



UNIVERSITÀ DI PARMA

ARCHIVIO DELLA RICERCA

University of Parma Research Repository

Per una 'quantificazione' del monitoraggio strutturale, strumento di programmazione e tutela

This is a pre print version of the following article:

Original

Per una 'quantificazione' del monitoraggio strutturale, strumento di programmazione e tutela / Ottoni, Federica. - STAMPA. - (2020), pp. 783-789.

Availability:

This version is available at: 11381/2882512 since: 2020-11-09T12:46:45Z

Publisher:

Edizioni Quasar

Published

DOI:

Terms of use:

openAccess

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Federica Ottoni

Per una ‘quantificazione’ del monitoraggio strutturale, strumento di programmazione e tutela

Parole chiave: monitoraggio strutturale, miglioramento sismico, murature storiche, normativa, programmazione

Sicurezza, conservazione (ed economia): un equilibrio necessario

Il miglioramento sismico del costruito storico deve sempre attuarsi mantenendo in un equilibrio, difficile ma necessario, le due istanze di conservazione e sicurezza. La questione si complica ulteriormente quando, in questo già critico binomio, si debbano includere forzatamente due variabili altrettanto fondamentali, data la ormai cronica mancanza di fondi che affligge i proprietari e gli enti preposti alla tutela e alla manutenzione: quella economica e quella temporale, alla base di ogni programmazione. A ben vedere forse il problema non è soltanto tecnico, quando si consideri la duplicità insita nel restauro strutturale: in questo stretto spazio di confine tra forma e struttura (quanto mai labile e sfuocato per gli edifici storici), s’incontrano e sovrappongono infatti due approcci diametralmente opposti rispetto al peso da attribuire alle due istanze – la tutela, da un lato, e la sicurezza sismica dall’altro – nel binomio prima proposto. Al più tradizionale approccio della sicurezza – che porterebbe a lavorare (come opportunamente prescritto per le strutture di nuova costruzione) ‘a favore di sicurezza’ – la via della conservazione contrappone il principio, simmetrico, del ‘minimo intervento’, usando il livello di ‘confidenza’ del progettista nella correttezza del proprio procedimento di analisi (il fattore F_c introdotto dalle NTC 2008¹, diretta quantificazione del livello di conoscenza ottenuto sull’edificio) come strumento quantitativo per abbassare l’entità delle azioni in gioco e poter limitare così gli interventi necessari.

Certamente il primo approccio produrrebbe sulle strutture storiche interventi eccessivamente invasivi e costosi che, non solo metterebbero a serio rischio la conservazione della consistenza materiale originale del monumento, ma avrebbero anche l’effetto, altrettanto grave, di esaurire presto e in maniera arbitraria (solo su alcuni edifici) i pochi fondi disponibili per la gestione del patrimonio.

D’altro canto, una prevalenza della linea puramente conservativa rischierebbe di compromettere l’uso degli edifici storici, strettamente legato al loro recupero e valorizzazione (anche economica), favorendo interventi leggeri e non invasivi che non sempre, però, soddisfano le garanzie di sicurezza richieste (seppure minime e a volte illusorie) per i carichi previsti da normativa per quel dato, ed auspicato, (ri) uso.

La questione non è risolta, come spesso succede quando si affronti il problema strutturale implicito in ogni intervento di restauro, dato che in quel confuso confine prima richiamato convivono, più o meno forzatamente, le competenze (complementari ma opposte) dell’ingegnere strutturista e dell’architetto conservatore, con il fardello delle relative responsabilità². Se infatti da un lato l’istanza di tutela è garantita dagli interventi minimi (ma non sempre realmente efficaci) proposti e difesi dal tecnico conservatore, dall’altro la responsabilità del calcolo, e quindi il giudizio sulla sicurezza sismica, rimane, allo stato attuale e non sempre senza danno, in capo allo strutturista³.

1 DM 18 gennaio 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*.

2 BLASI 2014.

3 “Ricordiamo però a tutti che se oggi le chiese rimangono aperte dopo un intervento di miglioramento sismico ‘conservativo’ è solo perché un ingegnere si è assunta la pesantissima responsabilità di firmare quella valutazione di sicurezza (obbligatoria) prevista dal punto 8.3 delle NTC. Così facendo, per dirla in modo esplicito, i rischi connessi alla ‘conservazione’ restano in capo esclusivamente a lui”, BORRI 2018.

Ma l'obiettivo finale di un restauro ben riuscito (poco importa che si voglia declinarlo come 'strutturale') deve essere (anche) quello di poter formulare un affidabile e realistico 'giudizio finale' sulla sicurezza degli edifici storici, che permetta una pianificazione e una programmazione – economica e temporale – degli interventi necessari (compresi quelli impliciti in una successiva ma fondamentale manutenzione). Il processo di conservazione passa infatti attraverso un'attenta definizione temporale degli interventi di miglioramento strutturale (non solo sismico) che, sulla base di affidabili indici di rischio realisticamente stimati per singoli edifici, permetta di stilare una lista di priorità degli interventi e prefigurare possibili scenari, anche economici, di progetto.

A questo proposito, può sembrare solo apparentemente fuori contesto richiamare qui il provocatorio e insieme accorato appello di Georges S. Zouain⁴ ai restauratori e a chi si occupi di tutela, ad avocare a sé anche l'ingrato (ed erroneamente svilito) compito di considerare l'aspetto economico e l'attrattiva impliciti in una progettazione di restauro, riconoscendone il ruolo fondamentale nella gestione del processo di conservazione⁵.

È in questo complesso percorso che si può utilmente inserire il monitoraggio strutturale dei beni tutelati, quale strumento di programmazione e giudizio complessivo sulla necessità (e sulla eventuale dilazione temporale) degli interventi utili.

E la normativa in materia sembra averlo compreso, almeno in parte.

Dal giudizio qualitativo al calcolo: quando la traduzione in numero non funziona

In particolare, la Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale⁶ attribuisce – almeno in maniera qualitativa – un ruolo centrale all'osservazione, intesa nel suo duplice aspetto di conoscenza dell'esistente e 'monitoraggio' del danno nel tempo. L'idea sottesa è che solo partendo dall'osservazione del comportamento di una struttura, meglio se prolungata nel tempo, sia possibile identificarne i meccanismi di dissesto e di collasso più probabili, poiché ricorrenti, e quindi in qualche modo attesi.

Il fine ultimo di un piano di monitoraggio ben strutturato è infatti la restituzione di una 'fotografia del rischio', che non solo stabilisca su quali elementi strutturali sia più urgente operare, ma ne definisca anche i criteri d'intervento migliori, in vista della conservazione e dell'ottimizzazione delle risorse, operando in maniera selettiva sui meccanismi più pericolosi ed alzando così in maniera omogenea il livello di sicurezza di un'intera popolazione di edifici analizzata e opportunamente monitorata.

Non a caso, in alcuni passi della Direttiva "il controllo periodico della costruzione" (in definitiva, il suo monitoraggio) viene definito come "una pratica fortemente auspicabile [e] principale strumento per una consapevole conservazione", fino ad assurgere al ruolo di "alternativa e validazione dell'intervento", una volta che il dissesto sia ben compreso e che siano state definite realistiche soglie di sicurezza⁷.

Il monitoraggio del quadro fessurativo presente su uno o più edifici simili permette, infatti, una costante valutazione dell'evoluzione del danno, sulla base della quale strutturare poi previsioni – di breve e di lungo periodo – e simulazioni maggiormente realistiche del comportamento del monumento, diventando così non solo "mezzo di controllo" ma anche fondamentale risorsa di analisi e previsione

4 Ci si riferisce qui all'intervento *The Designation, Conservation and Reuse of the Built Heritage: Some Ethical Consideration* di Georges S. Zouain, nel presente Convegno SIRA 2018, versione allargata e rivista dell'intervento all'annual meeting of European Heritage Heads Forum (Reykjavik, giugno 2017), <http://www.ehhf.eu/annual_meetings/ehhf-2017>.

5 A conforto di tale affermazione si veda anche, oltre ai noti studi di Roberto Di Stefano (DI STEFANO 1972; DI STEFANO 1996), la recentissima *Dichiarazione di Leeuwarden* sull'importanza del 'riuso adattivo' come base per la conservazione, LEEUWARDEN DECLARATION 2018.

6 DPCM 2011.

7 "Il controllo periodico della costruzione è una pratica fortemente auspicabile poiché rappresenta il principale strumento per la consapevole conservazione", DPCM 2011, art. 4.1.9, p. 21; e ancora, "in alcuni casi, quando l'eventuale dissesto è ben compreso e possono essere definite soglie di sicurezza, il monitoraggio può costituire un'alternativa all'intervento". Ivi, p. 22.

del comportamento strutturale (anche sismico) più probabile (e plausibile)⁸ del costruito storico⁹. Dall'analisi dei dati di monitoraggio raccolti – su un periodo di tempo sufficientemente esteso (tale da poter depurare i dati stessi dalle variazioni fisiologiche del danno, come quelle direttamente riconducibili ai noti effetti delle variazioni di temperatura) – possono essere tratte indicazioni sugli interventi da effettuare per raggiungere un maggior livello di sicurezza, nonché per valutare l'effettiva efficacia (o l'eventuale necessità di ri-taratura ed eventuale riprogettazione) di interventi già realizzati o previsti.

Tale potenzialità sembra essere ben compresa dalla Direttiva, almeno nelle dichiarazioni di principio e operative, ma la questione si complica quando ci si proponga di analizzarne la portata 'quantitativa' e, dunque, il legame effettivamente prescritto tra operazioni di monitoraggio e tempi di intervento a livello di calcolo: parametro finale – si è detto – del giudizio sulla sicurezza.

Con sorpresa si può anticipare che – esaminando la normativa¹⁰ – quasi mai si trova una perfetta corrispondenza (in termini numerici) con quanto dichiarato in più punti, almeno in modo qualitativo, sul ruolo del monitoraggio, perdendo così – almeno nella convinzione di chi scrive – l'occasione di poter disporre di un efficace strumento di difesa contro l'interventismo degli ingegneri (e dunque, in definitiva, un'opportunità di conservazione, non solo strutturale).

Tutto parte dal concetto (anche questo in bilico tra conservazione e sicurezza) di 'periodo di riferimento V_R ' per la valutazione delle azioni sismiche, che deriva a sua volta dalla vita nominale (V_N) compatibile con la capacità dell'opera di sopportare determinate sollecitazioni¹¹. Non è una definizione semplice perché, per gli edifici storici, passa attraverso la traduzione numerica di due grandezze tra loro non sempre direttamente e facilmente confrontabili: 'gravità' del danno (soprattutto in riferimento ad una realistica azione sismica¹²) e 'importanza' del bene¹³, sempre filtrati dall'uso¹⁴ che, di questo bene, si prevede di fare (tradotto in numero attraverso il C_U – coefficiente d'uso).

Una volta fissati, non senza difficoltà e incertezze, tali parametri, è in definitiva una questione temporale quella che si deve risolvere: si deve infatti determinare il periodo di ritorno dell'azione sismica (T_R) che l'edificio può sopportare e, in caso di mancata verifica, ricavare (ancora una volta) i 'tempi' di intervento corrispondenti. Il calcolo, per quanto complesso, si riduce così ad un 'bilancio

8 Concetto del resto già evidenziato, alla fine degli anni '80, dalla allora incaricata Commissione Ballardini-Gavarini, che sottolineava come "da questa serie di dati [di monitoraggio] si [possa] ricavare una indicazione sul comportamento globale dell'edificio, considerando i fenomeni che si sono succeduti nel tempo come una sperimentazione diretta al vero, assai indicativa e probante", COMMISSIONE BALLARDINI-GAVARINI 1989.

9 Si veda a titolo di esempio, l'analisi numerica condotta sulla cupola di Santa Maria del Fiore, che molto ha tratto dai risultati dell'analisi statistica precedentemente svolta sui dati di monitoraggio, permettendo una progressiva ri-taratura del modello numerico sulla base di un confronto con i dati reali di deformazione e allargamento delle lesioni. Sull'argomento si vedano gli articoli OTTONI, COISSON, BLASI 2010 e BARTOLI *et al.* 2015.

10 Oltre alla già citata COMMISSIONE BALLARDINI-GAVARINI 1989, alcuni confronti verranno proposti con le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni, Luglio 2006 - Dipartimento della Protezione Civile e il Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici (Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici del Ministero per i Beni e le Attività Culturali), in attuazione del Decreto Interministeriale 23 maggio 2005, finalizzato all'elaborazione delle Linee Guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274; testo emendato, allegato al parere n. 66 dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei LL.PP., reso nella seduta del 21 luglio 2006.

11 La Direttiva (DPCM 2011 punto 2.4) e le NTC 2008 (al punto 2.4.2 e poi all'Allegato A, punto B6 con particolare riferimento ai beni culturali) definiscono l'azione sismica di riferimento attraverso due parametri: la vita nominale V_N e la classe d'uso C_U . Il prodotto di questi due parametri ($V_N \cdot C_U$) porta a valutare il periodo di riferimento V_R , che è il periodo per il quale vengono assunte le probabilità di occorrenza del terremoto per le verifiche ai diversi stati limite (DPCM 2011, punto 2.4, formula 2.1, p. 8).

12 La gravità del danno, come è noto, viene tradotta in termini di stati limite di riferimento, considerando una differente probabilità di superamento (P_{VR}) per i diversi stati limite considerati, tipicamente SLV per gli edifici esistenti.

13 Si deve sottolineare come, nella prima versione delle Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico, 2007, comparisse, un coefficiente d'importanza (g), poi eliminato nel processo di adattamento progressivo dell'attuale Direttiva (DPCM 2011) alle Norme Tecniche (NTC 2008) che aveva la funzione di tenere in conto, l'importanza del bene oggetto di verifica, attribuendogli un "peso" in termini quantitativi direttamente nella formulazione del rischio.

14 Si legge nelle Direttive (DPCM 2011) in nota a pag. 8, punto 2.4, proprio a commento del C_U , che "Nel caso di un bene culturale che ricada nelle situazioni della Classe IV [opere strategiche, così come definite da NTC 2008 e 2018 al punto 2.4.2.] potrebbe essere necessario ripensare la destinazione d'uso, se ciò dovesse comportare l'adozione di interventi non compatibili con la conservazione".

di tempi' dal quale discende, in maniera diretta, una programmazione (temporale) degli interventi¹⁵. Non è certamente lo scopo di questo articolo entrare nel merito del calcolo di verifica sismica, qui riportato in maniera decisamente semplicistica, ma occorre tenere presente come – una volta determinato il campo di valutazione (SLV o SLD) – l'entità dell'azione sismica verso cui è richiesta una garanzia di sicurezza (quantitativamente rappresentata, si è detto, dal suo periodo di ritorno T_R) sia direttamente proporzionale al periodo di riferimento della struttura da verificare (il V_R prima richiamato)¹⁶.

Chiarito questo, appare evidente l'ambiguità riservata dalla normativa alle operazioni di monitoraggio, o almeno alla traduzione numerica del loro effetto. Ci si aspetterebbe infatti – date le enunciazioni di principio prima riportate – che la presenza di un sistema di monitoraggio ben strutturato su un edificio da sottoporre a verifica sismica, possa abbassarne le richieste di sicurezza, in termini di entità di azione, a fronte di un controllo più frequente delle condizioni effettive del danno e della possibilità di valutarne realisticamente (perché misurata) l'evoluzione nel tempo. Invece, l'unico riferimento numerico che si trova al monitoraggio della struttura va, paradossalmente, nel senso opposto.

Recita infatti la Direttiva che “per la verifica nei confronti dello SLA¹⁷ si potrà fare riferimento [alle medesime azioni sismiche] ma valutate modificando il periodo di riferimento V_R [...] in base al numero n di cicli di controllo necessari in $V_{R, \text{anni}}$ [di monitoraggio] pervenendo a un periodo di riferimento per i beni artistici $V_{RA} = nV_R$ ”¹⁸, quindi (paradossalmente) maggiore rispetto a quello dello stesso edificio non monitorato. Il risultato di calcolo previsto attualmente da normativa è così un innalzamento dell'azione sismica verso cui tutelarsi. Si prescrive insomma, proprio nel caso specifico di edifici particolarmente ‘importanti’ (quelli soggetti a verifica a SLA), di utilizzare il loro monitoraggio come pretesto per aumentare l'azione sismica nei confronti della quale tutelarsi in fase di calcolo anziché abbassarla. Si ribalta così di fatto, sul piano quantitativo (quello purtroppo più importante per i progettisti) quanto professato a più riprese¹⁹ sul piano qualitativo.

Certo, a ben vedere, questo innalzamento è giustificabile: è di fatto un modo per reintrodurre nel calcolo quel ‘coefficiente d'importanza’ escluso dalle successive revisioni di Direttive ed NTC e quindi per pretendere, almeno per i ‘monumenti’, un maggiore livello di attenzione e – teoricamente – una maggiore garanzia di sicurezza.

Che però, si è visto, non necessariamente coincide con una garanzia di conservazione.

Confrontando le dichiarazioni di principio della Direttiva sul ruolo del monitoraggio e le valutazioni quantitative in caso di una sua presenza sulla struttura, si osserva una rischiosa ambiguità, la cui ragione è forse da ricercarsi nella ‘subdola postilla’, inserita nella stessa Direttiva, a proposito dell'Indice di Sicurezza sismico degli edifici storici tutelati – che allarga i confini dell'intervento da quelli (stretti) quantitativi a quelli (più labili) di giudizi qualitativi complessivi. Recita infatti la Direttiva che l'indice di sicurezza ottenuto al termine delle analisi prescritte non deve essere inteso come una verifica cogente, quanto piuttosto come “un elemento quantitativo da portare in conto, [...] in un giudizio qualitativo complessivo”²⁰.

15 CIRCOLARE 2. 83/2010.

16 In una formulazione che tiene conto del carattere probabilistico del metodo di valutazione, la normativa prevede la seguente formula di proporzionalità per determinare l'azione sismica di riferimento, dato un assegnato Stato Limite di riferimento: $T_R = V_R / I_n (1-P_{RV})$ (DPCM 2011, eq. 2.2, p. 8).

17 SLA sta per Stato Limite di Danno Artistico, quindi si riferisce alla verifica da farsi nel caso di edifici di particolare pregio.

18 DPCM 2011, art. 2.4, pag. 9.

19 “L'obiettivo è assumere un periodo di ritorno T_R maggiore (azione sismica più gravosa) in presenza degli apparati decorativi più significativi, quelli caratterizzati da cicli di controllo più frequenti (n più elevato); in altre parole, la maggiore attenzione per un bene artistico costituisce una misura della sua rilevanza. In ogni caso non dovranno mai essere assunti valori di T_R maggiori di quelli corrispondenti allo SLV (ovvero valori di $PVR < 10\%$)”, DPCM 2011, art. 2.4, p. 17.

20 “Tale confronto [l'indice di sicurezza] non deve essere inteso come una verifica cogente, nella quale la capacità deve risultare superiore alla domanda conseguente a quella azione, ma come un elemento quantitativo da portare in conto, insieme ad altri, in un giudizio qualitativo complessivo, che considera le esigenze di conservazione, la volontà di preservare il manufatto dai danni sismici ed i requisiti di sicurezza, in relazione alla fruizione ed alla funzione svolta. In questo contesto, tutti i coefficienti e parametri indicati nel

Potrebbe sembrare un modo per evitare il conflitto di competenze e insieme la responsabilità implicita nella certezza del calcolo, rifugiandosi nel giudizio qualitativo, in definitiva certamente più realistico ma non direttamente misurabile e per questo raramente utilizzato poi, nella pratica progettuale, dai professionisti chiamati a ‘garantire’ la sicurezza finale.

Sembra insomma evidenziarsi drammaticamente, proprio negli stessi passi della citata direttiva, la duplicità insita nella sua stessa stesura. Da un lato, le dichiarazioni di principio (qualitative), privilegiano un approccio empirico-sperimentale e sembrano direttamente riconducibili a una matrice storica-conservativa²¹ propria degli architetti; dall’altro, la traduzione in numero di tali considerazioni nel calcolo (quantitativo) finale rientra invece nell’approccio ingegneristico cautelativo: volendo semplificare il discorso, in una visione manichea, sembra sintetizzarsi nelle rispettive posizioni, il confronto, mai del tutto risolto nella spinosa questione della valutazione sismica degli edifici storici, tra due ministeri (MiBACT e MLLPP) tra loro profondamente diversi.

La questione non appare risolta e il rischio è che, tra i due approcci citati in apertura, prevalga sempre più (con la conseguenza di irreparabili danni per la conservazione) quello della sicurezza e dell’intervento, non importa quanto invasivo.

La proposta che qui si vuole avanzare, certamente utopistica, è una possibile correzione della formulazione prevista per il calcolo di V_R , che tenga in conto, nel bilancio finale dei ‘tempi’ prima citati il peso del ‘controllo-monitoraggio’, questa volta coerentemente con le dichiarazioni di principio. Si propone infatti di considerare quantitativamente la presenza di un sistema di monitoraggio sull’edificio, attraverso la definizione di un ‘periodo di riferimento *monitorato*’ (V_{RM}), che tenga in conto il numero di strumenti installati oltre che la qualità e significatività della loro collocazione. Un ‘coefficiente di monitoraggio’ (c_m), opportunamente tarato in funzione dei suddetti parametri, potrebbe essere inserito quindi nell’equazione del periodo di riferimento²², abbassando, anziché aumentarla, l’azione sismica di riferimento per gli edifici, quando questi siano (correttamente) monitorati.

Tale ‘valore ridotto’ dell’azione sismica di riferimento per la verifica finale, sarebbe giustificabile, anche dal punto di vista scientifico (e quindi quantitativo), dato che, proprio il monitoraggio, permetterebbe una più consapevole (e quindi affidabile, in termini numerici) validazione del modello di comportamento (e di calcolo) utilizzato per la verifica della struttura. In definitiva, una riduzione del livello di incertezza sempre presente nel modello, quando si tratti di edifici complessi, come quelli storici.

Si pensa che tale correzione potrebbe fornire uno strumento, finalmente anche quantitativo (l’unico davvero efficace quando siano in gioco uso e frequentazione del patrimonio), in mano ai tecnici incaricati. Architetti (e ingegneri) chiamati a occuparsi della difficile questione sismica del patrimonio culturale potrebbero forse avere così uno strumento in più per poter finalmente assolvere al “giuramento di Vitruvio”²³ e poter partecipare e guidare consapevolmente la programmazione degli interventi nel processo di conservazione (e miglioramento sismico) degli edifici storici.

Federica Ottoni, Università degli studi di Parma, federica.ottoni@unipr.it

seguito della Direttiva non hanno valore prescrittivo”, DPCM 2011, art. 2.2. pag. 9; e ancora, più avanti: “Nel caso della progettazione di un intervento di miglioramento sismico, assunto che in nessun caso è obbligatorio procedere ad un adeguamento ai livelli di sicurezza sismica previsti per le nuove costruzioni, il valore dell’indice di sicurezza sismica non deve essere inteso come parametro per una verifica cogente, ma come un importante elemento quantitativo da portare in conto, insieme ad altri, in un giudizio qualitativo complessivo, che consideri le esigenze di conservazione, la volontà di preservare il manufatto dai danni sismici ed i requisiti di sicurezza, in relazione alla fruizione ed alla funzione svolta”, DPCM 2011, art. 7.4, p. 52.

21 Di fatto, tutto il capitolo 4 della Direttiva.

22 $V_{RM} = V_N c_m / I_n (1 - P_{RV})$.

23 BLASI 2014; SETTIS 2014.

Referenze bibliografiche

BARTOLI *et al.* 2016

G. BARTOLI, M. BETTI, C. BLASI, F. OTTONI, M. COLI, E. MARCHETTI, M. RIPEPE, *Synergistic and interdisciplinary approaches for the conservation of monumental heritage: Cupola of Santa Maria del Fiore in Florence, Italy*, in «Journal of Performance of Constructed Facilities», 2016, 30, 4

BLASI 2014

C. BLASI, *Sicurezza e responsabilità: due termini da ripensare alla luce delle norme vigenti per la salvaguardia degli edifici storici*, in «Bollettino ingegneri: organo ufficiale: rassegna mensile delle attività degli ingegneri della Toscana: atti e notiziari dei collegi e ordini di Firenze e della Federazione toscana ingegneri e architetti», 2014, 6, p. 5-10

BORRI 2015

A. BORRI, *Strutturisti e Restauratori: Sicurezza Vs Conservazione? Problemi, dubbi e proposte, anche alla luce di esperienze successive al terremoto dell'Aquila*, in XVI convegno "L'Ingegneria Sismica in Italia" (L'Aquila, 13-17 settembre 2015), ANIDIS, RiSTAMPA – EDIZIONI, Roma 2015, pp. 5-26

BORRI 2018

A. BORRI, *Ricostruzione post sisma della Basilica di San Benedetto di Norcia: l'“ingegnerofobia” del MiBACT*, Ingenio-web, 2018 <<https://www.ingenio-web.it/19759-ricostruzione-post-sisma-della-basilica-di-san-benedetto-di-norcia-l-ingegnerofobia-del-mibact>>

COMMISSIONE BALLARDINI-GAVARINI 1989

Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di miglioramento antisismico e manutenzione, nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica, 14 luglio 1989

CIRCOLARE 2. 83/2010

Circolare n. 2, prot. 83. *Verifiche sismiche previste dall'O.P.C.M 3274/03 e s.m.i Chiarimenti sulla gestione degli esiti, del 4 Gennaio 2011*, emessa dal Ministero per i Beni e le Attività culturali, preso dal Dipartimento di Protezione Civile, DPC/SISM/0083283, del 4/11/2010

COMO 2016

M. COMO, *Statica delle costruzioni in muratura*, 2a ed., Aracne, Roma 2016

DI STEFANO 1979

R. DI STEFANO, *Il recupero dei valori. Centri storici e monumenti. Limiti della conservazione e del restauro*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1979

DI STEFANO 1996

R. DI STEFANO, *Monumenti e valori*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1996

DI STEFANO, FIENGO 1972

R. DI STEFANO, G. FIENGO, *Diagnosi dei dissesti e consolidamento degli edifici*, in «Restauro. Quaderni di restauro dei monumenti e urbanistica dei centri antichi», 1972, 2 (numero monografico)

DPCM 2011

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*

GIUFFRÈ 1982

A. GIUFFRÈ, *La meccanica nell'architettura: la statica*, Edizione NIS, Roma 1982

GIUFFRÈ 1988

A. GIUFFRÈ, *Monumenti e terremoti: aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma 1988

HEYMAN 1998

J. HEYMAN, *Structural Analysis: an historical approach*, Cambridge University Press, Cambridge 1998

LEEWARDEN DECLARATION 2018

Leeuwarden Declaration Adaptive Re-Use Of The Built Heritage: Preserving And Enhancing The Values Of Our

Built Heritage For Future Generations (adottata il 23 Novembre 2018 a Leeuwarden e supportata, tra gli altri, dal Consiglio Europeo degli Architetti – CAE e da Europa Nostra)

OTTONI, COISSON, BLASI 2010

F. OTTONI, E. COISSON, C. BLASI, *The crack pattern in Brunelleschi's dome in Florence. Damage evolution from historical to modern monitoring system analysis*, in «Advanced Materials Research», 2010, 133-134, pp. 53-64

SETTIS 2014

S. SETTIS, *Il giuramento di Vitruvio*, in «Il sole 24 ore», 12 gennaio 2014 <<https://www.centrostudivitriviani.org/articolo-salvatore-settis-29-01-2017-il-sole-24-ore/>>

Toward a “quantification” of structural monitoring as instrument of programmed conservation

Keywords: structural monitoring, seismic improvement, historic masonry, technical laws, programmed conservation

The aim of this paper is to present the potentiality of monitoring analysis in defining a reliable strategy of seismic protection and structural restoration of cultural heritage.

The more recent technical laws for the protection of historic buildings in seismic areas (DPCM 2011) have partially changed the concepts of ‘safety’, recovering – for ancient structures – methods of analysis based on the empirical definition of local mechanisms of instability instead of global numerical modelling techniques.

This fact implies the necessity to deeply observe the possible damage of the ancient structures, in order to better comprehend their movements. In step with this, a great importance has been given by this law to ‘structural monitoring’, which represents the modern translation of the ancient empirical method. In this work the effective role of monitoring in the global process of seismic protection for cultural heritage is analysed, in reference to its ‘numerical translation’ foreseen by the law in the global formulas for seismic action evaluation. In step with this, some discrepancies between the qualitative and quantitative role of ‘structural monitoring’ are stressed and a final correction is proposed in order to formally recognize, also from the quantitative point of view, the importance of monitoring as instrument of cultural heritage conservation.