

# Técnicas constructivas y de la vulnerabilidad de las estructuras antiguas: Prevención del riesgo sísmico y su restauración

Stefano D'Avino

«Dal Vento si generano i terremoti, in tal maniera: essendo l'esalazione ristretta dentro le concavità delle caverne della terra, né potendo esalare, fa l'empito per volerne uscire, e così scuote quella parte di terra, e cagiona i terremoti. Quindi si vede, che i terremoti succedono dopo una straordinaria tranquillità d'aria, in cui l'esalazioni si fermano nelle viscere della terra, senza esalare dai spiragli di essa; così appunto sortì nel celebre terremoto di questo Regno di Sicilia l'anno 1693».<sup>1</sup>

La observación de los eventos sísmicos a través de los siglos, así como su testimonio directo, llegan a proporcionar evaluaciones sobre la capacidad de resistencia de los materiales y sobre la mayor o menor "adaptabilidad" de la estructura al evento sísmico; así como investigaciones y observaciones luego codificadas en tratados, y susceptibles en algunos casos, de sugerir metodologías de aplicación y sistemas estructurales resistentes e innovadores. Al mismo tiempo, la atención ha pasado de la "materia" a la acción "de construir", entendida como «expresión de la cultura de un pueblo y, a la vez, manifestación particular de un lenguaje que se ha ido lentamente adaptando y modificando con una sensibilidad basada, de hecho, en una experiencia secular de eventos sísmicos»<sup>2</sup> en aquel laboratorio, en escala natural, que los derrumbes y desequilibrios de las construcciones han ofrecido a lo largo de la historia, por lo menos en algunas regiones del mundo.

Seguramente, no se puede compartir plenamente la afirmación según la cual «el examen crítico de los

daños producidos por el terremoto podría sugerir a los arquitectos criterios de proyecto capaces de prevenir tales daños».<sup>3</sup> Sin embargo, no hay duda de que la experiencia ha favorecido la identificación de los presidios oportunos, impuestos con el fin de mejorar la capacidad de resistencia de los empotramientos y, en un sentido más general, aquellas precauciones antisísmicas que podemos reconocer en las arquitecturas más antiguas, para las cuales, ciertamente, «no sería fácil documentar un conocimiento distinto al conjunto sintético de la cultura técnica de la época».<sup>4</sup>

Un primer sistema estructural estudiado para resistir a la acción sísmica, y directamente convalidado por la experiencia, fue el que se encuentra en las normas de edificación promulgadas por el Gobierno Borbón tras el terremoto que afectó el territorio calabrés en 1783: las "casas con armadura", es decir, la "albañilería armada" constituyen un intento eficaz de práctica tecnológica antisísmica. A dicho dictamen siguió una larga serie de Decretos Reales orientados a definir normas de validez general, aunque nunca apoyados por técnicas de investigación suficientemente convincentes. Constituyen una excepción las conclusiones a las que llegó la comisión Panetti, instituida en Marzo de 1909, la cual tuvo el mérito de introducir la investigación sobre el análisis elástico y sobre el peligro representado por la discontinuidad de las características del suelo: «Las acciones debidas al movimiento sísmico ondulatorio»... pueden ser representadas como «aceleraciones aplicadas a las masas de la fábrica en las dos direcciones y que actú-

an en ambos sentidos de cada dirección»,<sup>5</sup> estimando así, con gran antelación, la característica “dinámica” de la acción sísmica que, como sabemos, se manifiesta con aceleraciones que actúan sobre todas las masas y no sólo como “fuerzas horizontales aplicadas a la altura de los pisos”.

Substancialmente, hasta hace algunas décadas no había en Italia una reglamentación única y orgánica que se mantuviese continuamente al día con el avance de los conocimientos científicos. Una visión más moderna de las técnicas de construcción a adoptarse en área sísmica, fue introducida con la ley 25 de noviembre de 1962 n° 1.684, cuyo precepto reclamaba una más atenta conformidad con la “profesionalidad en el acabado”.<sup>6</sup> La novedad de las normas reside especialmente en la introducción de la idea de “conjunto unitario” del organismo espacial, lo que induce a calcular las estructuras resistentes tomando en cuenta las fuerzas horizontales «en cualquier caso directas», evaluando su distribución entre los diferentes elementos, en función de su rigidez. Este concepto abstracto comporta la exclusión de toda capacidad de resistencia de los armazones de los muros, asimilando, por lo tanto, la estructura de soporte a un “retículo elástico”.

Sin embargo, una década más tarde, la promulgación de una reglamentación sobre el tema fue asignada al Ministero dei Lavori Pubblici. Esta decisión evidenció desde un principio, una gran falta de atención, por parte del legislador, hacia los problemas relacionados con la conservación de los monumentos.<sup>7</sup>

El mismo órgano, en 1975, fue llamado a pronunciarse sobre la «Reparación de las construcciones de fábrica»:<sup>8</sup> lamentablemente, una vez más hay que subrayar, a pesar de la voluntad del redactor de la norma de canalizar el argumento dentro de las líneas de la práctica operativa, una pertinaz alienación del concepto moderno de restauración, oportunamente censurado, además, por algunos autores durante las restauraciones que sucedieron al terremoto del Friuli, el año siguiente.<sup>9</sup>

Inclusive en las modificaciones más recientes de la reglamentación antisísmica<sup>10</sup> las consideraciones relativas a los edificios históricos siguen siendo marginales y los preceptos técnicos están dirigidos más que nada hacia los edificios de construcción nueva. Por añadidura, el art. 10 de la L. n° 219/1981 introduce el concepto de “adecuación”, entendido como «reparación y refuerzo de las estructuras». Esto, sin

duda, coloca cualquier intervención fuera de la esfera de la conservación, y su definición más apropiada sería entonces “restauración estructural”. Una señal clara, que invirtiera la tendencia hacia un mayor respeto de los valores (formales y estructurales) fundamentales de los monumentos, tampoco estaba presente en las “Normas unificadas comunes para la construcción en zonas sísmicas” (mejor conocidas como “Eurocódigo 8”) elaboradas por la Comisión de la Comunidad Europea en 1984, integralmente aceptadas, sin modificación substancial alguna, por la “Commissione del Gruppo Nazionale Difesa dei Terremoti” instituida en el C.N.R.

Sin embargo, hay que observar cómo una obra que revista un evidente carácter histórico, no puede de todas formas someterse, sin traicionar inevitablemente su contenido documental, a la aplicación de una reglamentación técnica específicamente impuesta para las “nuevas construcciones en área sísmica”. Al contrario, debería identificarse en dichos testimonios una tipología estructural y una técnica de construcción que representen «un evidente significado de continuidad con el pasado».<sup>11</sup> La investigación, entonces, no debe orientarse hacia la redacción de manuales que predispongan modelos precisos, sino que debe conducir hacia la comparación entre las diferentes formas de intervención, interpretándolas críticamente en sus premisas histórico-técnicas, prestando, a la vez, particular atención a la lectura de las «tipologías estructurales, del sistema de construcción y de los marcos típicos de fisuras».<sup>12</sup>

La dificultad de traducir en normas técnicas las observaciones sobre las antiguas fábricas deriva principalmente de la incapacidad de afrontar la verificación estática con la misma metodología de análisis numérico elaborada para las construcciones modernas de materiales elásticos y continuos. De esto deriva, por ejemplo, la inevitable imposibilidad de aplicar el muy conocido método P.O.R. (también impuesto en las «Directivas técnicas y en las ejemplificaciones de las metodologías de intervenciones para la reparación y la consolidación de los edificios dañados por los eventos sísmicos» promulgadas por la Regione Umbria en 1981) a cuyas hipótesis analíticas, no pueden remontarse, exceptuando muy raros casos, las observaciones y los exámenes analítico-estructurales realizados en los monumentos. Resulta, pues, evidente que «imponer la obligación de un análisis estructural a la verificación de los edificios his-

tóricos comportaría la parálisis de las intervenciones». <sup>13</sup>

Se debería reflexionar, más bien, sobre la tipología de la intervención de consolidación en área sísmica, siguiendo la práctica operativa introducida por el D.M. 39/1975 que contrapone el término “adecuación” («operación con miras a lograr que el edificio sea apto a resistir a las acciones sísmicas», art. C.9.1.1.) al término “mejoramiento” («intervención (...) cuyo fin es el de permitir un mayor grado de seguridad sin, por otro lado, modificar de manera substancial el comportamiento global» art. C.9.1.2.) que, con mayor razón, se coloca dentro de la disciplina de la restauración. La incongruencia substancial presente en las poco consistentes definiciones contenidas en la reglamentación, refleja, de igual manera, una evidente distinción tanto a nivel cultural como a nivel técnico-operativo.

Se podría decir que el concepto de “adecuación” nació en 1909, codificado por la comisión encargada de estudiar los efectos del terremoto de Messina: «La Comisión estima tener que proceder a las reparaciones orgánicas, aptas a modificar o consolidar la estructura resistente de los edificios o de alguna de sus partes substanciales, de manera que resulten conformes (...) a las prescripciones que serán impuestas para las reconstrucciones o nuevas construcciones». <sup>14</sup>

Es evidente como dicho modelo presupone un riguroso trabajo de evaluación del “grado de vulnerabilidad” de cada monumento (en el sentido de “probabilidad de que el sismo se produzca” y de evaluación de los daños que éste podría causar) y, al mismo tiempo, una cuidadosa “lectura estática” con el fin de identificar las características originarias. Es necesario precisar que este tipo de análisis, aunque llevado a cabo tomando en cuenta el “comportamiento global” (art. C.9.5.1), no puede dejar de considerar que la construcción realizada a lo largo de distintas fases históricas conduce inevitablemente a una respuesta estática no uniforme.

La restauración en área sísmica debe, por el contrario, mirar hacia la identificación en el ámbito del lenguaje estructural originario (examinado también en las intervenciones anteriores y en la acontecida reducción de la capacidad inicial de resistencia <sup>15</sup>) de aquellos elementos aptos a completar y a añadir, que contribuyan al “mejoramiento” de la eficacia antisísmica propia del monumento. Por lo tanto, el mejoramiento puede, sin duda, concebirse como «natural

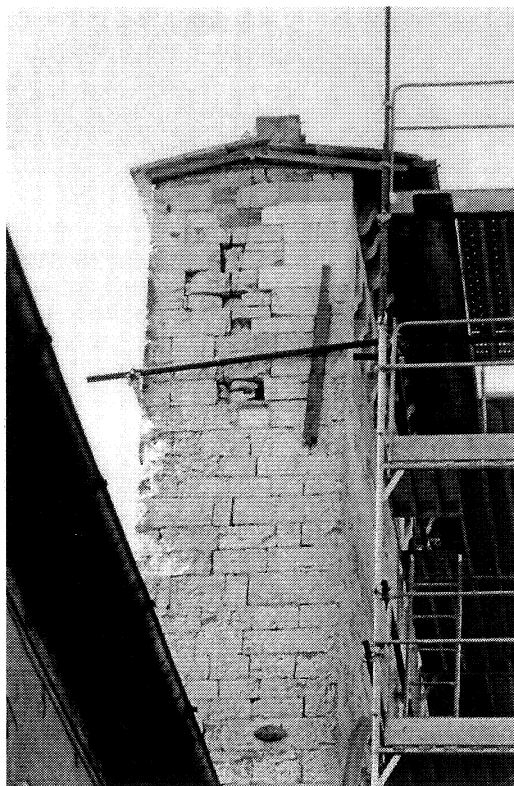


Figura 1

Assisi, S. Pietro. Sistemas provisionales de uniones de grietas

conjugación de la restauración cuando ésta debe afrontar los temas de la prevención sísmica (...) [trabajo] introduciendo las formas de intervención adecuadas, es decir, aquéllas capaces de interactuar con lo ya existente», <sup>16</sup> resaltando solamente los recursos residuos, sin efectuar ninguna sustitución en la consistencia material, ni en la funcionalidad estructural. La práctica de conservación debe evitar, por lo tanto, las intervenciones indiscriminadas (tales como las inyecciones de cemento en todas las fábricas, la obra de redes electrosoldadas o la sustitución sistemática de las armaduras de cubierta) que no correspondan al intento de contrastar una particular «forma de vulnerabilidad». Debe, más bien, favorecer intervenciones “mínimas” dirigidas a obtener una puntual consolidación estructural «aprovechando la interacción entre las partes (...) verificando o reconstruyendo la efica-



Figura 2  
Acciano, Iglesia de la Madonna “della Sanità”. Sistemas antisísmicos realizados con círculos en metal

cia de las conexiones»<sup>17</sup> a través de cordones y ligaduras.<sup>18</sup>

En la intervención de conservación en zona sísmica, en la que el respeto por la concepción estructural originaria<sup>19</sup> adquiere un carácter de prioridad absoluta, es posible —siempre y cuando dicha concepción no presente fallas insanables— aceptar ciertos daños controlables y reducibles que, si se dan por sentado en la fase preliminar, «pueden llevar, inclusive, al abandono del programado nivel de seguridad»<sup>20</sup> o bien a una reducción de la función del monumento y, por consiguiente, en última instancia, al abandono del proyecto mismo de “adecuación”.

La metodología de análisis es otro punto de reflexión. El hecho de acordarle importancia primaria a los métodos de cálculo de los elementos finitos (específicos de la reglamentación) y de restarle atención

a la experiencia adquirida sobre las antiguas tecnologías, ha llevado hacia una práctica de la restauración estructural que tiende a “remodelar” las antiguas construcciones según los esquemas de resistencia característicos de los materiales modernos. «Desde el punto de vista de la mecánica teórica, las fábricas deberían ser modeladas como sólidos resistentes a la tracción. En este caso, las conexiones entre los muros (al ofrecer esta única resistencia, debida a los empujamientos) parecerían, en línea teórica, superfluas».<sup>21</sup>

Habría que optar, más bien, antes de una intervención de restauración en área sísmica, por la investigación minuciosa de las características geométricas, del marco de fisuras y de todo conocimiento adquirido *in corpore vili* acerca del mecanismo estructural,<sup>22</sup> sin que esto implique un trabajo acrítico.<sup>23</sup>

No hay duda de que el conocimiento del comportamiento de los materiales y la experiencia que deriva de su aplicación en la obra han determinado, durante siglos, el apoyo primario para la evolución de la ciencia. El nudo de la cuestión parecería ser la «relación entre ciencia y conocimiento, entre esquema de cálculo y experiencia».<sup>24</sup> Una contribución fundamental para la definición de este nudo conceptual es la de Giovanni Carbonara quien condena aquellas restauraciones efectuadas en área sísmica «carentes de una filosofía de la intervención y de las normas consiguientes (...)» a menudo realizadas según un «convencionalismo de evaluaciones numéricas y de modelos asumidos». En contraposición a éstas «es oportuno afirmar nuevamente la concepción “crítica” de la restauración, cuya única regla prefijada debe ser la lectura atenta de la obra en su particularidad y unicidad y la enucleación de las orientaciones ejecutivas que de ella se desprenden. Todo esto, recurriendo, cuando sea necesario, a formas y métodos “modernos” y a la recuperación de técnicas y modos tradicionales cuando resulte más apropiado». «(...) La consolidación estática [en efecto] no puede ser una operación distinta y separable de la restauración arquitectónica propiamente dicha (...) la cual constituye a la vez juicio histórico crítico y saber científico y lleva en sí tanto el ámbito histórico-humanístico como el técnico-operativo».<sup>25</sup>

Se reitera, por lo tanto, el carácter nada “neutro” de la consolidación, sujeto al ejercicio de la interpretación y del juicio del restaurador quien en su operatividad debe velar por la conservación del mecanis-

mo estructural originario —«documento histórico entre los más eficaces (...) y testimonio de civilización y de ciencia»—. No existe, entonces, incompatibilidad entre “conocimiento” y “operatividad” cuando la restauración se lleva a cabo como «hipótesis crítica, filológicamente fundada (...) realizada en acto, con la aplicación, cuando sea necesario, de signos distintivos bien evidentes».<sup>26</sup> El empeño por respetar la originalidad de la estructura se transparenta, además, en la más reciente reflexión sobre el tema de la conservación en área sísmica: «La mejor política para la salvaguardia está representada por la prevención. Las medidas de emergencia, así como las de prevención, deberían representar un entendimiento entre dos exigencias: por un lado, la necesidad de alterar lo menos posible la concepción, las técnicas y las tecnologías originales de la obra y por el otro, la necesidad de asegurar el nivel de seguridad».<sup>27</sup>

## NOTAS

- \* La traducción de las notas incluidas en el texto es del autor.
1. G. B. Amico, *L'architetto pratico*, Libro I, capo IV, *Della Ragione dé Venti*, Palermo 1726, rist. anast. Palermo, 1997, p. 29.
  2. S. D'Avino, V. Montanari, *Note sull'uso del calcestruzzo nel restauro di strutture monumentali in area sismica*, “Tema”, 4, 1994, pp. 30-37, spec. p. 32.
  3. A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Roma, 1988, p. 20.
  4. *Ibidem*, p. 20. «Las normas más o menos codificadas de una buena construcción en el mundo clásico contenían implícitamente la previsión del movimiento sísmico (...)» (o, en forma más verosímil, la “regla del construir” presumía cierto conocimiento de tales eventos, así que —sostiene el Autor— «un edificio “bien construido” es capaz de soportar la acción del terremoto»).
  5. Cit. in A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti...*, cit., p. 23.
  6. El artículo 4 dice: «Las fábricas deben realizarse según la máxima profesionalidad en el acabado; las estructuras fuera del terreno y las armaduras de los revestimientos no deben ejercer empujes; en las construcciones de fábrica con muros en correspondencia con las pisos se debe construir un cordón de cemento armado»; cfr. in C. Gasparini, E. Giorgetti, M. Parotto, *Il terremoto in Italia. Cause, salvaguardia, interventi*, Roma 1984, p. 95.
  7. Cfr. ley 25 de noviembre de 1974, n.º 64; la reglamentación, aún vigente, se refiere sobre todo a las nuevas construcciones.
  8. D.M. LL. PP. 3 de marzo de 1975, n.º 39, art. C.9.2.: Posibles daños a los arcos y a las volutas podrán ser reparados mediante cosidos, es decir con inyecciones de cemento o de soluciones de materias sintéticas (...); en caso de que los daños sean macroscópicos o que la fábrica se presente inconsistente, los arcos y las volutas deberán ser demolidos. Si no subsisten dichas exigencias [funcionales o estéticas] las estructuras de empuje deben ser substituidas con elementos estructurales que no ejerzan algún empuje» Art. C.9.3.: «Las fábricas que no presenten graves síntomas de inestabilidad (...) pueden repararse mediante oportuna recuperación con fábrica de ladrillos y mortero de cemento, con hormigonados, así como con la posible introducción de elementos metálicos (...); las conexiones podrán efectuarse también con cables colocados en ligera pre-tensión (...)» Art. C.9.7.: «Las escaleras de fábrica en voladizo deben, por norma, ser substituidas por escaleras de cemento armado o de acero (...); en caso de que exigencias ambientales-arquitectónicas requieran la conservación (...) se podrán adoptar refuerzos».
- Sobre la reglamentación antisísmica en Italia ver, entre otros: S. di Pasquale, *Architettura e Terremoti*, “Restauro”, 59-61, Napoli, 1982; P. Rocchi, *Progettare il consolidamento. Impostazione metodologica del progetto di consolidamento di costruzioni in muratura soggette a rischio sismico*, Roma, 1983; C. Gasparini, E. Giorgetti, M. Parotto, *Il terremoto in Italia...*, cit., pp. 204-208.
9. «La intervención de restauración, [concebida] como conjunto de operaciones que tienden a adecuar los edificios antiguos a las exigencias modernas, parece haber dirigido al legislador en las decisiones subsiguientes al evento sísmico friulano (...)»; ésta es una condición de necesidad operativa en la que la referencia al dispositivo de ley se sobrepone a su relación con la Historia y con la Autenticidad de la cultura de construcción local, colocándose éstas, afirma el Autor, en una posición de «estorbo». Cfr. M. Dalla Costa, *Conservazione o ricostruzione nel Friuli: analisi di una esperienza*, “Tema”, 3, 1994, p. 7.
  10. L. 14 de mayo de 1981 n.º 219 y D.M. 30 de julio de 1981 contiene las «Instrucciones para la aplicación de la reglamentación técnica para la reparación y el refuerzo de los edificios con la fábrica dañada por el sismo».
  11. A. Giuffrè, *Restauro e sicurezza in zona sismica: la Cattedrale di Sant'Angelo dei Lombardi*, in Atti del seminario su *Il recupero del patrimonio architettonico*, Aosta 5/5-2/6/1990, Aosta, 1992, pp. 151-190, p. 152.
  12. Cfr. G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro*, Napoli, 1997, p. 461.
  13. A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti...*, cit., p. 43.
  14. Cit. *Ibidem*, p. 21.
  15. Obsérvese cómo algunas modificaciones introducidas

- en la estructura de la Historia se relacionan tan estrechamente con la "materia" que no pueden técnicamente eliminarse, a menos que se proceda a la substitución de ésta última.
16. F. Doglioni, *Il miglioramento in funzione antisismica come parte dell'opera di restauro*, in F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *Le chiese e il terremoto*, Trieste, 1994, p. 295. El mismo concepto fue luego reiterado en las «Recomendaciones relativas a las intervenciones sobre el patrimonio monumental de tipología especializada en zonas sísmicas» promulgadas en junio de 1986 por el Comitato Nazionale per la prevenzione del patrimonio monumentale dal rischio sismico.
  17. F. Doglioni, *Il miglioramento in funzione antisismica...*, cit., p. 301.
  18. En este sentido, a lo largo de las inspecciones posteriores a los terremotos de la Valnerina en 1979 y más recientemente en 1997, pudo observarse la acción positiva de las antiguas traveses-cordón ("refuerzos con vigas") de madera o de las "uniones" realizadas con recursos en piedra empotrada. Así mismo, pudo observarse el efecto negativo de los cordones de cemento armado debido al escaso poder de solidarización de éstos con las fábricas de apoyo, así como a la rigidez propia del sistema que impide la absorción adecuada de las deformaciones elásticas causadas por el sismo. El problema relativo al comportamiento global de la estructura en área sísmica ya había sido identificado por Leon Battista Alberti: «...Altro genere di legamenti ["procincta"] —fondamentale, questo— è rappresentato da quelli che girano attorno ai muri per tutta la loro lunghezza per tenere stretti gli angoli e incatenare la struttura dell'opera». (L. B. Alberti, *De re aedificatoria*, 1443-1445, Libro III, cap. IX, ed. a cura di G. Orlandi, Milano, 1966, pp. 208-210.
  19. Se ha discutido ampliamente sobre el tema de la originalidad de la restauración. Se desea mencionar, aquí, solamente algunas reflexiones: «La esencia de la restauración se encuentra en la perpetuación de la "materia", (de su «unicidad», de la «peculiaridad física del objeto» y de su «proceso» en el tiempo), y ya no en la "forma", trámite y garantía ésta de cualquier otra modalidad e intencionalidad conservativa»; cfr. G. Carbonara, *Autenticità e patrimonio monumentale. Riflessioni sul saggio di R. Lemaire*, in "Restauro", 129, 1994, pp. 80-88, con amplia bibliografía. Hay que observar, además, como ya la Carta Internacional de la Restauración, promulgada en Venecia en 1964, sostenía que cada intervención sobre el monumento «no debe alterar la distribución ni el aspecto del edificio (...)» (art. 5) «basándose [la restauración] en el respeto de la substancia antigua y de las documentaciones auténticas»; cit. in R. di Stefano, *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*, Napoli, 1990, p. 9.
  20. A. Giuffrè', *Restauro e sicurezza...*, cit., p. 155.
  21. *Ibidem*, p. 164.
  22. A su tiempo Viollet le Duc sostenía que «el camino principal para identificar los esquemas estructurales es la historia: la historia de la técnica de las construcciones y de la arquitectura»; cfr. R. di Stefano, *Il consolidamento strutturale...*, cit., p. 16.
  23. Por otra parte, hay que excluir las fáciles conclusiones operativas que parecen derivar del estudio de las técnicas de construcción y de la historia estructural del monumento («en las que la elección de las intervenciones (...) está implícitamente contenida», cfr. A. Giuffrè', *Restauro e sicurezza...*, cit., p. 167), puesto que constituyen unos elementos de base muy frágiles.
  24. S. D'Avino, V. Montanari, *Note sull'uso del calcestruzzo...*, cit., p. 32.
  25. G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro*, cit., pp. 456-460.
  26. *Ibidem*, p. 464. «La consolidación [debe llevarse a cabo según] un detenimiento intencional y continuo sobre la discusión y la evaluación de las diferentes alternativas, con una actitud antidogmática y una atención crítica hacia la calidad de la intervención, sobre la base de una vivaz dialéctica entre reflexión histórica y razonamiento técnico» (cfr. p. 463). El Autor, aquí, alude a la aceptación de restauración propia de la *Teoría* de Cesare Brandi «en cuanto unidad de método y de principios y correspondiente conjunto de técnicas, en razón de la naturaleza de las diferentes manufacturas».
  27. Cfr. art. 3.2.3. de la "Dichiarazione di Assisi" sobre la salvaguardia del patrimonio monumental del riesgo sísmico. El documento posee un mero valor de guía y fue redactado en Assis el 27 y 28 de febrero de 1998 por un grupo de expertos del «ICOMOS International Scientific Committee for analysis and restoration of structures of architectural heritage».