

Laboratori di Ingegneria

# Vulnerabilità sismica e indagini diagnostiche

**OBIETTIVO SULLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA NELLE COSTRUZIONI ESISTENTI PER APPROFONDIRE, CON GLI ESPERTI DELL'ASSOCIAZIONE LABORATORI DI INGEGNERIA E GEOTECNICA, LA QUESTIONE DELLE DIFFICOLTÀ A EFFETTUARE INDAGINI STRUTTURALI E GEOTECNICHE APPROFONDITE NELL'AMBITO DI UN SISTEMA DI AGGIUDICAZIONI CHE PRIVILEGIA IL CRITERIO DEL MASSIMO RIBASSO. TRA LE PROPOSTE DELL'ALIG: LINEE GUIDA DEDICATE A UNA CORRETTA GESTIONE DELLE ATTIVITÀ SPERIMENTALI.**

**L'**OPCM 3274 prima, il DM 14/01/2008 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni) poi, e successivamente la Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008, hanno affrontato il problema della valutazione della sicurezza/vulnerabilità nelle costruzioni esistenti dopo un'assenza normativa pressoché totale. Con la presente nota, nell'ambito del più generale dibattito sulla sicurezza delle costruzioni, in particolar modo delle costruzioni esistenti, si vuole affrontare il problema della progettazione e pianificazione delle indagini diagnostiche sulle strutture finalizzate alla verifica della vulnerabilità sismica. In particolare l'obiettivo prioritario della norma, esplicitato nel capitolo 8 delle NTC 2008, è quello di garantire, in caso di sisma, l'effettiva efficienza delle infrastrutture strategiche e più in generale la sicurezza e la pubblica incolumità dei cittadini. Tale obiettivo è integrato, nel medio/lungo termine, dalla possibilità di consentire alle PA di disporre di uno strumento di programmazione degli interventi di messa in sicurezza degli edifici e delle infrastrutture, basato su una scala di priorità oggettiva e non causale. In conseguenza di ciò e a seguito di eventi drammatici (San Giuliano di Puglia, l'Aquila), è stato richiesto a tutte le amministrazioni, proprietarie e/o concessionarie di immobili e di infrastrutture classificate strategiche ai fini della protezione civile, di verificarne la vulnerabilità sismica. Tale attività è stata finanziata con le procedure previste dall'OPCM 8 luglio 2004, integrata dall'OPCM 29 dicembre 2008. Questa attività, partita in sordina subito dopo il terremoto di San

Giuliano di Puglia, ha avuto una notevole ripresa dopo il terremoto dell'Aquila. Oggi, a causa dell'approccio superficiale con il quale gli enti proprietari e concessionari hanno affrontato il problema, rischia di essere vanificato l'obiettivo che la Presidenza del Consiglio dei Ministri, la Protezione Civile e il Ministero Infrastrutture e Trasporti si erano propo-

**Donatella Pingitore**  
Presidente ALIG

**Vincenzo Venturi**  
Vice Presidente ALIG



**1. Valutazione critica di una verifica di vulnerabilità di un ponte stradale da parte degli esperti ALIG: nella foto, il manufatto preso in esame**

sti. Infatti gli enti proprietari e concessionari generalmente procedono, correttamente, all'affidamento di questi servizi, mediante lo strumento della gara, della licitazione privata, dell'indagine di mercato, purtroppo però l'unico criterio che viene previsto per l'aggiudicazione è quasi sempre quello del massimo ribasso. Come è noto, per i servizi e soprattutto per la specifica tipologia di servizi, questo criterio di aggiudicazione non garantisce la qualità e la corretta esecuzione delle indagini e il monitoraggio delle gare ha confermato che, in alcuni casi, consente lo sperpero di denaro pubblico. In questo articolo viene proposta, in sintesi, una valutazione analitica del problema delle procedure di affidamento delle indagini, con evidenza dei fattori che concorrono a vanificare gli obiettivi che le richiamate norme hanno indicato e prescritto.

## L'“esclusione” dei laboratori

La prima anomalia che abbiamo riscontrato in numerosi bandi è che questi servizi, quando non direttamente eseguiti dalle stazioni appaltanti o dagli uffici tecnici ad esse facenti capo, vengono affidati a liberi professionisti o a società di ingegneria (di cui all'art. 90 - Progettazione interna ed esterna alle amministrazioni aggiudicatrici in materia di lavori pubblici, comma 1 lettere dalla d alla h del Codice Appalti [D.Lgs. 163/2006 e s.m.i.]) imputandoli, erroneamente, alla fase di progettazione del servizio e non, come invece l'oggetto della gara prevede, a quella di esecuzione del servizio (esecuzione delle indagini geotecniche e strutturali). Nel fare ciò non viene considerato che, nella gran parte dei casi, una quota parte delle attività di campagna (le indagini strutturali e geotecniche per intenderci) devono essere, nel rispetto della vigente normativa, subappaltate a laboratori esperti nel settore e in possesso di specifici requisiti; è un dato di fatto che i limiti previsti per legge per il subappalto, in termini di percentuale del servizio, vengano generalmente ampiamente superati. Gli stessi bandi escludono tassativamente dalla partecipazione le società specializzate, come i laboratori in possesso di autorizzazione ministeriale, che vantano uno specifico *curriculum* tecnico, nella diagnostica strutturale e nella geotecnica, da tempi antecedenti l'OPCM 3274, e che garantiscono di operare con personale qualificato ed esperto, con attrezzature efficienti, con procedure codificate in un sistema di qualità certificato. Inoltre, detti bandi prevedono che l'attività diagnostica, svolta dal professionista, sia compensata a corpo, e che il compenso posto a base dell'appalto comprenda sia le competenze professionali, per la verifica delle vulnerabilità sismica, sia l'importo per l'esecuzione delle verifiche tecniche (indagini strutturali e geotecniche). L'importo di tali attività viene stimato attraverso i parametri desunti dall'OPCM 8 luglio 2004, integrata dall'OPCM 29 dicembre 2008, emanate la prima “per [...] le modalità di attivazione del Fondo per interventi straordinari [...] per quanto attiene in via specifica alla realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione del rischio sismico ai quali la medesima normativa riconosce carattere di priorità”, mentre nella seconda si precisa che “l'ammontare residuo necessario per il completamento degli interventi rimane a carico del beneficiario.”

In sintesi la Presidenza del Consiglio dei Ministri fornisce il metodo di stima convenzionale necessario per valutare l'importo reso disponibile a finanziamento, non ritenendo, giustamente, questo importo necessariamente esaustivo degli effettivi costi che l'amministrazione deve sostenere. Esplicitando, l'OPCM, fissa i seguenti parametri:

- 2,5 €/m<sup>3</sup> per edifici fino a 10.000 m<sup>3</sup>;
- 1,8 €/m<sup>3</sup> per edifici da 10.000 m<sup>3</sup> a 30.000 m<sup>3</sup> per il volume eccedente 10.000 m<sup>3</sup>;
- 1,2 €/m<sup>3</sup> per edifici da 30.000 m<sup>3</sup> a 60.000 m<sup>3</sup> per il volume eccedente 30.000 m<sup>3</sup>;
- 0,6 €/m<sup>3</sup> per edifici oltre 60.000 m<sup>3</sup> per il volume eccedente 60.000 m<sup>3</sup>.

Mentre per gli impalcati da ponte il costo convenzionale è stimato come nel seguito:

- 15 €/m<sup>2</sup> con superficie fino a 1.000 m<sup>2</sup> di impalcato;
- 11 €/m<sup>2</sup> con superficie fino da 1.000 m<sup>2</sup> a 2.000 m<sup>2</sup> di impalcato, per la superficie eccedente i 1.000 m<sup>2</sup>;
- 7 €/m<sup>2</sup> con superficie fino da 3.000 m<sup>2</sup> a 5.000 m<sup>2</sup> di impalcato, per la superficie eccedente i 3.000 m<sup>2</sup>;
- 4 €/m<sup>2</sup> con superficie oltre 5.000 m<sup>2</sup> di impalcato, per la superficie eccedente i 5.000 m<sup>2</sup>;

Esemplificando, si consideri il caso di un'amministrazione proprietaria di due immobili, edifici A e B, adibiti p.e. a caserma V.V.F., e quindi a tutti gli effetti edifici strategici, ciascuno stimato con una superficie di 3.000 m<sup>2</sup> distribuiti su 5 piani, ciascun piano di circa 600 m<sup>2</sup> in c.a. semplice, strutturalmente assimilabili alla stessa tipologia costruttiva. L'edificio A è stato realizzato negli anni '50, senza possibilità di reperire la documentazione di provenienza e l'edificio B è stato costruito negli anni '80 nel rispetto delle prescrizioni previste dalla normativa per le costruzioni in zona sismica e con la documentazione tecnica reperibile. L'importo soggetto a contributo per la verifica di vulnerabilità sismica, come finanziato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri, è lo stesso per i due edifici ovvero: 3.000 x 2,5 € = 7.500,00 € ma l'impegno economico, sia in termini di attività professionale che di necessità di poter disporre di verifiche tecniche, è molto diverso nei due casi. Se infatti applichiamo le prescrizioni/indicazioni delle NTC e della circolare per i due edifici otteniamo che se si vuole raggiungere “un livello di conoscenza LC2, Conoscenza adeguata” che prevede quantità e conoscenza dell'armatura in almeno il 35 % degli elementi, e per “ogni elemento primario (trave, pilastro) almeno due provini di calcestruzzo e due campioni di armatura per 300 m<sup>2</sup> di piano dell'edificio” si ottengono situazioni estremamente differenti per i due edifici.

*Edificio A:* tralasciando la stima delle indagini geotecniche e della determinazione della disposizione delle armature e limitando le indagini alle sole caratteristiche meccaniche dei materiali otteniamo, per una superficie di ciascun piano pari a 600 m<sup>2</sup>, una quantità di almeno otto carote per piano ((2+2) x 2 = 8) che, per l'intero edificio, divengono: 8 x 5 = 40 carote. In maniera analoga si possono computare i prelievi di barre. Riferendosi al prezzario della Regione Siciliana ed. 2009 la stima delle indagini *in situ* diventa quella espressa in tab. 1 (pag. seguente).

**TAB. 1 STIMA ECONOMICA DELLE INDAGINI IN SITU EDIFICIO A**

20.10.1 Impianto cantiere a corpo	1.010,00 €	1	1.010,00 €
20.10.2 Estrazione di carote cad.	295,00 €	40	11.800,00 €
20.10.4 Estrazione di barra cad.	338,00 €	40	13.520,00 €
20.9.1.1 Prova di compressione a coppia	26,50 €	20	530,00 €
20.9.1.16 Taglio e capping cad.	30,60 €	40	1.224,00 €
20.9.5.1 Prova di trazione per ogni terna	71,90 €	13	934,70 €

Pari ad un importo totale della campagna diagnostica prevista dalla norma di 29.018,70 €.

*Edificio B:* se in possesso della documentazione tecnica è consentita una riduzione di oltre il 50 % di verifiche *in situ*.

Avendo quindi posto a base dei due appalti il solo importo finanziato dalla Presidenza del Consiglio, e non quello effettivamente richiesto, è evidente come sia impossibile svolgere l'attività prevista per norma, e come sia certamente favorito nello svolgimento della propria attività professionale

il professionista incaricato del servizio di verifica per l'Edificio B. Infatti per l'Edificio A, a fronte di una spesa finanziaria fino all'importo di 7.500,00 €, è richiesta una copertura economica, per le sole indagini strutturali, di 29.018,00 €. In questo caso o il professionista, per rigore professionale, si rende disponibile non solo a sacrificare il proprio onorario ma anche a finanziare l'amministrazione, oppure, e questo è il caso purtroppo molto più frequente, il professionista più semplicemente elimina le attività sperimentali. Ci troviamo quindi in presenza di attività indispensabili per la valutazione della sicurezza delle costruzioni, e in particolare di quelle costruzioni definite "strategiche", che non vengono eseguite o, al più, vengono eseguite in quantità estremamente limitata e non rappresentativa delle effettive condizioni del manufatto e tale da rendere il livello di conoscenza della struttura assolutamente inadeguato. In conseguenza di ciò l'amministrazione non viene messa in condizione di progettare, pianificare e stimare l'entità dell'intervento necessario per il recupero/adequamento del manufatto ma, come si ricava dal caso pratico che segue ed esemplificativo dei guasti evidenziati, dispone solo di una "generica" quanto inutile "vulnerabilità" della tipologia di struttura e non della vulnerabilità della specifica struttura. L'esempio, che riporta alcuni stralci della verifica di vulnerabilità eseguita sul ponte in fig. 1, conferma in maniera inequivocabile quanto anticipato. ■■

## Verifica di vulnerabilità sismica di un manufatto

Dalle caratteristiche del ponte (fig. 1, pag. 97) si ricava che oggetto della verifica non è un manufatto ordinario ma un'opera strutturalmente e logisticamente importante, dall'estratto professionale di verifica di vulnerabilità richiamato (fig. 2) si ricava invece che l'analisi storica non ha fornito alcuna informazione e che per tale ragione il livello di conoscenza che si prefiggono i professionisti è LC2. Dallo stralcio riportato in fig. 3 si ricava che la campagna di indagine è costituita da due soli prelievi di calcestruzzo, prelevati esclusivamente dai plinti, e che i provini ricavati da ciascun prelievo sono due, ma per una bizzarra scelta, della quale non viene data giustificazione alcuna nel prosieguo della relazione, sono state eseguite le prove di compressione con diverso rapporto altezza/diametro  $h/d$  rispettivamente 1 e 2.

Anche per le barre di armatura i prelievi di barre sono solo due (fig. 4) eseguiti sempre, e solo, dalla armatura dei plinti. Tali prelievi sono stati integrati da appena due misure di durezza in sito.

La tabella riepilogativa richiamata in fig. 5 (pag. seguente) conferma, oltre ogni dubbio, l'effettiva consistenza dell'indagine. L'esempio di indagine di vulnerabilità citata non è un'invenzione retorica degli scriventi ma appartiene a un caso reale, che ha visto professionisti e docenti universitari coinvolti, la

### 2.1 INFORMAZIONI PROGETTUALI

#### 2.1.1 MATERIALE RECUPERATO

Le ricerche di archivio effettuate presso [...] e presso alcuni archivi privati **non hanno permesso di ricostruire la storia tecnico-amministrativa dell'opera, in quanto non è stato possibile recuperare gli elaborati progettuali originali dell'opera.**

Dalle ricerche eseguite presso [...] e presso archivi privati **non è stato possibile reperire la documentazione progettuale originaria dell'opera.**

Da ricerche bibliografiche e dai sopralluoghi è stato possibile reperire:

- Informazioni sulla geologia dell'area;
- Ricostruzione geometrica preliminare dell'opera.

**Sulla base di tale documentazione non è possibile conoscere nel dettaglio la geometria dell'opera ed acquisire informazioni sui materiali impiegati e sui dettagli costruttivi.**

#### 2.1.2 CARICHI DI PROGETTO ORIGINARI

Per quanto riguarda i carichi e le verifiche dell'opera in esame, non essendo disponibili gli elaborati progettuali originari, **non è possibile avere informazioni dirette sull'anno di progettazione.**

### 2.5 CONGRUENZA TRA ELABORATI PROGETTUALI E STATO DI FATTO

**Le estese ricerche d'archivio sono state infruttuose e non è stato possibile recuperare la documentazione progettuale originaria.**

## 3 DESCRIZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE

### 3.1 LIVELLO DI CONOSCENZA

Sulla base delle succitate informazioni di partenza, **il livello di conoscenza dell'opera che si prefigge di raggiungere è LC2: Conoscenza Adeguata.**

**Nel seguito si fornisce una sintesi delle indagini eseguite e dei risultati ottenuti, mentre si rimanda agli allegati 5, 6, 7, e 8 per la consultazione completa della documentazione (ubicazione dei prelievi, indagini geognostiche e geofisiche, metodologie adottate e risultati, ecc.).**

> Prelievo e prove di compressione di carote di calcestruzzo, misure della profondità di carbonatazione.

> Prelievo di barre di armatura e prove di trazione.

> Prove di durezza superficiale Brinell.

I valori di resistenza a compressione  $f_{c1}$  misurati in laboratorio su provini cilindrici con rapporto altezza/diametro ( $h/d$ ) **pari a 1 ovvero 2**, sono riportati nella tabella seguente.

Ubicazione prelievo	$h/d$	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{c,opera}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Plinto 2 dx	1	56,3	56,3	66,2
	2	44,4	53,5	63,0
Plinto 2	1	42,5	42,5	50,0
	2	39,2	47,2	55,5

Tabella 2 – Risultati delle prove di compressione

3

I valori del diametro effettivo  $\Phi_{eff}$  della tensione di snervamento  $f_y$ , della tensione di rottura  $f_t$  e dell'adequamento a rottura  $A_s$  determinati in laboratorio sulle barre d'armatura prelevate, sono indicati nella tabella che segue.

Ubicazione	$\Phi_{eff}$ [mm]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_s$ [%]
Plinto 2	16,41	312,6	474,5	31,7
Plinto 2 Ac	29,36	239,4	379,2	19,6

Tabella 4 – Risultati delle prove di trazione sulle barre di armatura

4

Nel paragrafo 5.2 sono riportate le proprietà meccaniche adottate nei calcoli e ricavate dividendo i valori medi di resistenza sopra indicati per il fattore di confidenza  $FC = 1,2$  associato ad un livello di conoscenza LC2.

### 3.5 RIEPILOGO DELLE INDAGINI EFFETTUATE SULLA STRUTTURA

Tipo e quantità di prove							
Elementi Strutturali	N° elementi	Carotaggio del calcestruzzo	Indagini pacometriche per analisi armatura	Metodi combinati (SON-REB) sclerometro e ultrasonica	Analisi della carbonatazione	Prelievo barre di armatura	Misure Brinell sulle barre di armatura
Fondazioni	1	2	4	-	2	2	2
Spalle							
Pile							
Impalcati							
<b>TOTALE</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Note:

5

cui unica conclusione è stata di “scoprire”, attraverso una raffinata elaborazione di un modello tridimensionale agli elementi finiti (figg. 6, 7), che un ponte ad arco realizzato negli anni '50, senza alcuna previsione di azioni sismiche, è oggi vulnerabile, nei ritzi, alle azioni sismiche.

## Conclusioni

È appena il caso di evidenziare come, nel caso specifico, non esiste un catalogo dei difetti, una scala di danneggiamento e quindi una mappatura del degrado, e che in conseguenza di ciò non sono stati implementati nel “raffinato” modello di verifica i difetti costruttivi (ripresе di getto, eccetera) i numerosi fenomeni di degrado (distacchi, delaminazioni, corrosione dell'armatura), diffusi su tutta la struttura

È stata effettuata un'analisi modale con spettro di risposta non ridotto considerando 250 modi di vibrare, sufficienti ad eccitare l'85% delle masse in tutte le direzioni. I periodi naturali e i coefficienti di partecipazione delle masse dei primo 20 modi sono riportate nella tabella seguente:

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.399869	7.783E-09	0.70863	2.43E-09
MODAL	Mode	2	1.324649	2.46E-08	0.00012	6.174E-10
MODAL	Mode	3	0.811333	0.000001748	0.0733	6.772E-08
MODAL	Mode	4	0.68795	0.00004297	0.00002129	8.272E-08
MODAL	Mode	5	0.635668	0.00084	0.00048	1.397E-08
MODAL	Mode	6	0.630182	0.00346	0.02656	5.968E-10
MODAL	Mode	7	0.627444	0.47296	0.00015	0.000001804
MODAL	Mode	8	0.586961	0.00003759	0.02585	1.138E-07
MODAL	Mode	9	0.512959	4.509E-08	0.00099	8.627E-10
MODAL	Mode	10	0.509279	8.754E-07	0.00069	2.263E-08
MODAL	Mode	11	0.49829	3.127E-07	0.00455	1.562E-08
MODAL	Mode	12	0.49461	6.803E-08	0.00029	3.626E-09
MODAL	Mode	13	0.443696	2.423E-07	0.0002574	1.899E-07
MODAL	Mode	14	0.439153	2.32E-08	0.00023	6.137E-08
MODAL	Mode	15	0.433032	4.859E-07	0.0003356	0.000007081
MODAL	Mode	16	0.426127	3.831E-08	0.00002706	4.683E-08
MODAL	Mode	17	0.423924	0.00058	1.659E-06	0.00114
MODAL	Mode	18	0.395314	0.00177	1.974E-07	0.0000462
MODAL	Mode	19	0.390547	8.062E-08	0.00006463	0.000000162
MODAL	Mode	20	0.356348	0.00016	0.00008652	4.409E-07

6

(figg. 8a, b, c, d) che certamente influiscono sull'effettiva capacità di prestazione del manufatto e che rendono l'opera vulnerabile non solo alle azioni sismiche ma da subito ai correnti carichi verticali. Questo esempio dimostra che attività indispensabili per la valutazione della sicurezza delle costruzioni, e in particolare di costruzioni definite “strategiche”, non vengono eseguite o vengono eseguite in quantità estremamente limitata e non rappresentativa delle effettive condizioni del manufatto, o tali da rendere il livello di conoscenza della struttura inadeguato e la verifica di vulnerabilità priva di significato. Per concludere, nelle condizioni descritte nell'esempio citato l'amministrazione pubblica si trova a disporre solo di una “generica” quanto inutile “vulnerabilità” della tipologia di struttura e non della specifica struttura oggetto della verifica, priva degli indispensabili strumenti necessari per progettare, pianificare e stimare l'entità dell'intervento di recupero/adequamento del manufatto. In que-

## 7 INDICATORI DI RISCHIO

Le analisi effettuate hanno mostrato che:

- I ritzi hanno insufficiente capacità a Taglio e pressoflessione allo SLC;
- L'arco ha sufficiente capacità a Taglio e pressoflessione allo SLC;

Sono stati evidenziati, inoltre, importanti segni di degrado, in particolar modo sulle pile: occorre intervenire al più presto per evitare che tale degrado comprometta ulteriormente le capacità deformative e di resistenza dell'opera.

7

sto contesto, e con riferimento a quanto esposto, nell'auspicare una maggiore sensibilità da parte delle pubbliche amministrazioni l'ALIG si rende disponibile a collaborare, con le istituzioni preposte, alla redazione di opportune Linee guida indispensabili per progettare, per sorvegliare e per svolgere correttamente le attività sperimentali necessarie per garantire la sicurezza e la pubblica incolumità.



8