

**“LA VULNERABILITÀ SISMICA DEI PONTI STRADALI ITALIANI”
(PRIMA PARTE)**

Petrangeli M. (2012).

“Questo articolo è stato pubblicato per la prima volta sulla rivista *Le Strade*, case editrice La Fiaccola srl, <http://fiaccola.it>”

“This article was first published in *Le Strade*, publisher: La Fiaccola srl, <http://fiaccola.it>”

“Cet article a été publié pour la première fois sur *Le Strade*, éditions : La Fiaccola srl, <http://fiaccola.it>”

“Este artículo se publicó por primera vez en la revista *Le Strade*, casa editorial : La Fiaccola srl, <http://fiaccola.it>”.

La vulnerabilità sismica dei ponti stradali italiani

Prima parte

A DISTANZA DI ALCUNI ANNI DALL'INIZIO DELLE PRIME CAMPAGNE SISTEMATICHE DI ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA DELLA RETE STRADALE ITALIANA È OGGI POSSIBILE EFFETTUARE UN PRIMO BILANCIO INDIVIDUANDO PUNTI DI FORZA, DEBOLEZZE E RIDONDANZE, SIA PER QUANTO RIGUARDA GLI ASPETTI PROCEDURALI E NORMATIVI, SIA PER QUANTO RIGUARDA QUELLI PIÙ STRETTAMENTE TECNICI.

Gli aspetti tecnici, con riferimento alla tipologia di viadotto a travi poggiate, che rappresenta la grande maggioranza dello *stock* esistente lungo la rete nazionale, saranno analizzati in un prossimo articolo in pubblicazione su **leStrade** Aprile 2012.

Marco Petrangeli
Ingegnere
Professore all'Università
di Chieti e Pescara



In caso di evento sismico, la funzionalità delle reti infrastrutturali è evidentemente necessaria sia per accedere ed intervenire nelle aree colpite dal sisma sia per non penalizzare l'economia locale nei mesi successivi all'evento sismico paralizzandone l'attività economica. Guardando ai terremoti più recenti, sia in Italia che all'este-



1. Strade invase di detriti nel centro dell'Aquila a seguito del terremoto dell'aprile 2009

2. Terremoto coreano dell'aprile 2010. I ponti sono integri, l'autostrada bloccata da una frana

ro, sembrerebbe che il problema dell'accessibilità è senz'altro più concreto, anche se più spesso legato all'ingombro di detriti all'interno dei centri abitati mentre il danno economico di medio termine molto difficile da quantificare rispetto ad eventi distruttivi che hanno conseguenze di grande portata in moltissimi settori economici. Nel caso del terremoto Umbro-Marchigiano del 1997 ad esempio, l'interruzione che ha creato maggior danno è stata quella della statale Val di Chienti, chiusa a Colfiorito per edifici crollati e pericolanti mentre tutti i viadotti presenti lungo la stessa statale sono rimasti in esercizio. Anche nel caso del terremoto Abruzzese del 2009 non si sono verificati danni significativi ai viadotti a meno di un piccolo ponte sull'Aterno crollato a causa del pessimo stato di conservazione delle pile (fig. 3) e di alcuni appoggi e giunti sulla viabilità stradale ed autostradale che non hanno comunque causato interruzioni significative al servizio. Ovviamente ben diversa è stata la situazione della viabilità all'interno dei centri storici (fig. 1).

Volendo poi individuare gli elementi critici che portano all'interruzione di funzionalità di una strada, non necessariamente si deve pensare ai ponti. La morfologia e la geologia del territorio italiano suggeriscono di focalizzarsi molto di più su aspetti di stabilità dei versanti naturali e delle scarpate e rilevati stradali piuttosto che sulle opere d'arte. Pendii, scarpate e rilevati tendono infatti, per loro natura, a porsi in una condizione di equilibrio limite e pertanto possono più facilmente arrivare alle condizioni di rottura in caso di sisma (fig. 2). Nella progettazione e costruzione di ponti e viadotti in Italia invece, in parte per le maggiori conoscenze del comportamento dei materiali, in parte per una ricerca del massimo profitto da parte del mondo delle costruzioni, si sono rea-

lizzate delle opere che posseggono diverse forme di ridondanza e quindi di riserva di resistenza.

Se si guarda infine all'aspetto della salvaguardia delle vite umane, le infrastrutture stradali e ferroviarie sono poco significative, soprattutto se confrontate con le strutture adibite a civile abitazione. Il coefficiente medio temporale di riempimento di queste opere è infatti trascurabile rispetto a quello delle civili abitazioni. Si muore nel crollo di case e palazzi, pochissimi sono i casi di morte lungo strade ed autostrade per sisma, comunque trascurabili rispetto alle prime. In definitiva, la sicurezza sismica delle reti stradali e ferroviarie è certamente importante, ma ha ricadute tutto sommato minori rispetto al danneggiamento di altri elementi (energia e sanità tanto per fare due esempi). Esistono ovviamente situazioni particolari nelle quali è assolutamente necessario mantenere l'operatività di uno specifico collegamento infrastrutturale, come ad esempio per i ponti che collegano le isole alla terraferma o il collegamento a zone altrimenti non raggiungibili in tempi e modi accettabili.

Vulnerabilità sismica e database digitale

L'analisi di vulnerabilità sismica di ponti e viadotti della rete stradale italiana è stata giustamente l'occasione per realizzare un database digitale delle opere d'arte interessate da tali verifiche. La scarsità di dati (prove, disegni, relazioni, foto, etc..) sulle opere d'arte italiane ed il fatto che questi dati non sono sempre attendibili è circostanza nota quanto ovviamente deprecabile. Sorprendente è invece che tutt'oggi molti committenti non si siano ancora dotati di un sistema consolidato di archiviazione digitale di dati in fase di progettazione, costruzione e collaudo delle nuove opere che si vanno realizzando.

I principali Enti gestori Italiani, ovvero le concessionarie autostradali e successivamente l'ANAS si sono invece dotati, già da alcuni anni, di sistemi di classificazione e archiviazione digitalizzati delle informazioni che si andavano raccogliendo sia a seguito degli interventi di manutenzione straordinaria sia in occasione di queste campagne di valutazione della vulnerabilità sismica [1][2]. Da questo punto di vista le analisi di vulnerabilità sismica sono state l'occasione per la ricerca di informazioni e la successiva compilazione di database completi delle strutture analizzate.

Sarebbe per altro auspicabile che, sulla scorta di quanto si sta facendo, si definisca un sistema univoco per tutto il territorio nazionale per l'archiviazione digitale dei dati sulle opere d'arte di nuova e vecchia realizzazione. Per le opere esistenti il lavoro è senz'altro improbo; la digitalizzazione dei disegni e registri di contabilità cartacei faticosamente reperiti in polverosi magazzini sparsi su tutto il territorio nazionale è infatti un compito veramente faticoso e anche dispendioso in quanto richiede sia ingenti risorse umane che informatiche in quanto il cartaceo scansionato da luogo a immagini raster che hanno dimensioni molto elevate. Lo stesso vale per i dati acquisiti con *scanner-laser*, uno strumento non ottimale nel rilievo dei ponti esistenti il cui uso è purtroppo richiesto in molti capitolati. Lo *scanner-laser* infatti è perfetto nel caso di strutture storico-monumentali dove è ne-

cessario ottenere un rilievo tridimensionale delle murature o di elementi decorativi e la relative difettosità mentre è ridondante nel rilievo di superfici in cemento armato né è giustificato il suo utilizzo per il rilievo dei dissesti di queste opere per cui bastano, il più delle volte, delle semplici foto.

Per i ponti, i dati più utili restano quelli sintetici e possibilmente vettoriali, dati che è necessario vengano acquisiti da personale competente utilizzando di volta in volta gli strumenti più adeguati al caso.

Per le nuove opere la realizzazione di un database digitale esaustivo è invece molto più facile ma nonostante ciò sono molti i casi in cui questo ancora non avviene. Una volta stabilito un sistema univoco di archiviazione, si potrebbe ad esempio demandare tale compito alla fase di collaudo. Oggi invece questa attività è utilizzata per premiare e remunerare dirigenti, funzionari e alte cariche pubbliche per attività che spesso si limitano ad un mero controllo formale con l'attuale collaudo demandato a i progettisti stessi, in barba alle più elementari regole di buon senso che richiederebbero la totale alterità del controllore rispetto al controllato.

Vulnerabilità sismica e formazione

Un altro prezioso prodotto collaterale delle analisi di vulnerabilità sismica realizzate negli ultimi anni in Italia è stata una buona diffusione dei concetti della moderna ingegneria antisismica tra i liberi professionisti e i tecnici della pubblica amministrazione che erano sostanzialmente digiuni di questa materia.

La moderna ingegneria antisismica si è andata sviluppando negli anni '80 ad ha quindi trovato la sua formulazione attuale nel corso degli anni '90 [3] quando è stata quindi recepita dalle normative dei principali pesi industrializzati [4][5][6]. In Italia il suo insegnamento si è andato diffondendo in quegli anni da prima nelle università più importanti ed a seguire negli altri atenei. Per il recepimento dei concetti basilari di questa disciplina nella normativa Italiana si è quindi dovuto aspettare i primi anni del nuovo millennio [7][8].

Ragionevolmente quindi, solo chi si è laureato in ingegneria strutturale a partire dagli anni '90 può avere ricevuto un insegnamento universitario esaustivo di questa materia. Si è pertanto reso necessario una grande opera di aggiornamento professionale che in effetti ha dato discreti risultati anche sull'onda emotiva dei terremoti Umbro-Marchigiano ed Abruzzese. Peccato che contestualmente alla diffusione della nuova ingegneria antisismica si sia avuto una involuzione dei percorsi formativi all'interno delle università Italiane per cui i laureati in ingegneria strutturale sono oggi una esigua minoranza mentre abbondano percorsi di laurea di indirizzo ambientale e territoriale dove si perde l'occasione per dare delle solide basi di meccanica su cui è indispensabile cimentarsi da giovani contrariamente ad altre conoscenze che è invece possibile apprendere successivamente con la pratica professionale.

La sismicità di riferimento

Se le analisi di vulnerabilità sismica hanno dato un forte impulso alla formazione professionale ed alla creazione di un database digitale delle opere esistenti, il loro obiettivo prin-



3a



3b

cipale resta però quello di trovare alcuni parametri sintetici di vulnerabilità delle opere analizzate, quello che in gergo si chiamano i coefficienti "a" (*alfa*), ovvero il rapporto tra la resistenza strutturale dell'opera o di parti di essa e l'azione sismica attesa nell'area in cui essa sorge.

Con questi parametri si riesce ad avere un quadro delle criticità della rete stradale e dove è necessario intervenire ottimizzando le risorse disponibili per garantire l'operatività della rete stessa in funzione delle priorità territoriali.

Prima di discutere quindi gli aspetti relativi alla valutazione della resistenza strutturale è necessario soffermarsi breve-

3a, 3b. Il ponte sull'Aterno in provincia dell'Aquila prima e dopo il sisma



4. Azione sismica di riferimento a L'Aquila

mente sulla valutazione dell'azione sismica da usare al denominatore nel calcolo degli *alfa*.

Il territorio Italiano è stato oggetto di una zonazione sismica molto efficace e ben documentata che ha sostituito la vecchia classificazione in categorie [9]. Tale zonazione è disponibile su tutti i principali siti governativi già da diversi anni dove viene fornita per ciascuna coordinata geografica l'accelerazione massima attesa al suolo con periodo di ritorno pari a 475 anni (PGA^{475}) ovvero quell'accelerazione al suolo, che in 50 anni ha probabilità di accadimento pari al 10%. La sua definizione è pertanto assolutamente univoca e non può dar luogo a fraintendimenti di sorta. Nella definizione di azione sismica da utilizzare nelle verifiche di vulnerabilità entrano però in gioco altri parametri oltre al valore di riferimento suddetto.

Un primo parametro è il tempo. L'azione sismica si definisce con riferimento ad un tempo di ritorno ovvero all'intervallo temporale medio di accadimento della stessa. Tale tempo deve essere in relazione con quello della vita utile residua della struttura. Nel caso si debba definire la sicurezza sismica di un ponte provvisorio che deve essere smontato entro 6 mesi si prenderà un'azione sismica con periodo di ritorno commisurata a questo intervallo ovvero con probabilità di accadimento significativa nei 6 mesi di vita utile del ponte. Questa semplicissima considerazione non sempre è stata osservata da parte delle diverse amministrazioni. Più volte è accaduto di dover considerare nel calcolo degli *alfa*, azioni sismiche (terremoti) con periodi di ritorno elevatissimi (1000 o anche 2000 anni) a fronte di ponti in condizioni di conservazione così modeste che certamente non lasciavano loro una vita utile residua superiore a qualche manciata di anni. Questo

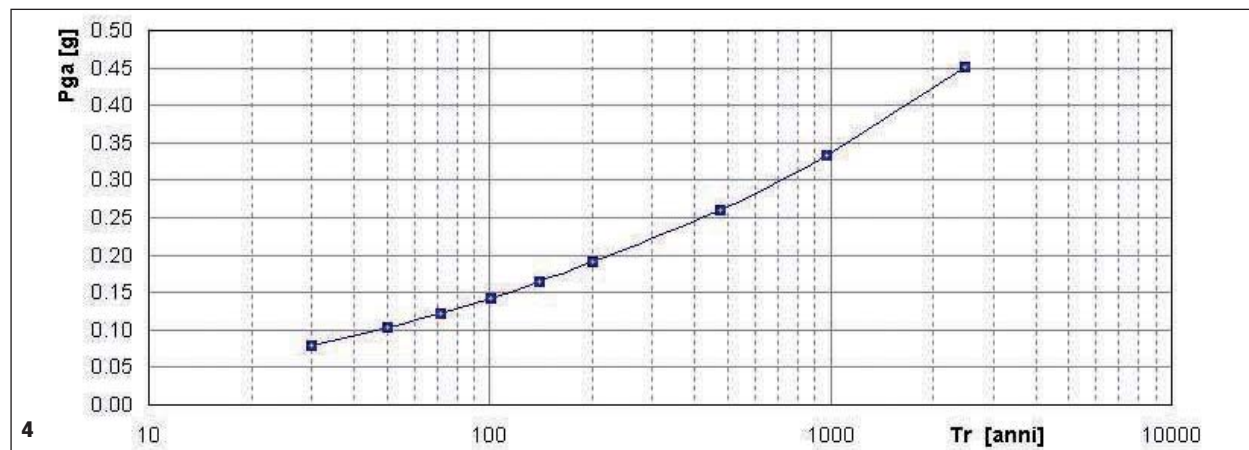
due stati limite di verifica, quelli Ultimi (SLU) e quelli di esercizio (SLE). A loro volta, in ciascuna di queste due categorie sono distinte due sottocategorie: gli Stati limite di collasso (SLC) e quelli di salvaguardia della vita (SLV) all'interno degli SLU e gli stati limite di operatività (SLO) e di danno (SLD) negli SLE. Tali distinzioni, che potrebbero apparire qualitativamente giustificate, in quanto individuano diversi livelli di danneggiamento della struttura, sono in effetti un po' velleitarie in quanto presuppongono la capacità di prevedere la risposta strutturale di opere esistenti con una precisione che è del tutto irrealistica.

La scelta di uno dei quattro stati limite comporta però una modifica abbastanza significativa in termini di azione sismica di verifica come riassunto nella tabella seguente (Tab. 1).

TAB. 1 RELAZIONE STATI LIMITE DI VERIFICA E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELL'EVENTO SISMICO (P_{VR}) PER LA VITA DI RIFERIMENTO DELLA COSTRUZIONE (V_R)

Stato limite		Probabilità di superamento $P_{VR}(V_R)$
Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Ultimo	SLV	10%
	SLC	5%

Volendo infatti condurre delle verifiche agli SLU per calcolare la capacità (resistenza) della struttura ai fini della salvaguardia della vita, l'azione sismica di riferimento dovrà avere una probabilità di superamento nella vita utile della struttura stessa pari al 10%, ovvero un periodo di ritorno (T) pari a circa 10 volte la vita utile della struttura: il rapporto tra periodo di ritorno (Tr) dell'azione sismica, probabilità di supera-



chiaramente falsa la validità degli *alfa* quale indicatori sintetici della necessità di rafforzamento sismico delle opere analizzate.

Una definizione ragionevole del tempo di ritorno dell'azione sismica da utilizzare nelle verifiche è però spesso vanificata da una applicazione pedissequa della attuale normativa dove il tempo di ritorno è definito in funzione di due parametri che, sebbene introdotti con l'obiettivo di razionalizzare e standardizzare la definizione del tempo di ritorno, possono invece condurre a operare una scelta irragionevole.

La normativa nazionale vigente (DM 14.01.2008) prevede

mento (p) e vita di riferimento dell'opera (V_r) è infatti approssimato con buona precisione dall'espressione $Tr=V_r/p$, quando il termine p risulta piccolo ($p<10\%$).

Se invece si sta verificando la capacità della struttura ai fini del collasso, allora la probabilità di superamento deve essere uguale al 5% dovendo quindi utilizzare terremoti con periodo di ritorno doppio rispetto al caso precedente (salvaguardia della vita) e dunque più impegnativi. A titolo esplicativo nel grafico seguente viene rappresentata la variazione dell'accelerazione sismica al suolo (su roccia) per la città de L'Aquila in funzione del periodo di ritorno (Tr).

È facile capire come questa definizione dell'azione sismica e delle verifiche agli SLU abbia ingenerato parecchia confusione in quanto difficilmente le verifiche strutturali possono differenziare efficacemente i due stati limite ultimi (salvaguardia della vita e collasso). Per altro per i ponti il collasso e la salvaguardia della vita tendono a coincidere: si muore infatti se il ponte crolla, se il ponte non crolla ci si salva a meno che il sisma ci colga mentre lo percorriamo a velocità molto elevate per le quali anche la rottura di un giunto può mettere a repentaglio l'incolumità dell'utente.

In definitiva, l'impostazione della normativa ha portato molti committenti ad utilizzare l'azione sismica più gravosa, quella di collasso, e quindi azioni sismiche di confronto molto elevate.

Un ulteriore aumento dell'azione sismica si ottiene con la scelta del secondo parametro, quello con il quale si vuole tener conto dell'importanza della struttura. La norma attuale ha sintetizzato questo aspetto nel concetto di *classe d'uso* della costruzione. Vengono distinti infatti quattro livelli crescenti, a ciascuna classe/livello è associato un coefficiente (C_u) moltiplicativo della vita utile (V_u) della strutture (Tab.2), che di regola vale 50 anni (costruzioni ordinarie). Dunque la vita di riferimento dell'opera (V_r), sulla cui base valutare i parametri dell'azione sismica, risulta: $V_r = V_u \times C_u$.

TAB. 2 CALSSI D'USO DELLE COSTRUZIONI.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coeff. C_u	0.7	1.0	1.5	2.0

Considerato che, in classe II ricadono, (trascrizione testuale della norma), "i ponti e opere infrastrutturali che non ricadono in classe III o IV, mentre in classe III ricadono i ponti la cui interruzione di servizio non provochi situazioni di emergenza" e che in classe d'uso IV ricadono "le reti viarie di tipo A e B di cui al DM 5.11.2005 ed i ponti di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione", è chiaro che in base a tali istruzioni, committente e progettista scelgono nel 99% delle volte la classe d'uso più alta onde evitare possibili problemi di carattere interpretativo.

A titolo esplicativo, volendo verificare un viadotto all'Aquila con una vita utile di 50 anni allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita si deve utilizzare una accelerazione al suolo pari a 0.259 g mentre se per lo stesso ponte si ipotizza una vita utile di 100 anni e lo si verifica alla Stato Limite di Collasso si deve considerare una accelerazione al suolo pari a 0.418 g. A fronte di una resistenza dell'opera calcolata con gli usuali metodi di analisi modale e verifica delle membrature allo SLU si ha una variazione dell'azione sismica di confronto che è del 60%.

In definitiva, in molte delle verifiche di vulnerabilità sismiche effettuate in questi ultimi anni, per la definizione dell'azione sismica sono state ipotizzate vite utili strutturali che spesso non tenevano conto dello stato di conservazione delle opere analizzate. Soprattutto nel caso dei ponti, il cattivo stato di manutenzione e la necessità di un continuo allargamento delle sezioni stradali hanno contribuito a ridurre fortemente la vita utile di queste opere. In molti progetti di adeguamento ed allargamento di statali e consolari Italiane i ponti esistenti vengono infatti dismessi e ricostruiti *ex-novo*.

Considerato che è con gli attuali metodi di verifica si garantisce una buona sicurezza sismica utilizzando sismi con periodo di ritorno pari a circa 10 volte la vita utile delle strutture, in molti casi si dovrebbero prendere sismi due centennali. Partendo invece da 50 anni di vita utile e applicando le scelte più conservative si finisce con l'utilizzare sismi con periodo di ritorno pari a 2000 anni.

Un'altra criticità nella definizione dell'azione sismica di progetto, che ha come conseguenza anche elevati costi di indagine, è quello relativo al terreno. Infatti, una volta definita l'intensità dell'accelerazione di riferimento con i criteri di cui sopra, l'azione sismica locale è ovviamente differente nel caso in cui ci si trovi su roccia o su terreni sciolti e più o meno addensati. La normativa Italiana ha previsto un metodo semplificato per la definizione dello spettro di progetto, attraverso una classificazione (in 5+2 classi) dei terreni sulla base della "velocità equivalente delle onde di taglio" $V_{S,30}$ nei primi 30 m di sottosuolo. Entrano poi in gioco altri parametri, quali ad esempio il fattore topografico.

Per arrivare a questa classificazione, praticamente tutti i disciplinari di incarico richiedono la realizzazione di specifiche indagini per la definizione delle $V_{S,30}$. Nella normativa vigente si dichiara in realtà che "la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata". Nei casi in cui tale determinazione non fosse disponibile, si può fare ricorso ad altri mezzi di indagine o parametri, quali ad esempio la prova SPT nei terreni a grana grossa e la resistenza non drenata per i terreni coesivi. Tuttavia è stato più volte dimostrato che l'applicazione di correlazioni tra le prove SPT e le velocità delle onde sismiche non necessariamente conduce a risultati attendibili [10].

La determinazione diretta della velocità delle onde di taglio dei terreni è possibile con metodologie geofisiche in foro (*downhole*, *cross-hole*, *up-hole*) o attraverso prospezioni geosismiche di superficie (rifrazione con doppia energizzazione). Recentemente si sono diffuse tecnologie di indagine geofisica che non prevedono la perforazione di un sondaggio, quali ad esempio la tecnologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) o metodi di sismica passiva (detta anche dei microtremiti con "Tromino"). La diffusione di queste tecniche appare però più dettata da una necessità di contenimento dei costi più che da una effettiva affidabilità di questi sistemi. In pratica è stato dimostrato che l'unico metodo sicuramente corretto per la determinazione della velocità delle onde di taglio è rappresentato dalla prova *down-hole* in foro. Si tratta però della tecnica di indagine più costosa e invasiva e in molti casi la sua esecuzione non risulta giustificabile in termini di costi-benefici o comunque appare meno indispensabile di altri tipi di indagine.

Per dare una idea di quanto varino gli spettri in funzione del tipo di terreno ovvero delle classi d'uso e dello stato limite adottato si riportano nel seguito i relativi spettri in spostamento (S_d). In fig. 5 a sinistra sono raffigurati gli spettri per i suoli più comuni (tipo A,B,C), a destra, per il suolo tipo B, lo spettro per classe d'uso II (vita di riferimento 50 anni) e Salvaguardia della Vita (probabilità di superamento 10%) a cui corrisponde un sisma con periodo di ritorno 475 anni, e lo spettro per classe d'uso IV (vita di riferimento 100 anni)

Riferimenti bibliografici

1. Banca dati Autostrade: SAMOA
2. Banca dati ANAS: SOAWE Sistema Opere d'Arte Web
3. Chopra A. K., "Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey USA, 1995
4. NZS 4203 "Code of practice for General Structural Design and Design Loadings for Buildings, known as the Loadings Standard", Standards New Zealand, 1992
5. UBC:1997, "Uniform building Code - UBC", ICBO, California USA, 1997
6. UNI EN 1998-1, Eurocode 8, part 1, "Design of structures for earthquake resistance", March 2005
7. OPCM 3274, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", 2003
8. DM 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni", 2008
9. Mappe interattive di pericolosità sismica, <http://esse1.mi.ingv.it>
10. Petrangeli M., Pietrantonio M., Tagliaferri Brandenburg; S.J. Ballana N., Shantz T. (2010), "Shear Wave Velocity as a Statistical Function of Standard penetration test resistance and Vertical Effective Stress at Caltrans Bridge Sites". Pacific Earthquake Engineering Research Center

e Stato limite di collasso (probabilità di superamento 5%) a cui corrisponde un sisma con periodo di ritorno 1950 anni. Si evidenzia come le investigazioni geotecniche che possono spostare il tipo di terreno e quindi lo spettro tra due classi contigue, come ad esempio dalla B alla C portino ad una differenza di valori spettrali inferiori al 30% per le frequenze usuali dei ponti italiani, mentre la scelta di classe d'uso e tipo di stato limite ultimo può portare a delle variazioni pari a circa il 60%.

Pur riconoscendo la necessità di una corretta caratterizzazione sismica del sito, è necessario fare dei distinguo, non tanto per le nuove opere, quanto per quelle esistenti. Pur avendo spesso accertato la carenza (o l'assenza) di indagini (perché non realizzate o non reperibili), molte volte è possibile risalire ad una ricostruzione adeguatamente affidabile della stratigrafia del sito. Ovviamente le indagini eseguite fino

e sulle strutture), del tipo di struttura da esaminare e dell'importanza della stessa.

Conclusioni

In questa prima parte del lavoro si è voluto mettere in evidenza l'importanza di una corretta individuazione dell'azione sismica di progetto da utilizzare nelle verifiche di vulnerabilità sismica.

Per tutte le analisi condotte con modelli elastici lineari individuare l'azione sismica significa definire lo spettro di risposta specifico del sito dove sorge l'opera in funzione delle condizioni geotecniche dei terreni di fondazione e della vita utile dell'opera stessa. Una corretta e ragionevole definizione dell'azione sismica influisce direttamente sulla valutazione dell'affidabilità sismica della struttura in quanto costituisce il denominatore del parametro *alfa* definito come rapporto tra capacità (resistenza e duttilità strutturale) e domanda (intensità dell'azione sismica attesa).

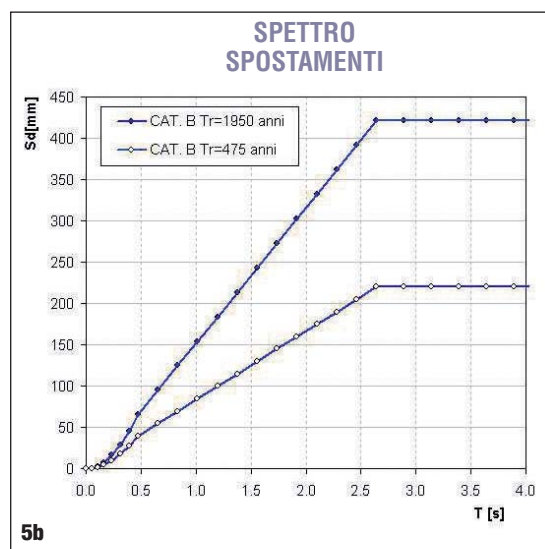
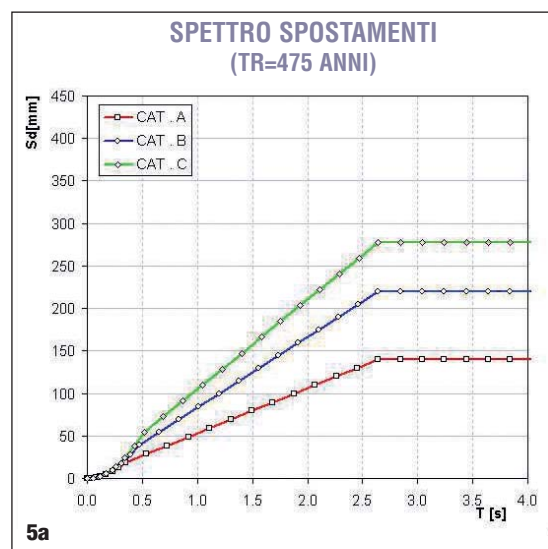
Fortunatamente, lo spettro non ha grande influenza sulla capacità ultima della struttura ovvero dei suoi meccanismi resistenti. In altre parole, nelle analisi di vulnerabilità sismica condotte con modelli elastici lineari mediante analisi modale la capacità dei tipici ponti a travata italiani è sostanzialmente indipendente dallo spettro utilizzato ovvero il problema può essere disaccoppiato. Certamente, a seconda della forma spettrale, alcuni modi di vibrare possono risultare più amplificati rispetto ad altri ma nella valutazione della risposta strutturale e nell'individuazione dei meccanismi di collasso è senz'altro molto più importante una corretta definizione

del modello di calcolo, delle rigidità dei vari elementi strutturali e delle capacità di resistenza e duttilità degli stessi, temi che saranno approfonditi, con riferimento ai ponti a travata, nella seconda parte dell'articolo in uscita con il numero di Aprile.

Nel calcolo dell'indice sintetico di affidabilità sismica, ovvero dell'*alfa*, il peso dell'azione sismica è però determinante in quanto entra direttamente a denominatore e quindi indagini costose e modellazioni accurate atte ad individuare l'effettiva resistenza strutturale possono essere vanificate da una scelta inutilmente formale dell'azione sismica posta a denominatore. Tale scelta è per altro composta da una parte diciamo così "burocratica" che ha costo nullo ma una incidenza molto forte e da una scelta, quella del suolo, con incidenza molto minore ma spesso onerosa in quanto deve essere suffragata da onerose prove in sito.

Fortunatamente, la possibilità di disaccoppiare la valutazione della capacità strutturale dalla domanda (azione sismica) significa che molte analisi di vulnerabilità condotte utilizzando azioni sismiche di riferimento inappropriate possono essere parzialmente recuperate intervenendo solamente sull'azione sismica senza dover effettuare nuovamente tutte le analisi e verifiche strutturali. ■ **(Fine prima parte)**

5a, 5b. Variabilità degli spettri di progetto in funzione dei terreni e del tempo di ritorno



ad almeno 10 anni fa non potevano contemplare la misura diretta delle $V_{S,30}$; tuttavia, a parte casi particolari che verranno analizzati nella seconda parte dell'articolo di prossima pubblicazione, non sembra particolarmente difficile una caratterizzazione sismica di massima del sito. Il metodo semplificato introdotto dalla normativa Italiana non necessita del valore preciso delle velocità delle onde di taglio, ma di un range e quindi di una classe di suolo. Abbiamo più volte verificato che una prima stima condotta sulla base delle informazioni disponibili, di accurati sopralluoghi da parte di tecnici qualificati e di adeguata esperienza, è stata poi confermata dalle misure in sito.

In sostanza, in molti casi appare più importante avere un geologo qualificato che sappia discernere e valutare gli elementi a disposizione, riconoscendo peraltro elementi geomorfologici che possano condurre ad amplificazioni locali o a criticità correlate (frane attive o quiescenti potenzialmente riattivabili da sismi), piuttosto che arrivare ad una definizione precisa delle $V_{S,30}$.

In definitiva non si vuole affermare che le indagini geosismiche siano inutili, bensì sottolineare la loro rilevanza e la necessità di differenziarle in funzione delle effettive condizioni geologiche dei siti, delle informazioni disponibili (sui terreni