

I sistemi di gestione dei ponti negli Stati Uniti d'America

La necessità di ottimizzare la distribuzione delle limitate risorse economiche disponibili per i lavori di manutenzione, ripristino e sostituzione dei ponti ha stimolato l'interesse nello sviluppo di modelli analitici che permettono di massimizzare la relazione beneficio/costo di questi lavori, e di analizzare i vari possibili scenari nel contesto di un determinato preventivo, o di altri parametri a scelta dell'utente.

Questi modelli sono poi stati incorporati in sistemi informatici per la gestione dei ponti.

La maggior parte degli stati che compongono gli USA hanno già incorporato questi sistemi di gestione. Attualmente si sta studiando l'integrazione di questi sistemi con sviluppi tecnologici recenti, quali le prove non distruttive e i sistemi di informazione geografica.

È da notare che sebbene questi sistemi siano stati creati per gestire ponti di qualunque materiale e tipologia, la loro applicazione nel caso dei ponti in acciaio è particolarmente importante, data la necessità di manutenzione più frequente e di ispezioni più approfondite degli elementi suscettibili a fatica.

GLI ENTI RESPONSABILI PER I PONTI STRADALI NEGLI USA

Negli Stati Uniti, la responsabilità per la costruzione e manutenzione dei ponti ricade su diversi tipi di enti pubblici, semipubblici o privati. Ogni stato ha un Department of Transportation (DOT), cioè un ente pubblico che è responsabile per la rete stradale statale e i ponti della medesima. Strade e ponti sulla rete stradale locale sono di solito responsabilità di enti pubblici appartenenti alla contea o alla città. Per la maggior parte delle strade, autostrade e ponti questi enti pubblici non riscuotono pedaggio.

Al contrario, alcune autostrade e ponti di grande luce appartengono ad Authorities cioè enti semi-pubblici creati specificamente per la loro costruzione, operazione e manutenzione, e riscuotono un pedaggio. Esistono anche alcuni casi di enti completamente privati.

La Federal Highway Administration (FHWA) è un ente federale che forma parte del "United States Department of Transportation", e che ha come obiettivo quello di creare il miglior sistema di trasporti del mondo attraverso l'esperienza, l'amministrazione delle risorse e dell'informazione, e l'innovazione. La FHWA ha un vasto programma di ricerca, sviluppo e tecnologia, e anche amministra la distribuzione dei fondi di origine federale ai diversi Stati, a seconda delle loro necessità.

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) è un ente che raggruppa i vari dipartimenti statali dei trasporti. La sua funzione è di promuovere lo sviluppo, operazione e manutenzione del sistema integrato di trasporti negli USA, includendo i trasporti aerei, auto-

Nell'ultimo trentennio, l'importanza dell'ispezione e manutenzione dei ponti è stata messa in evidenza da una serie di collassi che hanno avuto un notevole impatto sull'opinione pubblica, e dal fatto che moltissime strutture che fanno parte della rete principale di trasporti, costruita negli anni '50 e '60, hanno cominciato a necessitare sempre più di interventi di ripristino o ricostruzione. All'inizio degli anni '70 si è implementato negli USA un programma biennale per l'ispezione di tutti i ponti stradali. Per gestire la gran quantità di informazioni ottenute, sono stati creati dei sistemi organizzati mediante un database contenente informazioni sulle caratteristiche geometriche, strutturali e di traffico dei ponti, oltre ad informazioni sulla condizione dei vari elementi che li compongono.

Bridge management systems in the USA

In the last thirty years, the importance of the inspection and maintenance of bridges has been brought to light by a series of collapses that have become very well known, and the fact that a very large number of structures that form part of the main transport network, built in the fifties and sixties, have begun to require increasing restoration or reconstruction work.

In the USA, a two-yearly programme for the inspection of all road bridges was implemented in the early seventies. To deal with the large quantity of information obtained, systems - organised around a database containing information on the geometric and structural features, bridge traffic and the condition of the various component elements - were created.

strade, trasporti pubblici, ferrovie e trasporti via acqua.

In tutto esistono circa 480.000 ponti stradali (definiti come strutture con luce superiore ai 6 metri) negli Stati Uniti, di cui il 40% sono in acciaio. Al giorno d'oggi, circa il 42% di questi ponti sono strutturalmente deficienti oppure obsoleti dal punto di vista funzionale, mentre per il 20% si ritiene necessaria la sostituzione.

IL PROGRAMMA PER L'ISPEZIONE DI PONTI

Antecedenti storici

Nel 1967 il Silver Bridge, un ponte sospeso nel West Virginia sul fiume Ohio collassò a causa della frattura improvvisa di una biella, durante un giorno molto freddo. Questa frattura provocò la frattura susseguente di altre sbarre e quindi il collasso del ponte, e la morte di più di 40 persone.

A partire da questo tragico collasso si è istituito un programma per l'ispezione ogni due anni di tutti i ponti, sia appartenenti a enti pubblici, semi-pubblici o privati. Moduli standardizzati per l'ispezione devono venire completati e consegnati al DOT statale corrispondente.

Lo stesso dicasi del collasso del ponte sul fiume Mianus nel Connecticut (avvenuto nel 1983) a seguito della frattura di una biella, che ha originato un programma d'ispezione a fondo degli elementi

suscettibili alla frattura (fracture critical elements). Questi elementi si definiscono come gli elementi a trazione, o che contengono una zona a trazione, non ridondanti, il cui collasso si rifletterebbe nel collasso di una parte o di tutta la struttura. Questo programma prevede un'ispezione specializzata di tutti gli elementi suscettibili alla frattura, ogni due anni, e la preparazione di un rapporto separato dal rapporto d'ispezione generale.

Un terzo collasso importante, quello del ponte dell'autostrada I-87 sullo Schoharie Creek nel 1987 ha dato origine alla legge che specifica la necessità dell'ispezione degli elementi sommersi ogni cinque anni per verificare la presenza di erosione sotto le fondazioni.

E' da notare che la consegna dei rapporti sull'ispezione dei ponti e i corrispondenti moduli standardizzati dentro la tempistica prevista dai codici è condizione necessaria per lo stanziamento ad ogni Stato dei fondi di origine federale dedicati al programma di ripristino e ricostruzione di ponti. Per motivi di pubblica sicurezza, anche gli enti privati sono tenuti a preparare e consegnare alla FHWA questi moduli, anche se non ricevono finanziamenti pubblici.

National Bridge Inventory Standards (NBIS)

Nel 1971 si creano i National Bridge Inventory Standards (NBIS) che stabiliscono la politica da seguire riguardo alla frequenza delle ispezioni dei ponti, alle qualifiche che devono avere gli ispettori, al formato dei rapporti, e alle procedure per l'ispezione e la valutazione dei ponti. Una legislazione posteriore ha imposto che tutti i ponti dovevano venire ispezionati e inventariati se costruiti prima del 31 dicembre 1980.

Per assicurare l'implementazione uniforme di questa politica, si prepararono vari manuali, che vengono periodicamente aggiornati. I più importanti sono:

- FHWA Bridge Inspector's Training Manual (1990)
- FHWA Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges (1995)
- FHWA Inspection of Fracture Critical Bridge Members (1970)
- Bridge Inspector's Manual for Movable Bridges (1998)
- Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18) (1990)
- AASHTO Manual for Condition Evaluation of Bridges (2000).

Inoltre, riconoscendo l'importanza della preparazione degli ispettori agli effetti della valutazione della condizione dei ponti, e con lo scopo di ottenere risultati il più uniformi possibile, la FHWA ha preparato e offre regolarmente vari corsi di aggiornamento.

National Bridge Inventory (NBI)

Ogni stato raccoglie, mantiene e riferisce alla FHWA i dati sulla condizione dei ponti che formano parte del suo inventario. Questi dati vengono poi compilati in una banca dati denominata National Bridge Inventory, e utilizzati per calcolare un "coefficiente di sufficienza" (sufficiency rating),

cioè un fattore che tiene conto della adeguatezza della struttura dai punti di vista strutturale e della sicurezza, dell'efficienza di servizio, dell'obsolescenza funzionale, e dell'essenzialità per gli utenti. In base al coefficiente di sufficienza la FHWA può identificare i ponti che rispondono ai requisiti necessari per ricevere fondi di origine federale.

I SISTEMI PER LA GESTIONE DEI PONTI

La grande quantità di dati ottenuti durante le ispezioni standardizzate a partire dal 1971 ha portato i vari dipartimenti dei trasporti a creare dei database capaci di manipolare e organizzare i risultati e altre informazioni relative ai ponti in modo da facilitare la gestione del loro inventario.

L'evoluzione di queste banche dati ha portato finalmente ai sistemi per la gestione dei ponti, che si possono definire come "un approccio sistematico e razionale per organizzare e portare a termine tutte le attività relative ai ponti, che sono essenziali per le infrastrutture dei trasporti". Tali attività includono, sia a livello di ogni struttura considerata individualmente che a livello rete (inventario completo dei ponti appartenenti ad un ente): la definizione e documentazione della condizione dei ponti, l'identificazione ed implementazione dei lavori di manutenzione preventiva, ripristino e ricostruzione, la programmazione dei lavori, lo stanziamento dei fondi necessari per il ripristino o ricostruzione e la previsione delle necessità future.

Nel 1985 la National Cooperative Highway Research Project (NCHRP), con la sponsorizzazione della AASHTO e la FHWA, iniziò lo sviluppo di un sistema per la gestione di ponti. Questo progetto diede origine al software BRIDGIT, completato nel 1996.

Negli anni novanta, riconoscendo la convenienza dell'uso di un sistema comune per la gestione dei ponti da parte dei vari stati ed enti pubblici e privati, la FHWA iniziò lo sviluppo di un sistema generico, che finalmente si è concretato nel software PONTIS. La responsabilità di aggiornare e distribuire questo software è stata poi trasferita alla AASHTO. La versione corrente è 3.4.1.

Questi sistemi per la gestione dei ponti consistono essenzialmente in un database, ottenuto principalmente attraverso il sistema standardizzato di ispezioni visuali ogni due anni, dei ponti in uso da più di vent'anni, e da altre fonti.

L'informazione viene analizzata utilizzando metodi sofisticati, che generano una lista dei lavori necessari per la manutenzione dei ponti (intesa in senso lato come manutenzione, ripristino ed eventuale sostituzione della struttura), e ne stabiliscono le priorità sia a livello della struttura considerata individualmente che a livello rete, in base ai fondi disponibili. Inoltre permettono di prevedere il deterioramento futuro in base a dati storici, valutare diverse alternative e ottimizzare il programma a lungo termine per la manutenzione.

Tutti questi sistemi utilizzano essenzialmente lo stesso approccio deterministico, basato sull'informazione disponibile nel NBI, con moduli per la modellazione delle varie funzioni. Le differenze tra i vari sistemi di gestione consistono principalmente nell'applicazione delle curve di deteriora-

mento, il modo per determinare la priorità dei lavori necessari e le funzioni per ottimizzare i costi. Sebbene l'obbligatorietà dell'implementazione dei sistemi di gestione di ponti originamente istituita dalla legislazione ISTEA fu poi annullata nel 1995, con pochissime eccezioni, i vari stati hanno continuato ad adottare PONTIS, BRIDGIT, oppure sistemi sviluppati internamente, almeno per la gestione dei ponti e pavimentazioni stradali.

IL SISTEMA PONTIS

Il software PONTIS è un sistema completo per la gestione dei ponti, al cui nucleo è un sistema decisionale che analizza complessi fattori tecnici ed economici e determina la strategia per mantenere e massimizzare la sicurezza e la vita di servizio dell'inventario di ponti di un ente, dentro i limiti di un dato preventivo. Il sistema è organizzato attorno a un database che include la composizione e la condizione dei vari elementi di ogni ponte, i dati di traffico e altri dati provenienti dalle ispezioni o da altre fonti [1].

PONTIS analizza la situazione usando tre modelli:

- Un modello per la manutenzione (Preservation Model)
- Un modello per il miglioramento funzionale (Functional Improvement Model)
- Un modello per l'ottimizzazione del programma di interventi (Program Optimization model).

PONTIS è stato sviluppato in modo da permettere la sua integrazione con altri due programmi distribuiti dalla AASHTO: VIRDIS per la valutazione della resistenza e i valori delle tensioni nei vari elementi del ponte, e OPUS per la progettazione di ponti. Tutti e tre i programmi usano lo stesso modello per il database, il che permette lo scambio di informazioni.

Dal 1998, 39 dei 50 stati che costituiscono gli Stati Uniti d'America, due contee, una città e due paesi (il Kuwait e l'Ungheria), hanno implementato l'uso di PONTIS.

I dati ottenuti attraverso l'ispezione

PONTIS utilizza circa 120 elementi basici predefiniti "CoRe" (commonly recognized elements, ovvero "elementi comunemente riconosciuti"), ai quali l'utente può aggiungerne degli altri secondo le proprie necessità. Questa standardizzazione facilita lo scambio di informazioni tra i diversi enti. La figura 1 mostra un esempio di come vengono classificati i vari elementi tipici di una struttura.

Per ogni elemento PONTIS definisce cinque possibili stati o condizioni in termini visuali. Un modulo di traduzione può effettuare la conversione tra questi valori e i valori su scala 0-9 della banca dati NBI e viceversa. Un esempio delle condizioni predefinite da PONTIS viene riportato nella tabella 1.

Modello per la manutenzione

Il modello per la manutenzione utilizza un'impostazione analitica "top-down". L'ottimizzazione sviluppa una politica puramente a livello rete e la applica per determinare le decisioni a livello di progetto, considerando interventi alternativi in risposta alle varie condizioni che si possono osservare sui vari elementi basici predefiniti.

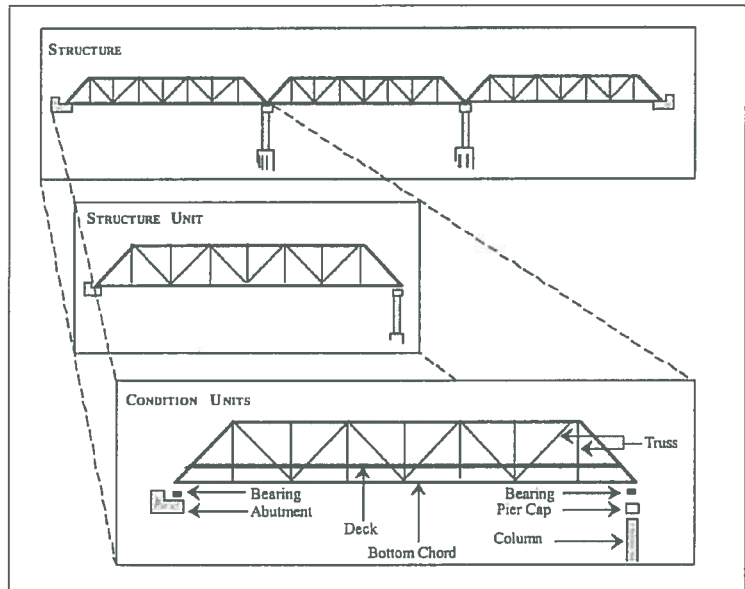


Fig. 1 - Rappresentazione dei dati di un ponte in PONTIS

TAB. 1 - DEFINIZIONE DELLA CONDIZIONE PER ELEMENTO 107, TRAVI METALLICHE VERNICIATE

Stato	Condizione	Descrizione
1	Nessuna corrosione	Non c'è evidenza di corrosione attiva; il sistema di riverniciatura è in buone condizioni
2	Deterioramento della vernice	Poca corrosione. Si sta formando corrosione superficiale
3	Formazione di ruggine	Corrosione superficiale estesa, ci può essere metallo esposto ma nessuna corrosione attiva
4	Corrosione attiva	La perdita di sezione strutturale non richiede ancora analisi strutturale
5	Perdita di sezione	La corrosione ha causato sufficiente perdita di sezione da necessitare analisi strutturale per verificare gli effetti dei danni

PONTIS utilizza un modello Markoviano del deterioramento per determinare la probabilità della transizione da una condizione all'altra ogni anno. Quattro modelli diversi di deterioramento sono stati predeterminati, per tenere conto del medio ambiente nel quale si trova la struttura. Le curve di deterioramento utilizzate per i vari elementi sono state sviluppate dall'analisi dei dati compilati nel NBI durante l'ultimo ventennio.

Per ogni condizione, nel sistema sono definite le azioni possibili (non intervento, vari tipi di riparazioni, sostituzione) e i costi relativi. L'azione di non-intervento rappresenta il modello di deterioramento. Se si esegue l'azione 1 oppure 2, vi sarà un miglioramento della condizione e si dovrà affrontare un costo. I costi della deficienza strutturale sono definiti per ciascun elemento e vengono determinate le probabilità di collasso a partire dall'ultima condizione.

Le probabilità delle transizioni da uno stato ad un altro, conseguenti alle varie azioni, sono rappresentative della loro efficacia. Le probabilità dell'efficacia delle azioni e i costi unitari, per l'elemento 107, sono indicati nella Tavola 2.

TAB. 2 - MODELLO DEL DETERIORAMENTO, INTERVENTI E COSTI UNITARI PER L'ELEMENTO PONTIS 107 - TRAVI METALLICHE VERNICIATE

Intervento	Probabilità di transizione (in percentuale)					Costo (\$/unità)
	Stato 1	Stato 2	Stato 3	Stato 4	Stato 5	
<i>Stato 1 - Nessuna Corrosione</i>						
0 Non-intervento	93.81	6.19	0	0	0	0
1 Pulitura della superficie	100	0	0	0	0	62.34
<i>Stato 2 - Deterioramento della vernice</i>						
0 Non-intervento	0	88.88	11.12	0	0	0
1 Pulitura della superficie	1	99	0	0	0	80.84
2 Pulitura della superficie e riverniciatura	96	4	0	0	0	225.26
<i>Stato 3 - Formazione di ruggine</i>						
0 Non-intervento	0	0	87.18	12.82	0	0
1 Sabbatura localizzata, pulitura e riverniciatura	88	12	0	0	0	328.48
<i>Stato 4 - Corrosione attiva</i>						
0 Non-intervento	0	0	0	90.55	9.45	0
1 Sabbatura localizzata, pulitura e riverniciatura	61	14	5	20	0	455.9
2 Riverniciatura completa	97	3	0	0	0	396.32
<i>Stato 5 - Perdita di sezione</i>						
0 Non-intervento	0	0	0	0	90.55	0
1 Ripristino	30	9	1	20	40	1279.52
2 Sostituzione del ponte	100	0	0	0	0	2394.82

Con questa informazione viene eseguita l'ottimizzazione della rete per determinare la politica ottimale a lungo termine che minimizza i costi previsti per tutta la vita utile, mantenendo l'elemento fuori dal rischio di collasso. Sebbene esistano varie definizioni per la vita utile o vita di servizio del ponte, una definizione comunemente utilizzata nel contesto dei sistemi di gestione di ponti è quella della vita del ponte fino a che diventa strutturalmente insicuro.

Il costo a lungo termine è semplicemente la somma del costo iniziale dell'azione, e la somma dei costi futuri delle azioni necessarie per rimediare la possibile condizione che può risultare nell'anno seguente. La combinazione delle azioni di costo minimo determina la politica ottimale per un dato elemento in un dato ambiente. Pontis risolve l'equazione di ottimizzazione utilizzando i metodi di programmazione lineare.

Modello per il miglioramento funzionale

In PONTIS, i miglioramenti funzionali (allargamento o rialzo della struttura, rinforzo per aumentare la capacità portante, e altri definiti dall'ente) vengono considerati separatamente dai lavori di manutenzione e ripristino. Sulla base di un "livello di servizio" minimo, il programma fa un paragone delle caratteristiche fisiche del ponte con i valori minimi accettati dai codici, e calcola il costo dei miglioramenti funzionali necessari.

Per ogni tipo di miglioramento si definiscono livelli minimi di servizio in termini di una caratteristica misurabile, come la larghezza, il carico ammissibile, ecc. Il criterio del livello di servizio può variare in funzione del volume del traffico, della categoria funzionale e della politica dell'ente. Un confronto tra la configurazione attuale e il livello minimo accettabile permette di isolare e quantificare le deficienze funzionali. I codici progettuali in vigore si usano quindi per determinare i costi al fine di eliminare la deficienza.

I benefici derivanti dai miglioramenti funzionali vengono calcolati in termini di risparmi per gli utenti del ponte. Per esempio:

- corsie di larghezza inferiore a quelle dettate dai codici possono comportare un maggiore rischio di incidenti stradali: PONTIS calcola la riduzione del rischio, e lo moltiplica per il costo dell'incidente per ottenere un risparmio per gli utenti nel caso di un miglioramento funzionale.
- Se un ponte ha limitata capacità portante o luce libera verticale, e gli autotreni devono usare un percorso alternativo, PONTIS calcola il costo addizionale di operazione del veicolo, il volume del traffico dirottato e il risparmio risultante per gli utenti nel caso di un miglioramento funzionale.

I benefici cumulativi del miglioramento sono determinati come la somma dei risparmi di costo degli incidenti, dei costi operativi dei veicoli e del tempo di viaggio.

Modello per l'ottimizzazione del programma di interventi

Per ogni elemento di un ponte, PONTIS utilizza i risultati dell'ottimizzazione della rete per determinare l'azione necessaria per la manutenzione o ripristino, sulla base delle condizioni reali, e quindi il suo costo unitario e il beneficio. Il beneficio netto di quella azione è la differenza dei costi a lungo termine tra l'azione ottima e l'azione di non intervento; così un beneficio netto importante implica una forte raccomandazione. La somma dei costi e benefici su tutti gli elementi per ciascun ponte fornisce una stima delle necessità totali di manutenzione e ripristino, e i benefici associati dell'eseguire una determinata azione, per ciascuna struttura dell'inventario.

Le necessarie azioni di ripristino possono essere quindi combinate con le necessità di miglioramento. Nei casi in cui un ponte presenti sia necessità di ripristino che deficienze funzionali, è conveniente

considerare la sua sostituzione. La sostituzione può risultare necessaria se l'azione di miglioramento funzionale appropriata non è fattibile, se il costo combinato delle azioni per il ripristino e per il miglioramento eccede una certa frazione del costo della sostituzione, oppure se la sostituzione offre un rapporto beneficio/costo più attraente.

I preventivi dei costi di manutenzione e ripristino sono basati esclusivamente su considerazioni di livello rete e non considerano fattori specifici del sito, come ad esempio i costi per il controllo del traffico e la mobilizzazione. PONTIS permette all'utente di calcolare costi specifici per il sito e includerli nella fase di programmazione del progetto.

La decisione finale riguardo ciascun progetto dipende dal definire le condizioni di bordo e le relazioni tra le diverse alternative di progetto. Dato che non ci sono quasi mai abbastanza risorse economiche sufficienti per coprire tutte le necessità, è necessario determinare il programma di progetti che massimizza il beneficio che si può ottenere con un preventivo limitato. Per ottenere questo PONTIS utilizza un metodo di benefici/costi incrementale.

L'analisi incrementale di beneficio/costo si può comprendere meglio nel contesto di preventivo zero. Il procedimento comincia con un preventivo zero, richiedendo così la scelta in ogni caso dell'alternativa di non intervento, con costo zero e beneficio zero. Quando si aggiunge al preventivo un piccolo incremento di finanziamento questo viene assegnato al ponte che è in condizioni di massimizzare l'aumento nel beneficio con un dato incremento del costo. Ogni volta che si aggiunge al programma un nuovo incremento del finanziamento, questo viene assegnato in modo ottimale al ponte e all'alternativa che offre il più rapido aumento dei benefici. L'aggiunta di ulteriori aumenti di finanziamento continua fino a che si raggiunge il valore totale del preventivo disponibile.

IL SISTEMA BRIDGIT

BRIDGIT è un sistema ideale per enti piccoli, che non posseggono le risorse necessarie per mantenere personale addetto esclusivamente ai sistemi di gestione di ponti, e per acquistare e mantenere i complessi programmi delle banche dati e altri sistemi richiesti da PONTIS [2].

Alcune delle differenze principali tra PONTIS e BRIDGIT sono:

- In BRIDGIT gli elementi strutturali vengono considerati separatamente dai loro sistemi di protezione. Tutti gli elementi basici "CoRe" utilizzati da PONTIS possono essere modellati in BRIDGIT utilizzando gli elementi basici, o la combinazione di un elemento basico e un sistema di protezione. In questo modo, BRIDGIT può leggere i dati delle ispezioni utilizzati da PONTIS, ed eseguire un'analisi indipendente.
- In BRIDGIT il modello di preservazione usa una relazione tra la condizione degli elementi e la loro capacità portante.
- Il metodo di ottimizzazione della manutenzione è basato su un'analisi simultanea di vari periodi e non sull'analisi sequenziale dei periodi, come in PONTIS.

Alla condizione di ogni elemento viene assegnato

un fattore che indica se la condizione è accettabile, moderatamente accettabile o non accettabile (fattore A/M/U). BRIDGIT usa pure modelli Markoviani del deterioramento, con valori che possono essere modificati dall'utente in base ai dati ottenuti.

Dato che i lavori di manutenzione e ripristino solitamente non raggiungono la qualità dell'opera originale, e in molti casi non riescono ad eliminare completamente gli effetti del deterioramento, per tenere conto di questo fatto BRIDGIT "accelera" artificialmente il deterioramento dopo il ripristino. Inoltre, il sistema può accelerare o rallentare i processi di deterioramento usando un fattore ADT (Average Daily Traffic) relazionato alla classificazione funzionale della strada, che tiene conto del traffico di veicoli pesanti.

BRIDGIT è in uso presso un solo Stato e alcuni enti di trasporto metropolitani negli USA, e in India. BRIDGIT sarà disponibile prossimamente attraverso la AASHTO.

L'IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI DI GESTIONE DEI PONTI

Esiste una grande diversità tra i modi in cui un sistema generico per la gestione dei ponti, come PONTIS, può essere applicato dai diversi enti. In uno studio comparativo di tre stati [3] si è dimostrata la flessibilità di PONTIS per l'integrazione con altri sistemi di database sviluppati dai diversi stati indipendentemente, in molti casi prima dell'implementazione di PONTIS.

Lo stato di California, che sovrintende circa 12.178 ponti, è il più avanzato nell'implementazione di PONTIS, avendo cominciato nel 1992.

Il California Department of Transportation (Caltrans) utilizza un unico database che include le tabelle PONTIS, altre tabelle per la gestione dei ponti, e altri dati relazionati ai sistemi di trasporto. Diversi programmi accedono a parti diverse di questo database, in funzione al tipo e formato dell'informazione richiesta dall'utente. I tre programmi principali che utilizzano il database sono:

- SMART: programma per la gestione dei dati di ispezione di ponti, che permette generare dei rapporti adatti alle richieste dell'utente,
- PONTIS: permette l'applicazione di modelli di deterioramento e la programmazione dei vari progetti per il ripristino o la sostituzione dei ponti,
- BIRIS: è un'applicazione web appositamente sviluppata che permette di accedere agli archivi contenenti immagini, includendo disegni "As-Built", rapporti sull'ispezione dei vari ponti, fotografie, corrispondenza, e altri documenti importanti.

Oltre all'informazione riguardo alla condizione dei ponti, il database include liste delle varie attività di manutenzione e ripristino necessarie, e la possibilità per il personale di manutenzione di aggiornare la banca dati quando le attività vengono completate, utilizzando un'applicazione web.

In California, il database per la gestione dei ponti non è ancora integrato a quello per la gestione dei sistemi di trasporto.

Lo stato del Mississippi, che sovrintende circa 5.320 ponti (senza includere i ponti in giurisdizio-

ne delle città e contee) ha adottato PONTIS, ma ha sviluppato parallelamente un Transportation Management Information System (TMIS). Il TMIS è un sistema basato sui sistemi di informazione geografici (GIS), che contiene informazione non solo sui ponti, ma anche su pavimentazione, traffico e sicurezza. Il MDOT ha deciso di mantenere i due sistemi separatamente. Tutta l'informazione relativa ai ponti viene inserita nel database PONTIS, e un processo batch attualizza l'informazione nel database TMIS ogni notte. Il TMIS include altre informazioni riguardanti i ponti: file multimediali (fotografie, disegni costruttivi in formato CADD o scansiti, ecc.) e altri dati quali informazione su manutenzione e riparazioni effettuate, studi specializzati, ecc.

Lo stato del Michigan, che sovrintende 5.679 ponti, utilizza due database indipendenti per la gestione dei ponti e dei sistemi di trasporto (TMS), con un sistema automatico per il trasferimento di dati da una all'altra. Si prevede però di eliminare l'informazione sui ponti contenuta nel database TMS, e mantenere tutta l'informazione relativa ai ponti esclusivamente nel database PONTIS. Uno degli elementi in fase di implementazione è l'uso di una versione ridotta di PONTIS (PONTIS Lite) su laptop computer durante le ispezioni, che permette di attualizzare il database più velocemente.

TENDENZE FUTURE

La presa di decisioni per la manutenzione e ripristino di ponti

In studi comparativi [4] limitati a tre enti (i dipartimenti dei trasporti degli stati di Minnesota e South Carolina e un ente semipubblico nel New Jersey) si sono analizzate le raccomandazioni ottenute utilizzando PONTIS e i metodi tradizionali non automatizzati per la presa di decisioni riguardo al ripristino o la sostituzione dei ponti.

Nel primo caso, si è sviluppato un piano ventennale di ripristino e ricostruzione dei ponti di uno dei distretti nel Minnesota, responsabile per la manutenzione di circa 600 ponti stradali. Utilizzando metodi tradizionali (basati sul coefficiente di sufficienza, rapporti dell'ispezione e manutenzione, e valutazioni in-situ da parte di ispettori e ingegneri, ma senza tenere conto esplicitamente del futuro deterioramento), si sono identificati 64 ponti da sostituire. La simulazione PONTIS, utilizzando i modelli di deterioramento adeguati e un preventivo molto alto, ha dato come risultato la raccomandazione di sostituire 36 ponti, di cui 19 erano stati

identificati anche con i metodi tradizionali. La tabella 3 mostra un paragone dettagliato delle raccomandazioni ottenute seguendo i due metodi.

Si sono quindi identificate le seguenti fonti di discrepanza tra i due metodi:

- PONTIS non considera la convenienza di coordinare i lavori su diversi ponti nella stessa zona o sullo stesso tracciato, per minimizzare i disturbi all'utente e i costi di mobilitazione e della protezione del traffico durante i lavori,
- PONTIS non considera il vantaggio logistico di eseguire diversi lavori di ripristino su un ponte contemporaneamente, o sostituirlo, invece di eseguire i vari lavori a misura che diventano necessari, come determinato dal modello di deterioramento utilizzato da PONTIS.
- I metodi tradizionali non considerano in modo esplicito il deterioramento futuro, anche nel caso di programmazione a lungo termine.

Il secondo caso è quello del South Carolina Department of Transportation (SCDOT), che mantiene oltre 8200 ponti. Tradizionalmente il SCDOT utilizzava principalmente il coefficiente di sufficienza per determinare le priorità per la sostituzione di un ponte, ma dal 1998 ha cominciato ad utilizzare PONTIS per generare una lista iniziale dei ponti da sostituire. La lista viene poi riordinata in funzione del fattore costo/beneficio, e i progetti vengono selezionati sulla base di questo e altri fattori.

Si è rilevato che PONTIS dà una maggiore enfasi ad altri aspetti, principalmente il beneficio per l'utente, e quindi ha dato priorità a ponti con maggiore traffico, attraversamenti più lunghi, o quelli che richiedevano una deviazione del traffico pesante.

Paragoni di questo tipo hanno permesso di identificare quali elementi del modulo di decisione di PONTIS richiedono ulteriori modifiche per ottenere un miglior accordo con i programmi di ripristino e sostituzione di ponti sviluppati in modo tradizionale. In particolare, dati i costi fissi associati con i contratti per il ripristino di un ponte, il modulo di decisione dovrebbe prendere in considerazione la convenienza di effettuare varie riparazioni simultaneamente, piuttosto che scaglionate nel tempo; e anche la convenienza di eseguire simultaneamente le riparazioni sulle varie unità che compongono un attraversamento, e che vengono prese in considerazione da PONTIS in modo indipendente.

L'uso di PONTIS in fase progettuale

Il sistema PONTIS si può utilizzare anche in fase di progettazione di nuove opere di infrastruttura, come uno strumento per selezionare il tipo di struttura più adatta alla situazione, dal punto di vista del costo globale durante la sua vita utile e della manutenzione futura [1].

Uno dei casi più notevoli è quello del ponte sullo stretto di Carquinez, in California, un attraversamento lungo 1 km. Utilizzando PONTIS si sono studiati i modelli di deterioramento specifici per il sito e si sono ottenuti costi annuali di manutenzione. L'analisi dettagliato del costo iniziale della costruzione per sei tipologie diverse, e dei relativi costi di manutenzione, utilizzando le tecniche di life-cycle cost analysis per una vita utile di 125 anni ha determinato che il ponte sospeso e il ponte strallato

TABELLA 3

	Metodi Tradizionali	PONTIS
Ponti da sostituire	64	19
Tre interventi di ripristino in 10 anni	0	8
Due interventi di ripristino in 10 anni	0	2
Un intervento di ripristino in 10 anni	0	20
TOTALE INTERVENTI	64	49
Nessun Intervento di ripristino in 10 anni	0	15
TOTALE	64	64

risultavano le tipologie col minor costo globale. Si è notato che uno degli elementi determinanti è stato la minimizzazione della quantità d'acciaio, e conseguentemente dei costi di riverniciatura.

Sulla base di queste considerazioni, oltre che considerazioni estetiche e di minimo costo iniziale, si è scelta la tipologia a ponte sospeso con una campata centrale di 784 m. Attualmente sono in corso i lavori per le fondazioni.

La gestione di ponti sulla base dell'affidabilità

I lavori di manutenzione e ripristino di ponti dipendono, oltre che dalla condizione del ponte, anche, e in alcuni casi principalmente, dalla sua capacità portante [5]. La condizione degli elementi di un ponte determinata sulla base di osservazioni più che altro visuali, non permette quindi di stabilire la loro affidabilità. Recentemente è stato proposto un approccio in cui le attività di manutenzione sono selezionate in base ai cambiamenti nella affidabilità della struttura [6, 7]. Questo approccio probabilistico riconosce la natura non-deterministica del comportamento dei ponti e dell'evoluzione della affidabilità nel tempo, e tiene conto delle incertezze riferite all'ispezione, manutenzione, ripristino, sostituzione, e costi dei futuri interventi.

Nel caso delle strutture considerate individualmente, questo approccio minimizza il costo di manutenzione di una struttura al di sopra del livello desiderato di affidabilità durante la sua vita utile. A livello dell'inventario di ponti, l'ottimizzazione dell'equilibrio tra la affidabilità futura e i costi di manutenzione massimizza l'efficienza economica.

Per l'implementazione di questo approccio sono comunque necessari ulteriori studi e ricerche, simili a quelli attualmente in corso presso l'Università del Colorado negli USA, e l'allestimento di database completi e affidabili.

L'integrazione dei sistemi di valutazione non-distruttivi nella gestione dei ponti

Malgrado la disponibilità di tecniche per effettuare prove non-distruttive dei vari elementi che compongono un ponte, la maggior parte delle ispezioni vengono ancora eseguite usando principalmente metodi visuali. Studi comparativi recenti [8] tra i risultati di ispezioni visuali degli impalcati in cemento armato, e i risultati ottenuti mediante metodi acustico-meccanici non-distruttivi hanno confermato che le normali ispezioni possono risultare nell'assegnazione di parametri della condizione molto diversi, dato che non sono basati su una valutazione quantitativa.

Sebbene i risultati di queste valutazioni non distruttive, qualora fossero state eseguite, possano essere accessibili attraverso il database del sistema di gestione di ponti, al giorno d'oggi nè PONTIS nè BRIDGIT prevedono il loro uso negli algoritmi che permettono di valutare la necessità di manutenzione o riparazioni.

La FHWA ha quindi istituito un programma per lo sviluppo di valutazioni non-distruttive, con due obiettivi principali: lo sviluppo di tecniche nuove, e lo sviluppo di tecniche che permettano la valutazione quantitativa della condizione dei ponti e la loro integrazione nei sistemi di gestione di ponti [9]. Una delle conclusioni preliminari di questi

studi è che l'integrazione delle prove non distruttive in un sistema di gestione di ponti richiede una definizione diversa delle condizioni di un elemento, per incorporare i risultati quantitativi delle prove.

L'integrazione dei sistemi di informazione geografica (GIS)

Un'altra tecnologia in fase di sviluppo che può migliorare ulteriormente la funzionalità dei programmi per la gestione dei ponti è quella dei sistemi di informazione geografica, che permette di ottenere i dati corrispondenti ad ogni struttura identificandola in base alla sua ubicazione.

L'importanza della banca dati NBI e dei sistemi di gestione si moltiplica qualora si applichino le potenzialità delle relazioni spaziali create utilizzando i GIS. A questo scopo si può creare un livello nel sistema di informazione geografica dove ogni ponte è rappresentato da un vettore spaziale e quindi lo si può relazionare ai valori numerici corrispondenti ai vari fattori ambientali contenuti nello stesso GIS.

Studi di ricerca in corso negli USA hanno permesso di studiare la relazione tra il deterioramento dei ponti e altri fattori esterni quali il clima (pioggia, neve, temperature medie), i cicli di gelo e disgelo, la frequenza dell'applicazione di sali antigelo, l'idrologia, il terreno, e la zona sismica [10]. Questi fattori si sono analizzati statisticamente usando procedure avanzate per lo sviluppo di tre modelli di regressione per il deterioramento dei vari elementi dei ponti: un modello lineare, uno non-lineare non-parametrico, e uno non-lineare, parametrico. Si è determinato che il modello lineare è preferibile, principalmente in virtù della sua semplicità. Questo ha permesso di adottare un approccio completamente diverso alla preparazione dei modelli di deterioramento che include non soltanto l'età del ponte e il traffico giornaliero, ma anche questi fattori ambientali.

Attualmente per lo meno sei Stati, tra cui California, Florida, Massachusetts e Virginia, hanno riferito il database per il sistema di gestione di ponti a un database GIS.

CONCLUSIONE

I sistemi per la gestione di ponti, e in particolare PONTIS e BRIDGIT costituiscono un tentativo per assicurare l'efficienza di servizio (serviceability) a lungo termine dei ponti, attraverso un'analisi obiettiva dei dati ottenuti attraverso l'ispezione e una rigorosa applicazione dei principi dell'ingegneria economica.

Questa combinazione dei modelli economico e tecnologico-strutturale permette al sistema analizzare il ciclo vitale (life-cycle) delle varie alternative per il ripristino o la sostituzione dei ponti, ed esprimere le conclusioni in un modo comprensibile per i manager e legislatori.

I sistemi di gestione descritti in questo lavoro sono adatti a gestire le migliaia o decine di migliaia di ponti che formano parte delle infrastrutture di ogni stato negli USA. Un vantaggio importante dello sviluppo di un sistema unico adottato volontariamente dai vari stati è che permette la preparazione

di rapporti standardizzati e l'analisi statistico globale dell'intero inventario.

Negli USA, questo facilita la valutazione a livello federale dei bisogni dei vari stati, che è uno dei fattori utilizzati per lo stanziamento delle risorse economiche per il ripristino e la ricostruzione delle infrastrutture, sia a livello federale che a livello di ogni stato.

Come dettagliato negli esempi riportati sopra, ancor oggi, in molti sistemi computerizzati per la gestione dei ponti, il modulo per la presa di decisioni è di applicazione limitata e richiede l'intervento di un individuo [4, 11]. Il vantaggio più importante di questi sistemi è che comprendono in un database

tutta l'informazione riguardante la composizione e condizione dei vari ponti appartenenti ad un ente. Lo studio comparativo delle raccomandazioni ottenute utilizzando metodi tradizionali e uno dei sistemi di gestione di PONTIS ha permesso di identificare altri parametri da incorporare nei moduli decisionali.

In futuro, un approccio in base alla affidabilità, ancora in via di sviluppo, e l'integrazione di tecnologie relativamente recenti quali i sistemi di informazione geografica e le valutazioni non distruttive, permetteranno di ottimizzare ulteriormente i programmi per la manutenzione, ripristino e sostituzione dei ponti.

RIFERIMENTI

- [1] The PONTIS Bridge Management System, P. D. Thompson, E. Small, M. Johnson, A. R. Marshall, IABSE Structural Engineering International 4/98
- [2] The BRIDGIT Bridge Management System, H. Hawk and E. P. Small, IABSE Structural Engineering International 4/98
- [3] Integrating Bridge Management Systems into the Business Process and Software Environment of the State DOT: Three States' Experiences; S. Blundell, J. Smith, R. Kelley, M. Johnson, Transportation Research Board Circular 498, International Bridge Management Conference, Denver, USA, Aprile 1999
- [4] Comparison of PONTIS Bridge Project Recommendation to Programmed Work for three U.S. Transportation Agencies, A. Marshall, W. Robert, K. Anderson, R. L. Floyd, F. Corso, Transportation Research Board Circular 498, International Bridge Management Conference, Denver, USA, Aprile 1999
- [5] Optimum Maintenance Strategies for Highway Bridges, D. M. Frangopol, P. Thoft-Christensen, P.C. Das, J. Wallbank, M. Roberts, Proceedings of the International Conference on Current and Future Trends in Bridge Design, Construction and Maintenance, Singapore, Ottobre 1999
- [6] Management of Bridge Stocks based on Future Reliability and Maintenance Costs, D. M. Frangopol, P.C. Das, Proceedings of the International Conference on Current and Future Trends in Bridge Design, Construction and Maintenance, Singapore, Ottobre 1999
- [7] Bridge Management based on Lifetime reliability and Whole Life Costing: The Next Generation, D. M. Frangopol, J. S. Kong, E. S. Gharaibeh, Fourth International Conference on Bridge Management, Guilford, UK, Aprile 2000
- [8] Reliability of Visual Bridge Inspection, B. M. Phares, D. D. Rolander, B. A. Graybeal, and Glenn A. Washer, Public Roads, Marzo/Aprile 2001
- [9] Nondestructive evaluation for bridge management in the next century, S.B. Chase, G. Washer, Public Roads, Luglio/Agosto 1997.
- [10] An In-Depth Analysis of the National Bridge Inventory database Utilizing Data Mining, GIS and Advanced Statistical methods, S. B. Chase, E. P. Small, C. Nutakor, Transportation Research Board Circular 498, International Bridge Management Conference, Denver, USA, Aprile 1999
- [11] Bridge Management for New York City, Bojidar S. Yanev, IABSE Structural Engineering International 3/98

Maria Grazia Bruschi

Parsons Transportation Group – Steinman International, Inc. - New York, NY - USA

Edgar P. Small, Ph.D

Catholic University of America, Washington, DC - USA

XVIII Congresso Collegio dei Tecnici dell'Acciaio, Venezia 26-28 settembre 2001