conseguenza, anche quelli relativi alla concretezza o meno del concetto di rischio.

Se si riesce a stimare a priori ed in modo razionale la misura del danno temibile ed il grado di incertezza mediante una misura quantificabile, allora può dirsi che anche il rischio potrà essere espresso mediante una misura definita.

Un aspetto particolare ed importante è quello di esplorare l'insicurezza e di capire ciò che può trasformare il rischio in danno.

L'identificazione del rischio è stata "modellizzata" in alcune aree di applicazione, in base ai cosiddetti "acronimi" quali Hazops (hazard and operation studies – studi di rischi e operazioni) o Hazare.

Per quantificare la misura del rischio occorre fare un passo importante, trasformare i concetti in numeri, così da poter esprimere in maniera univoca le grandezze individuate nei rischi.

La percorribilità di una strada non è una proprietà intrinseca alla strada, quale essa è progettata e realizzata, ma è funzione del comportamento non prevedibile dell'utente, il quale agisce sull'infrastruttura in maniera non uniforme e casuale.

Il viaggio di un veicolo sopra una infrastruttura avviene attraversando una serie di sezioni elementari. Per valutare il funzionamento globale di una infrastruttura è necessario calcolare la probabilità di funzionamento di ogni singola sezione ed individuare il valore del danno che può essere associato ad ogni evento incidentale in quella sezione.

Per ogni sezione elementare è possibile definire una matrice di rischio (Fig. 3). Ogni matrice di rischio ha, nella prima riga, l'indicazione di tutti gli eventi che possono produrre danni (intendendo il complesso di fenomeni che possono innescare un evento indesiderato) e nella prima colonna la quantificazione dei danni ottenibili (intendendo il complesso di danneggiamenti che possono essere subiti); le caselle della matrice sono destinate ad ospitare dei valori numerici definiti (talvolta anche nulli).

| EVENTI<br>DANNO | Velocita'           | Traffico            | Nebbia              | Pioggia             |  |                     |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|---------------------|
| 1               |                     |                     |                     |                     |  | $\sum D1 \times P1$ |
| 2               |                     |                     |                     |                     |  | $\sum D2 \times P1$ |
| 3               |                     |                     |                     |                     |  | $\sum D3 \times P1$ |
|                 |                     |                     |                     |                     |  |                     |
| n               |                     |                     |                     |                     |  | $\sum Dn \times P1$ |
|                 | $\sum D1 \times P1$ | $\sum D1 \times P2$ | $\sum D1 \times P3$ | $\sum D1 \times P4$ |  | $\sum D1 \times P1$ |

Fig. 3 Matrice del rischio relativa ad una generica sezione.

I valori dei danni riportati nelle colonne possono essere ordinati in maniera crescente tenendo conto delle diverse classi di pericolosità (si va dalle classi caratterizzate da soli danni materiali fino alle classi in cui sono presenti danni alle persone).

Il totale di ogni riga della matrice è indicativo del valore del rischio relativo ad una determinata misura del danno, mentre il totale di ogni colonna rappresenta il valore del rischio connesso ad un determinato evento.

Per ogni sezione, infine, la matrice del rischio individua il valore del rischio complessivo, la cui espressione è:

$$R_j = \sum_{i=1} D_i * P_i$$

Quando si effettuano delle analisi "a posteriori", è possibile utilizzare il concetto di probabilità mediante un'interpretazione statistica di accadimento del fenomeno. In tale maniera la misura della probabilità risulta uguale al valore del rapporto fra il numero di casi in cui un evento si è già verificato e quello dei casi in cui avrebbe potuto materialmente verificarsi; il valore del danno probabile è deducibile, invece, dalla gravità degli eventi incidentali accaduti.

Le regole che legano le due variabili e che stabiliscono come la seconda varia al variare della prima, si chiamano "relazioni funzionali" o "algoritmi".

L'algoritmo della funzione di rischio può essere rappresentato in un piano cartesiano in cui far corrispondere l'asse delle x con l'andamento della probabilità dell'evento dannoso e l'asse delle y con il valore del danno temibile.

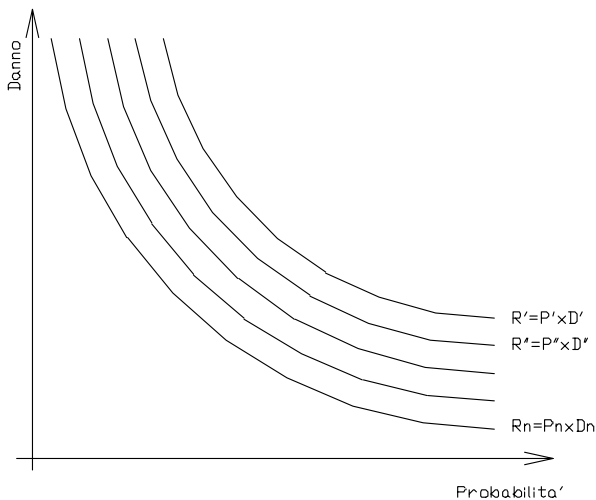


Fig. 4 Curve di isorischio (o di indifferenza).

Nello stesso piano possono essere rappresentati diversi livelli di rischio mediante una serie di curve tutte tra loro parallele. Ognuna delle curve costituisce una curva di

indifferenza (o di isorischio), poiché muovendosi lungo essa il valore del rischio non varia. Le varie curve rappresentate nel piano sono, dunque, associate, ognuna ad un determinato valore di rischio (Fig. 4).

Tutte le progettazioni sono caratterizzate dalla assunzione di un determinato livello di rischio, il quale dipende da molti fattori tra cui l'aspetto socio economico. La scelta di una politica progettuale in materia di rischio equivale ad individuare una curva di indifferenza.

Cambiare politica progettuale, ossia stabilire un livello di rischio accettabile maggiore o minore, vuol dire spostarsi da una curva all'altra. Ogni fase progettuale è caratterizzata da due valori limiti delle variabili (probabilità e danno), che rappresentano il massimo ed il minimo ammissibili dalle singole variabili.

Per individuare una curva di rischio occorre tenere conto della combinazione dei termini:

- $P_{max}$  e  $P_{min}$
- $D_{max}$  e  $D_{min}$

Tra le varie curve di rischio, quindi, si riesce ad identificare quella i cui estremi sono rappresentati da:  $P_{max} \times D_{min}$  e  $P_{min} \times D_{max}$ .

Il piano dove giacciono le curve di rischio può essere diviso in due aree caratterizzate da un valore del danno non accettabile e da uno di danno accettabile inteso come costo fisiologico per la società (Fig.5).

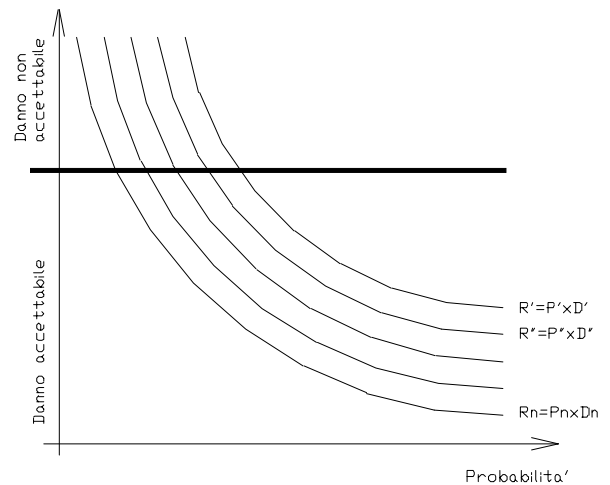


Fig. 5 Limitazione delle curve di isorischio in base alla accettabilità del danno.

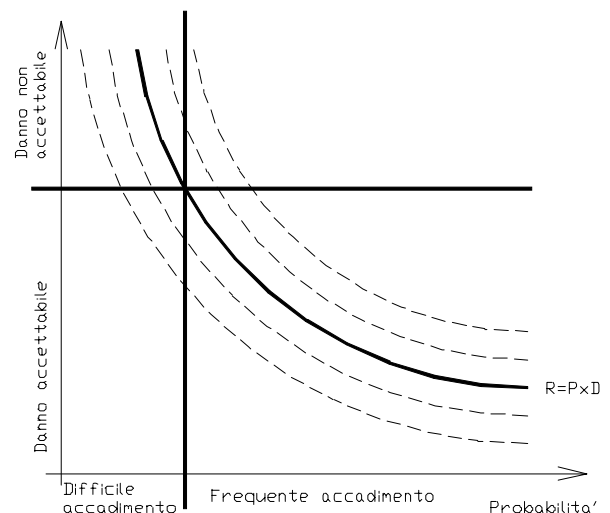


Fig. 6 Limitazione delle curve di isorischio in base alla accettabilità del danno ed alla frequenza di accadimento.

Naturalmente anche la frequenza con cui l'evento si presenta fa parte della politica progettuale e del tipo di funzionamento. In questo caso è possibile partizionare l'area del piano in due zone caratterizzate da una probabilità di difficile accadimento e da una di accadimento fisiologico (Fig.6).

Aver individuato un valore del danno massimo accettabile ed una frequenza massima di accadimento dell'evento negativo vuol dire aver scelto tra le varie curve di isorischio quella che dovrà caratterizzare la nostra attività.

Tale curva sarà limitata superiormente dal valore del danno ammissibile moltiplicato per la frequenza limite di accadimento, ed inferiormente dalla frequenza massima di accadimento per il valore del danno minimo (Fig.7).

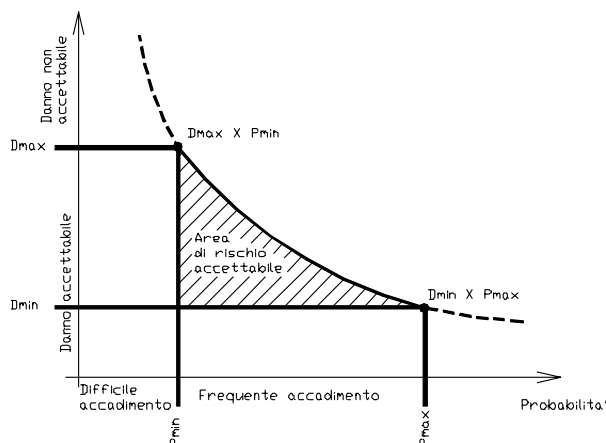


Fig. 7 Individuazione dell'area di rischio accettabile per la curva di indifferenza caratterizzante il tipo di "attività" prescelta.

L'area rappresentata nel piano sarà così partizionata in due sub-aree: l'area dove ricadono i rischi non accettabili e l'area di rischio accettabile.

Con riferimento alle infrastrutture stradali, è lecito supporre che molte di esse siano caratterizzate da sezioni aventi un grado di rischiosità che ricade entro l'area di rischio accettabile, per cui il loro funzionamento può essere ritenuto accettabile, ossia il numero degli incidenti e la loro gravità devono essere considerati come fisiologici dell'attività a rischio; è, inoltre, ipotizzabile la presenza di sezioni per le quali il livello di rischio non possa essere considerato accettabile.

Se la rischiosità di una sezione della infrastruttura è rappresentata da un punto che cade all'esterno dell'area di rischio accettabile, è indispensabile agire mediante opere di adeguamento per tentare di far rientrare la condizione di funzionamento entro la zona di rischio accettabile.

E' ovvio che, allo scopo di far rientrare il funzionamento entro i limiti, si possa operare in uno dei modi seguenti:

- ↻ agendo sulla frequenza dell'evento dannoso;
- ↻ intervenendo sulla magnitudine del danno probabile;
- ↻ agendo su entrambi i valori.

La scelta di un livello di rischio di riferimento in un approccio razionale, con dati noti o comunque conoscibili, o almeno stimabili in modo più o meno approssimato, equivale a definire degli standard progettuali. Quando si opera su una infrastruttura esistente, l'atteggiamento del progettista è soprattutto di analisi, le scelte progettuali sono state già prese, l'infrastruttura ha già manifestato i suoi punti deboli; il compito è quello di investigare per cercare di contenere il rischio nelle sezioni particolarmente "vulnerabili".

#### 4. L'ADEGUAMENTO FUNZIONALE DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI.

Nel termine generale di manutenzione, sono compresi gli interventi volti a conservare e ripristinare le caratteristiche strutturali e funzionali delle infrastrutture stradali, al fine di assicurare il loro impiego in condizioni ottimali.

Mentre fino a poco tempo fa si parlava quasi esclusivamente di interventi di manutenzione tecnica, adesso si tende a mettere in relazione i momenti della decisione amministrativa e tecnica insieme.

Tutti i sistemi di gestione programmata sono strutturati in tre diverse componenti:

- la costituzione e l'aggiornamento continuo della banca dati;
- l'analisi e la valutazione delle condizioni di esercizio, basate su prove sperimentali e su indagini teoriche;
- l'elaborazione del modello di usura e di decadimento nel tempo, in relazione alle varie tipologie di manutenzione.

L'insieme coordinato di queste attività, generalmente rivolto alla pavimentazione stradale, riesce a garantire l'efficacia e l'affidabilità degli interventi.

Individuato lo stato di ammaloramento della sovrastruttura, tutti i programmi manutentivi forniscono indicazioni sulle lavorazioni da eseguire per ripristinarne la funzionalità.

E' ormai convinzione comune, però, che ogni atto di valutazione delle condizioni di esercizio di una infrastruttura debba essere rivolto, non solo alla idoneità della sovrastruttura stradale nei termini del decadimento nel tempo degli indicatori di efficienza (aderenza, portanza, regolarità), ma anche alla sua pericolosità intrinseca. La valutazione deve essere effettuata in un'ottica più allargata in cui tener conto dei parametri che contribuiscono a definire il livello di pericolosità dell'opera: il traffico, le caratteristiche geometriche e quelle ambientali.

Un piano di adeguamento funzionale finalizzato al miglioramento delle condizioni di sicurezza, può consistere nelle seguenti attività fondamentali:

- esaminare un dato periodo di tempo, allo scopo di definire una graduatoria delle "sezioni critiche" in funzione del numero di incidenti avvenuti, della gravità degli stessi e della loro ripetitività;
- analizzare le singole "sezioni critiche", sia dal punto di vista delle cause che hanno provocato gli incidenti, che dal punto di vista della situazione del tratto stradale relativamente alle condizioni tecnico-ambientali;
- formulare un piano complessivo di interventi nelle "sezioni critiche" della rete stradale.

Le informazioni riprese dai verbali di incidente redatti dalla Polizia Stradale e quelle raccolte con rilievi appositi, opportunamente codificate e memorizzate su elaboratore, possono consentire la costruzione, seppur sommaria, di una base dati completa di ciascuna "sezione critica".

Il piano di adeguamento, teso all'eliminazione dei "sezioni critiche" di una rete stradale, deve contenere:

- ⇒ l'elenco degli interventi da compiere;
- ⇒ il loro costo;
- ⇒ un'ipotesi di realizzazione graduale nel tempo;
- ⇒ l'utilizzo di tecniche previsionali capaci di ipotizzare i benefici che possono ricavarsi dalla realizzazione delle opere.

Per poter stimare i cambiamenti che ogni tipo di intervento provocherà sull'infrastruttura stradale può essere utilizzato il metodo degli scenari (Fig. 8).

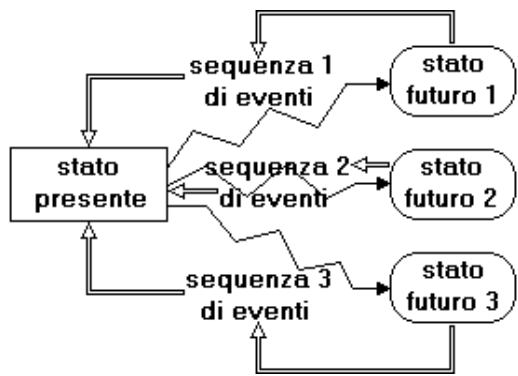


Fig. 8 Metodologia degli scenari.

Le direzioni delle frecce bianche evidenziano che il processo di costruzione degli scenari è bidirezionale. In altre parole, il metodo non procede necessariamente dal presente verso il futuro, ma sarà l'analista a decidere liberamente in che direzione muoversi, a seconda degli obiettivi che intende perseguire.

Gli scenari vengono descritti come condizioni interrelate basate su relazioni causa-effetto, e come insiemi logicamente consistenti di probabili circostanze future.

Il metodo degli scenari si articola nei seguenti punti:

- il punto di partenza della metodologia è il presente, di cui si fornisce una descrizione funzionale;
- il punto di arrivo è costituito da una o più situazioni future, comunemente dette "immagini del futuro" o "immagini finali";
- lo scenario è una sequenza di eventi, o traiettoria, che collega lo stato presente allo stato futuro, e quindi consiste "nell'analisi dell'evoluzione delle variabili considerate e della loro coerenza interna, in ogni stadio della traiettoria".

L'analisi degli scenari è un metodo di natura sistemica capace di gestire la complessità del fenomeno previsionale, come per esempio le modificazioni che possono derivare dalla realizzazione di uno o di un altro intervento. Gli scenari hanno la capacità di saper rappresentare la poliedrica evoluzione della realtà, combinando e integrando, in un unico quadro coerente, le previsioni su incrementi di traffico, cambiamenti nella meccanica veicolare, variazioni socio-economiche e sviluppi tecnologici, ottenute con le più svariate metodologie. Da ciò deriva la sua più corretta definizione di "multimetodo", o "approccio integrato".

In altre parole, non si può negare il fatto che la nostra conoscenza sia centrata prevalentemente sul passato, e che tutte le nostre decisioni sono finalizzate al futuro, che è, e resterà, sempre non conoscibile. Il massimo che la ricerca può fare (e che il metodo degli scenari fa), per affrontare questa incertezza è ipotizzare diverse traiettorie che, dal presente, conducono agli stati futuri alternativi, limitando, per quanto possibile, la dipendenza dal cosiddetto *anchoring*, cioè la tendenza, insita nei previsori, di dare risposte basate sulla tradizione o sulla storia precedente, evitando quindi di fornire una semplice e singola visione del futuro.

Deve essere chiaro che, mediante l'analisi degli scenari, non si riesce a prevedere in maniera assoluta lo scenario che si realizzerà esattamente, ma si arriva ad avere a disposizione una serie di scene, tutte caratterizzate da una probabilità di accadimento.

I progetti di adeguamento funzionale definiti a "posteriori" sono relativi ad interventi sulle "sezioni critiche". In questo contesto si inquadra l'importanza dell'analisi degli scenari, la quale potrà fornire le

informazioni necessarie a programmare le opere di adeguamento atte a ridurre la rischiosità delle sezioni.

## 5. L'INCIDENTALITÀ DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI.

Nella valutazione del rischio di funzionamento di una sezione elementare stradale occorre stimare la probabilità di accadimento dell'evento incidentale. Tale stima può essere ottenuta mediante un metodo di decomposizione, noto come albero degli eventi o dei guasti, oppure attraverso le indagini statistiche su eventi similari.

L'albero degli eventi è costituito graficamente da un diagramma logico che connette un evento, detto top event, con gli eventi che lo hanno provocato (eventi primari). Nel grafico di figura 9, di costruzione molto semplificata, sono rappresentati, con diversa simbologia grafica, gli eventi base (ellissi) e gli eventi intermedi (rettangoli) derivati dalla combinazione degli eventi base.

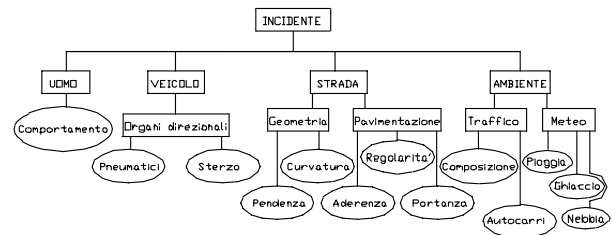


Fig. 9 Esempio di albero degli eventi semplificato.

La caratteristica peculiare della tecnica dell'albero degli eventi è la sua capacità di indagare a ritroso un particolare evento, individuando non solo tutte le possibili relazioni di causa-effetto tra esso ed i fattori che lo hanno determinato, ma anche i rapporti di concatenazione esistenti tra i fattori stessi, che si possono ricondurre a rapporti di complementarità quando tutti i fattori causanti devono manifestarsi contemporaneamente per produrre l'evento, oppure di indipendenza quando la manifestazione di uno solo dei fattori causanti è sufficiente per produrre l'evento.

Quando si opera su una infrastruttura esistente lo studio della probabilità incidentale è facilmente ricavabile utilizzando i dati storici disponibili in archivio.

La difficoltà maggiore si riscontra nella interpretazione dei dati e nella loro frammentarietà. Riguardo agli incidenti stradali, negli archivi della Polizia Stradale, si trovano riportati solo i dati relativi agli incidenti più gravi, pertanto, è possibile identificare la magnitudo elevata e la probabilità associata, mentre è difficile ricavare i rischi connessi alle magnitudo basse ed alle probabilità elevate.

La guida veicolare è stata definita una attività rischiosa, per cui, anche per le infrastrutture redatte in conformità ai migliori standard progettuali ed interessate da un parco veicolare meccanicamente idoneo, bisogna sempre considerare la presenza di un'incidentalità di fondo non eliminabile.

Da indagini eseguite nell'ambito dell'attività di ricerca inerente alla sicurezza stradale, sono stati dedotti differenti valori di incidentalità specifica<sup>(1)</sup>, relativi alla

(1) Il calcolo dell'incidentalità specifica si esegue dividendo gli incidenti totali attribuiti alla tratta per il suo sviluppo e per il carico veicolare, facendo generalmente riferimento ad un periodo di 5 anni:

$$I_s = \sum_{i=1}^5 \frac{10^9}{365 \cdot 5 \cdot \text{Km}} \cdot \frac{(I_{\text{tot}})_i}{\text{TGM}_i}$$

rete autostradale italiana; in particolare, sono stati individuate cinque classi di rischio (Fig.10).



Fig. 10 Classi di rischio relative alla rete autostradale italiana.

La misura dell'incidentalità fisiologica, ovvero la quota parte del rischio d'esercizio da considerare ineliminabile, determinata proprio dalle regole progettuali adottate, dal parco veicolare circolante e dal comportamento umano, viene valutata in riferimento alla classe a minore rischio e risulta pari a 62.62 [inc./km\*10<sup>9</sup> veicoli transitanti]. Una volta nota l'incidentalità fisiologica del sistema autostradale italiano, è possibile evincere di volta in volta l'aliquota di incidenti che, per una generica tratta autostradale è imputabile alla casualità, ovvero alle caratteristiche *fisiche e funzionali* della tratta medesima. In definitiva, è plausibile esprimere la pericolosità intrinseca di una tratta stradale tramite la differenza tra i sinistri totali e quelli fisiologici.

## 6. LE OPERE DI ADEGUAMENTO.

Le opere di adeguamento stradale devono essere giudicate, sia in base ai benefici derivanti dalla riduzione del livello di rischio (tramite "l'abbattimento" delle frequenze incidentali e/o la mitigazione delle conseguenze dei sinistri), sia in funzione dell'efficienza dell'investimento (impiego ottimale delle risorse).

Il metodo più comunemente utilizzato per ottenere una allocazione ottimale delle risorse disponibili per le opere di adeguamento è l'analisi costi-benefici.

L'analisi costi-benefici è una metodologia analitica che, allo stesso modo di altre metodologie, deve essere usata correttamente per produrre risultati validi.

Risulta fondamentale, per valutare correttamente il grado di rischio di un'infrastruttura stradale, avere a disposizione banche dati sempre aggiornate, di facile consultazione, e caratterizzate da dati di incidentalità completi di un'analisi dettagliata della dinamica dei sinistri. Purtroppo, nel nostro paese, la realtà operativa è ben lungi dall'essere quella prospettata; basti pensare, ad esempio, al fatto che gli archivi incidentali, gestiti dagli organi di Polizia, contengono un gran numero di informazioni relative ai danni subiti, risultando, nel contempo, poveri di indicazioni esplicative delle modalità di svolgimento dell'evento incidentale.

Quando si usa l'analisi costi-benefici per determinare i tipi e le priorità di intervento, occorre tenere presente che è indispensabile utilizzare contemporaneamente anche la metodologia dell'analisi del rischio. Si possono infatti verificare situazioni in cui la scelta degli interventi risulta onerosa se valutata in base ai parametri econometrici, mentre, l'analisi del rischio palesa la necessità di eseguire gli interventi manutentivi, al fine di riportare il livello di rischio entro limiti accettabili.

L'utilizzo contemporaneo delle metodologie dell'analisi costi-benefici e dell'analisi del rischio, rende necessaria l'omogeneizzazione dei costi e dei benefici, ottenuti in relazione ad un dato intervento manutentivo, sotto un unico parametro monetario.

In questo contesto, è opportuno ricordare che l'incidente stradale spesso è accompagnato non solo da danni materiali ma anche da danni a persone, che, in un'ottica di valutazione prettamente monetaria, devono essere ricondotti a "prezzi di mercato".

Nella tabella 1 vengono sintetizzate le informazioni riguardanti i costi che, mediamente, possono essere considerati nelle fasi incidentali. Tali dati sono stati desunti dai valori dei costi di risarcimento forniti dagli istituti assicurativi, nonché dalle spese sostenute dalla società per ricoveri ospedalieri, cure ambulatoriali ed invalidità permanenti.

| Tipo di vittima                          | costo       |
|--|-------------|
| <b>incidente mortale con una vittima</b> | 600 milioni |
| <b>ferito in fin di vita</b>             | 400 milioni |
| <b>ferito grave</b>                      | 81 milioni  |
| <b>ferito serio</b>                      | 16 milioni  |
| <b>ferito moderato</b>                   | 8 milioni   |
| <b>ferito lieve</b>                      | 4 milioni   |

Tab. 1 Valore finanziario delle vittime degli incidenti stradali.

Nella tabella 2 si riporta, a titolo di esempio, il piano di ripartizione proposto dal Ministero dei Lavori Pubblici destinato agli interventi sulle infrastrutture stradali esistenti.

| Intervento                                 | Riduzione dei morti (%) | Riduzione dei feriti (%) | Costi (in miliardi di lire all'anno) | Benefici (in miliardi di lire all'anno) |
|--|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Barriere di sicurezza                      | 13                      | 11                       | 278                                  | 567                                     |
| Manutenzione strade                        | 8.5                     | 8.5                      | 237                                  | 417                                     |
| Illuminazione degli incroci                | 1.1                     | 1.1                      | 37                                   | 50                                      |
| Illuminazione di tratti di strade          | 8.9                     | 8.9                      | 1787                                 | 436                                     |
| Adeguamento strade extra-urbane principali | 2.5                     | 1.1                      | 1400                                 | 95                                      |
| Adeguamento strade extraurbane secondarie  | 6.9                     | 5                        | 3150                                 | 294                                     |

Tab. 2 Ripartizione dei fondi per l'adeguamento delle infrastrutture stradali (Ministero dei Lavori Pubblici).

Con riferimento agli interventi mirati ad ottenere l'abbattimento del livello di pericolosità stradale, occorre ricordare che i sistemi di sicurezza possono essere raggruppati in due grossi insiemi: quello della sicurezza attiva che ha la prerogativa di ridurre la probabilità che si inneschi l'evento incidentale e quello della sicurezza passiva che, invece, tenta di limitare gli effetti dannosi conseguenti al verificarsi dell'incidente.

Gli interventi di sicurezza passiva vengono normalmente realizzati sia sulle infrastrutture stradali che sui veicoli. Si pensi, ad esempio, alle barriere stradali, alle cinture di sicurezza, all'air-bag, alla carrozzeria deformabile.

Nelle infrastrutture stradali extraurbane è possibile catalogare le sezioni stradali elementari in base alla entità del danno che uno stesso incidente può provocare; si possono avere sezioni caratterizzate da magnitudine bassa, media ed alta (Fig.11).

Le varie sezioni elementari in cui è possibile parcellizzare la strada, pertanto, solo idealmente possono essere definite "nominalmente identiche"; nella realtà, esse presentano una pericolosità differente (probabilità che in esse avvenga l'incidente), ed inoltre, il danno che può derivare dall'accadimento di un incidente, risulta dipendente dalla magnitudine delle sezioni, ed è, quindi, variabile con esse.

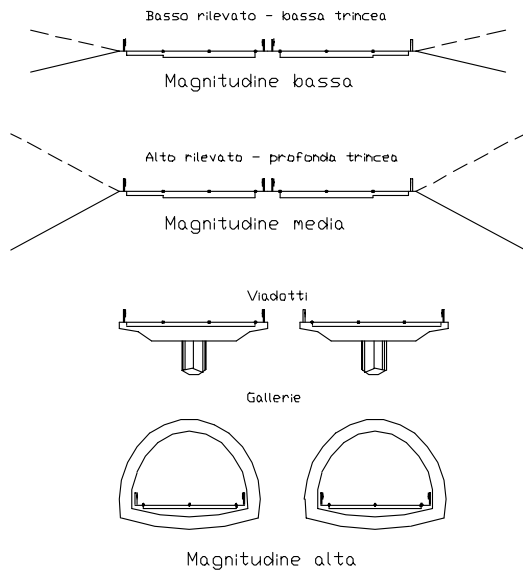


Fig. 11 Catalogazione delle sezioni in base alla magnitudo.

L'acquisizione della consapevolezza dell'esistenza di livelli di rischio differenti per le sezioni elementari di un'infrastruttura stradale, dovrebbe invogliare, già in fase progettuale, a cercare un compromesso tra la pericolosità intrinseca delle sezioni ed il loro livello di magnitudo, inducendo, in certi casi, a coniugare i valori elevati di pericolosità con la minima magnitudo e viceversa.

Nel caso in cui, invece, si debbano prevedere opere di adeguamento su una strada esistente che, in parte o in toto, ha manifestato i suoi "punti deboli", si dovrebbe tendere all'omogeneizzazione del grado di rischiosità, sia attraverso interventi di sicurezza passiva (per limitare l'entità dei danni), sia tramite provvedimenti di sicurezza attiva (per obbligare l'utente a tenere atteggiamenti di guida corretti).

Il processo logico che intendiamo proporre al fine di predisporre idonei interventi di adeguamento funzionale, è sintetizzato nello schema di figura 12 e si articola nelle seguenti fasi:

- individuazione del rischio di funzionamento relativo alle varie sezioni in cui è suddivisa l'infrastruttura stradale;
- ordinamento delle sezioni in base al livello di rischio;
- predisposizione di interventi di adeguamento alternativi, per quelle sezioni in cui il rischio sia ritenuto inaccettabile;
- valutazione dell'efficacia degli interventi previsti mediante l'impiego dell'analisi degli scenari; in particolare, questa fase della procedura, prevede i seguenti punti:
  - a) ipotesi di uno scenario di intervento;
  - b) verifica della funzionalità della sezione su cui si è intervenuto;
  - c) processo iterativo che consente di ottenere diversi gradi di funzionalità in relazione ai differenti scenari di intervento;
  - d) confronto tra gli scenari proposti, in funzione del livello di efficacia "attribuito" alla sezione;
  - e) scelta dell'intervento di adeguamento.

E' importante ribadire che l'utilizzo dell'analisi degli scenari risulta indispensabile per tentare di valutare l'effettiva variazione di rischiosità nelle sezioni elementari che costituiscono l'intero tracciato.

Occorre, infine, sottolineare che non si deve assolutamente prescindere dal comprendere come, nell'insieme dell'infrastruttura, cambi l'aspetto incidentale

ed in quali termini, per evitare, come purtroppo accade spesso, di traslare l'evento incidentale di qualche metro.

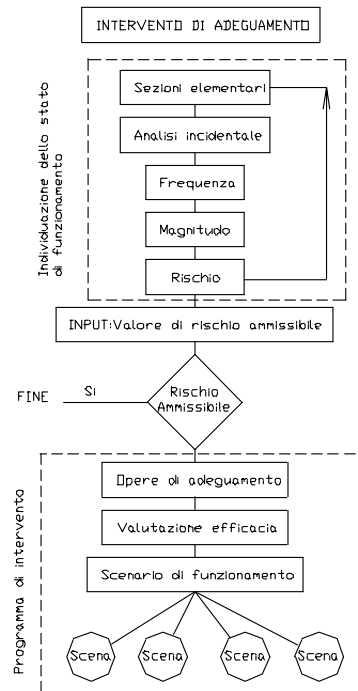


Fig. 12 Diagramma di flusso relativo alla procedura di indagine elaborata.

## 7. ESEMPIO APPLICATIVO DELLA PROCEDURA DI INDAGINE PROPOSTA.

Per comprendere meglio la metodologia esposta nel precedente paragrafo, si è pensato di svolgere un esempio applicativo. Ci si è pertanto riferiti alla Tangenziale Ovest di Catania (Fig. 13).

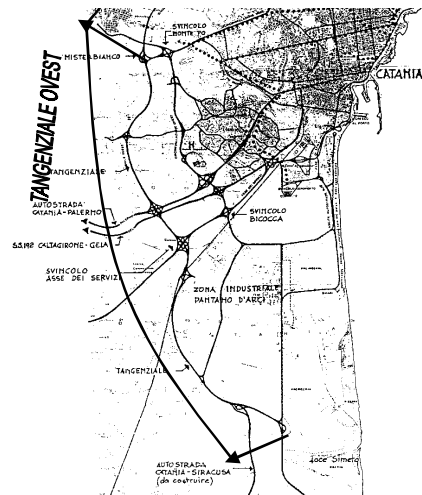


Fig. 13 La Tangenziale Ovest di Catania.

La Tangenziale di Catania è un'infrastruttura viaria, con caratteristiche autostradali, preposta al collegamento fra le aree periferiche e le aree industriali; il traffico veicolare risulta principalmente composto da autovetture che usano l'infrastruttura per il percorso "casa-lavoro" e da mezzi pesanti in penetrazione verso la zona industriale.

L'applicazione della metodologia proposta interesserà solo la direzione Messina Siracusa, nel tratto compreso tra lo svincolo di Misterbianco e quello sulla S.S. 114.

Il tratto analizzato ha una lunghezza di 14 km, ed una geometria che rispetta le indicazioni del C.N.R. per quel che concerne la sezione di tipo II. Riguardo la pendenza longitudinale delle livellette, si ha un primo tratto (procedendo da Misterbianco verso la S.S.114) caratterizzato da una livelletta discendente di pendenza pari a circa il 4%, c'è poi un secondo tratto a pendenza del 2%, ed infine una livelletta quasi orizzontale. Il traffico gravante sulla Tangenziale, nella direzione considerata, omogeneizzato mediante opportuni coefficienti correttivi, viene riportato nella figura 14.

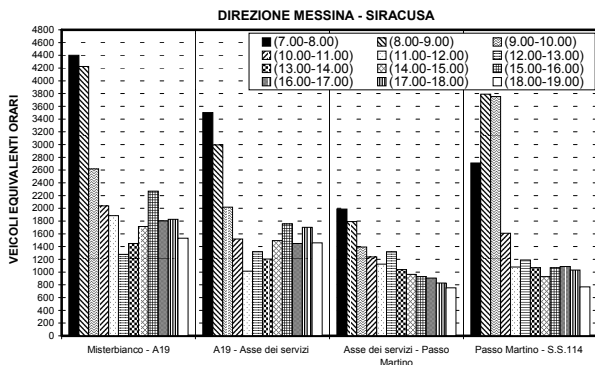


Fig. 14 Veicoli equivalenti sulla Tangenziale di Catania. (direzione ME - SR).

Sul tratto di Tangenziale preso in esame (direzione ME-SR), nel periodo compreso tra il settembre 1992 ed il settembre 1997, si sono registrati 87 incidenti con 108 feriti e 5 morti.

Per condurre l'analisi di incidentalità sull'infrastruttura stradale si è seguito il seguente iter procedurale:

- il tratto di strada considerato è stato diviso in sezioni elementari di lunghezza pari a 0,1 Km;
- la probabilità di accadimento dell'evento incidentale, si è fatta coincidere con la frequenza degli incidenti;
- relativamente alla magnitudo, partendo dalle informazioni relative agli incidenti effettivamente accaduti sulla tratta, si è adottato il seguente criterio di omogeneizzazione: *la magnitudo di un incidente in cui si è verificato un decesso viene posta pari ad otto volte la magnitudine di un sinistro caratterizzato da un ferito*. Tale proporzione scaturisce dalle indagini sulla lesività<sup>(2)</sup> degli incidenti stradali e sul valore finanziario differente sostenuto dalla società. In definitiva, dunque, si è definita una sorta di "magnitudine equivalente".
- analogamente alla magnitudo, anche il valore del rischio (ottenuto dal prodotto della frequenza per la magnitudo) ha assunto la connotazione di un valore equivalente.

I diagrammi riportati nelle figure 15, 16 e 17, sono indicativi dei valori di frequenza, magnitudo e rischio valutati, per il tratto di strada considerato, mediante la procedura esposta.

Si è realizzato anche un grafico cumulativo (Fig. 18) nel quale, al fine di rendere leggibili le varie grandezze rappresentate, si sono introdotti opportuni fattori di scala. Il passo successivo della nostra indagine, è consistito nel calcolo dell'incidentalità fisiologica dell'infrastruttura studiata.

<sup>(2)</sup> Per valutare il rapporto di lesività relativo agli incidenti stradali che si sono registrati in Italia si è fatto riferimento alle statistiche riportate dall'ISTAT, in base alle quali su 2204 incidenti si sono avuti 3750 feriti e 144 morti (1.7 feriti per incidente, 0.06 morti per incidente).

Considerando un traffico omogeneizzato al '92 pari a 1400 veic/h ed ipotizzando un tasso di incremento annuo pari al 5%, nell'arco dei cinque anni scelti come riferimento temporale, si sarà avuto il passaggio, in una direzione, di 35254620 veicoli.

Il valore dell'incidentalità fisiologica vale pertanto:

$$\frac{62.62 * 14}{10^9} * 35254620 = 30.90 \text{ incidenti.}$$

Dai dati a nostra disposizione si evince un numero di incidenti pari ad 87, che risulta ben al di là del valore "fisiologico".

In questo caso, e nei casi analoghi ad esso, il compito dei gestori dell'infrastruttura, deve essere quello di analizzare le sezioni elementari componenti il tracciato, al fine di comprendere in quali di esse si concentrano maggiormente gli incidenti, valutarne la magnitudo, e predisporre le operazioni da intraprendere per diminuire l'entità del rischio.

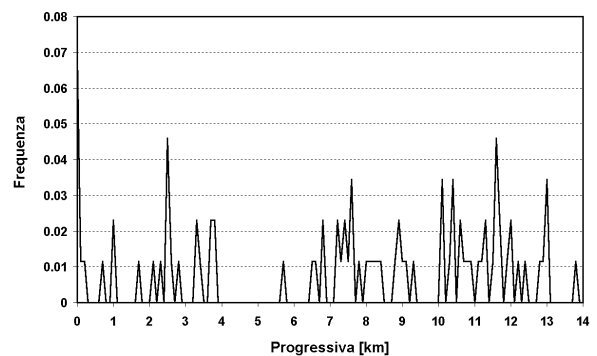


Fig. 15 Frequenza incidentale sulla Tangenziale di Catania. (direzione ME - SR).

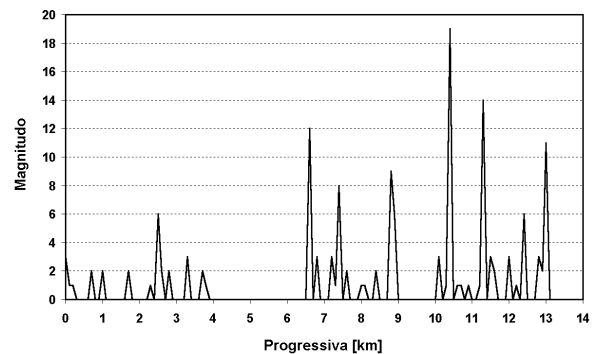


Fig. 16 Magnitudo degli incidenti sulla Tangenziale di Catania. (direzione ME - SR).

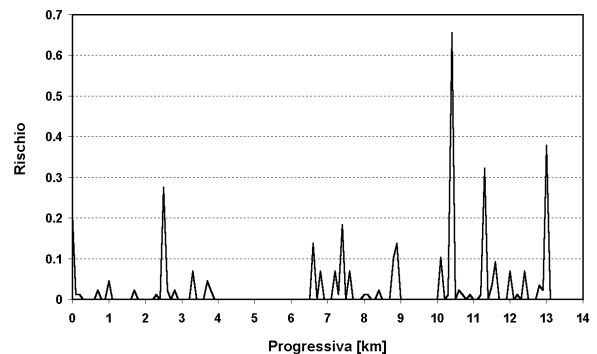


Fig. 17 Rischio di incidentalità sulla Tangenziale di Catania. (direzione ME - SR).



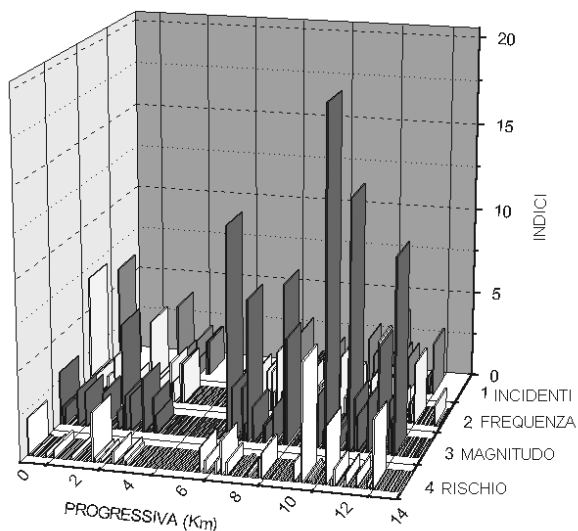


Fig. 18 Grafico cumulativo dei parametri di rischio relativo alla Tangenziale di Catania (direzione ME - SR).

In riferimento al caso esaminato, si deve rilevare come non esista la corrispondenza tra la massima frequenza incidentale ed il massimo rischio; infatti, il valore massimo della frequenza si registra alla progressiva 0, con 6 incidenti (Sez. A), mentre la magnitudo più elevata compete alla progressiva 10.4, con 19 feriti equivalenti (Sez. E). I dati relativi al valore del rischio sono stati ordinati in modo crescente e rappresentati nel grafico di figura 21; congruentemente, nelle figure 19 e 20, sono stati riportati i valori delle frequenze e delle magnitudo.

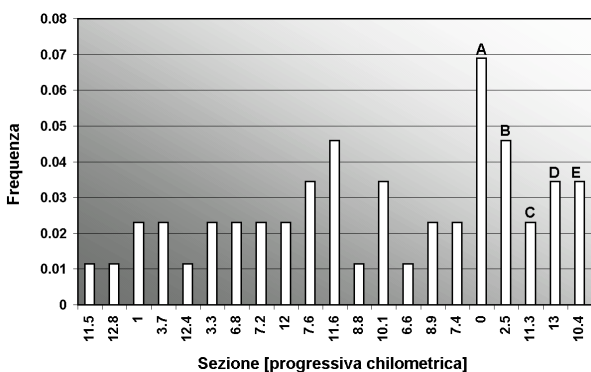


Fig. 19 Frequenza incidentale per le sezioni più significative.

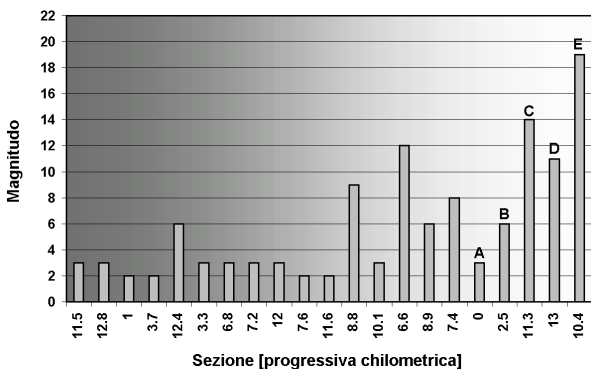


Fig. 20 Valori di magnitudo per le sezioni più significative.

Le considerazioni svolte ai paragrafi precedenti hanno implicitamente evidenziato come, nella maggior parte dei casi, la scelta di un livello di rischio sia determinata da

questioni di ordine politico-gestionale, piuttosto che da motivazioni di carattere tecnico. A titolo di esempio, ammettiamo che l'Ente gestore voglia ritenere ammissibile un rischio valutato sulla Tangenziale Ovest, (con il flusso veicolare attuale sia come entità che come composizione tipologica), pari al valore limite di 0.2; ciò vuol dire che bisogna intervenire sulle sezioni A, B, C, D ed E (e sul loro intorno) mediante interventi mirati alla riduzione della frequenza e/o della magnitudo (Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21).

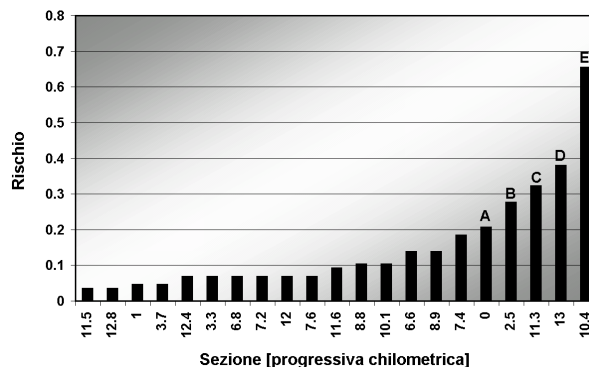


Fig. 21 Sezioni elementari ordinate in base a valori di rischio crescente.

Stabilire un valore del rischio pari a 0.2 (con le condizioni attuali di funzionamento) vuol dire scegliere tra le varie curve di isorischio quella "identificata" dal valore 0.2, il cui algoritmo è rappresentato in figura 22.

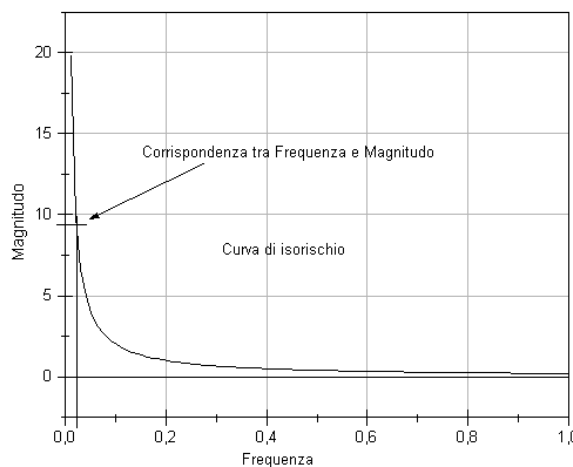


Fig. 22 Esempio di curva di isorischio scelta nel contesto di una famiglia di "curve di indifferenza".

Ipotizziamo di intervenire sulla sezione C, caratterizzata da una frequenza di accadimento dell'evento incidentale pari a 0.022 e da una magnitudo equivalente uguale a 14. La sezione presa in considerazione, posta in rilevato con un'altezza media di 3-4 metri, ha una magnitudo intrinseca classificata come media (Fig. 11); inoltre, i dati di incidentalità rivelano come la maggior parte dei sinistri sia stata causata da velocità eccessive (la sezione C si trova in un tratto in discesa con una pendenza del 4%). Lo studio della incidentalità lungo la tratta ci è servito per evidenziare che tutte le sezioni vicine hanno una frequenza incidentale bassa, per cui è nell'intorno della sezione C, e nelle sezioni precedenti, che si sono accumulati stimoli non idonei per l'attività di guida. E' ovvio, quindi, che per poter ricondurre il livello di rischio al valore di 0.2, si debba intervenire su uno o su

entrambi i parametri che determinano il rischio: la frequenza e la magnitudo.

Se supponiamo che, per qualunque motivo, non risulti conveniente e/o possibile variare la probabilità di accadimento in maniera significativa, si deve necessariamente agire sulla magnitudo.

Il "nuovo" valore della magnitudine (D) è deducibile dalla seguente espressione:

$0.2 = 0.022 * D$ , pertanto:  $D \rightarrow 9$  feriti equivalenti.

La riduzione della magnitudo da 14 a 9 feriti equivalenti, può avvenire attraverso la realizzazione di opere di sicurezza passiva ai margini della carreggiata. Nel caso specifico, anziché installare le barriere di sicurezza, si può pensare alla modifica della pendenza delle scarpate; si tratta di un'operazione favorita dalla collocazione in ambito extraurbano, di costo non eccessivo, e che consente di far variare il grado di magnitudine intrinseca da medio a basso.

Dopo aver ipotizzato le opere di adeguamento, è necessario, tramite l'impiego di software di simulazione, verificare l'efficienza complessiva del sistema strada-veicolo. In questa fase si inserisce la possibilità dell'uso del metodo degli scenari, con il quale si possono individuare varie scene future di funzionamento. Naturalmente le "scene" dedotte dall'applicazione dell'analisi degli scenari saranno molteplici; occorre, pertanto, restringere il campo d'indagine introducendo le condizioni al contorno che caratterizzano le tipologie incidentali di più probabile accadimento.

Nell'esempio appena svolto, si sono ipotizzati interventi mitigativi della magnitudo; si possono presentare casi in cui, però, risulta difficile la variazione della magnitudo della sezione elementare. In queste situazioni occorre agire sulla frequenza incidentale, in modo da ridurre la probabilità di atteggiamenti non corretti da parte dell'utente; a tale scopo possono essere utili tutti quei provvedimenti mirati a "guidare" gli utenti lungo il tracciato: segnaletica (sia verticale che orizzontale), sistemi di gestione dinamica della viabilità. In altri casi, sono pensabili interventi mirati al controllo dei flussi veicolari.

In ogni caso, il fine ultimo degli interventi di adeguamento è quello di garantire un valore costante di rischio lungo l'intera tratta stradale, nella consapevolezza che l'evento incidentale, essendo una componente "fisiologica" dell'attività di guida non è eliminabile, ma "controllabile" nei due parametri che lo definiscono compiutamente: frequenza e magnitudo.

## 8. CONCLUSIONI

Una qualunque infrastruttura deve essere intesa come un meccanismo che, per garantire la massima efficienza, deve funzionare in ogni sua parte.

L'incidente è l'evento temibile di una attività a rischio, che, nel caso stradale, spesso si accompagna alla perdita di vite umane. Lo studio dell'incidentalità intrinseca di una infrastruttura deve essere correttamente collegato alle metodologie dell'analisi del rischio, al fine di ricavare una chiave completa di interpretazione del fenomeno.

Ammettendo che la progettazione stradale si attenga ai canoni di buona progettazione suggeriti dalle norme, l'evento incidentale scaturisce da una concomitanza di fattori spesso non conoscibili e raramente eliminabili.

Se, da un lato, l'utente stradale è portato ad accettare i costi derivanti dai danni materiali subiti dopo un incidente, dall'altro, egli non accetta la perdita delle vite umane. Gli sforzi dei ricercatori del settore, quindi, devono essere indirizzati sempre più verso lo studio di

provvedimenti adatti a contenere gli effetti deleteri dei sinistri, fermo restando l'impegno volto alla riduzione della probabilità di innesco dell'incidente. Tale atteggiamento è quello che stanno attuando le case automobilistiche, le quali attrezzano gli autoveicoli di dispositivi di sicurezza passiva sempre più sofisticati (air-bag, scocca deformabile, interruttore inerziale, ecc.). Le opere di adeguamento funzionale su una strada esistente, dove gran parte delle scelte progettuali sono fatte e non più modificabili, devono scaturire da una accurata valutazione dell'incidentalità, ed essere analizzate attentamente mediante metodi previsionali (come, ad esempio, l'analisi degli scenari) per evitare che esse si rivelino solo capaci di traslare di qualche metro la rischiosità dell'opera.

Le opere di adeguamento devono, dunque, condurre non alla eliminazione degli eventi incidentali, i quali sono una componente intrinseca all'attività di guida, ma al controllo dei valori di frequenza e di magnitudo degli incidenti medesimi, in modo tale da mantenere pressoché costante, ed entro limiti ammissibili, il valore del rischio lungo tutta l'infrastruttura.

## 9. BIBLIOGRAFIA.

- [1] **C.N.R. Norme tecniche - Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale** - B.U. 125/88.
- [2] **A.A.V.V. Effectiveness of highway safety improvements** - John F. Carney III, Editor - ASCE - 1986.
- [3] **G. Boscaïno. La manutenzione programmata della rete viaria** - Giornata di studio - Cagliari - Aprile 1990.
- [4] **G. Camomilla, E. Boccato. La manutenzione programmata** - Riv. Autostrade - Dicembre 1983.
- [5] **S. Canale, F. Nicosia, S. Leonardi. Metodologia di verifica delle curve circolari in base all'analisi del rischio** - Riv. Autostrade - Anno XXXVIII - N. 1 - Gennaio-Marzo 1996.
- [6] **S. Canale, F. Nicosia, S. Leonardi. L'analisi degli effetti esterni come elemento di valutazione delle infrastrutture stradali** - Atti del XXIII Convegno Nazionale Stradale dell'A.I.P.C.R. - Verona - Maggio 1998.
- [7] **S. Canale, F. Nicosia, S. Leonardi. Programmazione degli interventi manutentivi in base ai limiti di budget** - Atti del XXIII Convegno Nazionale Stradale dell'A.I.P.C.R. - Verona - Maggio 1998.
- [8] **M. R. De Blasiis, P. Firmi. L'analisi dell'incidentalità autostradale per la determinazione della soglia fisiologica del rischio** - Riv. Quarry and Construction - N. 3 - Marzo 1998.
- [9] **D. Giombi, M.T. Lucarelli, F. Terranova. Igiene ambientale** - Ed. NIS - 1993.
- [10] **G. Peroni. Manutenzione delle pavimentazioni: sviluppo dei criteri gestionali** - Riv. Autostrade - Ottobre 1987.
- [11] **M. Recchia, P. Giarda. Costi sociali degli incidenti stradali** - Ed. Franco Angeli - 1982.