

SUPPORTO A DECISIONI (DSS) PER LA GESTIONE E LA MANUTENZIONE STRADALE

- PRIMA PARTE -

METODI E TECNOLOGIE PER LA GESTIONE E PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE GRANDI INFRASTRUTTURE VIARIE

Si propone un dettaglio relativo al primo di una serie di attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale condotte all'interno della Programmazione MIUR 2007-2016.

In particolare, questo numero è dedicato alla descrizione del sistema di supporto alle decisioni (DSS), sviluppato nel corso della ricerca che - a partire dalla caratterizzazione delle azioni e attraverso l'analisi dell'intero ciclo di vita delle singole componenti e dell'intera infrastruttura - è in grado di gestire una rete stradale sia in condizioni di emergenza che per le fasi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Nell'ambito del Programma Operativo Nazionale 2007-2013 Ricerca e Competitività finanziato dal MIUR, è stato sviluppato il Progetto STRIT - Strumenti e Tecnologie per la gestione del Rischio delle Infrastrutture di Trasporto che ha coinvolto numerosi partner industriali e accademici in attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale finalizzate alla definizione di nuovi strumenti per la gestione della manutenzione, per la messa in sicurezza real time e per la gestione delle emergenze delle opere infrastrutturali.

I partner di progetto, oltre al Coordinatore Stress Scarl e alla sua compagine consortile, sono stati l'Università di Napoli Federico II, l'Università della Calabria, Amra Scarl, Boviar Srl, Eucentre, Diagnosis Srl, L&R Srl, Dismat Srl.

Le tematiche sono state affrontate in un'ottica multiscala:

- per singole infrastrutture (ponti, gallerie e opere geotecniche), sviluppando strumenti per la valutazione e riduzione dei rischi e della vulnerabilità, per il monitoraggio continuo, per la programmazione della manutenzione e la gestione della sicurezza;
- a livello di rete infrastrutturale, analizzando gli aspetti legati alla valutazione e alla gestione dei rischi dell'intera rete infrastrutturale attraverso lo sviluppo di linee di ricerca autonome che hanno riguardato:
 - la valutazione della vulnerabilità delle grandi infrastrutture viarie, attraverso la caratterizzazione delle possibili azioni

sulle infrastrutture e lo sviluppo di tecniche per la conoscenza delle singole infrastrutture;

- lo sviluppo di metodi e tecnologie di riduzione del rischio delle grandi infrastrutture viarie, che prevedono l'uso di tecniche tradizionali o innovative quali ad esempio calcestruzzi ad alte prestazioni, barre in FRP, LMF, strategie di controllo passivo, isolamento, ottimizzazione dei sistemi di rivestimento delle gallerie, ecc.;
- l'impiego di tecniche di monitoraggio avanzate che consentano l'acquisizione real-time di grandezze statiche e dinamiche, basate su sensoristica e algoritmi di controllo a basso costo e basso consumo;
- la gestione in tempo reale del rischio sismico delle grandi infrastrutture e la gestione dell'emergenza basate su sistemi Early Warning Sismico.

I diversi partner del progetto, per dimostrare sul campo la validità dei risultati della ricerca, hanno sviluppato degli interventi dimostratori integrati che hanno riguardato un sistema infrastrutturale reale o delle prove sperimentali in laboratorio su modelli in scala.

Si è scelto di presentare, in più fascicoli di questa rivista, i dettagli riferiti a tali interventi integrati per meglio esporre i risultati delle specifiche attività di ricerca. Il presente lavoro propone un dettaglio relativo al primo di questi interventi integrati - un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) - che, partendo dalla caratterizzazione delle azioni e attraverso l'analisi dell'intero ciclo di vita delle singole componenti e dell'intera infrastruttura di rete, è in grado di gestire una rete stradale sia in condizioni di emergenza che per le fasi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Il gruppo di ricerca che ha sviluppato il DSS è stato coordinato dalla Prof.ssa Fatemeh Jalayer dell'Università di Napoli Federico II e ha visto il coinvolgimento della struttura tecnica Stress Scarl e dei suoi soci GeosLab Srl e Consorzio TRE.

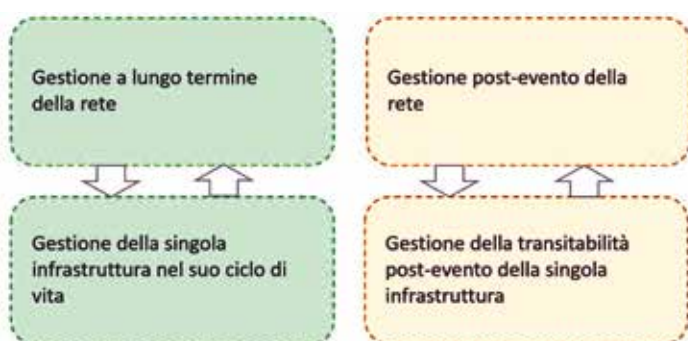


1. Presso lo svincolo autostradale di Bellinzona Nord, il ponte in cls armato precompresso sopra il fiume Moesa (fine anni Sessanta)

IL DSS

La maggior parte dei ponti in Italia è stata costruita negli anni Sessanta e Settanta, senza specifiche disposizioni sismiche. Pertanto, dovremmo attenderci che le azioni sismiche future possano comprometterli.

Dato questo contesto, è naturale che una valutazione rapida e precisa delle perdite economiche subite possa svolgere un ruolo cruciale nella gestione ordinaria e straordinaria di una rete di infrastrutture. È quindi fondamentale sviluppare strumenti in grado di guidare la gestione sia post-emergenza che in condizioni di gestione e manutenzione ordinarie e straordinarie della rete di infrastrutture e che tali strumenti possano essere gestiti con facilità e velocità dagli utenti incaricati. Pertanto l'attività scientifica condotta ha avuto come obiettivo la realizzazione e l'implementazione di un sistema di supporto alle decisioni (DSS) per la gestione e la manutenzione della rete stradale di infrastrutture sia in condizioni di emergenza, post-evento sismico, che per la pianificazione delle riparazioni (manutenzione straordinaria), con riferimento alla singola infrastruttura e/o all'intera rete analizzata.



2. La Struttura del DSS

Il DSS, la cui struttura è presentata in Figura 2, si divide in quattro sezioni che ne identificano la scala temporale permette di gestire le attività di manutenzione (ordinaria o straordinaria) nonché le attività decisionali nell'immediato post-evento.

Il sistema si compone di tre moduli per il suo funzionamento a livello di rete:

- modulo shakemaps;
- modulo analisi di affidabilità della rete;
- modulo simulazione delle perdite economiche diretti par la rete.

IL MODULO SHAKEMAPS

Le shakemaps sono mappe di rappresentazione del livello di intensità sismica e sono ormai diventate uno strumento prezioso per gli interventi di emergenza, per l'informazione pubblica, per la stima delle perdite e per la pianificazione degli interventi post-terremoto.

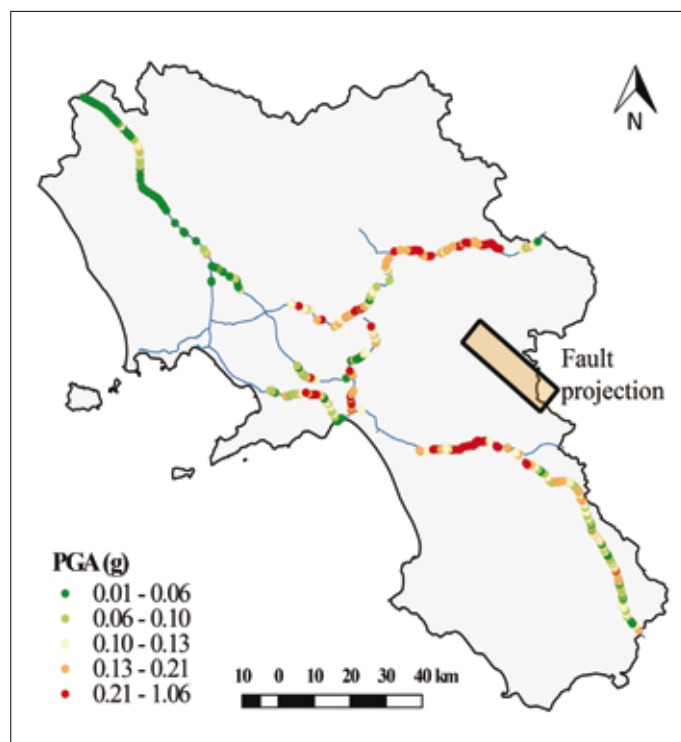
Nell'ambito di tale lavoro, sono state sviluppate shakemaps con riferimento a un preciso scenario sismico, andando a combinare misure strumentali di moto sismico con le informazioni sulla velocità di trasmissione delle onde di taglio, la posizione dell'epicentro e la magnitudo del terremoto, al fine di stimare le variazioni di moto su tutta un'area geografica.

In particolare, a partire dall'implementazione di una legge di attenuazione del moto sismico su una determinata area geografica, i campi di PGA ottenuti sono stati aggiornati sulla base dei dati reali provenienti dalle misure di intensità sismica registrate dalle stazioni accelerometriche.

Inoltre, è stata considerata la correlazione spaziale, sia con riferimento alla correlazione di tipo inter-evento, che con riferimento a quella di tipo intra-evento.

Attraverso un processo di simulazione, si è resa possibile la generazione di un elevato numero di simulazioni dei campi di intensità sismica in maniera immediata per un dato scenario, sviluppando così uno strumento che consente una rapida valutazione della pericolosità sismica relativa ad un'area geografica.

La Figura 3 presenta una realizzazione di una shakemap, che simula l'evento sismico dell'Irpinia 1980.



3. Una realizzazione del shakemap per l'evento dell'Irpinia del 1980, M 6.9 per la Regione Campania. I cerchi rappresentano i ponti. La scala dei colori riflette i valori di PGA espressi in unità di accelerazione di gravità (g). La zona rossa rappresenta la proiezione della faglia di Colliano

IL MODULO DI ANALISI AFFIDABILITÀ DELLA RETE

A partire dai risultati ottenuti attraverso la generazione di shakemaps, la rete è stata studiata sia in termini di connettività tra differenti centroidi (possibilità di individuare percorsi che consentono il collegamento anche in seguito ad eventi sismici), sia in termini di analisi sistemica, esprimendone la probabilità di connessione e l'indice di affidabilità.



4. Un'applicazione per la valutazione probabilistica della connettività di tre punti diversi tra località vicine

Le considerazioni affidabilistiche sono condotte sia considerando singoli percorsi sia riferendosi a un macrosistema di percorsi alternativi misti. Sono stati implementati, inoltre, metodi di risoluzione approssimata del problema affidabilistico con tempi computazionali compatibili con le esigenze dettate dalla condizione di post-emergenza. La Figura 4 rappresenta un'applicazione per la valutazione probabilistica della connettività di tre località diverse (Pratola Serra, Lioni e Mercato San Severino) con l'ospedale San Giuseppe Moscati di Avellino.

Lo scenario scelto è quello prodotto dall'evento storico che ha interessato la provincia Irpina il 23 Novembre del 1980, con una magnitudo momento di 6.9.

Come si evince dalla Figura, le curve riportano la probabilità che almeno un numero definito dei percorsi rimanga connesso nell'immediato post-evento.

Si nota che tale informazione rappresenta in termini probabilistici la robustezza, ovvero la resilienza di una coppia di punti origine-destinazione, in seguito a una causa perturbatrice (per esempio, il sisma).

Si evince che il percorso blu (Lioni/ospedale) è il più robusto mentre il percorso rosso (Pratola Serra/ospedale) è il meno robusto, relativamente allo scenario considerato.

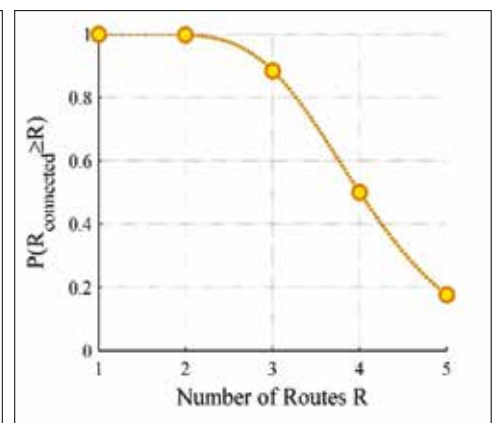
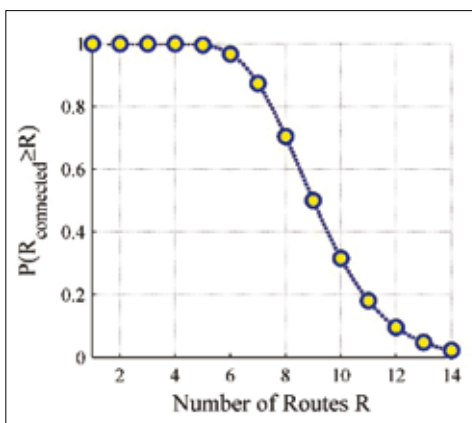
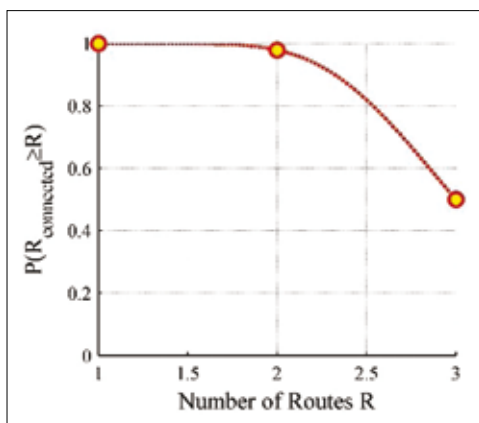
IL MODULO DELLA SIMULAZIONE DELLE PERDITE ECONOMICHE DIRETTE (COSTI DI RIPARAZIONE)

A partire dalla simulazione di campi di intensità sismica post-evento (modulo shakemap) e dalla simulazione della capacità sismica mediana delle infrastrutture per gli stati limite prescritti, questo modulo prevede di simulare lo stato di danno per le infrastrutture nella rete viaria.

In seguito, vengono simulati i costi di riparazione diretti per stato di danno delle infrastrutture.



6A e 6B. La disaggregazione della perdita economica diretta totale in seguito allo scenario dell'evento in Irpinia nel 1980. La figura individua i quattro ponti che maggiormente contribuiscono alle perdite totali (i costi di riparazione)



5A, 5B e 5C. L'affidabilità della rete espressa in termini della probabilità di avere almeno R percorsi (tra due punti) connessi nell'immediato post-evento per i seguenti origine-destinazioni: Pratola Serra all'ospedale Moscati di Avellino (rosso - 5A), Lioni all'ospedale (blu - 5B) e M.S. Severino all'ospedale (giallo - 5C)

In questo modo, ogni realizzazione della shakemap corrisponde a una simulazione delle perdite economiche totali per la rete stradale. L'output di questo modulo viene presentato in termini di statistiche delle perdite economiche totali per la rete di infrastrutture. In particolare, i risultati espressi in termini di stima della perdita economica diretta vengono disaggregati in termini di valore atteso del contributo di ciascuna infrastruttura alla perdita economica totale. Questo aiuta a individuare i ponti che contribuiscono in maniera più significativa alla perdita economica totale sotto l'ipotesi che accada un evento sismico significativo.

LA GESTIONE A LUNGO TERMINE DELLA RETE

Il sistema di supporto decisionale per la gestione della rete si propone, tra i suoi obiettivi, di calcolare le statistiche delle perdite economiche totali per la rete di infrastrutture in caso di evento sismico significativo, di individuare le infrastrutture stradali maggiormente vulnerabili e di determinare per le stesse dei criteri di prioritizzazione per la gestione della manutenzione in larga scala.

Tale strumento consente, quindi, una rapida valutazione delle perdite economiche attese per un sistema infrastrutturale prescelto, con relativa disaggregazione dei costi e prioritizzazione del rischio, sulla base di un prescelto terremoto di scenario. In questo modo vengono evidenziate le infrastrutture che potenzialmente potrebbero contribuire maggiormente ai costi di riparazione in caso di un evento sismico e ciò può essere visto come un indice della vulnerabilità sismica delle stesse.

In seguito, vengono eseguiti una serie di studi di connettività (data una prescelta coppia di origine/destinazione) della rete con l'ipotesi che uno dei ponti che risulti maggiormente vulnerabile venga chiuso (per eseguire le opere di miglioramento e/o upgrade sismico). Infine, attraverso un'analisi di ottimizzazione bi-criterio, viene effettuata una ricerca esaustiva per la prioritizzazione dei ponti più vulnerabili che incidono meno (nel caso di una chiusura per motivi di riparazione) sulla connettività della rete.

LA GESTIONE POST-EVENTO DELLA RETE

È stato sviluppato uno strumento in grado di svolgere un ruolo determinante nella gestione delle emergenze legate ai terremoti. Tale strumento consente una precisa e rapida valutazione della prestazione di un sistema di infrastrutture viarie a valle di uno scenario sismico accaduto.

Il principio attraverso il quale si è perseguito questo obiettivo è che, in seguito a un evento sismico, una delle priorità per l'organizzazione e la mobilitazione dei soccorsi sia rappresentata dalla conoscenza dello stato di efficienza delle infrastrutture di trasporto che determinano in maniera preponderante l'efficienza dei collegamenti.

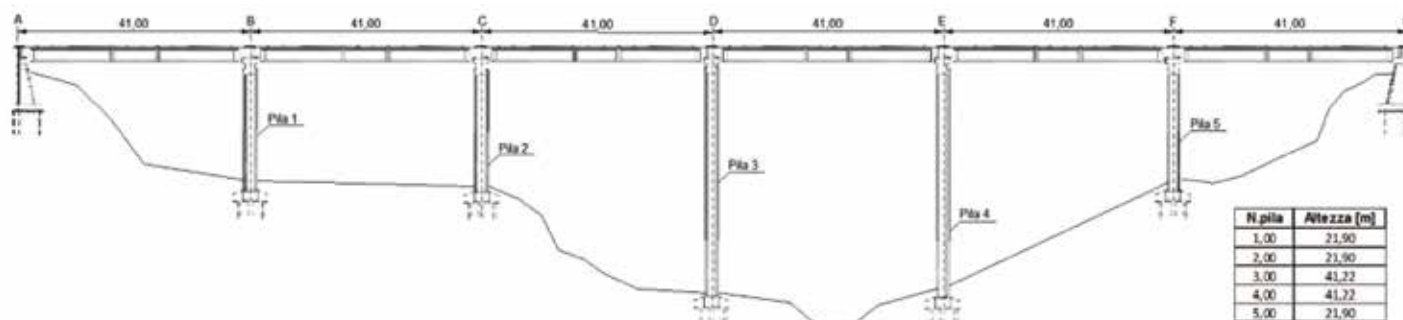
Definendo come obiettivo la valutazione della connettività (per coppie origine/destinazione prescelte) della rete e usufruendo del modulo di affidabilità della rete, vengono evidenziati tutti i percorsi alternativi e la loro affidabilità viene espressa in termini della loro connettività post-evento. Attraverso, poi, un sistema di ottimizzazione che tiene conto di differenti criteri (tempi di percorrenza, affidabilità del percorso e della rete, categoria stradale, informazioni sul flusso di traffico), è possibile pervenire ad una scelta ottimizzata dei percorsi da intraprendere per le operazioni di post-emergenza. Tale lavoro può essere riprodotto in maniera quasi immediata per qualunque evento sismico possa verificarsi.

LA GESTIONE DELLA SINGOLA INFRASTRUTTURA NEL SUO CICLO DI VITA

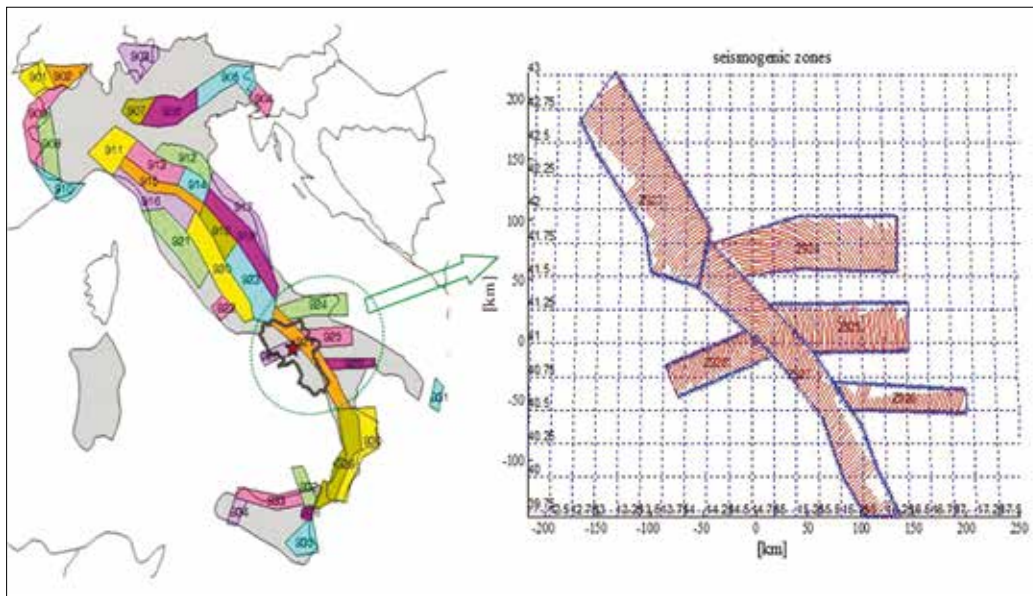
Il costo del ciclo di vita atteso di un'infrastruttura è un importante parametro per l'analisi sismica prestazionale. In termini economici comprende vari fattori, quali la sismicità, il rischio, la vulnerabilità dell'infrastruttura e l'exposed asset per l'intera

SCHEMA DI ADEGUAMENTO	DESCRIZIONE
ROD	Impalcati appoggio-appoggio connessi con catene
FP-R25	Isolatore Friction Pendulum con raggio effettivo di superficie concava scorrevole pari a 2.5 m ed attrito "Coulomb" del 2%
FP-R25-ROD	Combinazione di ROD e FP-R25
FP-R31	Isolatore Friction Pendulum con raggio effettivo di superficie concava scorrevole pari a 3.1 m ed attrito "Coulomb" del 5%
FP-R31-ROD	Combinazione di ROD e FP-R31
FP-MR	Combinazione di FP e di uno smorzatore adattivo Magneto-Reologico (MR)

7. Gli schemi alternativi proposti per l'adeguamento sismico del ponte ideale del caso studio

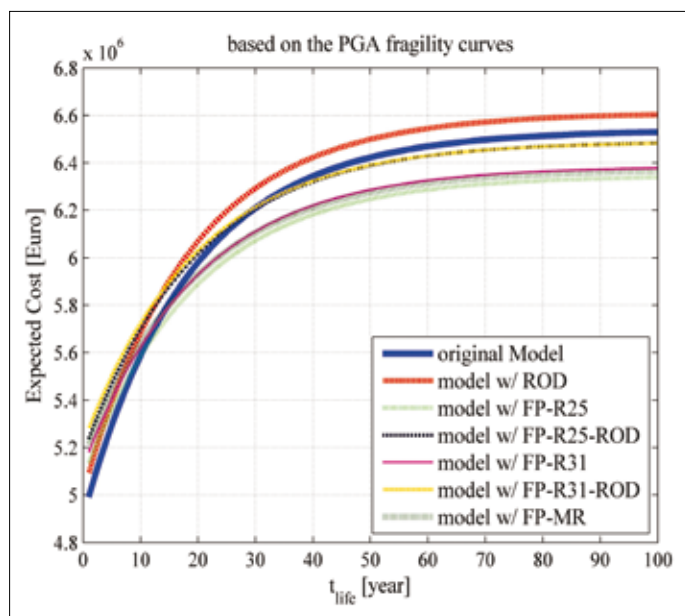


8. La direzione longitudinale



9. Il ponte ideale oggetto di caso studio e il sito dove ipoteticamente è posizionato con le zone sismogenetiche vicine

vita utile dell'infrastruttura, misurati in termini scalari. Chiaramente l'analisi del costo del ciclo di vita di un'infrastruttura esistente è soggetta sia all'incertezza relativa ai futuri eventi sismici che si possono verificare, sia all'incertezza nella caratterizzazione di un'infrastruttura esistente. Il costo del ciclo di vita, quindi, è analizzato al meglio in termini probabilistici. Concentrandosi su decisioni di adeguamento per un'infrastruttura esistente, il DSS offre una metodologia basata sull'affidabilità per la classificazione di varie strategie da adottare. La strategia di adeguamento ottimale sarà quella che riesce a minimizzare il costo del ciclo di vita atteso, rispettando al contempo i vincoli legati alla sicurezza dell'infrastruttura. Il



10. Il valore atteso del costo di ciclo di vita valutato per gli schemi alternativi di adeguamento sismico

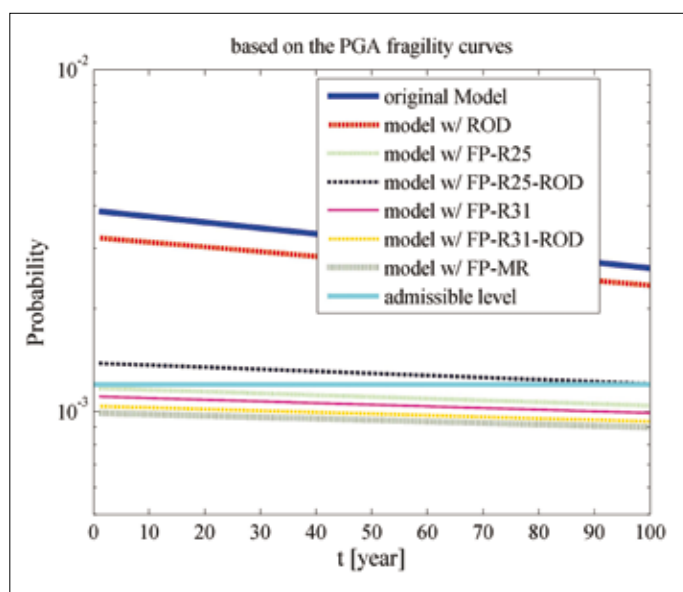
costo del ciclo di vita viene calcolato sommando i costi di installazione, di riparazione/sostituzione, di manutenzione e, infine, i costi legati all'inattività nel caso di chiusura per tutta la vita utile residua dell'infrastruttura.

Una novità nella metodologia presentata è il fatto che prende in considerazione la possibilità che l'infrastruttura danneggiata sia soggetta ad altri eventi sismici mentre è soggetta a operazioni di riparazione.

Il modello tridimensionale del ponte caso studio (Figure 8 e 9) è sottoposto a sisma nella sua direzione longitudinale. Cinque schemi alternativi vengono adottati per l'ade-

guamento sismico del ponte. Essi mirano principalmente a migliorare il comportamento globale dell'impalcato mediante isolatori attrito pendolo e/o a forzare il ponte ad avere uno spostamento uniforme lungo la sua direzione longitudinale. La soluzione ottimale è basata sulla minimizzazione del costo del ciclo di vita (Figura 10), soddisfacendo i criteri basati sull'affidabilità prescritti (Figura 11).

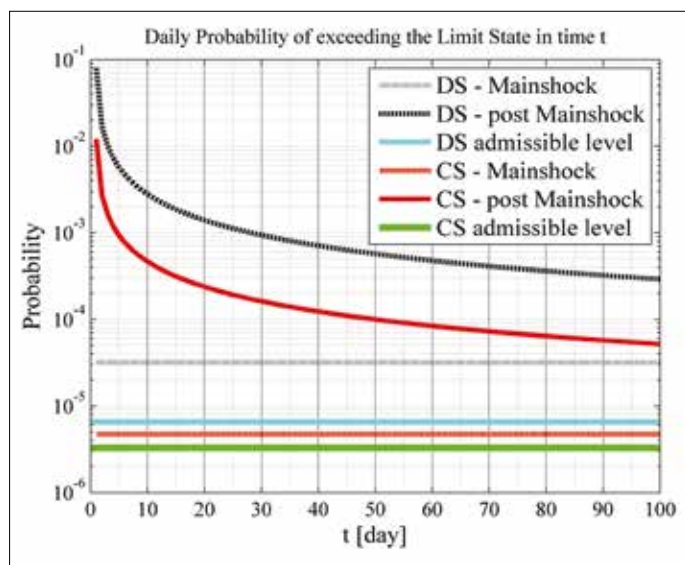
In questo esempio illustrativo si evince che lo schema di adeguamento FP-MR corrisponde ad una soluzione ottimale che minimizza il costo di ciclo di vita e che allo stesso tempo garantisce la sicurezza dell'infrastruttura per lo stato limite ultimo di collasso imminente.



11. Il profilo dell'affidabilità della singola infrastruttura nel tempo. Si è evidenziato la soglia del rischio accettabile per lo stato limite ultimo di collasso imminente

LA GESTIONE DELLA TRANSITABILITÀ POST-EVENTO DELLA SINGOLA INFRASTRUTTURA

L'occorrenza di un forte sisma (mainshock) influisce significativamente sulla sismicità della zona nel breve termine. Ciò si manifesta normalmente sotto forma di sequenza di aftershocks, che si verificano nell'area colpita dal mainshock, caratterizzata da un tasso di sismicità con decadimento nel tempo. Il presente strumento si concentra sulla valutazione e sulla gestione della transitabilità di un'infrastruttura di una rete stradale in situazione di post-mainshock. La transitabilità di un'infrastruttura può essere espressa e quantificata in termini basati sul rischio. In termini generali, la novità del lavoro è anche nel cercare di approfittare delle informazioni che si trovano in una sequenza sismica continua allo scopo di migliorare le previsioni del rischio in modo adattivo. Questa attività è facilitata dall'impiego di avanzati strumenti statistici e dalla presenza di una Rete Sismica esistente in Campania (la ISNet). Indubbiamente, il rischio near real time e la previsione di transitabilità per le infrastrutture stradali forniscono preziosissime informazioni, utili per le decisioni e la pianificazione dei soccorsi in caso di emergenza. La metodologia proposta è stata applicata ad una infrastruttura ideale (ponte in c.a in Figura 8), sottoposto all'evento principale e alla sequenza innescata. Sottolineando l'importanza di prendere in considerazione il danno cumulativo causato dalla sequenza innescata per il caso-studio, il rischio in funzione del tempo relativo (MS + AS sequenza) è calcolato attraverso la procedura descritta. Criteri basati sui rischi per transitabilità del ponte vengono valutati in termini di probabilità di superamento di stato limite di danno (DS) e di collasso imminente (CS). È da notare che il metodo proposto utilizza la curva di fragilità per la struttura intatta e danneggiata, che porta a risultati appropriati. La Figura 12 mostra il profilo di affidabilità a breve termine del ponte ideale oggetto del caso studio, espresso in termini di probabilità di superamento giornaliero di un dato stato limite (di danno DS e di collasso imminente CS), nei giorni trascorsi dopo



12. Il profilo dell'affidabilità a breve termine della singola infrastruttura nel tempo in condizioni post-evento. Sono evidenziate le soglie del rischio accettabile per lo stato limite di danno (DS) e lo stato limite ultimo di collasso imminente (CS)

un evento sismico maggiore (es. Irpinia del 1980). La figura mostra anche le soglie del rischio accettabile per i due stati limiti sopracitati ed, inoltre, presenta le probabilità di superamento tempo-invariante degli stessi stati limiti considerando solo gli eventi sismici maggiori (i cosiddetti "mainshock"). Si osserva che il ponte dell'esempio supera i limiti accettabili per entrambi gli stati limite considerando sia solo "mainshock" che la sequenza degli "aftershocks". Infine, i risultati evidenziano l'importanza di considerare esplicitamente l'effetto della sequenza degli aftershocks - almeno nel caso studio - ai fini della valutazione della transitabilità post-evento, basata su criteri affidabilistici. ■

⁽¹⁾ Ingegnere, Phd, già Professore dell'Università degli Studi di Reggio Calabria, già Direttore di Struttura di Vertice, cultore della materia presso IPUS, Esperto Tecnico Scientifico per il progetto STRIT

⁽²⁾ Ingegnere, Responsabile del Progetto STRIT e Direttore Tecnico di Stress Scarl

⁽³⁾ Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura presso l'Università di Napoli Federico II

Si rimanda al link <http://www.ponrec.it/programma/comunicazione/strumenti-informativi/>.



Bibliografia

- [1]. A. Miano, F. Jalayer, R. De Risi, A. Prota, G. Manfredi - "Model updating and seismic loss assessment for a portfolio of bridges", Bulletin of Earthquake Engineering, March 2016, Volume 14, Issue 3, pp 699-71.
- [2]. F. Jalayer, H. Ebrahimian, G. Manfredi - "Towards quantifying the effect of aftershocks in seismic risk assessment", in 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12 - pp. 12-15), 2015.
- [3]. H. Ebrahimian, F. Jalayer, G. Manfredi - "Seismic retrofit decision-making of bridges based on life-cycle cost criteria", in Compdyn (pp. 1626-1), 2015.
- [4]. H. Ebrahimian, F. Jalayer - "Decision support system for reduction of the vulnerability of transportation infrastructure", Deliverable 2.2. STRIT Project, 2015.
- [5]. A. Miano, F. Jalayer, R. De Risi, A. Prota, G. Manfredi - "A case-study on scenario-based probabilistic seismic loss assessment for a portfolio of bridges", in Proceedings of 12th international conference on applications of statistics and probability in civil engineering, Vancouver, Canada, July 2015.
- [6]. A. Miano, S. Carozza, R. De Risi, F. Jalayer, F. Licenziati - "Lifelines management based on systemic analysis of transportation networks", Deliverable 2.3 STRIT Project, 2015 (in Italian).
- [7]. H. Ebrahimian, F. Jalayer - "Evaluation and management of the transitability of damaged transport infrastructure", Deliverable 4.3. STRIT Project, 2015.
- [8]. H. Ebrahimian, S. Carozza, R. De Risi, A. Miano, F. Jalayer - "Applicative example of the WebGIS platform", Deliverable 5.3. STRIT Project, 2015.