

PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI MANUTENTIVI IN BASE AI LIMITI DI BUDGET

Sascia Canale

Francesco Nicosia

Salvatore Leonardi

1. PREMESSA

Le infrastrutture stradali sono l'elemento attorno a cui ruota gran parte della mobilità di una nazione. Generalmente esse vengono realizzate con il contributo totale o parziale dello Stato, rappresentando, per tale motivo, beni a forte accessibilità.

La crescente domanda di mobilità, connessa allo sviluppo economico e produttivo ha determinato un notevole incremento di domanda delle risorse, sia per la costruzione che per la manutenzione del sistema infrastrutturale. La gestione della rete infrastrutturale rappresenta un vasto campo di ricerca che ha appassionato molti ricercatori di discipline diverse. Il problema principale che si pone ai gestori è quello della ottimizzazione nella ripartizione dei fondi disponibili per le opere di manutenzione in modo da massimizzare il beneficio della "rete stradale". La ripartizione del budget disponibile deve scaturire da una esatta conoscenza dello stato in cui si trovano i vari rami della rete e non può prescindere dallo studio di una metodologia basata sull'uso delle tecniche multiobiettivo in cui la affidabilità della strada venga tenuto in debito conto.

2. I CRITERI DI PROGETTAZIONE

Il continuo aumento del traffico stradale determina, su tutto il sistema infrastrutturale, seri problemi di durabilità delle opere.

Nelle fasi di progettazione di un'opera, si fa sempre riferimento alla **vita utile**, cioè quel periodo di tempo al di là del quale lo stato di degrado raggiunto dall'opera è tale da renderne necessario il rifacimento.

E' a tutti noto che, durante il moto, il veicolo scambia con la superficie viaria un sistema di forze che gli consente di avanzare e di mantenere le corrette caratteristiche di direzionalità; è pertanto facile intuire come qualsiasi situazione di deterioramento pregiudicante la corretta conformazione del piano viario, possa indurre a problemi di insicurezza e di rischiosità nella circolazione.

Al degrado della sovrastruttura è strettamente connessa la mancanza di sicurezza del trasporto.

Già in fase di progetto è possibile prevedere la funzionalità delle sovrastrutture viarie, tramite l'adozione di adeguati criteri di dimensionamento:

- ⇒ *Criterio di dimensionamento fondamentale*; richiede un forte investimento iniziale, tale da soddisfare i requisiti di funzionalità per tutta la vita utile; al termine di quest'ultima occorre provvedere al rinnovamento degli strati portanti (rifacimento completo della sovrastruttura stradale). Prevede soltanto una manutenzione di tipo ordinario.
- ⇒ *Criterio di dimensionamento progressivo o per fasi*; prevede un investimento iniziale inferiore a quello previsto dal criterio fondamentale, ma necessita di una strategia di manutenzione tale da assicurare la dovuta funzionalità. E' una soluzione che comporta spese di costruzione basse. Gli interventi di manutenzione, di natura ed entità diverse, richiedono invece oneri finanziari, seppur differiti nel tempo, molto elevati.
- ⇒ *Criterio di dimensionamento a manutenzione - zero*; richiede un investimento iniziale di gran lunga maggiore di quello previsto nelle altre soluzioni. Questo criterio si fonda sulla presunzione di assenza totale di manutenzione durante l'arco di tempo fissato in sede di progetto; pertanto, teoricamente, dovrebbe assicurare all'infrastruttura una vita utile praticamente infinita. Nella realtà è sempre necessario un minimo di manutenzione per sanare i difetti puntuali che si riscontrano durante l'esercizio.

In figura 1 è evidenziata la differenza tra i tre criteri di dimensionamento appena descritti.

In ascisse è stato riportato il tempo che intercorre dal momento di inizio-esercizio dell'opera al momento (T_u) del raggiungimento della vita utile; in ordinate viene rappresentato il danno prodotto dal passaggio dei carichi di traffico.

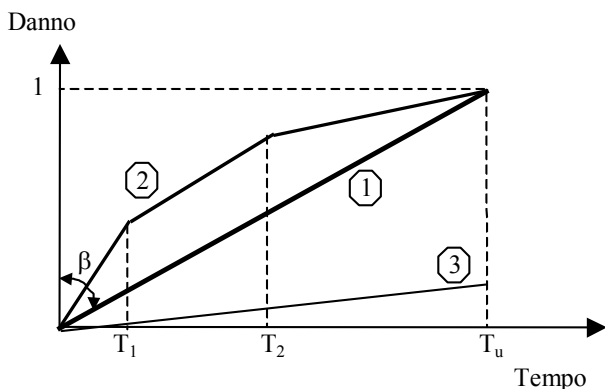


Fig. 1 Criteri di dimensionamento: 1) fondamentale; 2) progressivo; 3) a manutenzione - zero.

L'affidabilità di viaggio è la qualità prioritaria che viene richiesta alla infrastruttura; una infrastruttura è tanto più affidabile quanto più è alta la probabilità che il moto del veicolo si svolga in sicurezza.

L'applicazione dei criteri della matematica finanziaria alla progettazione e gestione della rete stradale risulta indispensabile per ottenere la massima efficienza nell'impiego delle risorse. Nella fase progettuale è indispensabile valutare i costi da sostenere sia per la realizzazione dell'opera che per gli interventi di manutenzione durante la vita della infrastruttura.

Una approfondita analisi delle alternative progettuali dovrebbe essere effettuata analizzando anche i costi da sostenere per la funzionalità dell'opera.

La progettazione stradale spesso non viene effettuata tenendo conto delle previsioni future di spesa, perché abitualmente le opere vengono realizzate mediante leggi di finanziamento particolari e poi trasferite agli enti gestori che si trovano ad incamerare opere per le quali è necessario inserire nel loro bilancio gli oneri per la manutenzione.

E' utile ribadire che la funzionalità di una infrastruttura stradale è strettamente connessa con la efficienza della sua sovrastruttura. Una corretta ripartizione del budget per la manutenzione stradale deve cercare di massimizzare gli effetti sulla rete.

2. II BILANCIO

La corretta attività di gestione delle risorse pubbliche deve ispirarsi ai criteri e metodi della "programmazione" in modo che possa efficacemente razionalizzare le risorse finanziarie disponibili tra i vari settori di intervento.

La predisposizione dei progetti da parte delle amministrazioni pubbliche va inquadrata in uno schema

generale di **pianificazione, programmazione e bilancio**. La programmazione della spesa pubblica rappresenta l'occasione per fondere insieme attività tecniche ed economiche al fine di razionalizzare il processo decisionale inerente all'allocazione delle risorse e delle scelte pubbliche nel loro complesso. Purtroppo le metodologie di programmazione non sono state pienamente applicate in Italia sia livello statale che locale, ostacolando l'utilizzo razionale e pertinente delle risorse; inoltre questa mancata applicazione non ha consentito il passaggio ad una gestione ottimale dei progetti, che è la condizione necessaria affinché la valutazione dei progetti non costituisca una operazione avulsa dall'intero processo di identificazione, realizzazione e gestione degli interventi.

La spesa sostenibile deve essere lo strumento capace di consentire una integrazione tra politica degli investimenti e corretti comportamenti amministrativi in materia di spesa pubblica. In un modello di *programmazione della spesa pubblica*, il bilancio assume il ruolo di strumento di programmazione, cioè di strumento che deve assicurare le condizioni finanziarie necessarie affinché le scelte programmatiche possano essere attuate, ciò almeno per due motivi:

- 1) in primo luogo, la identificazione degli interventi pubblici da realizzare con i singoli progetti non deve svolgersi in modo frammentato e scoordinato, ma in funzione di programmi individuati, quindi di obiettivi da perseguire e di esigenze sociali da soddisfare che vengono considerate prioritarie dall'autorità pubblica;
- 2) in secondo luogo, il processo di formazione del bilancio deve assicurare una ripartizione globale e coerente delle risorse finanziarie disponibili tra i vari settori di intervento.

Il ruolo di coordinamento che la programmazione della spesa pubblica deve svolgere nei riguardi dell'attività progettuale si ispira al modello classico e noto in letteratura come PPBS (Planning Programming and Budgeting System), che si articola nelle seguenti tre fasi:

- a) una fase di **pianificazione strategica**, in cui vengono stabiliti gli obiettivi che l'autorità pubblica intende perseguire e come perseguirli;
- b) una fase di **programmazione**, in cui gli obiettivi e le scelte programmatiche vengono tradotte in azioni specifiche da realizzare perché essi possano essere perseguiti;

c) una fase di **bilancio**, in cui vengono predisposti i documenti che autorizzano la gestione finanziaria, cioè a porre in essere tutte le procedure necessarie all'acquisizione delle entrate e alla erogazione delle spese per realizzare gli interventi previsti.

Il bilancio pluriennale raccordato al programma di sviluppo diventa di orientamento alla attività di identificazione degli interventi pubblici che con i progetti devono essere realizzati, così da essere certi che con essi vengono perseguiti gli obiettivi selezionati a livello macroeconomico nel modo più conveniente sul piano finanziario e sociale.

In secondo luogo, il bilancio pluriennale deve servire ad assicurare la copertura finanziaria dei costi non solo di investimento ma anche di gestione che le opere pubbliche realizzate con i progetti possono comportare. Spesso l'attività progettuale per la realizzazione di investimenti pubblici è prevalentemente stimolata da risorse finanziarie straordinarie ed aggiuntive che vengono messe a disposizione delle amministrazioni pubbliche (o a costo zero o a costo minimo). La copertura dei costi futuri è sempre considerata un aspetto secondario o irrilevante, per cui ci si dimentica spesso dei costi necessari per la gestione e di quelli di manutenzione ordinaria e straordinaria, che per certe opere pubbliche risultano abbastanza consistenti.

3. VALUTAZIONE DI UN INVESTIMENTO

Nella valutazione di un investimento nasce l'esigenza di effettuare analisi e verifiche che vanno al di là del semplice controllo del flusso monetario connesso all'investimento. Le attuali norme sulle opere pubbliche prevedono l'uso dell'analisi costi-benefici, come metodologia discriminante nella realizzazione dei progetti.

L'analisi costi-benefici, nelle sue linee generali, è un metodo di valutazione dei progetti pubblici in funzione dei risultati ottenibili e dei loro costi. Essenzialmente si tratta di confrontare una o più proposte d'investimento con l'ipotesi di lasciare la situazione immutata. La difficoltà di analisi dei progetti è connessa alla necessità di valutare in modo soddisfacente la situazione attuale per tentare di individuare le priorità di investimento magari basandosi su alcuni parametri econometrici.

Occorre rilevare che l'investimento pubblico, a differenza di quello privato avente come obiettivo primario la redditività dei capitali impiegati, non viene intrapreso

soltanto a scopo di acquisire entrate monetarie a vantaggio dell'amministrazione interessata, ma soprattutto per gli incrementi di reddito a favore della collettività.

4. REALIZZAZIONE DI UN PROGETTO

Dopo la fase progettuale si passa alla fase della valutazione, con la quale occorre determinare se il progetto risulta economicamente conveniente.

Se esistono, come è auspicabile, più alternative tecniche da porre a confronto per la realizzazione dello stesso intervento, la valutazione consente di determinare quale delle alternative tecniche risulta più conveniente.

La valutazione dei progetti può schematicamente essere suddivisa in due fasi:

- 1) **una valutazione finanziaria**, in cui vengono quantificati e confrontati i costi ed i benefici finanziari del progetto. Questa fase termina con la messa a punto di uno o più indici di convenienza finanziaria (valore attuale netto, rapporto benefici costi, tasso di rendimento interno e così via) che consentono di decidere in prima istanza sulla convenienza del progetto;
- 2) **una valutazione economica**, in cui il progetto e le sue alternative vengono valutati in funzione degli obiettivi ritenuti rilevanti ed eventualmente prefissati (ad esempio, riduzione del tasso di disoccupazione, degli squilibri territoriali e così via).

In questo caso, i dati finanziari vengono trasformati tutti o in parte in dati aventi un significato prevalentemente economico, sulla base di coefficienti che riflettono il grado di importanza attribuito ai diversi obiettivi, noti come prezzi ombra e parametri nazionali.

Anche la valutazione economica termina con la determinazione di uno o più indici di redditività, che diventano poi quelli rilevanti ai fini della decisione. Ipoteticamente, questi indici consentono anche di formulare una graduatoria tra i progetti presentati sulla base del loro maggiore o minore attributo al perseguimento degli obiettivi macro.

Una delle caratteristiche peculiari dell'analisi costi-benefici è la separazione fra analisi finanziaria ed analisi economica, che pur avendo entrambe l'obiettivo della determinazione del flusso attualizzato dei benefici e costi relativi ad un dato investimento, partono da differenti punti di vista, quello del singolo per la prima e quello della collettività per la seconda. Da un punto di vista

economico-sociale, non interessa il profitto monetario in senso stretto, quanto piuttosto i vantaggi apportati alla società dalla realizzazione dell'intervento in questione, e gli effetti sull'economia in generale.

L'analisi costi-benefici, per poter essere applicata al caso di un asse di comunicazione, richiede la disponibilità di input riconducibili alla previsione dei flussi di traffico su una opportunamente definita rete di comunicazioni, della quale quell'asse è parte, e per un convenientemente lungo periodo di tempo futuro.

Le opzioni progettuali tecnicamente possibili vengono valutate e classificate in ragione del beneficio netto che esse producono in termini di minori costi e maggiori benefici sociali rispetto all'ipotesi di non intervento o ipotesi neutra, attraverso il calcolo dei relativi Valori Attualizzati Netti (VAN), secondo l'espressione:

$$VAN = C^{\circ}ut + C^{\circ}es - [Cut + Ces + K - Vr]$$

in cui:

- $C^{\circ}ut$ = valore attualizzato del costo complessivo di utenza nell'ipotesi neutra;
- $C^{\circ}es$ = valore attualizzato del costo di esercizio delle infrastrutture nell'ipotesi neutra;
- Cut = valore attualizzato del costo complessivo di utenza nell'alternativa progettuale considerata;
- Ces = valore attualizzato del costo di esercizio delle infrastrutture nell'alternativa progettuale considerata;
- K = valore attualizzato del flusso temporale dei capitali di investimento;
- Vr = valore residuo attualizzato dell'alternativa progettuale considerata.

La convenienza economica relativa alla realizzazione di un progetto stradale viene mutuata da un'analisi che verifichi essere il costo dell'investimento (esborso a breve termine) in grado di determinare nel medio-lungo periodo (30 anni) un conveniente ritorno - in termini economici - sotto forma di ridotti costi di trasporto per l'utenza già in essere (minori tempi di percorrenza; minori consumi di carburanti, di lubrificanti, di pneumatici ecc.) e di utilità degli utenti marginali, indotti ad effettuare nuovi viaggi dalle migliorate condizioni di circolazione (conseguenti all'attuazione degli interventi previsti nel progetto stesso).

Il calcolo di entrambe le voci di costo passa attraverso la valutazione delle velocità di spostamento possibili su ogni arco della rete considerata nello studio, potendosi

associare ad essa sia i consumi in termini di litri (benzina o gasolio)/km, sia i tempi di viaggio.

Oltre alle voci di costo direttamente e facilmente valutabili, rivestono un ruolo particolare anche alcune categorie di benefici per gli utenti (riduzione dei rischi, maggiore comfort, ecc.) che dovrebbero entrare pesantemente nell'applicazione delle metodologie dell'analisi costo benefici.

È ragionevole, comunque, supporre che una stima soddisfacente di questi effetti, strettamente dipendenti dai fenomeni di congestione e di degrado della sovrastruttura richieda come input l'andamento nel tempo del flusso veicolare, della velocità e della distanza media tra i veicoli (cioè della densità veicolare).

L'applicazione delle metodologie proprie dell'analisi costo benefici dovrebbe essere costantemente effettuata durante la vita utile di una infrastruttura come elemento discrezionale di verifica della funzionalità. La valutazione continua dei costi di percorrenza dovrebbe servire per verificare lo stato di salute dell'infrastruttura.

Peculiarità fondamentale della infrastruttura stradale è quella di consentire una alta velocità di spostamento. Quando tale prerogativa comincia a decadere (sia per problemi connessi alla congestione che per problemi di ammaloramento) è indispensabile intervenire.

Nel campo infrastrutturale, dove l'evoluzione dei fenomeni risulta difficilmente controllabile (per le connessioni con l'ambiente sociale, l'evoluzione degli autoveicoli, gli incrementi di traffico, le deviazioni, il sorgere di nuovi poli attrattori) è necessario che tutto il sistema infrastrutturale venga monitorato mediante tecniche evolute capaci di effettuare costantemente la diagnosi di funzionamento.

Dopo la fase di cantiere inizia, per le opere realizzate, la fase della "vita utile" dell'intervento. In tale fase il progetto deve soddisfare tutte le aspettative che la comunità vi aveva riposto. Per fare questo è indispensabile che l'ente gestore si impegni ad effettuare tutte le opere necessarie per mantenere alta l'affidabilità del sistema.

Per i progetti pubblici la struttura amministrativa ha l'onere del reperimento dei fondi per la gestione e della loro ripartizione.

Bisogna distinguere, per tutta o buona parte delle opere pubbliche, tra costi di gestione ordinaria, cioè le spese correnti per assicurare la manutenzione ordinaria e quindi il funzionamento delle opere, che originano un

flusso di spesa continuo, e costi di gestione straordinaria, cioè la manutenzione appunto straordinaria per sostituire a scadenze più o meno prefissate parti delle opere e quindi reintegrare l'immobilizzo iniziale. Queste ultime spese si configurano come ulteriori investimenti di capitale che si rendono necessari per garantire la funzionalità dell'investimento principale.

Gli investimenti di capitali occorrenti per il corretto funzionamento delle opere dovrebbero essere garantiti fin dalla fase della progettazione imponendo che nell'entità del finanziamento venga aggiunta una voce relativa agli oneri per il rifacimento di elementi che degradano nel tempo (ad esempio la pavimentazione stradale).

Si potrebbe pensare ad una soluzione in cui il finanziamento dell'opera consenta di conglobare anche i costi di gestione straordinaria, mentre i costi di manutenzione ordinaria risultino a carico dell'ente proprietario.

Tutti questi aspetti devono essere risolti a monte. Se non viene prestata ad essi particolare attenzione, viene compromessa fin dall'inizio la funzionalità stessa del progetto.

5. I PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE SOVRASTRUTTURE STRADALI

Ogni ente proprietario di una rete stradale deve conoscere la funzionalità del suo sistema per poter programmare gli interventi manutentivi. Purtroppo, ancora oggi, la cultura della manutenzione non è profondamente radicata. Troppo spesso le opere manutentive vengono eseguite in ritardo oppure sono effettuate per eliminare l'imminente stato di pericolo.

In genere, la funzionalità di una sovrastruttura stradale in conglomerato bituminoso (che rappresenta la tipologia maggiormente diffusa in Italia) è esprimibile attraverso una funzione $f(P,R,U)$ della portanza, della regolarità, e dell'aderenza.

I parametri, P,R,U , sono strettamente correlati fra loro, ed anche con il tempo di esercizio (in particolare sono funzioni decrescenti con esso).

E' quindi lecito, schematizzare i parametri P, R, U e la funzionalità F in funzione del tempo di esercizio (fig. 2). Tale dipendenza dal tempo, è strettamente legata a diversi fattori, quali: il decadimento delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali utilizzati (dovuto al

loro invecchiamento), all'accumularsi di deformazioni plastiche (dovute al continuo ripetersi dei carichi), alle continue variazioni delle condizioni ambientali (come il gelo e il disgelo primaverile, che possono provocare dissesti strutturali riconducibili ad un immediato degrado della portanza).

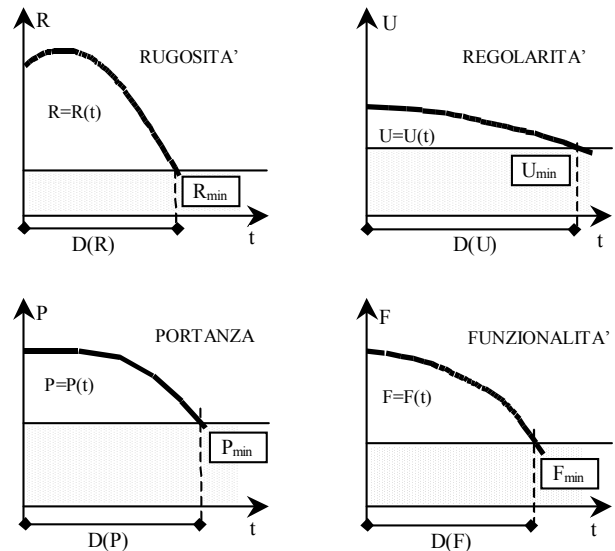


Fig. 2 Curve di decadimento degli indicatori di stato P, R, U e della funzionalità F .

È indispensabile, per poter caratterizzare le funzioni, $U = f(t), R = f(t), P = f(t), F = f(t)$, conoscere la composizione del traffico futuro, le variazioni climatiche delle varie zone interessate, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali impiegati.

Dall'analisi dei diagrammi di figura 2 si evince che dopo un certo tempo, i valori degli indicatori di stato, e direttamente, anche la funzionalità della sovrastruttura, raggiungono livelli non più accettabili per la sicurezza e il comfort degli automobilisti; ne scaturisce, che per conoscere il degrado a cui è soggetta una sovrastruttura durante il suo esercizio, bisogna monitorare con opportune tecnologie, l'andamento nel tempo degli indicatori di stato.

5.1 La rugosità

L'incremento incessante del traffico e lo sviluppo della circolazione mettono continuamente in evidenza la necessità della ricerca e della realizzazione pratica di manti stradali ad elevata rugosità superficiale, soprattutto per le elevate potenze che vengono installate sui moderni veicoli, impegnando in maniera sempre maggiore il mutuo contatto tra pneumatico e strada.

La rugosità di un piano viabile è l'attitudine necessaria a fornire in ogni condizione, sia atmosferica che di guida, una adeguata aderenza al contatto pneumatico-strada. Essa è legata alle caratteristiche fisiche delle miscele costituenti quella parte dello strato superficiale rappresentata dallo strato di usura.

Infatti, la rugosità, dipende dalle asperità presenti sulla superficie di rotolamento di una pavimentazione.

Queste asperità possono essere classificate in microrugosità e macrorugosità. La macrorugosità dipende dall'insieme delle asperità superficiali intergranulari, la microrugosità è invece legata alla scabrezza dei singoli elementi lapidei che compongono la miscela (Fig. 3).

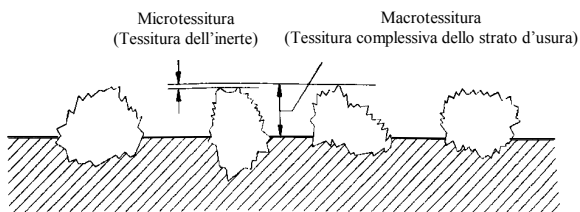


Fig. 3 Microrugosità e macrorugosità delle pavimentazioni stradali.

In sintesi, la rugosità condiziona sia il massimo sforzo di trazione (e di conseguenza la massima potenza utilizzabile dal veicolo), che le distanze di arresto e di sorpasso e le massime pendenze superabili.

Nel contatto fra pneumatico e pavimentazione, si manifesta il fenomeno dell'aderenza, definibile come quel meccanismo in virtù del quale una ruota in moto di rotolamento trasmette al terreno, attraverso le zone di reciproco contatto, tre sistemi di forze: forze normali, forze trasversali, forze dirette nella direzione del moto.

Il valore dell'aderenza fra due superfici può essere espresso come somma di due termini: $T = T_1 + T_2$.

Il primo (T_1) è dovuto al fenomeno dell'adesione molecolare (stick-slip process), che si basa sulla rottura delle giunzioni createsi tra le due superfici a contatto, e viene definito col termine di "Componente Adesiva". Esso è legato direttamente alle aree reali di contatto fra gomma e superficie, e quindi alla microrugosità.

Il secondo termine (T_2) si sviluppa in virtù delle proprietà d'isteresi della gomma. Infatti la gomma, rotolando su una superficie molto più dura, si deforma, creando una distribuzione asimmetrica di pressioni, la cui componente orizzontale si oppone allo slittamento.

5.2 La regolarità

La regolarità si può definire come quella caratteristica superficiale la cui misura indica il mantenimento della quota dei piani di progetto ossia la continuità del profilo in tutte le direzioni.

La regolarità di una superficie stradale, al contrario della rugosità, è indipendente dalle qualità intrinseche dello specifico strato di rotolamento, risultando determinata dalle caratteristiche dell'intero corpo stradale (notoriamente stratificato).

Essa condiziona notevolmente il comfort di marcia. Le irregolarità superficiali fanno aumentare le resistenze al moto, inducono movimenti anomali al veicolo a scapito della tenuta di strada e della capacità del guidatore di condurre il mezzo in condizioni di sicurezza.

Le irregolarità, anche se non sempre percettibili dall'utente, generano incrementi del carico ed azioni dinamiche, favorendo, soprattutto nel caso di transito di veicoli pesanti, il consumo strutturale della pavimentazione; in questo modo, il processo di degradazione rischia di autoalimentarsi, traendo "energia" dall'azione del traffico. Inoltre, le vibrazioni indotte sul veicolo minacciano dapprima il comfort e poi la sicurezza dell'utente.

Le perdite di regolarità sono causate generalmente da cedimenti delle fondazioni e del sottofondo, da assestamenti interni della sovrastruttura, da deformazioni del manto superficiale.

Le degradazioni conseguenti all'esercizio della sovrastruttura, possono sintetizzarsi in ondulazioni longitudinali e trasversali, deformazioni trasversali (ormae), depressioni localizzate, avvallamenti, alterazioni delle pendenze trasversali, fessurazioni e buche.

In definitiva, oltre a diminuire l'attenzione dell'utente e la sua percezione della strada, le irregolarità della superficie hanno influenza anche sul livello di sicurezza indotto, in quanto modificano notevolmente "l'offerta di aderenza", sia per la formazione di pozzanghere, sia perché le oscillazioni del veicolo inducono variazioni, positive ma anche negative, del peso aderente.

5.3 La portanza

La portanza di una pavimentazione viene definita come l'attitudine della stessa a reagire alle sollecitazioni indotte dai carichi marcianti, senza che le conseguenti

deformazioni raggiungano entità tali da comprometterne la funzionalità.

Lo stato deformativo della superficie è rappresentativo della capacità portante della intera struttura e non di un singolo strato. Essa dipende dagli spessori adottati, dalla natura dei materiali impiegati e dalle modalità di messa in opera; dipende altresì dalle condizioni ambientali, per l'influenza che queste hanno sulle caratteristiche meccaniche di alcuni strati (ad esempio, la temperatura per gli strati bitumati, la presenza di umidità ed il gelo per gli strati granulari).

A parità di struttura e di condizioni esterne, la risposta di una pavimentazione è funzione, (peraltro non sempre lineare), dell'entità del carico, ma subisce l'influenza anche delle modalità di applicazione dello stesso (carico statico o dinamico, superficie e forma dell'area di trasmissione delle pressioni, ecc.).

Per passare quindi da una definizione di portanza in termini qualitativi, ad una valutazione idonea a fornire indicazioni utilizzabili per l'esecuzione di confronti con le soglie di accettabilità, è necessario istituire circostanziate specifiche circa le modalità di rilievo e misurazione.

Occorre pertanto definire le configurazioni dei carichi convenzionali cui far dipendere le deformazioni massime conseguenti, riferite, a loro volta, ad una serie di punti situati a diversa distanza dall'area di carico (costituenti il cosiddetto bacino di deflessione).

Conseguenze del decadimento della capacità portante di una sovrastruttura, sollecitata a fatica dai carichi di esercizio e dagli agenti ambientali, sono una serie di degradazioni (sfondamenti, ondulazioni longitudinali, alterazioni delle pendenze trasversali, risalita di materiali fini).

6. DEGRADO DEGLI INDICATORI DI STATO

I tre indicatori di stato (regolarità, rugosità e portanza), che subiscono degrado durante l'esercizio della sovrastruttura, possono, nell'arco della loro "vita", attingere a limiti non più accettabili per il normale funzionamento della sovrastruttura.

Questi limiti possono essere rappresentati dagli intervalli di tempo necessari affinché ogni singolo indicatore raggiunga un valore inaccettabile per la sicurezza e il comfort degli utenti.

Se indichiamo con $D(U)$, $D(R)$ e $D(P)$, tali intervalli temporali (Fig. 2), possiamo definire con il termine $D(F)$

ottenuto come $D(F) = \min [D(U), D(R) \text{ e } D(P)]$, quel particolare intervallo di tempo che porta al manifestarsi della perdita di funzionalità della pavimentazione

Questi intervalli temporali hanno una profonda influenza sulle decisioni progettuali, sul concetto di Vita Utile, e quindi sulle soglie minime di accettazione per i singoli indicatori di stato.

Viene individuato col termine di "Vita Utile" di una pavimentazione stradale, il tempo a partire dall'entrata in servizio, trascorso il quale la sovrastruttura non è più in grado di svolgere il compito che le è stato assegnato.

Risulta quindi di fondamentale importanza introdurre il concetto di "Intervento di Manutenzione", con il quale si intende quel particolare procedimento che permette di risanare i valori degli indicatori di stato, in modo da far riacquistare alla sovrastruttura la relativa funzionalità.

Per definire i valori delle "soglie minime" dei singoli indicatori di stato, si può fare riferimento a quanto riportato nel B.U.125 del CNR.

Nelle Istruzioni del CNR, si definiscono, per ogni Indicatore di Stato (I.d.S.), i seguenti livelli (Fig. 4):

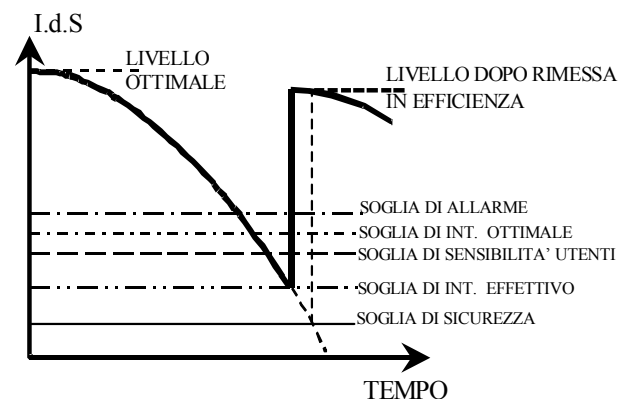


Fig. 4 Schematizzazione dei livelli di degradazione e delle possibili soglie di intervento per un generico indicatore di stato (Istruzioni CNR – B.U. 125).

- ◆ **livello ottimale di partenza** a cui corrisponde un valore dell'I.d.S. pari a quello di una strada nuova o ripristinata ad un voluto livello.
- ◆ **livello o soglia di allarme** in cui l'I.d.S. mostra un valore tale da segnalare la necessità di un intervento manutentorio.
- ◆ **livello o soglia di sensibilità** dell'utente, raggiunto il quale l'utente mostra segni evidenti di malessere (soprattutto dal punto di vista del comfort) in quanto comincia ad avvertire l'eccessivo degrado della sovrastruttura.

- ◆ **livello o soglia di sicurezza**, in cui l'I.d.S. raggiunge valori decisamente compromettenti per la sicurezza della guida.

Tra queste zone così definite si collocano altri due livelli:

- **livello o soglia di intervento ottimale** che corrisponde al momento di intervento in cui si prevede il minimo costo sociale.
- **livello o soglia di intervento effettivo** che corrisponde all'effettivo istante in cui si mette in atto l'intervento manutentorio.

Nelle norme del CNR, vengono individuate tutte quelle operazioni ed azioni atte a tutelare e sorvegliare la funzionalità e la vita utile del bene stesso e che non si identificano con veri e propri interventi fisici sulla struttura. Si tratta di interventi che, pur mantenendo la funzionalità della sovrastruttura, non alterano le leggi di decadimento dei singoli indicatori di stato. Tipici esempi di questo tipo di azioni sono: l'assistenza ed il controllo del traffico, le operazioni di pulizia, il servizio invernale (quale lo spandimento del sale sul ghiaccio, l'allontanamento della neve dal piano viabile, ecc.).

In particolare, le Norme CNR propongono la seguente classificazione:

A) **Lavori di manutenzione ordinaria:** tutti quegli interventi che non modificano il progetto originario e che conservando o ripristinando il bene, gli conferiscono quelle caratteristiche previste all'atto della sua realizzazione. Rientrano nella manutenzione ordinaria quegli interventi che riportano gli indicatori di stato a valori prossimi a quelli iniziali, cioè tutti quelli già programmabili nella fase progettuale.

B) **Lavori di manutenzione straordinaria:** quelli che, pur finalizzati al ripristino della funzionalità del patrimonio, presentano modifiche tali da comportare un miglioramento qualitativo e/o quantitativo delle opere costituenti il patrimonio stesso. Questi tipi di interventi richiedono quindi la stipulazione di un nuovo progetto (anche se parziale).

E' a questo punto opportuno prendere in esame, in maniera sintetica, i criteri da eseguire per la realizzazione delle opere di manutenzione: il concetto base è quello (ovvio) di ottenere la massima vita utile con la minore spesa possibile; pertanto, gli interventi da effettuare risulteranno di volta in volta diversi a seconda degli ammaloramenti.

Nel caso degli strati legati a bitume possiamo distinguere due tipologie di ammaloramenti che si presentano con maggiore frequenza:

- ammaloramenti dovuti a fatica;
- ammaloramenti dovuti a deformazioni viscoplastiche.

Gli ammaloramenti da fatica possono presentare diversi aspetti:

Degradazione dell'intero pacchetto legato: in questi casi appaiono lesioni in superficie, dapprima lineari poi, col procedere dei passaggi di mezzi pesanti, in forma reticolare. Attraverso queste lesioni, nelle stagioni piovose, avviene la penetrazione di acque e successiva risalita di fanghiglia degli strati non legati ed il processo si evolve rapidamente fino ad assumere caratteristiche di sfondamento con deformazione del profilo trasversale della pavimentazione.

I fenomeni appena descritti possono essere attribuiti alla rottura per fatica delle sovrastrutture al termine della loro vita utile, dopo un certo numero di passaggi di mezzi pesanti (i veicoli leggeri si possono considerare ininfluenti per questo tipo di rottura). E' importante, in questo contesto, tener conto della portanza della sovrastruttura infatti, per insufficienti valori di portanza della fondazione non legata, in presenza di carenze dimensionali o qualitative, con fenomeni di risalita d'acqua per mancanza o cattiva esecuzione di drenaggi, il numero di passaggi di mezzi pesanti può risultare enormemente ridotto. In ogni caso tutte le sovrastrutture flessibili pervengono prima o poi a questo tipo di rottura che rappresenta il loro stato finale.

Nell'ambito delle tecniche di previsione del decadimento per fatica delle sovrastrutture stradali, si deve osservare l'oggettiva difficoltà di ricavare leggi il più attendibili possibile: infatti, mentre è possibile stabilire l'ordine di grandezza delle deformazioni indotte dal traffico nei vari punti della sovrastruttura, non si è ancora a conoscenza del numero di passaggi effettivo che porta a rottura i materiali, vista l'enorme quantità dei parametri in gioco (fenomeno di autoriparazione dei conglomerati, temperature, velocità e frequenze del traffico pesante).

Nel caso in cui le lesioni sono arrivate allo stadio di risalita di fanghiglia o di sfondamento, l'intervento ottimale è quello della sostituzione del pacchetto; ogni altro tipo di intervento sarebbe destinato, in un tempo più o meno breve, all'insuccesso.

Circa l'estensione dell'intervento, si deve tener presente che dall'apparire delle prime lesioni capillari alla fase di sfondamento possono intercorrere anche uno o più anni, in dipendenza dello stato delle fondazioni e dei volumi di traffico presenti.

E' buona norma pertanto cercare di sfruttare la vita utile residua di tali sovrastrutture prima di procedere alla loro sostituzione integrale.

Una volta decisa la sostituzione dell'intero "pacchetto" legato a bitume, la sovrastruttura da ricostruire dovrà avere una maggiore portanza rispetto alla prima: ciò per i seguenti motivi:

- il misto granulare di fondazione ha subito le vicissitudini atmosferiche e del traffico per molti anni, per cui manifesterà, con molta probabilità, ridotte caratteristiche di portanza (frantumazione ed arrotondamento degli inerti, decompressione, dilavamento delle parti fini, ecc.);
- la sovrastruttura non costituisce più un corpo unico per via della demolizione, la quale inoltre sicuramente ha indebolito le parti ai fianchi dello scavo;
- il traffico che la nuova sovrastruttura deve sopportare è già quello a regime ed interesserà immediatamente e non gradualmente la struttura stessa.

La gamma delle soluzioni possibili è molteplice in funzione dello spessore disponibile per il nuovo dimensionamento e della natura delle fondazioni e sottofondazioni esistenti.

Si può pensare di realizzare l'adeguamento aumentando lo spessore della struttura legata a bitume a spese degli spessori di fondazione, oppure sostituendo la fondazione con altra di superiori prestazioni oppure combinando le due soluzioni in maniera da pervenire al migliore risultato complessivo.

Le tecniche manutentorie si stanno evolvendo verso la stabilizzazione a cemento (o meglio con scorie d'altoforno) in situ del misto granulare preesistente, per spessori di 15-20 cm; questa tecnica va a vantaggio sia di una maggiore durata a fatica, sia per rendere più agevoli le operazioni in autostrade aperte al traffico evitando ulteriori movimenti di materiale.

Nel caso in cui vengano rilevate infiltrazioni d'acqua negli strati di fondazione e nelle basi di appoggio delle sovrastrutture, è assolutamente necessario far precedere ai lavori, opportune opere di drenaggio.

Degradazione degli strati superficiali legati a bitume: Si manifesta in genere sugli strati di rafforzamento (usura o usura e binder) posti in opera sulla sovrastruttura originale. Dipende normalmente dalla differenza tra i moduli di elasticità (salto di rigidità) fra i nuovi strati e la sovrastruttura preesistente, unita al fatto che molto spesso i primi non sono perfettamente uniti alla seconda; in questo modo alla base degli strati di rafforzamento vengono indotte dal traffico sollecitazioni di trazione molto più elevate di quelle che nascerebbero, più in basso, se il pacchetto lavorasse come un tutto unico; la rigidezza influisce per via del fatto che le deformazioni sono imposte dal pacchetto originario e possono essere superiori o vicine al limite di rottura del conglomerato di rafforzamento.

Questo tipo di degradazione si manifesta con lesioni reticolari diffuse, le quali, a processo avanzato, si infittiscono provocando, specialmente nelle stagioni piovose, distacchi parziali del tappeto con formazione di buche.

Gli interventi di manutenzione si limiteranno, in questi casi, ad asportazioni con frese della fascia di usura compromessa con sostituzione a mezzo di un nuovo tappetino di usura.

Questi interventi riguarderanno in genere la sola corsia di marcia per una lunghezza di circa 4 m (in funzione della dimensione delle macchine fresatrici riscaldanti) avendo cura di far cadere i nuovi giunti longitudinali al di fuori delle fasce battute dal traffico ed eliminando, possibilmente, i vecchi giunti ammalorati.

Le deformazioni visco-plastiche (ormai) si manifestano nella zona di passaggio delle ruote dei veicoli pesanti ed hanno origine dal comportamento visco-plastico del conglomerato bituminoso di rafforzamento. Questo comportamento risulta essere esaltato da una serie di fattori concomitanti quali: elevata percentuale di bitumi ad alta penetrazione e forte suscettività termica, aggregati tondeggianti, scarso costipamento dei materiali, elevate temperature di esercizio, frequenza e velocità dei carichi pesanti.

Le deformazioni permanenti possono nascere sia per l'accumulo di molte piccole deformazioni residue (causate dal comportamento viscoso del materiale) sia per scorrimento del conglomerato al passaggio anche di pochi carichi molto forti, che vincono la resistenza di attrito del materiale (comportamento plastico).

Il fenomeno della formazione delle ormaie può anche essere provocato dall'insufficiente compattazione degli strati. Si presentano purtroppo di frequente i casi in cui, per diverse ragioni, vengono impiegate tecniche di compattazione non idonee o insufficienti a garantire il corretto addensamento dei conglomerati; in queste situazioni, il traffico pesante completa successivamente la compattazione nelle fasce battute, provocando ormaie da assestamento che, diversamente a quanto accade per altri fenomeni viscosi, una volta raggiunto l'addensamento massimo si stabilizzano.

In presenza di questo tipologia di ammaloramento occorre procedere, preliminarmente, all'estrazione di tasselli trasversali di adeguate dimensioni; dall'esame della sezione del tassello sarà facile determinare gli strati coinvolti.

Se la deformazione interessa il solo strato di usura, l'unico intervento possibile è la sostituzione della stessa con l'impiego delle demolitrici a fresa.

Se l'ammaloramento riguarda anche il binder e la base, il provvedimento più adeguato consisterà nell'effettuare una colmata della ormaia superficiale con conglomerati di piccola pezzatura; se il fenomeno di deformazione si esaurisce, cioè non si formano nuove ormaie, è sufficiente poi, a distanza di qualche mese, porre in opera uno strato di usura su tutta la carreggiata. Nel caso di ormaie da insufficiente compattazione degli strati, si potrà procedere al tamponamento delle depressioni e successivamente, quando si è raggiunta la certezza che il fenomeno si sia esaurito, procedere alla stesa di un nuovo manto di usura sull'intera larghezza della carreggiata, sempre curando la sua adesione al manto preesistente.

Oltre alle due tipologie di ammaloramento appena esposte, esistono altre cause di degradazioni dovute ad altre cause.

Ammaloramenti per usura: sono dovuti all'azione abrasiva dei mezzi veloci (ad es. dovuta ai pneumatici chiodati) su strati di usura invecchiati o molto aperti.

Questo tipo di degradazione è oggi raramente determinante come causa ai fini di interventi manutentori in quanto viene quasi sempre anticipata da ammaloramenti dovuti a fenomeni di fatica indotti dal traffico pesante.

Gli interventi riparatori si esplicano essenzialmente nella stesa di un nuovo manto di usura di spessore ridotto (2 - 3 cm), con particolare attenzione all'ottenimento di una

superficie scabra e non scivolosa, oppure di spessore "normale" (5 cm), conseguendo così anche un rafforzamento della sovrastruttura.

Lesioni longitudinali: si formano in corrispondenza dei giunti longitudinali di costruzione ove la stesa dei vari strati è stata realizzata in bande affiancate.

Nella zona di minor resistenza del giunto si scaricano le sollecitazioni dovute al traffico e, principalmente, quelle dovute alle contrazioni termiche cui è soggetta la sovrastruttura.

Se la lesione si presenta continua, anche se molto aperta senza ramificazioni, si deve provvedere alla sigillatura con materiali colabili a base bituminosa o catramosa da saturare con sabbia fina.

Se la lesione ha provocato ramificazioni e tassellamenti occorre demolire la fascia di usura compromessa a cavallo del giunto, sigillare la lesione del sottostante strato e ricostruire l'usura.

Gli interventi sui giunti vanno intrapresi sempre tempestivamente in quanto le penetrazioni d'acqua attraverso la lesione possono ridurre di molto la vita utile della sovrastruttura.

Assestamento del corpo stradale: quando il rilevato autostradale, per diverse ragioni, subisce assestamenti, questi vengono seguiti dalle sovrastrutture con deformazioni del profilo stradale.

Le più frequenti si manifestano in corrispondenza delle spalle delle opere d'arte ove il costipamento delle terre è sempre difficile.

In mancanza di interventi stabilizzatori del corpo stradale si interverrà con ricarichi successivi in conglomerato bituminoso per lo strato di base o per il binder in funzione dello spessore per il mantenimento della sagoma stradale. A movimento esaurito si potrà stendere lo strato di usura.

Scivolosità: è dovuta fondamentalmente a due cause:

- ◆ risalita di malta bituminosa;
- ◆ lucidatura delle frazioni più grosse degli inerti.

Nel primo caso la pericolosità si manifesta in presenza d'acqua mentre in estate l'aderenza può risultare migliorata per l'attrito fra il battistrada e la superficie resa viscosa dal calore. La variazione di tessitura superficiale dovuta a questa malta bituminosa può dar luogo a fenomeni di "aquaplaning" per la ridotta attitudine a smaltire l'acqua da parte dei pneumatici.

Nel secondo caso la pericolosità è costante per la lucidatura dell'inerte a contatto con il battistrada.

L'accertamento delle effettive condizioni di scivolosità potrà essere confermato da prove con apparecchi appositi (skid-tester, SCRIM, SUMMS, ecc.). Quando comunque si sia raggiunta la convinzione della pericolosità del manto, occorre immediatamente intervenire con una stesa di un ulteriore strato di usura, curando la perfetta adesione del nuovo strato.

Può capitare che gli interventi descritti, che sarebbero i migliori dal punto di vista tecnico, non possono essere applicati per una serie di motivi che possono essere legati ad una ridotta disponibilità di mezzi, a limitazioni imposte dal traffico, dal clima o ad altre cause. In questi casi è necessario operare con interventi provvisori o di soccorso che non hanno né la validità né la durata degli altri; si tratta di provvedimenti non generalizzabili. E' possibile tuttavia esporre, a titolo di esempio, alcuni dei provvedimenti più frequenti:

Ammaloramenti da fatica.

Degradazione dell'intero pacchetto legato a bitume.

- imbottitura delle depressioni e tappetino sottile di copertura limitato alla zona interessata;
- riprese locali delle zone più ammalorate e interventi di soccorso nei periodi stagionali più critici;
- asportazione e ricostruzione dello strato superficiale.
- Degradazione dello strato superficiale.
- tappeto sottile (2-3 cm) di copertura;
- riprese delle zone più degradate e interventi di soccorso nei periodi stagionali critici.

Deformazioni viscosi.

- imbottitura delle ormaie da effettuarsi in estate e realizzazione di un tappetino di usura limitato alla sola corsia di marcia.

Ammaloramenti per usura.

- interventi localizzati di soccorso con coperture sottili.

Al fine di caratterizzare il percorso viario in funzione del degrado esistente è necessario introdurre l'indice di ammaloramento complessivo; si tratta di un parametro preposto a sintetizzare gli indicatori associati alle caratteristiche di aderenza, portanza e regolarità:

- **Aderenza:** l'indicatore associato alla caratteristica "aderenza" è il coefficiente di aderenza trasversale (CAT), valutato a mezzo di misure dirette di aderenza tramite apparecchiature come lo SCRIM o il SUMMS.

- **Regolarità:** Il valore dell'indice di regolarità è l'I.R.I. (International Roughness Index); esso si valuta attraverso la correlazione con le misure ottenute a mezzo di profilometri (come l'APL e l'ARAN).
- **Portanza:** come valore dell'indice di portanza è possibile considerare lo spessore di rinforzo ottenuto mediante l'elaborazione dei dati puntuali ottenuti tramite deflettometri come il FWD (Falling Weight Deflectometer).

Una volta quantificato lo stato di degrado a mezzo degli indicatori suddetti, è possibile impostare una metodologia di indagine fondata sulla definizione di una serie di indici di ammaloramento in funzione dell'importanza del danno sulla pavimentazione stradale. L'indice relativo ad ogni fattore di degrado deve essere valutato in base all'incidenza sull'efficienza complessiva della sovrastruttura.

L'Indice di Ammaloramento Complessivo(IAC)

L'Indice di Ammaloramento Complessivo è un parametro demandato a sintetizzare l'influenza (dal punto di vista della funzionalità) dei tre indicatori (portanza, aderenza, regolarità).

Essendo necessario rendere confrontabili fra loro i tre differenti tipi di degrado, è indispensabile associare al singolo valore di degrado di ogni indicatore di stato, il cosiddetto Grado di Ammaloramento (G.A). Quest'ultimo viene definito come quel coefficiente, rappresentato da un numero puro, variabile da zero (caso di ammaloramento nullo), all'unità (caso di massimo ammaloramento), che fornisce informazioni sullo stato di "salute" della sezione considerata.

Nel calcolo dell'Indice di Ammaloramento Complessivo (IAC), è importante analizzare l'enorme influenza che hanno sull'analisi del rischio le differenti tipologie di degrado (CAT, IRI o Rinforzo); per questo motivo, è stato necessario introdurre un ulteriore parametro, definito Peso dell'indicatore di Stato (P.S.), di cui riportiamo nella tabella 1 i valori da esso assumibili.

Indicatore di Stato	Peso dell'indicatore di Stato "P.S"
CAT	1.5
IRI	1.25
Rinforzo	1

Tab. 1 Pesì di degli indicatori di Stato (P.S.)

Dall'analisi della tabella 1, si nota che è stato assegnato un peso maggiore (rispetto agli altri due) al Grado di Ammaloramento ($G.A.^{CAT}$) dell'indicatore di stato "rugosità", in quanto, è quello che influenza in modo più rilevante le due variabili dell'analisi del rischio (cioè, l'entità del danno e la probabilità che avvenga tale danno).

All'indicatore di stato "regolarità" è stato assegnato un peso maggiore rispetto alla "portanza", poiché esso, oltre ad influenzare in modo maggiore (rispetto alla portanza) la probabilità che avvenga realmente un danno, ha un peso molto rilevante sul comfort di guida.

L'Indice di Ammaloramento Complessivo "IAC" di una generica sezione omogenea è stato definito come la somma dei prodotti dei singoli Gradi di Ammaloramento ($G.A.^i$), per i relativi Pesi di Stato ($P.S.^i$), rapportata alle peggiori condizioni:

$$IAC_i = \frac{(G.A.^{CAT}_i \times PS^{CAT}) + (G.A.^{IRI}_i \times PS^{IRI}) + (G.A.^{FWD}_i \times PS^{FWD})}{(G.A.^{CAT}_{max} \times PS^{CAT}) + (G.A.^{IRI}_{max} \times PS^{IRI}) + (G.A.^{FWD}_{max} \times PS^{FWD})}$$

Riportiamo nella tabella 2 le varie classi di variazione dell'Indice di Ammaloramento Complessivo.

INDICE DI AMMALORAMENTO COMPLESSIVO (I.A.C.)	
INTERVALLO DI VARIAZIONE	AMMALORAMENTO
IAC = 0	NULLO
$0 < IAC \leq 0.33$	BASSO
$0.33 < IAC \leq 0.66$	MEDIO
$0.66 < IAC \leq 1$	ELEVATO

Tab. 2 Classi di variazione dell'Indice di ammaloramento complessivo.

L'Indice di Pericolosità (IPer)

L'introduzione dell'Indice di Pericolosità "IPer", nasce dall'esigenza di differenziare e di rendere prioritarie dal punto di vista degli interventi manutentivi quelle sezioni stradali che, pur avendo lo stesso IAC di altre, sono caratterizzate da una certa combinazione di caratteristiche sia geometriche che di traffico (quali ad esempio: una forte pendenza longitudinale negativa, la presenza di una curva, un elevato traffico orario, ecc..), tali da renderle potenzialmente più pericolose rispetto alle altre.

La procedura di definizione dell'indice di pericolosità richiede l'introduzione dei seguenti ulteriori indici:

- ↗ IT = Indice di Traffico, finalizzato a quantificare numericamente l'influenza del traffico di ogni singola tratta, sull'analisi del rischio;
- ↗ IA = Indice Altimetrico, che consente di tener conto del tipo di pendenza del profilo longitudinale (positiva o negativa) e dell'entità di tale pendenza (nel caso che essa sia negativa);
- ↗ IPL = Indice Planimetrico, tramite il quale vengono assegnati pesi diversi a sezioni stradali con caratteristiche planimetriche differenti (curva, clotoide o rettilo);
- ↗ IC = Indice di Corsia, che consente di assegnare un peso maggiore alle sezioni presenti sulle corsie di sorpasso;
- ↗ IL = Indice di Lunghezza, introdotto per poter esprimere numericamente l'influenza dello sviluppo longitudinale delle singole sezioni stradali, le quali possono presentare lunghezze planimetriche tra loro differenti.

È importante far notare che nell'assegnazione dei vari pesi (PI) (ad ognuno degli indici appena definiti), si è tenuto conto della differente influenza che essi hanno nella determinazione delle condizioni di rischio.

Vediamo ora, singolarmente le varie procedure, necessarie per l'ottenimento degli indici sopra definiti.

L'Indice di Traffico (IT)

L'Indice di Traffico è un parametro che deve inglobare sia il grado di riempimento della sezione stradale oggetto di indagine, sia il fatto che in determinati tratti si può avere un sovraccarico veicolare.

L'utente che si trova a percorrere una strada è indotto ad adeguare la propria condotta di guida in funzione delle caratteristiche quali-quantitative del traffico veicolare; un repentino aumento della mole di traffico, ad esempio, provoca nel guidatore uno stato inconscio di insicurezza, mentre un traffico in rapido smaltimento tende a tranquillizzarlo.

Per tenere conto di quanto appena affermato, si è definito l'Indice di Traffico nel seguente modo:

$$IT_i = \frac{TO_{MAX}}{TO_{MED}}$$

dove:

- TO_{MAX} = traffico orario massimo in una determinata sezione stradale (individuato per un particolare intervallo orario);

- TO_{MED} = traffico orario medio lungo l'intera tratta (relativo allo stesso intervallo orario di TO_{MAX}).

E' evidente che quando il valore di TO_{MAX} in una sezione è maggiore del corrispondente valore di TO_{MED} , le condizioni di circolazione sono pessime; il contrario si verifica quando $TO_{MAX} < TO_{MED}$.

L'Indice Altimetrico (IA), l'Indice Planimetrico e l'Indice di Corsia

L'indice altimetrico consente di ponderare l'influenza che hanno il segno e l'entità della pendenza longitudinale di ogni singola sezione stradale sulla sicurezza del viaggio. L'Indice Planimetrico è stato introdotto per stimare la caratteristica geometrica prevalente di ogni sezione (curva, clotoide, rettilo).

L'Indice di Corsia nasce dalla necessità di vagliare adeguatamente l'influenza dell'ammaloramento superficiale in funzione dell'ubicazione nella sezione trasversale della tratta in esame. E' infatti evidente che una situazione di grave ammaloramento lungo la corsia di sorpasso diventa particolarmente rischiosa, sia per le elevate velocità che possono essere raggiunte su tale corsia, sia per la pericolosità intrinseca nella manovra di sorpasso.

Pendenza Longitudinale	IA	Caratteristica Planimetrica	IPL	Tipologia di Corsia	IC
$PL \geq 0$	1	RETTIFILO	1	MARCIA	1
$-2.5 \leq PL < 0$	2.5	CLOTOIDE	2.5	SORPASSO	2.5
$-5 \leq PL < -2.5$	5	CURVA CIRCOLARE	5		

Tab. 3 Valori dell'Indice altimetrico, planimetrico e di corsia.

Nella tabella 3 vengono riportati i valori attribuiti agli indici sopra definiti.

L'Indice di Lunghezza (IL)

L'introduzione dell'Indice di Lunghezza nasce dall'esigenza di mettere in conto la lunghezza caratteristica di ogni singola sezione stradale. In effetti, maggiore è lo sviluppo longitudinale di una sezione, maggiore è la probabilità che possa verificarsi un evento indesiderato; pertanto, se consideriamo come elemento unitario la sezione di lunghezza minima (SL_{min}), possiamo rapportare ad essa lo sviluppo di tutte le altre (SL_i).

L'Indice di Lunghezza si esprime nella maniera seguente:

$$IL_i = \frac{SL_i}{SL_{min}}$$

Tramite la valutazione degli indici IT, IPL, IA, IC, IL, siamo in grado di determinare l'Indice di Pericolosità (IPer) a mezzo della seguente relazione:

$$IPer_i = \frac{(IT_i \times PI^T + IA_i \times PI^A + IPL_i \times PI^{PL} + IC_i \times PI^C + IL_i \times PI^L)}{(IT_{max} \times PI^T + IA_{max} \times PI^A + IPL_{max} \times PI^{PL} + IC_{max} \times PI^C + IL_{max} \times PI^L)}$$

Riportiamo infine, nella tabella 4, il campo di variabilità dell'indice IPer ed il corrispondente livello di pericolosità.

INDICE DI PERICOLOSITÀ (IPer)	
INTERVALLO DI VARIAZIONE	LIVELLO DI PERICOLOSITA'
$IPer = 0.19$	BASSO
$0.19 < IPer \leq 0.54$	MEDIO
$0.54 < IPer \leq 1$	ELEVATO

Tab. 4 Classi di variazione dell'Indice di Pericolosità.

L'indice di pericolosità e l'indice di ammaloramento complessivo rappresentano due strumenti di verifica della funzionalità di un'infrastruttura. Accade spesso che alcune sezioni, pur essendo caratterizzate da un elevato stato di degrado, presentano bassi indici di pericolosità; al contrario, vi sono sezioni che pur avendo un indice di pericolosità abbastanza elevato, sono caratterizzate da un basso ammaloramento. Ne consegue che i due indici trovati devono essere usati contemporaneamente se si vuole ottenere una definizione univoca della percorribilità di una tratta stradale. La conoscenza della funzionalità delle varie sezioni di una infrastruttura stradale, fornisce all'Amministratore la possibilità di analizzare adeguatamente lo stato di degrado dell'intera infrastruttura, inducendolo a concentrare la propria attenzione solo su determinate sezioni (quelle meno "funzionali").

A tal fine si è introdotto il cosiddetto Indice di non funzionalità (I_{NF}), così definito:

$$I_{NF} = \frac{IAC_i \times IPer_i}{IAC_{max} \times IPer_{max}}$$

Nella tabella 5 sono visualizzate le classi di variazione dell'Indice di non funzionalità.

INDICE DI NON FUNZIONALITA' (I_{NF})	
INTERVALLO DI VARIAZIONE	LIVELLO DI RISCHIO
$I_{NF} = 0$	NULLO
$0 < I_{NF} \leq 0.06$	NORMALE
$0.06 < I_{NF} \leq 0.35$	CONDIZIONANTE
$0.35 < I_{NF} < 1$	ECCEZIONALE
$I_{NF} = 1$	ESTREMO

Tab. 5 Classi di variazione dell'Indice di non funzionalità.

Si deve però notare come sia particolarmente importante per gli Amministratori, conoscere, per tutto il loro stato patrimoniale, le informazioni inerenti alla "efficienza" delle varie infrastrutture.

Occorre definire un parametro discriminante della funzionalità delle varie infrastrutture di una rete di trasporto al fine di dotare le amministrazioni di uno strumento per classificare le strade in ordine alla loro efficienza.

Tale parametro è stato definito col termine di "Indice di Efficienza Globale",

La valutazione dell'efficienza di una infrastruttura stradale si può basare su una metodologia in cui possono essere introdotti termini che, tenendo conto del tipo di danno, dell'entità di esso e di come esso si distribuisce lungo la superficie della strada, confluiscono nella definizione delle caratteristiche di sicurezza dell'infrastruttura.

E' importante ribadire che la sicurezza di una infrastruttura stradale non è una proprietà intrinseca della strada; essa deriva dalla mediazione di diverse componenti. Una classificazione corretta della rete stradale esistente deve essere pertanto effettuata in funzione dell'efficienza globale di ogni singola infrastruttura componente la rete medesima.

6.1 Definizione dell'Indice di Efficienza Globale della tratta.

La gestione di una qualsiasi infrastruttura comporta, una serie complessa di operazioni necessarie a garantire la funzionalità, per un intervallo di tempo che si è andato via via accrescendo (vent'anni sono proprio un minimo). Nel contempo, però, qualunque operazione (nel nostro caso, ci si riferisce a quella manutentiva), rappresenta un impegno finanziario che va sempre confrontato con il budget disponibile.

Il gestore dell'infrastruttura, si trova pertanto, spesso nelle condizioni di dovere operare una scelta tra le varie tipologie di intervento possibile, dovendo affrontare il tipico problema della "razionalizzazione del capitale", cioè impiegare il capitale disponibile in modo da ottenere il massimo beneficio.

Per fare questo occorre analizzare i punti critici del sistema, ipotizzare mediante leggi di degrado i possibili scenari futuri e scegliere quegli interventi che massimizzino la funzionalità dell'opera.

Ecco che allora risulta indispensabile, l'introduzione di un indice che ci permetta di assegnare delle priorità di intervento strettamente correlate con l'entità delle risorse finanziarie realmente disponibili.

Tale indice è stato definito col termine di "Indice di Efficienza Globale", ed è dato dalla seguente formula:

$$IEG_{strada} = \frac{S.L.C. - \sum_{i=1}^N (I_{int_i} \times S.L_i)}{S.L.C.}$$

dove :

- ⇒ **S.L.C.** rappresenta lo sviluppo longitudinale dell'intera strada ;
- ⇒ **N** rappresenta il numero di tratte individuate sulla strada ;
- ⇒ **I_{int_i}** è il valore dell'indice di intervento della generica tratta i-esima;
- ⇒ **$S.L_i$** è lo sviluppo longitudinale della generica tratta i-esima.

Dalla formula, si nota che tale indice vale "1", nel caso in cui la strada si presenti in perfette condizioni, cioè, non vi è la presenza di alcun tipo di ammaloramento.

Mentre, varrà "0" soltanto nel caso in cui si manifesti sull'intera strada, la situazione (in verità teorica) di rischio estremo ($I_{int_i}=1$).

INDICE DI EFFICIENZA GLOBALE (I.E.G.)	
INTERVALLO DI VARIAZIONE	CLASSE DI EFFICIENZA
$IEG = 0$	NULLA
$0 < IEG \leq 0.60$	BASSA
$0.60 < IEG \leq 0.80$	MEDIA
$0.80 < IEG \leq 1$	ELEVATA
$IEG = 1$	MASSIMA

Tab. 6 Classi di variazione dell'Indice di Efficienza Globale.

In definitiva, il campo di esistenza dell'indice (IEG) ricade nell'intervallo $[0,1]$; l'elaborazione condotta fino a questo punto, ci consente di evincere le classi di efficienza riportate nella tabella 6.

7. ANALISI DEGLI SCENARI

Il metodo degli scenari è, forse la metodologia più completa e maggiormente utile come supporto per il processo decisionale. Il termine "metodologia" è, in questo caso, piuttosto arbitrario, poiché paradossalmente si può dire che non esiste un unico "metodo degli scenari", ma un insieme eterogeneo, e in qualche modo disorganico di tecniche, sia qualitative che quantitative, sviluppate in diversi momenti e contesti per ovviare al problema della necessità di previsioni in mancanza di dati storici.

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

Gli scenari possono essere caratterizzati dai seguenti tre aspetti (Fig. 5):

- il punto di partenza del metodo degli scenari 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".

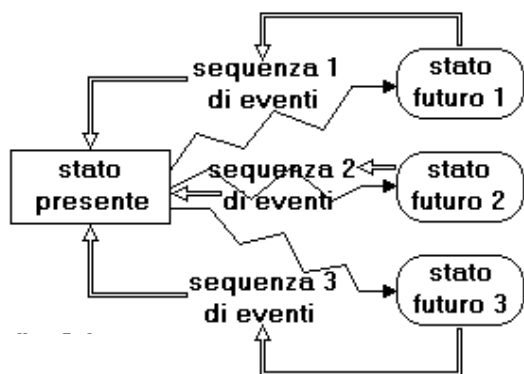


Fig. 5 Metodologia degli scenari.

Dall'analisi della figura 5, si evidenzia anche la peculiarità del metodo degli scenari di essere un metodo sistemico (di feedback).

Le direzioni delle frecce bianche evidenziano come il processo di costruzione degli scenari possa essere 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.

Il metodo degli scenari, più di altre metodologie, è profondamente legato al background teorico degli analisti che lo applicano. Per questo motivo le critiche rivolte ad esso, di rappresentare una descrizione romanzata della realtà futura vanno mosse, più che all'approccio in quanto tale, all'impostazione mentale talvolta non corretta di alcuni di coloro che lo utilizzano.

L'analisi di scenario è un metodo di natura sistemica (metodo di feedback) e quindi rientra fra le tecniche capaci di gestire la complessità del fenomeno. Gli scenari hanno la capacità di saper rappresentare la poliedrica evoluzione della realtà, combinando e integrando, in un unico quadro coerente, previsioni su andamenti demografici, cambiamenti sociali, eventi politici, variabili economiche e sviluppi tecnologici; ottenute con le più svariate metodologie. Da ciò deriva la sua più corretta definizione di "multimetodo", o "approccio integrato".

E' proprio affiancando metodi quantitativi a metodi più dichiaratamente qualitativi che si riesce a giungere ad una visione globale del futuro, che comprende elementi di interdisciplinarietà, complementarità e pluralismo. In questo senso il metodo degli scenari si adatta particolarmente bene ad affrontare problemi articolati, di difficile definizione e che si prestano poco a una modellizzazione formale, in contesti temporali di lungo periodo in cui è possibile il verificarsi di variazioni strutturali.

Inoltre, sebbene l'oggetto di studio possa essere definito di volta in volta, potendo riguardare i più svariati campi dell'attività umana, il principio ispiratore del metodo, nonché l'elemento invariante, rimane sempre questo approccio di interdisciplinarietà e di mutua influenza dei fattori in gioco.

Gli scenari rappresentano delle sequenze ipotetiche di eventi. Mediante tali metodologie è possibile ipotizzare differenti direzioni che dal presente possono condurre agli stati futuri alternativi. 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 come descritto a causa di eventi, e delle reazioni ad essi, non previsti, ed in quanto la precisa combinazione degli eventi selezionati è altamente improbabile che si verifichi.

Comunque si deve sempre tener presente che non è pretesa degli scenari pervenire a previsioni certe, quanto piuttosto fornire uno strumento di supporto alle decisioni, sufficiente per interrogazioni di tipo *what..if*, che possa essere di ausilio per il pianificatore strategico.

Esistono caratteristiche che rendono l'analisi di scenario uno strumento molto più potente, dei tradizionali metodi di previsione, in quanto i metodi tradizionali si basano sull'ipotesi che il futuro sarà sufficientemente simile al passato, e quindi non sono in grado di generare previsioni accettabili in situazioni di profondi cambiamenti ambientali. Le relazioni causa-effetto consentono di ricostruire il passato ed estrapolare il futuro, con mezzi che vengono chiamati deterministici, a patto però di possedere adeguate informazioni circa lo stato attuale. In questi anni, d'altra parte, il mondo si è dimostrato estremamente variabile, sotto la spinta del progresso tecnologico: è stato sottolineato più volte come la situazione economica stia andando velocemente verso il caos, allontanandosi sempre di più da un ordine predicibile.

Tutto ciò rende inapplicabili le tradizionali tecniche previsive. Il metodo degli scenari, al contrario, incorporando l'incertezza nel processo previsionale, fa in modo che il pianificatore abbia una più ampia e creativa visione del futuro. Gli scenari sono necessari in quanto forniscono dati sia qualitativi che quantitativi utili per il processo decisionale, assicurando una accurata struttura per la generazione e l'analisi di opzioni strategiche.

In molte situazioni di pianificazione a lungo termine, i dati empirici del passato sono o indisponibili o inadatti. In queste situazioni le esperienze e le conoscenze di esperti sono i soli dati di input che possono essere utilizzati.

Il modello proposto per l'analisi degli scenari applicato alle opere di manutenzione è il seguente:

- Individuare la variabile s , cioè l'indicatore di performance (indice di efficienza globale) di cui si vuole stimare l'andamento futuro.
- Individuare gli eventi rilevanti x_i che influenzano l'indicatore s (traffico futuro, incrementi veicolari...). Tali eventi saranno quelli che andranno a caratterizzare gli scenari.
- Costruire un set di scenari più probabili utilizzando il modello analitico precedente e ricorrendo ad esperti per la generazione dei dati di input.
- Calcolare la distribuzione di probabilità della variabile s rispetto agli scenari selezionati nel passo precedente. In altre parole indicato con s uno scenario, si dovrebbe far stimare da esperti per ogni scenario la probabilità che si presenti lo scenario s sotto la condizione degli eventi x , $f(s/x)$ per ogni scenario selezionato. Poiché in generale è difficile ottenere tali stime, è preferibile far stimare dagli esperti le $f(s/x_i)$, dove quest'ultima espressione rappresenta la probabilità che si presenti lo scenario s sotto la condizione di un evento particolare x_i mentre tutti gli altri eventi non occorrono, e utilizzare quindi dei modelli statistici che leghino le stime precedenti alla distribuzione di probabilità di s rispetto all'intero scenario.
- infine nel caso che, durante il passo precedente, differenti esperti forniscano differenti stime per le $f(s/x_i)$, si potrebbero aggregare, mediante somme pesate, le risposte simili, cercando di individuare il fondamento logico del perché vi siano differenze fra le opinioni degli esperti.

La metodologia su esposta per poter essere applicata richiede l'intervento di molti esperti che diano informazioni sullo stato futuro. Nel caso delle opere di manutenzione risultano di importanza rilevante le informazioni fornite dagli ingegneri per ciò che riguarda le possibili variazioni del flusso veicolare e degli esperti in pavimentazioni per valutare il progredire dello stato di degrado al presentarsi dei vari scenari. La confluenza di

queste professionalità darà informazioni sulla probabilità che uno stato di ammaloramento possa progredire e diventare pregiudizievole per la funzionalità dell'opera.

8. RIPARTIZIONE DEL BUDGET

La realizzabilità di un progetto di manutenzione deve essere verificata mediante la conoscenza di alcuni parametri econometrici fra cui il più importante, per ciò che riguarda gli investimenti pubblici, è il VAN (valore attuale netto). Il VAN si basa sulla differenza assoluta tra i costi ed i benefici di un progetto attualizzati al momento iniziale che viene indicato come anno 0.

Indichiamo con k il valore dell'investimento di un progetto, e supponiamo che la sua vita utile sia pari ad n anni; se ad esso sono associati un flusso C di costi (per semplicità si supponrà che $C_1=C_2=...C_n=C$) ed un flusso B di benefici (anche in questo caso supporremo, per semplicità, $B_1=B_2=...B_n=B$), indicando con i il tasso di sconto, il VAN è dato dalla seguente espressione:

$$VAN = \sum_{t=1}^n B_t \frac{1}{(1+i)^t} - \left[k + \sum_{t=1}^n C_t \frac{1}{(1+i)^t} \right]$$

ponendo: $R_t = B_t - C_t$

è possibile scrivere:

$$VAN = \sum_{t=1}^n R_t \frac{1}{(1+i)^t} - k$$

La manutenzione delle infrastrutture stradali rappresenta un impegno notevole, cui spesso si è costretti a far fronte mediante risorse limitate. Compito del gestore è quello di ripartire i fondi disponibili in modo da massimizzare il beneficio ottenibile. Molti studiosi ritengono che la metodologia ottimale per la ripartizione dei fondi si ottenga mediante l'uso delle metodologie basate sul criterio delle tecniche multiobiettivo.

L'ipotesi di base è che si debbano utilizzare risorse limitate per finanziare uno o più progetti da un «paniere di progetti» tutti necessari ed economicamente convenienti e di massimizzare nel contempo i benefici complessivi; si tratta quindi di affrontare un problema di massimizzazione vincolata.

Il vincolo è costituito da risorse finanziarie iniziali limitate,

nel senso che la $\sum_{j=1}^m k_{oj}$, per un numero m di progetti deve essere pari ad un fissato K (valore del budget

disponibile). La somma dei benefici netti complessivi ricavabili dagli m progetti al lordo del capitale investito è data da:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n R_{jt} (1+i)^{-t}$$

Il problema è di distribuire i fondi razionati iniziali in modo da rendere massimi i benefici netti complessivi:

$$MaxB = \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n R_{jt} (1+i)^{-t} - \sum_{j=1}^m K_{oj}$$

soggetti al vincolo: $\sum_{j=1}^m K_{oj} = K$

dove: K rappresenta l'ammontare dei fondi disponibili per gli investimenti.

Ricavare la condizione ottimale è una operazione che richiede numerosi cicli iterativi realizzati supponendo che si presentino vari scenari.

Conosciuto lo scenario di funzionamento della rete infrastrutturale, la ripartizione del budget disponibile fra i rami che necessitano opere di manutenzione può essere effettuata ripartendo, come prima ipotesi, le somme in maniera pesata in base alla lunghezza.

Condizione necessaria per applicare il procedimento che descriveremo è che il gestore abbia conoscenza dello "stato di salute" della rete, così da poter caratterizzare i rami della rete in base ai valori degli indici di efficienza globale.

La scelta degli investimenti che devono essere eseguiti in ogni singolo ramo deve essere compiuta tenendo conto della durabilità delle opere e del fatto che per ogni tipologia di progetto è importante tenere conto dei parametri econometrici connessi all'investimento.

Quando ci si trova di fronte ad alternative che non è possibile ben determinare (incremento del traffico veicolare, curva di degrado...), perché esistono delle incertezze più o meno accentuate nel loro avverarsi, è necessario introdurre i concetti di probabilità.

Le incertezze circa il futuro possono presentarsi singolarmente oppure combinate fra loro, è dunque compito del progettista stradale determinare i possibili valori che le grandezze aleatorie possono assumere, e valutare, mediante stime pesate, le variabili associate.

Individuando gli n possibili modi per eseguire le manutenzioni, poiché i risultati dipendono da variabili

non note, ad ogni tipologia di intervento si assegna la probabilità di presentarsi dell'evento.

Mediante l'analisi di sensitività si possono determinare i campi delle possibili variazioni delle variabili ed individuare tra i vari interventi possibili quelli che a parità di costo di investimento producono VAN più elevati e scostamenti delle variabili meno sensibili.

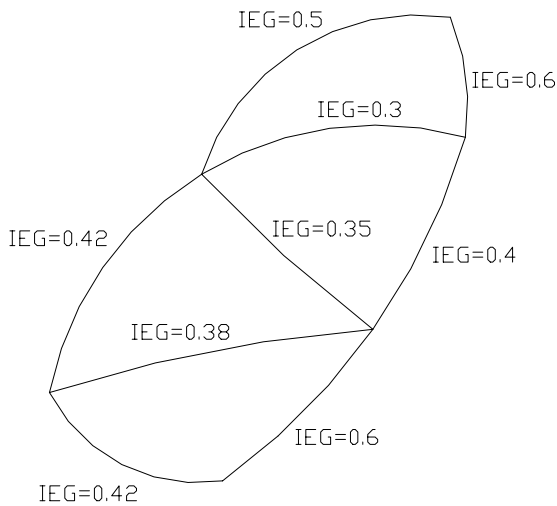


Fig. 6 Assegnazione degli indici di efficienza globale ai vari rami della rete.

Assegnati i fondi per ogni ramo della rete si ipotizzano gli interventi manutentivi. Naturalmente i benefici a livello di rete ottenibili possono essere evidenziati mediante la valutazione di un nuovo valore dell' IEG.

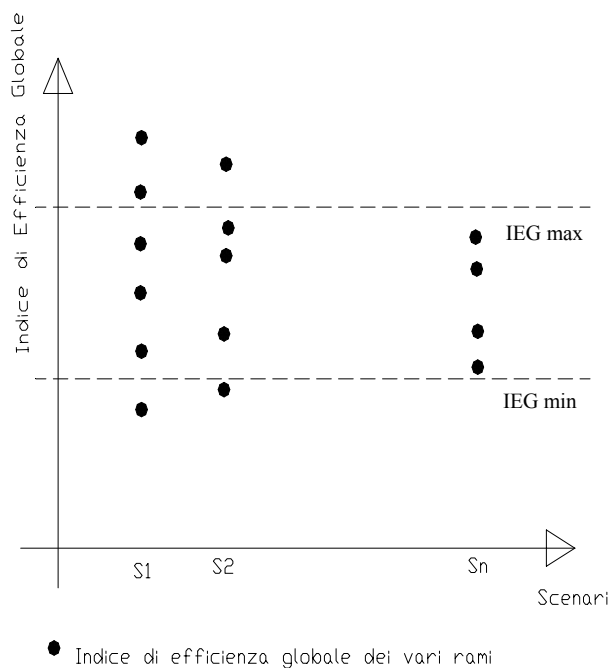


Fig. 7 Variazione dell'indice di efficienza globale al variare degli scenari manutentivi.

I nuovi valori dell'IEG, si presenteranno in ordine sparso, per definire l'accettabilità di un intervento manutentivo occorre individuare un "range" di variabilità, limitato da un valore minimo ed un valore massimo (Fig.7).

Le opere di manutenzione ipotizzate innalzeranno il valore di IEG di alcuni rami oltre il limite superiore, mentre alcuni rami nonostante l'intervento ipotizzato avranno ancora un valore IEG basso.

Il procedimento iterativo ipotizzato prevede che si debba analizzare un nuovo scenario in cui vengano incrementati le somme per i rami con IEG basso, mentre vengono diminuite quelli ove l'IEG risulta elevato.

Ricalcolando nuovamente il valore dell'IEG nei vari rami si ottiene un nuovo scenario.

Il procedimento continua fino a quando con la ripartizione dei fondi ipotizzata, si ottiene uno scenario in cui risulti massimo il numero dei rami con valore di IEG che ricadano all'interno dell'intervallo di accettabilità.

9. CONCLUSIONI

La manutenzione stradale deve essere considerata una fase importante da mettere in conto già nelle fasi della progettazione.

Ogni ramo della rete infrastrutturale è chiamato a compiere un determinato servizio nell'ambito del sistema infrastrutturale. Il decadimento delle caratteristiche di funzionalità di un ramo della rete infrastrutturale può far entrare in crisi l'intera rete. Risulta necessario che le opere di manutenzione vengano programmate e pianificate in modo che venga allontanata la possibilità dell'ammaloramento eccessivo che potrebbe portare alla non funzionalità del sistema (in toto o in parte).

Condizione prioritaria affinché si possa parlare di manutenzione di un sistema "a rete" è che il gestore abbia esatta conoscenza dello "stato di salute della rete". A tal fine, è stata introdotta una metodologia di analisi dei vari rami della rete che si conclude con la definizione di un indice (IEG) con cui si tiene conto sia dello stato di degrado che della pericolosità.

La ripartizione dei fondi disponibili per la manutenzione deve essere effettuata in maniera da massimizzare i benefici dell'intera rete. E' opportuno ricordare che le modalità esecutive per le opere di manutenzione sono molteplici, e che quindi la scelta tra i possibili interventi va fatta tenendo conto anche degli effetti futuri e quindi della durabilità.

Mediante l'uso integrato dell'analisi costo benefici e delle metodologie proprie dell'analisi degli scenari si riesce ad ottenere una metodologia di ripartizione efficiente del budget.

La caratteristiche finanziarie che le varie operazioni possono generare rappresentano un argomento di studio che il nostro gruppo di ricerca attualmente approfondendo.

10. BIBLIOGRAFIA

- 1) *E. Sani. Sistemi per il trattamento dei dati territoriali* – Riv. V.I.A. – Dicembre 1989.
- 2) *A. Ranzo. Il catasto come base formativa ed informativa, dalla classificazione alla progettazione e gestione del patrimonio viario nazionale* – Atti del Convegno Nazionale: “Il catasto stradale: problematiche proposte e prospettive” – Roma – 1993.
- 3) *M. R. De Blasiis – Un modello innovativo per la verifica della sicurezza stradale* – Riv. Le Strade, n° 1299 – Gennaio 1994.
- 4) *Transportation research. International harmonization of testing and evaluation procedures for roadside safety features* – Circular number 396 – May 1992.
- 5) *S. Canale, S. Leonardi, F. Nicosia. Analisi critica del fenomeno dell'aderenza in campo stradale e ferroviario* - Quaderno N. 88 - Istituto di Strade Ferrovie ed Aeroporti - Catania - Settembre 1996.
- 6) *A. Zeppetella, M. Bresso, G. Gamba. Valutazione ambientale e processi di decisione* - Ed. NIS - 1992.
- 7) *G. Camomilla, M. Malgarini. La misura della regolarità delle pavimentazioni*" - Riv. Autostrade - Luglio-Agosto 1987.
- 8) *G. Peroni. Manutenzione delle pavimentazioni: sviluppo dei criteri gestionali* - Riv. Autostrade - Ottobre 1987.
- 9) *C.N.R. Norme tecniche - Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale* - B.U. 125/88.
- 10) *M. Agostinacchio, R. Bernetti, M. Diomedi. Analisi delle caratteristiche superficiali di aderenza e regolarità delle sovrastrutture stradali urbane mediante definizione di un indice di efficienza globale (I.E.G.)* - Atti della Giornata di Studio sul tema: Sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali - Roma – 20/21 Febbraio 1997.
- 11) *G. Battiato, B. K. Larsen. La pianificazione della manutenzione stradale mediante il sistema RO.MA.* - Atti del XXI Convegno Nazionale Stradale - Trieste - Giugno 1990.
- 12) *G. Boscaino. La manutenzione programmata della rete viaria* - Giornata di studio - Cagliari - Aprile 1990.
- 13) *G. Boscaino. La manutenzione delle pavimentazioni stradali* - Giornata di studio - Agrigento - 2/1991
- 14) *G. Camomilla, E. Boccato. La manutenzione programmata* - Riv. Autostrade - Dicembre 1983.
- 15) *M. Donata, G. Battiato. Confronti e valutazioni tecnico-economiche delle diverse strategie di manutenzione delle sovrastrutture stradali sulla rete delle Autovie venete* - Atti del XXI Convegno Nazionale Stradale - Trieste - Giugno 1990.
- 16) *F. Giannini, L. Domenichini, A. Marchionna. Manutenzione e dimensionamento delle sovrastrutture stradali* - Atti del XIX Convegno Nazionale Stradale - Rimini - Giugno 1982.
- 17) *F. Giannini, F. La Camera, A. Marchionna. Appunti di Costruzione di Strade Ferrovie ed Aeroporti* - MASSON Editoriale SEA - 1993.
- 18) *C.N.R. Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle intersezioni stradali urbane* - Bollettino Ufficiale N.90 - 1983.
- 19) *Atti del Simposio Internazionale: Road development and safety* - Lussemburgo - 1989.
- 20) *C. Kraemer, S. Boccalieri Rocci, V. Blanco Sanchez. Trazado de Carreteras* - Ed. Rugart S.L. - 1992.
- 21) *F. La Camera. Il calcolo del progetto stradale* - MASSON Editoriale SEA - 1992.
- 22) *G. Tesoriere. Strade Ferrovie Aeroporti - Il progetto e le opere d'arte (Vol. 1)* - Ed. UTET - 1990.
- 23) *AA. VV. Sovrastrutture e pavimentazioni stradali e aeroportuali* - Ed. ESA - 1979.
- 24) *AA. VV. Manutenzione e sicurezza. Monitoraggio delle caratteristiche di aderenza e opportunità della ripetizione annuale delle misure* – Riv. Le Strade - n. 1293 - Maggio 1993
- 25) *E. Cavuoti. Affidabilità del Percorso* - Atti del Convegno S.I.I.V. - Perugia - 1993.

- 26) *G. Dell'Aglio. Calcolo delle probabilità* - Zanichelli - 1986.
- 27) *Pennisi G. "Ministero del bilancio e della programmazione economica" Tecniche di valutazione degli investimenti pubblici*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato (1984).
- 28) "Ministero del bilancio e della programmazione economica" **Manuale di valutazione dei progetti per la pubblica amministrazione**, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato (1984).
- 29) *P.M.A. Il project management e la trasparenza nei grandi progetti*, Atti della giornata di studio, 14-12-1992
- 30) S. Canale, S. Leonardi, F. Nicosia, **Analisi finanziaria-economica dei progetti di investimento pubblico** Quaderno n.92 dell'Istituto di Strade Ferrovie ed Aeroporti (Università degli Studi di Catania) - 1997.
- 31) SVIMEZ, **Rapporto sull'economia del mezzogiorno**,1988,1996
- 32) Gatti G. **Contributo per la determinazione della redditività degli investimenti nelle infrastrutture stradali**, *Le strade* 11,12/94
- 33) *Padovano E. La valutazione degli interventi all'interno dei piani di investimento nel settore delle infrastrutture di trasporto*, *Le strade* 1,2/95
- 34) *Petretto A. Procedure e stime per la valutazione di un progetto stradale secondo la metodologia FIO*, Quaderno Formez 1991
- 35) *Lorenzoni F., Zeppella L. Politiche pubbliche di sviluppo del mezzogiorno* NIS 1988
- 36) 81) *Gisotti G., Bruschi S. Valutare l'ambiente* Nis 1992
- 37) 83) *NUTI F. L'analisi costi-benefici* Il Mulino 1987
- 38) Lotti E., Colle L. **Analisi dell'economia Italiana**, Levrotto e Bella 1977
- 39) *Pearce D., Turner R. Economia delle risorse naturali e dell'ambiente*, Il mulino 1989
- 40) *Pellanda A. Le teorie contemporanee dell'interesse* Patron Editore 1979
- 41) *Irvin G. Analisi Costi e Benefici dei progetti di investimento nei paesi in via di sviluppo*, Zanichelli 1995
- 42) *Dossena G. Project Financing e asset securitization* EGEA 1995
- 43) *Backhouse R. Storia dell'analisi economica moderna* Zanichelli 1994
- 44) *Dellepiane N. Approfondimenti e conseguenze delle ipotesi di riinvestimento nei criteri di scelta degli investimenti* Levrotto e Bella 1993
- 45) *Dellepiane N. Metodi Bayesiani di analisi economica* Levrotto e Bella 1993
- 46) *Valori G. Matematica finanziaria* Patron 1992
- 47) *Bonora Grassilli A. Matematica finanziaria* Patron 1992