

SVILUPPO DI UNA NUOVA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLE PRIORITÀ DI INTERVENTO DI MANUTENZIONE DI PONTI E VIADOTTI

Antonio Montepara, Filippo Merusi, Felice Giuliani

Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura.

Abstract

Nel presente articolo vengono esposti i principi ed i presupposti concettuali di un metodo di ausilio alla gestione tecnico/economica delle opere stradali di attraversamento.

La metodologia proposta si articola secondo una struttura logica che prevede la definizione sistematica delle operazioni necessarie al censimento dei manufatti, all'analisi dello stato di conservazione ed alla quantificazione di specifici indicatori di stato.

Particolare attenzione è stata posta all'introduzione del concetto di importanza dell'opera nel contesto della rete dei trasporti che, nel metodo proposto, si affianca alla valutazione dello stato di conservazione, al fine di consentire all'Ente gestore di pianificare gli interventi di manutenzione di ponti e viadotti in condizioni di risorse economiche limitate.

Keywords: Ponti, viadotti, manutenzione stradale.

1. INTRODUZIONE

1.1. Background

Il complesso delle opere di attraversamento attualmente in esercizio nel territorio nazionale comprende soluzioni strutturali spesso molto diverse, sia in termini di materiali che delle relative tecniche costruttive. Le tipologie esistenti sono sempre numerose ed estremamente variabili sono le condizioni di carico, di esposizione ambientale e di interazione con il sistema idrologico che danno origine a degradi ed ammaloramenti specifici (AIPCR, 2006). Colui che è chiamato a gestire questo tipo di strutture, nel rispetto dell'importanza strategica e culturale del ponte, convive quindi con l'indifferibile esigenza di mantenere elevata la cura dei manufatti dalle caratteristiche estremamente differenti, avendo a disposizione budget non illimitati.

La razionalizzazione delle risorse economiche richiede quindi la necessità di applicare alle infrastrutture viarie, ed in particolar modo alle relative opere d'arte, metodologie di gestione analoghe a quelle adottate in altri settori tecnologici.

Già le *Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale, ponti e viadotti* (CNR, 1993) hanno precisato che un'arteria stradale e le opere che ne sono a servizio, così come qualsiasi opera di ingegneria modernamente concepita e realizzata, devono essere caratterizzate da una cosiddetta *vita utile* definita in fase di progetto e ottenibile attraverso lo svolgimento delle attività di controllo, conservazione, ripristino ed adeguamento tecnologico. Nel caso frequente di Pubbliche Amministrazioni, che hanno in gestione un rilevante numero di manufatti, la corretta condotta delle opere rappresenta un notevole onere tecnico ed economico dovendo essere subordinata all'ottimizzazione delle risorse e alla minimizzazione del *whole-life costing* (Ryall, 2001). In questo contesto si inseriscono i sistemi *Bridge Management Systems* (BMS), strumenti di ausilio alla gestione dei ponti stradali che stabiliscono quando e come intervenire sulla base di criteri derivanti da considerazioni tecnico-economiche (Godart et al., 2001).

Diversi risultano gli approcci alla progettazione dei BMS. Alla semplice predisposizione di database per la catalogazione, frequentemente si affiancano soluzioni più evolute comprendenti la definizione di metodi dinamici, indicatori di stato, modellazioni del degrado e delle resistenze residue. È questo il caso di alcuni sistemi statunitensi che prevedono il monitoraggio dello stato di funzionalità dei ponti sull'intero territorio di competenza e la possibilità di valutare le strategie di manutenzione anche in termini economici (Czepiel, 1996, Small et al., 1999, Godart et al., 1999). Simile impostazione è contenuta anche negli sviluppi del progetto BRIME, *Bridge Management in Europe* (Woodward et al., 2001), capofila in Europa nella proposizione di tecniche di pianificazione degli interventi di manutenzione dei ponti stradali e che è risultato ispiratore di metodi sviluppati in Italia in cui l'approccio al problema ha previsto la strutturazione di sistemi dove il ponte viene identificato dall'andamento di specifici indicatori di prestazione dedotti sulla base di ispezioni vive (Proverbio et al., 2002, Franchetti et al., 2003, Gori, 2006).

La ricerca di specifici indicatori di stato riconduce la complessa problematica dell'ispezione e della manutenzione dei ponti ad approcci proposti e concretamente attuabili anche nell'ambito delle realtà delle amministrazioni locali (Campitelli, 2004, Martinello, 2005). Sistemi di questo tipo si configurano come corretti strumenti di caratterizzazione dello stato di degrado delle opere, tuttavia, al fine di perseguire un continuo sviluppo delle tecniche di gestione, si deve ritenere che un metodo di più ampio respiro debba maggiormente evidenziare al suo interno la definizione dell'importanza strategica dell'opera nel contesto della rete viaria. Solo in questo caso l'indicatore identificativo del grado di priorità d'intervento non risulta confinato ai soli aspetti di degrado strutturale ma può cogliere più compiutamente l'esigenza di funzionalità complessiva del ponte stradale e della stessa via della quale ne costituisce elemento di continuità.

1.2. Obiettivi

Secondo quelli che sono i nuovi orientamenti nella pianificazione della manutenzione delle opere d'arte stradali, il lavoro presentato in questo articolo si propone di definire una metodologia di gestione di ponti e viadotti che preveda una valutazione dell'evoluzione temporale della funzionalità globale dell'infrastruttura in relazione ad

aspetti strategici fondamentali quali le caratteristiche del traffico e l'evoluzione della configurazione della rete dei trasporti.

In una forma necessariamente sintetica, lo studio si propone di definire *indicatori di stato* espressi in termini di *priorità di intervento*, intendendo con questo termine la valutazione dell'effettivo stato dell'opera in relazione alla sua importanza socio-economica, dedotta attraverso criteri oggettivi e sistematici.

Si propone pertanto la definizione di una metodologia per individuare una gerarchia di priorità nella destinazione delle risorse economiche per la manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere di attraversamento della rete stradale.

2. PRESUPPOSTI E STRUTTURA DEL METODO

2.1. Presupposti teorici

Nel rispetto delle finalità preposte, il metodo di analisi dello stato di conservazione dei ponti si configura come un sistema di gestione razionale e dinamico, fondato sulla definizione di specifici indicatori di stato in grado di tradurre numericamente le informazioni provenienti dalle ispezioni visive e di consentire la costruzione di curve di decadimento per la scelta di soglie di intervento ottimale.

Al fine di ottenere una gerarchizzazione dei manufatti scaturita sulla base di un'effettiva priorità di intervento, intesa nel suo più ampio significato, il sistema si articola secondo due sequenziali livelli di gestione definiti in letteratura con *project level* e *network level* (Franchetti et al., 2003).

Nella fase di ispezione e definizione dello stato di degrado si procede a livello della singola opera (*project level*), individuandone degni funzionali e strutturali e considerando il ponte come isolato dal sistema viario. Passando alla auspicata definizione dell'*Indice di Priorità di intervento (IP)*, ad ogni opera viene assegnato un livello di importanza che la identifica come elemento all'interno della rete territoriale dei trasporti. In questo caso il sistema si articola in una seconda fase nella quale si opera a livello di rete (*network level*), e nella quale lo stato di conservazione della singola opera diviene subordinato al ruolo che essa ricopre nel più ampio contesto della rete stradale.

2.2. Struttura del sistema, catalogazione delle opere, ispezioni

Secondo l'approccio metodologico seguito, il sistema BMS proposto consiste di due interagenti fasi operative, denominate fase di *catalogazione* e fase di *ispezione*.

Lo scopo della fase di catalogazione è ottenere una adeguata conoscenza delle opere presenti sul territorio; in questa fase, il sistema delinea una procedura di censimento coordinata e standardizzata che contenga informazioni di identificazione e posizione dell'opera, importanza strategica, condizioni ambientali di esposizione e di interazione con idrografia locale, identificazione tecnica dello schema statico e dei materiali.

Tutte le informazioni richieste per stabilire il livello di importanza dell'opera sono relative a dati non derivanti da un giudizio soggettivo dei possibili ispettori.

In particolare l'importanza dell'opera viene definita sulla base di tre diversi criteri relativi alla classificazione dell'infrastruttura di appartenenza, al traffico giornaliero

medio, alla presenza e lunghezza di percorsi alternativi in caso di chiusura del ponte in esame.

Oggetto della fase di ispezione è il rilievo dell'evoluzione dello stato di conservazione delle opere catalogate secondo lo svolgimento di analisi visive ed una opportuna valutazione dei degradi. La struttura della fase di ispezione risponde all'esigenza di definire linee guida per l'analisi dei manufatti relativamente ad un preciso istante temporale. Al fine di ottenere una omogeneità del giudizio, risulta particolarmente utile dotarsi di un *catalogo* tipologico di difetti ed ammaloramenti contenente anche indicazioni quantitative di tipo metrico.

3. ANALISI DELLO STATO DI DEGRADO STRUTTURALE

La fase di ispezione prevede il rilievo visivo dello stato di conservazione delle opere attraverso l'individuazione, l'identificazione e la valutazione dei degradi nei materiali e dei dissesti strutturali presenti. L'oggettività dell'esito scaturisce dall'identificazione di parametri di definizione dei dissesti cui assegnare opportuni coefficienti numerici che quantifichino univocamente le difettosità riscontrate e, nel contempo, consentano di omogeneizzare la descrizione di difetti difficilmente comparabili e che possano essere espressi in unità di misura differenti.

3.1. Parametri di definizione dei dissesti

In conformità ai principi comuni ai diversi metodi di ispezione visiva dei degradi proposti in letteratura, la metodologia elaborata considera una valutazione dei degradi sulle strutture per mezzo della definizione di *parametri* che descrivano numericamente le caratteristiche con cui i diversi difetti si presentano nei singoli casi. I parametri che definiscono i difetti nel metodo sono diversi e non possono variare in senso continuo all'interno di un intervallo di estremi noti, ma devono invece assumere valori discreti, derivanti dal raggiungimento di *livelli* prestabiliti.

3.1.1. Tipologia di dissesto

Col termine *tipologia* si intende l'identificazione dell'ammaloramento. La sua determinazione è affidata alla competenza tecnica dell'ispettore ed all'utilizzo di un catalogo dei difetti ben articolato. La tipologia del dissesto è funzione del tipo di elemento strutturale e del materiale di cui esso è costituito. Sono ad esempio difetti la presenza di fessurazione, il distacco di copriferri, lo scalzamento delle fondazioni, ecc.

3.1.2. Severità (S)

La *severità* del difetto è un indicatore numerico che si associa ad ogni singola tipologia di dissesto e ne definisce la gravità.

La severità *S* non è interpretabile dall'ispettore ma è univocamente definita per ogni tipologia di dissesto e relativa ubicazione, secondo precise gerarchie stabilite nel metodo proposto in base alle conseguenze funzionali e strutturali valutabili nel breve termine. Il livello di severità è identificato da una lettera e da un relativo valore numerico (Tabella 1), indicativi delle negative implicazioni strutturali e funzionali a breve termine nella quale versa l'opera in osservazione.

Tabella 1 – Definizione dei livelli per il parametro di Severità del difetto (S)

Livello Severità (S)	Identificazione	Implicazioni nel breve termine	Valore numerico
B	Severità bassa	nessuna	2
M	Severità media	funzionali	5
A	Severità alta	strutturali	10

3.1.3. Frequenza (F)

Viene definito col nome di *Frequenza* quel parametro che identifica il ripetersi della specifica tipologia di difetto sulla struttura.

Il parametro di frequenza discende dalla definizione dei concetti di difetto *localizzato* e difetto *diffuso*, i quali devono essere applicati in relazione sia alle *superfici* che al *numero* di elementi strutturali di uno stesso tipo presenti su un ponte (Tabella 2).

Tabella 2 – Definizione dei livelli per il parametro di Frequenza del difetto (F)

Livello Frequenza (F)	Identificazione	Distribuzione del difetto	Valore numerico
F1	Frequenza limitata	Localizzata	1
F2	Frequenza elevata	Diffusa	2

3.1.4. Estensione (Es)

Il parametro di estensione definisce l'entità con cui ciascuna tipologia di difetto si manifesta sulla struttura in esame. Come per la severità anche all'estensione sono associati tre possibili livelli (Tabella 3). Il livello di estensione è del tutto indipendente da quello di frequenza ovvero una tipologia di difetto può presentarsi con una frequenza diffusa ma contemporaneamente con un'estensione di livello moderato.

Per tutte le tipologie di difetti in cui è possibile una quantificazione di tipo metrico, ai tre livelli di estensione possono essere assegnati anche determinati valori dimensionali.

Tabella 3 – Definizione dei livelli per il parametro di Estensione del difetto (Es)

Livello Estensione (Es)	Identificazione	Entità del difetto	Valore numerico
E1	Estensione minore	Lieve	1
E2	Estensione moderata	Moderata	2
E3	Estensione elevata	Intensa	5

3.1.5. Evoluzione (Ev)

La definizione del parametro *evoluzione* si concretizza attraverso l'ipotesi che le ispezioni visive avvengano in successione nel tempo. In queste condizioni il rilievo dello stato di degrado delle opere assume la forma di un monitoraggio, durante il quale è possibile riscontrare una evoluzione nel tempo dei singoli difetti. Il parametro di evoluzione rappresenta quindi nel modello analitico il gradiente con cui il difetto evolve nel tempo. L'assegnazione del livello di evoluzione avviene in relazione all'analisi di

eventuali variazioni dei livelli di estensione E_s e di frequenza F registrati in due ispezioni successive per uno stesso difetto (Tabella 4). Pertanto, l'indicatore di stato del ponte è in grado di tenere in conto la diversa velocità con cui uno stesso difetto può evolvere su elementi strutturali diversi coerentemente con le definizioni proposte internamente al metodo stesso.

Tabella 4 – Definizione dei livelli per il parametro di Evoluzione del difetto (E_v)

Livello Evoluzione (E_v)	Identificazione	Gradiente di evoluzione	Valore numerico
N	F e E_s non sono cambiati	Nulla	1
L	F o E_s sono cresciuti di un livello	Lento	1.5
V	F o E_s sono cresciuti di più di un livello	Veloce	2

4. DEFINIZIONE DEGLI INDICATORI DI STATO

Attraverso l'identificazione dei principi sopraesposti, la potenzialità dello strumento di gestione sviluppato si manifesta quindi nella capacità di rispondere all'esigenza della gerarchizzazione di intervento sulle opere, con riguardo alla mutua relazione fra stato di degrado rilevato ed importanza strategica delle stesse.

Ciò si deve concretizzare in un duplice contributo nella formulazione delle equazioni e nel calcolo analitico degli indici numerici finali. L'esito dell'ispezione visiva, nucleo operativo della metodologia, non fornisce dunque l'unico strumento di giudizio.

4.1. Indice dello Stato di Conservazione Strutturale (SCS)

L'*Indice dello Stato di Conservazione Strutturale (SCS)* è funzione del rilievo e della valutazione quantitativa dei difetti. Nel seguito si farà riferimento a "classi di elementi" le quali stanno ad indicare l'insieme di elementi strutturali di una stessa tipologia appartenenti ad una medesima struttura. Ad esempio, in un ponte ad arco esisteranno le specifiche classi delle spalle, delle pile e dell'arco.

Per giungere alla determinazione del SCS, vengono definiti indici di condizione relativi ad ogni singola classe di elementi strutturali che compone l'opera e che prendono il nome di *Indice di Condizione della classe di Elementi (ICE)*:

$$ICE_j = W_j \cdot \sum S_i \cdot F_i \cdot E_s \cdot E_v \quad (\text{eq. 1})$$

dove:

S_i = Severità dell' i-esimo difetto (2, 5, 10)

F_i = Frequenza dell' i-esimo difetto (1, 2)

E_s = Estensione dell' i-esimo difetto (1, 2, 5)

E_v = Evoluzione dell' i-esimo difetto (1, 1.5, 2)

W_j = Peso relativo della j-esima classe di elementi strutturali ($W = 1.0$ per elementi di rilevanza strutturale; $W < 1.0$ per elementi di rilevanza prevalentemente funzionale).

L'indice ICE, per come è strutturato, prevede un solo fondo scala, quello relativo al valore minimo, pari a zero, attribuibile verosimilmente alle opere nuove che non presentano in linea teorica alcun tipo di difetto.

Il valore massimo della scala, cioè il valore numerico che identifica le opere nello stato di conservazione peggiore e quindi aventi massima priorità di intervento, è stato fissato nel valore convenzionale 100. Si considera pertanto che un'opera versì in uno stato di conservazione non più compatibile con la sua piena funzionalità quando presenti una classe di elementi strutturali con ICE pari al 50% del valore relativo ad un singolo difetto di entità massima. Si propone quindi che, in senso assoluto, l'ICE delle j classi di elementi strutturali possa variare all'interno del seguente intervallo:

$$ICE_j \in [0;100] \quad (\text{eq. 2})$$

La fase successiva deve definire il passaggio fra la valutazione numerica dello stato di conservazione delle singole classi di elementi strutturali e la valutazione numerica dello stato di conservazione dell'intera struttura.

La metodologia prevede che lo stato della struttura debba essere univocamente determinato dallo stato della sua classe di elementi strutturali con condizione più critica. Pertanto la priorità di intervento tiene in debito conto lo stato dell'elemento strutturale più danneggiato piuttosto che la condizione generale dell'opera. Secondo questo criterio, opere con un solo elemento fortemente degradato hanno priorità rispetto ad opere con danni diffusi ma lievi.

L'indice ICE, pur essendo relativo a singoli elementi dell'opera, diviene quindi il nucleo centrale della valutazione dello stato di conservazione dell'intera struttura. Ciò è tradotto nel modello analitico tramite la valutazione dell'*Indicatore dello stato di conservazione della struttura (SCS)* attraverso il massimo valore degli ICE relativi alle diverse classi di elementi strutturali.

$$SCS = \text{MAX} \{ICE_j\} \quad (\text{eq.3})$$

In seguito alla valutazione dell'indice ICE di tutti gli elementi strutturali di cui il ponte è composto può essere definito lo stato di conservazione globale, identificato dall'Indice di condizione globale (ICG) che deriva dalla media pesata degli indici ICE dei diversi elementi per le m classi di elementi strutturali.

$$ICG = \frac{\sum_{j=1}^m ICE_j}{\sum_{j=1}^m W_j} \quad (\text{eq.4})$$

L'indice ICG non ha valenza nella gerarchizzazione delle opere riguardo alla priorità di intervento ma fornisce un'indicazione di tipo qualitativo nei confronti dello stato di

conservazione globale dell'opera. Di norma il valore di ICG è inferiore al valore del SCS. Quando i due indici hanno valori confrontabili significa che l'opera ha uno stato di ammaloramento che può essere considerato uniforme. Gli stessi valori risulteranno significativamente diversi allorquando si manifesta un degrado avanzato di un particolare componente strutturale.

4.2. Coefficiente di importanza dell'opera nel contesto stradale (Ki)

Il peso della collocazione strategica all'interno della rete territoriale dei trasporti è reso esplicito dal *Coefficiente di importanza* (Ki), il cui valore è definito come funzione di tre parametri.

$$K_i = 1 + \frac{K_C + K_T + K_S}{100} \quad [1 \leq K_i \leq 2] \quad (\text{eq.5})$$

dove:

K_C = Parametro di classificazione della rete stradale

K_T = Parametro di entità del traffico

K_S = Parametro di viabilità strategica

Nell'intervallo di variabilità possibile, K_i identifica ponti di importanza ridotta ($K_i = 1$) rispetto a strutture di importanza fondamentale per l'assetto viario del territorio ($K_i = 2$), per le quali dovrebbe sempre essere garantita la funzionalità necessaria per lo svolgimento del servizio.

4.2.1 Classificazione della rete stradale – Parametro K_C

I valori numerici che classificano il tipo di strada in relazione alla rete vengono assegnati in analogia a quanto previsto dal DM 05.11.2001 "Norme Funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (Figura 1).

- rete primaria (*transito e scorrimento*): $K_C = 30$
- rete principale (*distribuzione*): $K_C = 20$
- rete secondaria (*penetrazione*): $K_C = 10$
- rete locale (*accesso*): $K_C = 0$

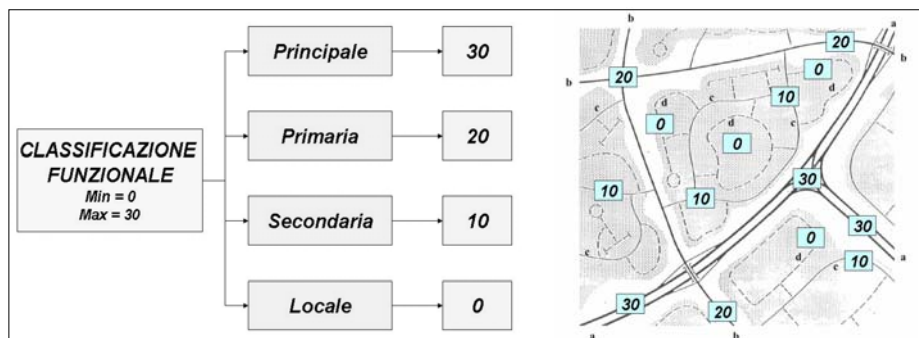


Figura 1 – Definizione dei valori numerici assumibili dal coefficiente K_C

4.2.2 Entità del traffico (TGM) – Parametro K_T

L'entità del traffico circolante lungo un'infrastruttura è stata suddivisa in tre classi in funzione del Traffico Giornaliero Medio (TGM), cui sono stati attribuiti i seguenti punteggi in ordine decrescente di importanza (Figura 2):

- $TGM > 5000$ ($K_T = 30$)
- $1500 < TGM < 5000$ ($K_T = 15$)
- $TGM < 1500$ ($K_T = 0$)

4.2.3 Viabilità strategica - Parametro K_S

Il peso attribuito a tale campo assume i seguenti valori estremi (Figura 2):

- Infrastruttura non facente parte di un tratto di viabilità strategica ($K_S = 0$)
- Infrastruttura facente parte di un tratto di viabilità strategica (percorso militare, rete protezione civile) senza possibilità concreta di percorsi alternativi ($K_S = 40$)
- Infrastruttura facente parte di un tratto di viabilità strategica con la possibilità di percorsi alternativi di lunghezza variabile ($0 < K_S < 40$)

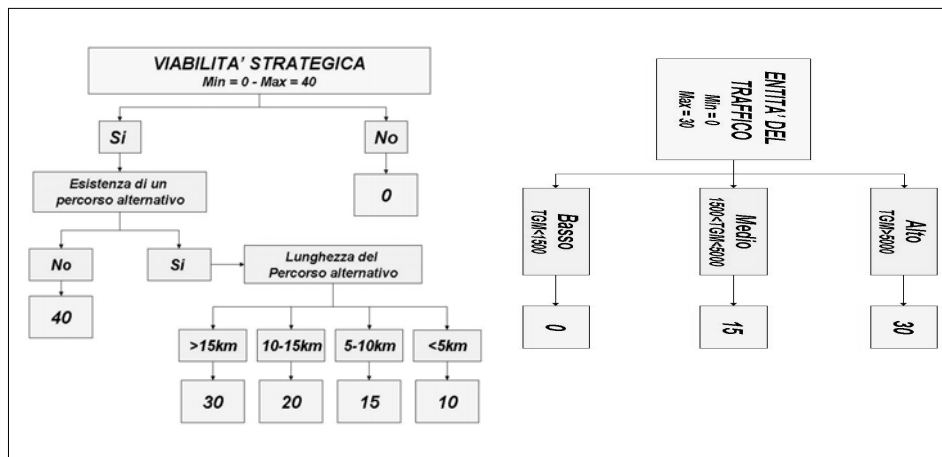


Figura 2 – Campo di variabilità dei coefficienti K_S e K_T

4.3. Indice di Priorità di Intervento (IP)

L'Indice di Priorità di Intervento IP rappresenta l'indicatore finale sul quale è possibile basare in prima approssimazione la programmazione della manutenzione delle opere d'arte presenti sul territorio. Il valore dell'Indice IP scaturisce dal prodotto del Coefficiente di Importanza K_i per l'Indicatore dello Stato di Conservazione dell'Opera SCS:

$$IP = K_i \cdot SCS \quad (\text{eq.6})$$

Riguardo la struttura dell'Indicatore di Priorità di Intervento (IP) occorre osservare che l'algoritmo di calcolo prevede che IP sia sempre nullo quando l'opera presenta condizioni di conservazione ottimali ($SCS = 0$), indipendentemente dal valore assunto dal coefficiente di importanza K_i . Ne consegue che a parità di condizioni, l'intervento più urgente sia relativo all'opera con K_i più elevato (Figura 3). Sulla base dei risultati scaturiti dall'analisi degli indicatori di stato viene proposta una suddivisione delle opere in diverse categorie, ognuna delle quali associata ad una differente *priorità di intervento* e a diverse condizioni di gestione (tabella 5).

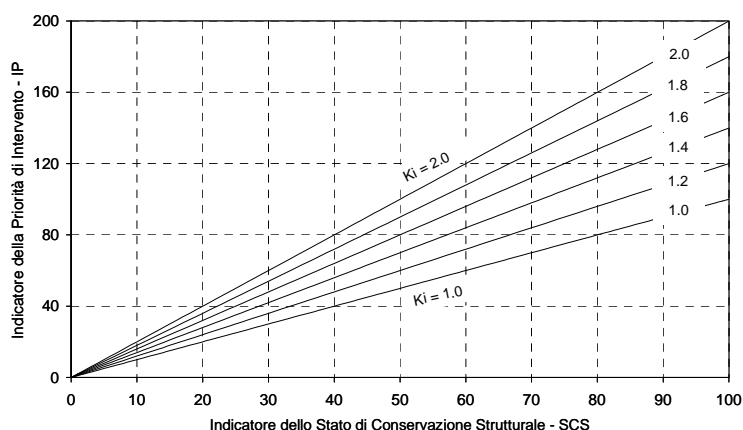


Figura 3 – Rappresentazione dell'Indicatore di Priorità di Intervento (IP) in funzione dell'Indicatore SCS e del coefficiente di importanza K_i .

Tabella 5 – Categorie di priorità di intervento

Categoria	Priorità	IP	SCS	ICG	Condizioni operative
P1	Bassa	0÷50	0÷25	0÷10	Nessuna operazione prima dell'ispezione successiva
P2	Media	50÷100	25÷50	10÷30	Anticipazione dell'ispezione successiva e monitoraggio
P3	Alta	100÷200	50÷100	>30	Necessità di verifica statica ed analisi strumentali

5. CONCLUSIONI

Il risultato finale del lavoro svolto si sintetizza in una proposta di implementazione degli attuali sistemi *BMS* presenti in letteratura e perviene alla definizione di un indicatore di stato per i ponti stradali, fondato sulla gerarchizzazione degli stessi secondo la valutazione di una effettiva *priorità di intervento di manutenzione*.

A valle della trattazione di linee guida per la valutazione dello stato di conservazione strutturale, è stata posta particolare attenzione all'introduzione del concetto di importanza dell'opera nel contesto della rete viaria, concetto utile alla discriminazione

di opere che per loro stessa natura ed ubicazione geografica non possono essere considerate identicamente essenziali per la vita economica del territorio. In questo senso la valutazione delle problematiche di ordine strutturale e funzionale derivanti dalle condizioni ambientali e di esercizio è stata integrata con un'analisi dell'importanza dell'opera inerente criteri di valutazione oggettivi, quali l'esistenza e l'eventuale lunghezza di percorsi alternativi, l'entità del traffico giornaliero medio e la classificazione funzionale della rete viaria.

6. BIBLIOGRAFIA

- AIPCR, Associazione Mondiale della Strada (2006) – “Aumento della vita utile dei ponti: linee guida per le fasi di progettazione, costruzione e manutenzione”, *Comitato Tecnico C.4.4 'Ponti stradali e relative strutture', Atti del XXV Convegno Nazionale Stradale*, Napoli 4-7 ottobre, 2006.
- Ryall, M.J. (2001) - “Bridge Management”, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- C.N.R., Consiglio Nazionale delle Ricerche (1993) – “Bollettino Ufficiale n.165 'Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale, ponti e viadotti', 30/12/1993”.
- Martinello, S. (2005) - “Dalla valutazione numerica dello stato di degrado dei ponti al collaudo”, *Nuovi orientamenti per la progettazione di ponti e viadotti, Atti del Convegno a cura di M. Arici e E. Siviero*, Taormina, 28 febbraio – 4 marzo, 2005.
- Franchetti, P., Pellegrino, C., Soffiato, A., Modena, C. (2003) - “La manutenzione programmata di ponti e viadotti: criteri per la valutazione dell'efficienza in servizio”, *XIII Convegno Nazionale SIV (Società Italiana Infrastrutture Viarie)*, Padova, Italia, 30-31 ottobre 2003.
- Gori, R. (2006) - “Preservation of historical metal bridges: evaluation of their structural reliability”, *TICCIH Congress*, 14-18 settembre, Terni, Italia, 2006.
- Campitelli, P., (2004) - “Pianificazione della manutenzione strutturale di ponti, ottimizzazione della modellazione numerica”, *Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile*, Università degli studi di Parma.
- Small, E.P., Philbin T., Fraher, M., Romack, G.P., (1999) - “Current Status of Bridge Management System Implementation in the United States”, *8th International Bridge Management Conference*, Transportation Research Circular 498, USA.
- Czepiel, E., (1996) - “Bridge management system literature review and search”, *ITI Technical report no.11*.
- Godart, B., Vassie, P.R., (1999) – “Deliverable D4 - Review of existing bridge management systems and definition inputs for the proposed BMS”, *Bridge Management in Europe (BRIME), 4th Framework Programme European Commission DG VII*.
- Godart, B., Vassie, P.R., (2001) – “Deliverable D13 – Bridge Management System: extended review of existing systems and outline framework for a European project”, *Bridge Management in Europe (BRIME), 4th Framework Programme European Commission DG VII*.
- Woodward, R.J. et al., (2001) – “Deliverable D14 – Final Report”, *Bridge Management in Europe (BRIME), 4th Framework Programme European Commission DG VII*.

A. Montepara, F. Merusi, F. Giuliani

- Proverbio, E., Venturi, V., (2002) – “Metodologie per la gestione delle ispezioni visive e delle indagini strumentali”, *La valutazione del degrado dei ponti ed i sistemi di gestione in Europa, Atti del Convegno*, Messina, 30 settembre, 2002.