



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007 prot. 2007JHK33Y

1. Area Scientifico Disciplinare principale	08: Ingegneria civile ed Architettura
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	PINTO Paolo Emilio
- Università	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"
- Facoltà	I Facoltà di ARCHITETTURA "Ludovico Quaroni"
- Dipartimento/Istituto	Dip. INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA
3. Titolo del programma di ricerca	Valutazione probabilistica in tempo reale della transitabilità post-sisma di opere da ponte
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	ICAR/09
5. Costo originale del Programma:	440.000 €
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	175.000 €
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	75.243 €
8. Finanziamento totale:	250.243 €
9. Durata:	24 mesi

10. Obiettivo della ricerca eseguita

La ricerca eseguita ha avuto lo scopo di fornire un contributo allo stato dell'arte degli studi sulla funzionalità sia in condizioni di normali esercizio che di emergenza, a seguito di un evento sismico, di una rete stradale di rilevanza regionale.

L'obiettivo a lungo termine è quello di fornire a un gestore della rete uno strumento per una razionale distribuzione delle risorse dedicate alla manutenzione e all'adeguamento/rinforzo sismico delle opere d'arte sulla rete.

Nel perseguire tale obiettivo la ricerca si proponeva di sviluppare una serie di strumenti tra cui si distinguono per importanza: la definizione di stati di danno progressivo che siano significativi, predicibili analiticamente e rilevabili visivamente e/o mediante sensori avanzati (ad esempio in fibra ottica) installati sulle opere; lo sviluppo di modelli numerici in grado di cogliere quei fenomeni complessi di degrado che caratterizzano la risposta delle strutture per stati di danno avanzati; la messa a punto di un sistema di monitoraggio basato su sensori avanzati che fornisce informazioni complementari a quelle analitiche sullo stato di danno delle opere d'arte; l'elaborazione di un criterio di tipo probabilistico di decisione riguardo la transitabilità di opere danneggiate, che tenga conto dell'incertezza sullo stato di danno effettivo e della probabilità di collasso per scosse di replica; l'inclusione di tale criterio nell'analisi probabilistica di traffico della rete danneggiata al fine di calcolare le perdite attese dirette e indirette (input all'analisi costi-benefici).

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Con riferimento all'obiettivo generale della ricerca, nel seguito si riportano i contributi delle singole unità, evidenziando i risultati principali.

L'unità di Roma La Sapienza ha seguito una linea di ricerca, che ha visto nel primo anno la classificazione tipologica delle opere da ponte della rete stradale italiana, e la definizione del metodo di valutazione della fragilità più appropriato per ogni tipologia. Si sono individuati in particolare due metodi, denominati statico e dinamico, la cui definizione concettuale è stato uno dei risultati principali del primo anno di attività. In particolare sono state elaborate tutte le modifiche e semplificazioni applicabili al caso delle strutture dei ponti a travata e sono stati identificati tutti gli stati limite significativi da controllare.

Nel corso del secondo anno la ricerca ha seguito due linee complementari dirette all'implementazione pratica delle analisi di vulnerabilità per strutture da ponte intatte e danneggiate.

La prima linea è stata quella di approfondire dei temi specialistici e ancora aperti sulla determinazione della risposta dinamica di ponti e viadotti per arrivare a una maggiore affidabilità delle predizioni dello stato di danneggiamento degli stessi.

La seconda linea è stata quella di iniziare a formalizzare i metodi statico e dinamico sviluppati durante il primo anno, per tradurli in un codice di calcolo aperto che ne permetta l'applicazione automatica su larga scala.

Nel seguito si riportano i risultati principali di entrambe le linee di ricerca.

A) Linea di ricerca 1: Metodo dinamico per la vulnerabilità delle opere da ponte, aspetti specialistici nella determinazione della risposta.

Premesso che il trend internazionale nell'analisi di vulnerabilità dei ponti è quello di adottare l'analisi non lineare come mezzo preferenziale per la determinazione della risposta, gli studi effettuati anche da questa UR si sono concentrati su:

1) l'ambito di applicabilità dei metodi statici non lineari; questo risulta ridotto alle sole tipologie più semplici, quali ponti a travi appoggiate o ponti con impalcato continuo con risposta governata da un singolo modo, in quanto negli altri casi l'accuratezza di tali metodi è dipendente dal problema e dall'opera.

2) i criteri di selezione delle registrazioni per le analisi dinamiche;

3) la modellazione dell'interazione tra terreno, fondazione e struttura; rilevanza di questo effetto;

4) la modellazione della variabilità spaziale dell'input al piede delle pile e delle spalle e della relativa risposta; rilevanza di questo effetto.

Gli studi svolti durante il II anno hanno permesso di consolidare delle convinzioni sui fattori rilevanti nella risposta sismica di opere da ponte e una pratica di modellazione raffinata che include in maniera sistematica fenomeni considerati in passato specialistici quali l'interazione terreno-fondazione-struttura e il moto non

uniforme ai supporti. Questi studi trovano piena applicazione nell'implementazione automatica del metodo dinamico in corso e la cui architettura è stata l'oggetto della linea 2 descritta nel seguito.

B) Linea di ricerca 2: Progetto di un software per l'applicazione automatica dei metodi statico e dinamico su una popolazione di ponti a partire da un base dati di grandi dimensioni.

Nel corso dello svolgimento del programma di ricerca sono state acquisite informazioni sull'esistenza di basi dati informatiche progettate per la manutenzione del parco ponti della Società Autostrade e dell'ANAS. Tali basi dati, denominate rispettivamente SAMOA e SOAWE, nonostante il loro contenuto sia finalizzato fondamentalmente alla programmazione dell'attività di manutenzione ordinaria, consentono con sufficiente approssimazione anche di stabilire modelli di calcolo per l'analisi di vulnerabilità sismica.

Si è quindi pensato di implementare in forma sistematica i metodi statico e dinamico sviluppati nel primo anno del programma all'interno di un codice di calcolo che abbia le seguenti caratteristiche:

- a) si interfacci con le basi dati ANAS e Autostrade per raccogliere i dati relativi ai ponti
- b) integri le informazioni disponibili per arrivare a un set minimo di informazioni necessarie per stabilire un modello di calcolo (questo passo viene svolto mediante progettazione simulata o interpolazione delle informazioni da ponti con informazioni più ricche all'interno dello stesso lotto o costruiti dalla stessa impresa/progettati dallo stesso gruppo)
- c) istituisca un modello di calcolo non lineare in automatico
- d) generi le storie temporali di input ai supporti
- e) effettui l'analisi di vulnerabilità

I passi svolti alla data finale del progetto (si osservi che questa attività si spinge oltre gli obiettivi indicati nel programma di ricerca) consistono nella definizione delle informazioni minime necessarie a stabilire un modello digitale del ponte e l'architettura ad oggetti (object-oriented) di tale modello digitale, con l'individuazione di proprietà e metodi necessari a istituire il modello di calcolo e ad analizzarlo.

Il programma di ricerca dell'Unità di Padova aveva come obiettivo quello di fornire un metodo appropriato a supporto delle decisioni relative alla pianificazione della priorità di adeguamento di ponti, che rappresentano le strutture esistenti più comuni nell'ambito della rete stradale, tenendo conto della sismicità del sito, delle caratteristiche del traffico della rete stradale e del rapporto costi-benefici.

L'attività svolta nel primo anno è consistita nello sviluppo di un metodo per l'allocazione ottimale delle risorse per la riabilitazione/adeguamento sismico di ponti esistenti intesi come elementi critici nell'ambito della rete stradale. Si sono sviluppati inoltre metodologie per l'implementazione di curve analitiche di fragilità che forniscono la probabilità che la domanda strutturale dovuta a vari livelli di accelerazione al suolo superi la capacità strutturale definita da un determinato livello di danno.

La procedura per l'allocazione ottimale delle risorse per la riabilitazione/adeguamento sismico di ponti esistenti è stata applicata ad una rete campione nella Regione Veneto contenente un numero limitato di ponti per i quali si sono considerate diverse procedure per la determinazione delle curve di fragilità sulla base dei dati disponibili, di prove e rilievi in sito.

La simulazione degli scenari sismici si sono svolte utilizzando la distribuzione spaziale del PGA di diversi selezionati scenari sismici sulla base del rischio sismico associato alla regione presa come riferimento.

Una volta determinate le curve di fragilità si sono svolte le analisi dei flussi di traffico della rete non danneggiata e di quelle danneggiate corrispondenti a vari scenari sismici sulla base delle matrici origine-destinazione già disponibili.

L'effetto della riabilitazione/rinforzo è stato misurato in termini di incremento del livello di servizio derivante dall'aumento della capacità di flusso di traffico della rete in condizioni normali e di riduzione del danneggiamento e della funzionalità della rete in condizioni di evento sismico.

Sulla base dei risultati si è definita una procedura per l'individuazione della priorità di intervento. Il metodo che definisce la priorità di intervento potrà essere utilizzato dai pianificatori della rete stradale per valutare in maniera più affidabile il miglior intervento di adeguamento/rinforzo nell'ambito dell'intera rete di trasporto ed, in generale, per sviluppare strategie pre-sisma avente l'obiettivo ridurre le perdite economiche.

Nel corso del secondo anno si sono analizzati gli effetti di tecniche di rinforzo innovative degli elementi critici delle strutture da ponte consistenti nell'uso di compositi fibrorinforzati (FRP). Per questa ragione si sono sviluppati dei modelli analitici, calibrati sulla base di prove di laboratorio su elementi in c.a. rinforzati, per ottenere alcune indicazioni riguardo alla efficienza di alcuni interventi tipici di rinforzo basati sull'utilizzo di FRP.

E' stata inoltre approfondita la procedura per la valutazione del rischio sismico nelle reti di trasporto. La procedura è stata descritta tramite un diagramma a blocchi per individuare i diversi modelli che entrano nell'analisi. Successivamente per ogni modulo sono stati realizzati degli script in diversi linguaggi per automatizzare i diversi passaggi ripetuti. Nella parte di simulazione degli scenari sismici sono stati elaborati i dati dell'Ingv, mentre, nella fase di simulazione del comportamento dei ponti, sono stati sviluppati dei modelli per la costruzione di curve di fragilità. Nella fase di simulazione del sistema di trasporto sono state inserite alcune valutazioni in merito alla transitabilità post-evento dei manufatti danneggiati.

Il calcolo della riduzione delle prestazioni del sistema viene effettuato tramite un algoritmo di Frank e Wolfe che risolve un problema di DUE (Deterministic UserEquilibrium). Le matrici origine destinazione impiegate nell'analisi sono quelle che fanno riferimento alle condizioni pre-sisma.

Sono state fornite infine diverse procedure per valutare quale sia la migliore allocazione delle risorse economiche nel percorso che porta al completo adeguamento dei ponti nella rete di trasporto. Il metodo di ricerca della soluzione ottimale proposto di tipo "step-wise" valuta la soluzione migliore per ogni istante del processo di adeguamento sismico.

La ricerca dell'Unità dell'Università di Trento ha riguardato lo sviluppo di algoritmi per la valutazione in tempo reale del danno sismico e dell'affidabilità di una rete stradale. Lo scopo del lavoro è stata la definizione della la priorità di intervento sulle strutture di uno stock e la verifica in tempo reale dello stato di sicurezza e percorribilità delle strutture in seguito ad un evento sismico.

Il criterio decisionale utilizzato per la priorità di intervento ha validità generale ed è basato sulla minimizzazione di una funzione obiettivo, che rappresenta la probabilità di accadimento di un evento inaccettabile nell'intero patrimonio (collasso strutturale o vittima) con le limitazioni del budget effettivamente disponibile per gli interventi.

Ad ogni possibile azione su un ponte (ulteriori indagini, ristrutturazione, riparazione, manutenzione ordinaria) viene associato un indice di priorità. Per l'implementazione di questo principio sono stati definiti:

- 1) modelli di rischio sismico;
- 2) modelli di stima dell'affidabilità cumulata nel tempo;
- 3) modelli di costo;
- 4) modelli di degrado.
- 5) modello di funzionalità della rete
- 6) modello di vulnerabilità sismica post-terremoto

L'efficacia dei modelli sviluppati è stata validata con i dati contenuti nel sistema di gestione delle opere stradali della Provincia Autonoma di Trento (PAT-BMS). Per la verifica della percorribilità della rete stradale in seguito ad un evento sismico si è fatto uso della teoria dei grafi e delle reti bayesiane.

1) RISCHIO SISMICO

Il modello sviluppato da UniTN valuta la vulnerabilità sismica di un ponte secondo una metodologia ispirata al metodo HAZUS, modificato in modo da seguire la normativa tecnica italiana e adattato alle diverse tipologie strutturali presenti nel data base.

2) AFFIDABILITÀ CUMULATA NEL TEMPO

Il modello di affidabilità cumulata nel tempo si è ispirato al metodo proposto da Mori e Ellingwood (1993). Nel metodo proposto la funzione di degrado non è statisticamente definita. Una conseguenza di questa ipotesi è che la deviazione standard della capacità portante di un ponte decresce col tempo e col degrado. Per rimediare a questa limitazione si è proposto un modello probabilistico di degrado. In particolare, data un'unità strutturale e una modalità di collasso, il modello assume che lo specifico stato limite sia descritto da una resistenza variabile nel tempo, comprendente una funzione di degrado probabilistica che, a sua volta, dipende dallo stato di condizione variabile nel tempo.

3) COSTO NELLA VITA UTILE

Il costo nella vita utile associato ad uno scenario di manutenzione, riparazione e ricostruzione tiene conto delle seguenti componenti: costo di ricostruzione (CO), costo di ispezione (CI), costo di manutenzione (CM), costo di riparazione (CR) e costo di collasso (CF).

Il costo di ricostruzione o sostituzione, come pure il costo di riabilitazione, sono stati stimati in termini di euro per metro quadrato di superficie di impalcato, in funzione dalla tipologia di unità strutturale prevalente nel ponte. I costi unitari per metro quadrato sono correlati alle dimensioni della campata. I costi di manutenzione e riparazione del ponte sono stati valutati sulla base dei costi unitari di manutenzione/riparazione per ciascun elemento. I costi unitari sono calcolati per ciascun elemento e ciascuna azione ammissibile sulla base anche dei bollettini ufficiali, e sono calibrati con la documentazione esecutiva reperibile. Generalmente, il costo unitario di un elemento è indipendente dalle dimensioni dell'elemento, tranne che in alcuni casi specifici. Il costo d'ispezione è stato valutato sulla base della geometria e dell'accessibilità del ponte. Il costo di collasso comprende tutti quei costi, funzionali e strutturali, associati con un possibile collasso.

4) DEGRADO

Lo stato di condizione di un ponte viene valutato sulla base degli stati di condizione degli elementi che lo compongono. Lo stato di condizione cambia nel tempo a causa del degrado. Il modello di degrado adottato da UniTN è un modello probabilistico definito a livello di Elemento Standard (ES). Per ogni ES viene definita una matrice di transizione di stato e viene calcolato il corrispondente processo markoviano.

5) VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DI UNA RETE

UniTN ha studiato la rete viaria della PAT schematizzandola come grafo. Nel grafo ogni ponte è un vertice ed ogni collegamento esistente tra un ponte ed un altro è uno spigolo. Ovviamente, in condizioni normali, ogni ponte è collegato ad ogni altro ponte. In generale due ponti possono essere collegati tra loro da più percorsi. Il grafo dunque è connesso ed alcuni dei suoi spigoli sono multipli. Lo studio del grafo permette di individuare le condizioni necessarie al fine di mantenere la proprietà di connessione e di trovare soluzione ad una serie di problemi di ottimizzazione (es. individuazione dei percorsi con rischio minimo, pianificazione degli interventi di manutenzione volti a minimizzare costi e rischio, etc.).

6) VULNERABILITÀ SISMICA POST-TERREMOTO

Il gruppo di ricerca di UniTN ha sviluppato un algoritmo per la valutazione della vulnerabilità sismica di uno stock di ponti nello scenario post-terremoto. L'algoritmo di base sulla teoria delle reti bayesiane e sul modello di vulnerabilità HAZUS. Una rete bayesiana (BN) è un grafo orientato aciclico con nodi e archi orientati. I nodi rappresentano le variabili e gli archi rappresentano le relazioni tra le variabili. La BN ha origine dal campo dell'intelligenza artificiale e incorpora la teoria dei grafi e la teoria del calcolo delle probabilità. Si tratta di un utile strumento per l'analisi dell'incertezza dei sistemi complessi. Il metodo studiato da UniTN si applica a ponti "gemelli".

L'unità di ricerca di Roma Tre durante i due anni della durata del progetto ha messo a punto una procedura analitico-numerica per la previsione del rischio sismico dei ponti conseguente ad after-shock, che tiene conto del danneggiamento subito dalla struttura a seguito della scossa principale.

La procedura si basa su due fasi, la prima delle quali deve essere svolta a priori; l'altra, che conduce alla stima del rischio, viene eseguita dopo che si è verificato un evento sismico (main shock) a seguito del quale la struttura in esame si presume sia stata danneggiata. Questa seconda fase deve richiedere tempi brevi, affinché possa essere eseguita nell'emergenza successiva al sisma, per essere utile nel processo decisionale relativo alla transitabilità del ponte.

La prima fase comporta la costruzione delle curve di pericolosità dell'opera condizionate al danno pregresso. Nell'attuale versione della procedura, questa operazione viene condotta adottando la procedura IDA (Incremental Dynamic Analysis, Vamvatsikos e Cornell, 2002) opportunamente adattata (Franchin e Pinto 2009). La formulazione adottata è molto onerosa e richiede un gran numero di analisi; attualmente è in fase di sviluppo una procedura più diretta, che riduce drasticamente il numero di analisi richiesto per la costruzione di tali curve.

Dopo l'evento, concettualmente dovrebbe essere possibile misurare l'entità del danno sofferto dalla struttura; in realtà, a meno che non sia stato possibile registrare il comportamento della struttura durante il sisma, questo non è possibile. Se ad esempio si utilizza come parametro di danno il massimo drift, questa quantità non è misurabile a sisma avvenuto, se non sono stati registrati gli spostamenti relativi avvenuti durante i sisma tra i due punti considerati.

Per stimare il danno pregresso nella struttura, nella procedura che ha sviluppato l'UR di Roma Tre, si utilizzano due fonti di informazione. Una è di carattere analitico e si basa sulle curve di "fragility" della struttura intatta e sull'intensità del moto sismico attesa nel sito, condizionata alla posizione ed all'intensità dell'evento sismico che si è verificato. Questa analisi ci fornisce una funzione di probabilità del danno atteso che non tiene conto di quanto osservabile sul campo, essa però ci dà una valutazione (probabilistica) a priori del danno che può anche essere usata per programmare le ispezioni.

L'osservazione visiva della struttura ci fornisce un'informazione (qualitativa) del danno osservabile, che non può essere direttamente confrontata con il danno calcolato analiticamente sulla base della curva di fragility. Tuttavia esistono in letteratura delle leggi di correlazione tra il danno osservato, espresso in termini descrittivi, come espulsione del copriferro, instabilità delle barre, rottura delle barre, e quello analitico espresso in termini di massimo drift (Berry e Eberhard, 2003). Queste correlazioni sono state usate per determinare delle probabilità condizionate che forniscono le funzioni di verosimiglianza per l'aggiornamento Bayesiano della funzione di probabilità del danno subito dal ponte.

Utilizzando un'analisi di rischio per aftershock (Yeo e Cornell, 2005, 2009) viene stimato il rischio conseguente alle repliche (in funzione del tempo trascorso dall'evento principale) sulla base del quale è possibile prendere una decisione circa il se ed il quando sia possibile autorizzare la transitabilità del ponte.

La procedura è stata implementata in Matlab e OpenSees (con cui si determinano le curve di "fragility") ed è stata applicata ad un caso-studio (il viadotto Vallone del Duca, sulla A16), ipotizzando un evento di magnitudo 7 a 10 km dal sito.

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

NESSUN PROBLEMA RISCONTRATO

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
TOTALE	98
da personale universitario	72
altro personale	83
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	98

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	4	0	Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato. Roma, 29-30

			maggio 2008 XIII Convegno Nazionale: L'Ingegneria Sismica. Bologna, 28 Jun-2 Jul 2009, Bologna: ANIDIS Convegno Grandi Infrastrutture: problematiche tecniche e progettuali, Roma, 05 Maggio 2010 AIRO2010 the 41st Annual Conference of Italian Operational Research Society, Villa San Giovanni, Reggio Calabria, Italy, 7-10 September 2010
all'estero	10	0	14 World Congress on Earthquake Engineering. Beijin, China, October 2008 Conference and Exposition on Structural Dynamics , Orlando (FL), 9-12 Feb,2009 SPIE 7292. San Diego, 2-6 march, 2009 IABSE Symposium. Sustainable Infrastructure Environment Friendly, Safe and Resource Efficient, Bangkok, 9-11 Sep 2009 10th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR 2009)", Osaka, 13-17 Sep 2009 The Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Philadelphia, USA, 11-15 July 2010 14ECEE 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, 30th August - 3rd September, 2010 IABSE Symposium. Venice, 22-24 Sep 2010, Zurich: ETH IALCCE 2010 2nd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Taipei, Taiwan, 27-30 October 2010 7th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2010), Shanghai, China, 6-8 October, 2010
TOTALE	14	0	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	1	G.M. CALVI, PINTO P., P. FRANCHIN, R. MARNETTO (2009). L'infrastruttura autostradale nell'area interessata dall'evento. <i>PROGETTAZIONE SISMICA</i> , vol. 3, ISSN: 1973-7432
su riviste straniere con referee	20	PINTO P., FRANCHIN P (2010). ISSUES IN THE UPGRADE OF ITALIAN HIGHWAY STRUCTURES. <i>JNL OF EARTHQUAKE ENGINEERING</i> , ISSN: 1363-2469 FRANCHIN P, PINTO P. (2009). Allowing traffic over mains shock-damaged bridges. <i>JNL OF EARTHQUAKE ENGINEERING</i> , vol. 13; p. 585-599, ISSN: 1363-2469 RAJEEV P, FRANCHIN P, PINTO P. (2008). Increased accuracy of vector-IM-based seismic risk assessment?. <i>JNL OF EARTHQUAKE ENGINEERING</i> , vol. 12; p. 111-124, ISSN: 1363-2469 BURDETTE N, ELNASHAI A, LUPOI A, SEXTOS AG; 2008; Effect of asynchronous earthquake motion on complex bridges LUPOI A; 2009; Seismic response of isolated bridges accounting for spatial variability of ground motion PELLEGRINO C., DA PORTO F, MODENA C (2010). Experimental behaviour of reinforced concrete elements repaired with polymer-modified cementitious mortar. <i>MATERIALS AND STRUCTURES</i> , ISSN: 1359-5997, doi: 10.1617/s11527-010-9646-0 PELLEGRINO C., PIPINATO A, MODENA C (2010). A simplified management procedure for bridge network maintenance. <i>STRUCTURE AND INFRASTRUCTURE ENGINEERING</i> , ISSN: 1573-2479, doi: 10.1080/15732470802659084 PELLEGRINO C., MODENA C (2010). Analytical model for FRP confinement of concrete columns with and without internal steel reinforcement. <i>JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION</i> , ISSN: 1090-0268, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000127 PELLEGRINO C., DA PORTO F, MODENA C (2009). Rehabilitation of reinforced concrete axially loaded elements with polymer-modified cementitious mortar. <i>CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS</i> , vol. 23; p. 3129-3137, ISSN: 0950-0618, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.06.025 PELLEGRINO C., MODENA C (2009). Flexural Strengthening of Real-Scale RC and PRC Beams with End-Anchored Pre-tensioned FRP Laminates. <i>ACI STRUCTURAL JOURNAL</i> , vol. 106; p. 319-328, ISSN: 0889-3241 PELLEGRINO C., MAIORANA E, MODENA C (2009). FRP strengthening of steel and steel-concrete composite structures: an analytical approach. <i>MATERIALS AND STRUCTURES</i> , vol. 42; p. 353-363, ISSN: 1359-5997, doi: 10.1617/s11527-008-9386-6 VALLUZZI MR, GRINZATO E, PELLEGRINO C., MODENA C (2009). IR thermography for interface analysis of FRP laminates externally bonded to RC beams. <i>MATERIALS AND STRUCTURES</i> , vol. 42; p. 25-34, ISSN: 1359-5997, doi: 10.1617/s11527-008-9364-z PELLEGRINO C., MODENA C (2009). Influence of FRP Axial Rigidity on FRP-Concrete Bond Behaviour: An Analytical Study. <i>ADVANCES IN STRUCTURAL ENGINEERING</i> , vol. 12; p. 639-649, ISSN: 1369-4332 PELLEGRINO C., TINAZZI D, MODENA C (2008). Experimental study on bond behavior between concrete and FRP reinforcement. <i>JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION</i> , vol. 12; p. 180-189, ISSN: 1090-0268, doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)12:2(180) PELLEGRINO C., MODENA C (2008). An experimentally based analytical model for the shear capacity of FRP-strengthened reinforced concrete beams. <i>MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS</i> , vol. 44; p. 231-244, ISSN: 0191-5665 Pellegrino C., Pipinato A., Modena C.; 2009; Un metodo semplificato per la valutazione, il controllo, la manutenzione e la gestione di reti di ponti; Rivista: Strade e Autostrade; Volume: 77; pp.: 114-117 Zonta D., Pozzi M., Wu H., Inaudi D., "Bayesian Logic Applied to Damage Assessment of a Smart Precast Concrete Element". <i>Key engineering materials</i> , 2009, v. 413-414, p. 351-358. GIANNINI R., DE FELICÉ G (2010). An Efficient Approach for Seismic Fragility Assessment with Application to Old Reinforced Concrete Bridges. <i>JOURNAL OF EARTHQUAKE ENGINEERING</i> , vol. 14; p. 231-251, ISSN: 1363-2469 FABRIZIO PAOLACCI, GIANNINI R. (2009). Seismic Reliability Assessment of a High-Voltage Disconnect Switch Using an Effective Fragility Analysis. <i>JOURNAL OF EARTHQUAKE ENGINEERING</i> , vol. 13; p. 217-235, ISSN: 1363-2469 M. DE ANGELIS, GIANNINI R., F. PAOLACCI (2009). Experimental investigation on the seismic response of a steel liquid storage tank equipped with floating roof by shaking table tests. <i>EARTHQUAKE ENG. & STRUCTURAL DYNAMICS</i> , ISSN: 0098-8847, doi: 10.1002/eqe.945
su altre riviste	1	Pellegrino C., Pipinato A., Modena C.; 2009; Un metodo semplificato per la valutazione, il controllo, la manutenzione

italiane		<i>e la gestione di reti di ponti; Rivista: Strade e Autostrade; Volume: 77; pp.: 114-117</i>
su altre riviste straniere	0	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	16	<p>(Le pubblicazioni riportate sono solo una parte di quelle presentate a convegni)</p> <p>FRANCHIN P, PINTO P. (2010). Seismic assessment and design of bridges: selected issues. In: <i>Handling Exceptions in Structural Engineering</i>. Roma, Luglio 2010francobontempi.org, doi: 10.3267/HE 2010</p> <p>PINTO P., FRANCHIN P (2010). Open issues in the seismic design and assessment of bridges. In: <i>Earthquake Engineering in Europe. Ohrid, Republic of Macedonia, Agosto 2010, DORDRECHT, HEIDELBERG, LONDON,; Springer, ISBN/ISSN: 978-90-481-9543-5</i></p> <p>Carturan F., Pellegrino C., Modena C., Rossi R., Gastaldi M.; 2010; Optimal resource allocation for seismic retrofitting of bridges in transportation networks; IABMAS 2010, The Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Philadelphia, USA, 11-15 July 2010</p> <p>Carturan F., Pellegrino C., Zampellini A., Modena C., Rossi R., Gastaldi M.; 2010; A procedure for the evaluation of the seismic vulnerability of bridge networks; 14ECEEE 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, 30th August - 3rd September, 2010</p> <p>Pipinato A., Belon M., Casarin F., Dalla Benetta M., Pellegrino C., Modena C.; 2010; Monitoring and dynamic identification of an historical metal bridge in Italy; IALCCE 2010 2nd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Taipei, Taiwan, 27-30 October 2010</p> <p>Pipinato A., Pellegrino C., Modena C.; 2010; Structural Analysis of Historical Metal Bridges in Italy; 7th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2010), Shanghai, China, 6-8 October, 2010</p> <p>R. ZANDONINI, Y. YUE, F. BORTOT, ZONTA D. (2010). Network-level seismic risk management of regional road infrastructure. In: IABSE Symposium. Venice, 22-24 Sep 2010, Zurich: ETH, p. x-x</p> <p>M. POZZI, ZONTA D., W. WANG, G. CHEN (2010). A framework for evaluating the impact of structural health monitoring on bridge management. In: IABMAS2010. Philadelphia, 11-15 Jul, 2010, London: Taylor & Francis, p. -.</p> <p>J. KIM, J.P. LYNCH, ZONTA D., J.J. LEE, C.B. YUN (2009). Reconfigurable wireless monitoring systems for bridges: validation on the Yeondae Bridge. In: <i>Proceedings SPIE 7292</i>. San Diego, 2-6 march, 2009, Bellingham WA: SPIE, p. 1-10, ISBN/ISSN: 9780819475527, doi: 10.1117/12.816007</p> <p>ZONTA D., R. ZANDONINI, F. BORTOT (2009). A Tool for Planning the Future of Regional Infrastructure. In: IABSE Symposium. Bangkok, 9-11 Sep 2009, Zurich: IABSE, p. [n.d.]-[n.d.]</p> <p>ZONTA D., R. ZANDONINI, F. BORTOT (2009). Risk informed management of road infrastructure. In: <i>Safety and Reliability of Engineering Systems and Structures</i>. Osaka, 13-17 Sep 2009, London: Taylor & Francis, p. 3784-3791, ISBN/ISSN: 978-0-415-47557-0</p> <p>Bernal D., Zonta D., Pozzi M., "ARX and Open Loop Residuals in Damage Detection". In: <i>IMAC-XXVII : a Conference and Exposition on Structural Dynamics : Orlando, Florida</i>. Bethel, CT:Society for Experimental Mechanics-SEM, 2009. Proc. "IMAC- XXVII", Orlando (FL), 9-12 Feb,2009.</p> <p>Zonta D., Zandonini R., Bortot F., "Risk informed management of road infrastructure". In: <i>Safety and Reliability of Engineering Systems and Structures</i>, Rotterdam:MILL Press, 2009. Proc. "10th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR 2009)", Osaka, 13-17 Sep 2009.</p> <p>Zonta D., Zandonini R., Bortot F., "A Tool for Planning the Future of Regional Infrastructure". In: <i>Sustainable Infrastructure Environment Friendly, Safe and Resource Efficient</i>, Zurich: IABSE, 2009. Proc. "IABSE Symposium", Bangkok, 9-11 Sep 2009.</p> <p>PAOLACCI F, GIANNINI R., ALESSANDRI S (2010). POST EARTHQUAKE AVAILABILITY OF DAMAGED STRUCTURES: APPLICATION TO HIGHWAY BRIDGES. In: <i>Proceedings of 14th European Conference on Earthquake Engineering</i>. Ohrid, Republic of Macedonia, 30/8-3/9 2010</p> <p>GIANNINI R., F. PAOLACCI, E. SIBILIO (2008). Experimental study on the cyclic response of an existing R.C. bridge pier. In: <i>14 World Congress on Earthquake Engineering</i>. Beijing, China, October 2008</p>
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	5	<p>Carturan F., Gastaldi M., Modena C., Pellegrino C., Rossi R.; 2010; Planning and management of actions on transport system to address extraordinary events in post-emergency situations. A multidisciplinary approach; AIRO2010 the 41st Annual Conference of Italian Operational Research Society, Villa San Giovanni, Reggio Calabria, Italy, 7-10 September 2010</p> <p>Carturan F., Pellegrino C., Modena C., Rossi R., Gastaldi M.; 2010; Vulnerabilità sismica e priorità di adeguamento di ponti nell'ambito di reti di trasporto; Convegno Grandi Infrastrutture: problematiche tecniche e progettuali, Roma, 05 Maggio 2010</p> <p>F. BORTOT, ZONTA D., R. ZANDONINI (2009). La Vulnerabilità Sismica dei Ponti della Provincia Autonoma di Trento. In: XIII Convegno Nazionale: L'Ingegneria Sismica. Bologna, 28 Jun-2 Jul 2009, Bologna: ANIDIS, p. 1-5</p> <p>Bortot F., Zonta D., Zandonini R., "La Vulnerabilità Sismica dei Ponti della Provincia Autonoma di Trento", 2009. Proc. "XIII Convegno Nazionale: L'Ingegneria Sismica in Italia ANIDIS 2009", Bologna, 28 Jun-2 Jul 2009.</p> <p>GIANNINI R., L. SGUERRI (2008). Valutazione della resistenza del calcestruzzo combinando i risultati di prove dirette e non distruttive. In: <i>Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato</i>. Roma, 29-30 maggio 2008, MILANO: Polimetrica, p. 63-72</p>
rapporti interni	0	
brevetti depositati	0	
TOTALE	43	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.