

# Els terratrèmols i els edificis històrics

**L'alta vulnerabilitat** de molts dels nostres vells edificis d'obra de fàbrica fa que la perillositat sísmica sigui elevada

José Luis González Moreno-Navarro

*Dr. Arquitecte*

*Catedràtic de Construcció de l'ETSAB*



FOTOS CEDIDES PER MARÍA DEL CÁRMEN RÍOS, ARQUITECTA. LORCA

## ■ Les normes de seguretat estructural i els edificis històrics

En l'article *Parlem de sismes*, de Josep Baquer Sistach, (L'INFORMATIU, núm. 358) ja es va fer una magnífica i completa aproximació general al problema dels efectes dels sismes, i per tant, no es tracta ara d'afegir aquí noves consideracions globals. El nou objectiu és complementar el que l'article indicava sobre edificis històrics, entesos aquests com els de parets de càrrega d'obra de fàbrica, protegits o no, anteriors al tipus que va exigir al 1972 la norma MV-201.

Tant si es tracta d'una simple anàlisi estructural davant sisme, com si es fa per intervenir-hi, que en aquest cas és obligatòria, l'única eina oficial de què disposem, és la Norma de construcció sismoresistent, de l'any 2002 (1). Els diversos paràgrafs que fan referència a aquesta qüestió s'inicien al punt 1.2.1 sobre l'àmbit d'aplicació, en el qual s'indica, o més aviat se suggereix, que "en els casos de reforma o rehabilitació cal tenir en compte aques-

*ta Norma a fi que els nivells de seguretat dels elements afectats siguin superiors als que tenien en la concepció original".* A l'apartat següent, sobre la classificació de les construccions, aquestes s'ordenen segons si la seva importància és moderada, normal o especial. A la llista d'edificis d'aquesta última classe, apareixen les construccions catalogades com a monuments històrics artístics, com és ben sabut, amb una gran majoria en obra de fàbrica. I a l'apartat 2.2 s'indica que, en els edificis d'aquesta classe especial, s'ha de calcular l'efecte del sisme en aquests edificis suposant una acció un 30% superior al dels edificis considerats normals. No apareix cap referència més en tot el text normatiu. I tal com fa el CTE, la NCSE-02 quan entra en el detall dels edificis de parets de càrrega, només considera els de parets encadenades i enriostades amb forjats monolítics. És fàcil concloure, doncs, que l'NCSE-02 no aporta cap indicació sobre com es poden comportar els edificis històrics davant d'un sisme ni tampoc sobre com podem aplicar el que suggereix, és a dir, que els elements afectats en una suposada obra d'intervenció donin una resposta sísmica millorada respecte a l'existent.

Malgrat tot, l'actual nova orientació sobre el CTE que, per fi!, accepta que els edificis existents difícilment poden aconseguir les prestacions d'obra nova, inaugura la possibilitat que mitjançant els anomenats Documents de Suport es donin indicacions sobre el que sí és d'obligat compliment, és a dir, arribar al màxim possible aquestes prestacions, de manera semblant al que ja va dir la NCSE.

Un document que ja es va avançar a aquesta nova orientació va ser el promogut per un conveni entre l'antic Ministeri de l'Habitatge i el Consell Superior de Col·legis d'Arquitectes d'Espanya i desenvolupat per la Universitat Politècnica

*L'actual nova orientació sobre el CTE accepta que els edificis existents difícilment poden aconseguir les prestacions d'obra nova*

de Catalunya, titulat Aplicación del CTE a las obras de intervención y restauración arquitectónica de edificios protegidos (2), aprovat pel Consell Superior el setembre del 2009. Malgrat el temps que ha passat des que es va publicar sense que se n'hagi revisat el contingut, la major part de criteris aplicats sobre seguretat estructural de l'obra de fàbrica continuen sent vàlids. Tot i així, caldria posar-lo al dia, atès que durant aquests darrers anys s'han fet aportacions científiques i tècniques que ajuden a millorar els procediments que s'hi proposen, especialment, en tot allò relacionat amb l'efecte de les accions sísmiques sobre els edificis patrimonials i els procediments que ens poden ajudar a millorar-ne la resposta. El text que segueix es refereix únicament a aquesta qüestió, amb un intent de proposar les bases per a un, necessari però inexistent, document de recolzament a la NCSE, equivalent als nous previstos per al CTE.

Les esmentades noves aportacions no s'han produït a Espanya, sinó en un dels països amb una perillositat més elevada: Itàlia. La regulació normativa de la protecció de les persones i el patrimoni construït davant les accions sísmiques ha estat una constant des del terratrèmol d'Irpinia del 1980. Des d'aleshores, s'han anat succeint un bon nombre de normatives de compliment obligatori, acompanyades de recomanacions de tota mena, que, en realitat, no han estat efectives pel que fa a la conservació del patrimoni arquitectònic, fins al passat mes de febrer del 2011, moment en què es van publicar les Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008) (3). Com el mateix títol indica, és una guia que, a partir de l'acceptació oficial que les normatives generals no són aplicables al patrimoni cultural, recomana procediments, tant per al diagnòstic com per a la intervenció, que no pel fet de ser recomanacions estan mancades de l'alta complexitat tècnica imprescindible en aquest camp.

És convenient afegir que el que l'objectiu de les Linee Guida es centri en el patrimoni cultural, a causa de què en l'àmbit arquitectònic aquest patrimoni és prioritàriament d'edificis d'obra de fàbrica portant, no impedeix que tot el seu contingut sigui perfectament aplicable a edificis no protegits, si el que es vol és conservar-los.

Amb tot, també cal dir que en qualsevol cas és convenient veure si són aplicables a tots els tipus d'edificis del nostre país alguns dels quals, com ara els que són comuns a l'Eixample de Barcelona, difereixen dels habituals Italians.

És convenient aportar ara l'autoritat d'un dels principals redactors de les Linee, un dels especialistes avui més qualificats en la qüestió que ens ocupa. En un document divulgatiu afirma:

*“La necessitat de directrius per avaluar el risc sísmic del patrimoni cultural i per establir procediments de reforç sísmic és conseqüència del fet que el terratrèmol és potser la principal causa de dany en el nostre patrimoni i que les intervencions de consolidació fetes al segle passat (el XX) en molts casos són ineficaces i, fins i tot, perjudicials. Aquestes accions són el resultat de l'atenció insuficient que s'ha prestat al comportament de les estructures de fàbrica originals i a la confiança absoluta en el formigó armat i en l'augment de la rigidesa i la resistència de l'estructura. En nom d'una suposada seguretat mai verificada, no s'ha prestat prou atenció al comportament dels edificis ni, en particular, al paper estructural dels seus elements originals.” (4)*

No sembla que sigui fútil que aprofitem aquest enorme cúmul d'experiències acumulades pel país amb el qual sempre ens comparem en tot allò que té a veure amb el patrimoni arquitectònic. El fet que el nostre risc sísmic no sigui tan general com allà no ens ha de fer oblidar que, a les àrees relativament petites en què ho és d'una manera equivalent, l'alta vulnerabilitat de molts dels nostres vells edificis d'obra de fàbrica fa que la perillositat sísmica sigui fins i tot una mica més elevada que la que afecta els situats a la bota itàlica, tal com s'ha vist clarament a Lorca.

#### ■ La normativa italiana sobre seguretat estructural per a edificis existents

Al títol de les Linee Guida esmentades es fa referència a unes nove Norme tecniche per le costruzioni (5), publicades el 2008, per la qual cosa cal dedicar-los una atenció prèvia. A grans trets, encara que el títol no ho suggereixi, és una norma equivalent al nostre Codi Tècnic, però tracta exclusivament de seguretat estructural i no fa cap referència a un altre tipus d'exigències. Amb tot, la seva extensió és força més gran que la del DB-SE.



Són moltes les característiques del document l'adopció de les quals (fins i tot una imitació o una mera còpia) seria altament positiva a Espanya. La primera és fàcilment deduïble del qualificatiu de nova que apareix al títol: la inicial és del 2005 i només al cap de tres anys, després d'un intens debat entre tots els agents implicats, ja se'n va publicar la renovació. Però la característica la còpia directa de la qual hauria tingut un valor enorme en relació amb el tema que ens ocupa és la que conté el capítol vuitè, titulat *Costruzioni esistenti*, que té com a objectiu definir els criteris generals per avaluar la seguretat del disseny, el projecte i la construcció de les intervencions de rehabilitació o restauració en edificis existents. El seu abast sobrepassa totalment el de l'annex D del nostre DB-SE: en primer lloc, perquè no en limita el camp d'aplicació a uns tipus d'edificis determinats i, en segon lloc, perquè el nostre annex D se circumscriu exclusivament a avaluar l'edifici en l'estat present, sense donar cap mena d'indicació sobre les possibles intervencions derivades d'una rehabilitació o restauració, ni sobre com avaluar-ne el resultat.

L'extensió del present text no ens permet dedicar l'atenció que mereixen la gran quantitat de suggeriments per a edificis existents de les Norme tecniche per le costruzioni, extraordinàriament útils en el nostre cas, de manera que ens limitarem a les que considerem de més valor. Per evitar repeticions, a partir d'ara les anomenarem igual que els italians: les NTC.

L'avaluació de la seguretat estructural d'un edifici existent és necessària si es produeix una reducció evident de la capacitat portant per degradació o per causes accidentals, i principalment si hi ha un canvi d'ús amb una variació significativa de les càrregues. Segons les NTC, l'avaluació ha de determinar si l'edifici es conserva sense necessitat d'intervenció, si cal procedir a un reforç o bé si és necessari modificar-ne l'ús. La classificació de les possibles intervencions es concreta en tres nivells:

- 1) adequació,
- 2) millora, i
- 3) reparació o millora local.

La primera obliga a assolir un nivell de seguretat equivalent al de les obres de nova planta, de la qual cosa queden exemptes, com indica el seu nom, les dues segones. Als edificis patrimonials només els afecten aquestes dues, les intervencions de millora o reparació.

Els procediments per a l'avaluació de la seguretat i la redacció del projecte es contenen en dos capítols diferents segons si hi ha o no risc sísmic. En tots dos casos, el procés requereix de manera terminant uns extensos estudis previs, que comprenen una primera anàlisi històrica crítica, seguida d'un aixecament geomètric, constructiu i d'estats patològics, que es completa amb

la caracterització mecànica dels materials. Segons el grau d'exhaustivitat de les operacions anteriors, s'estableix el "nivell de coneixement" i es defineix el corresponent "factor de confiança", que determina els coeficients parcials de seguretat que s'han d'aplicar en el model d'anàlisi estructural.

Si hi ha risc sísmic, el document presta molta més atenció als edificis d'obra de fàbrica, en els quals distingeix dos tipus d'efectes, locals o globals, per als quals suggereix diversos modes d'anàlisi especialment adequats als edificis patrimonials.

Amb l'objectiu d'aclarir els arguments més innovadors i en part més complexos de les NTC, al cap de poc més d'un any, el 26 de febrer del 2009, es van publicar les Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» (6), a les 432 denses pàgines inicials de les quals s'afegeixen ara 447 més.

Al seu capítol C8. *Costruzioni esistenti*, el document compleix la seva missió pel que fa a les construccions existents i completa decisivament tot allò relacionat amb els edificis d'obra de fàbrica, de manera que ofereix la base normativa oficial sobre la qual s'assenten les Linee Guida sobre protecció d'edificis patrimonials.

#### ■ Les *Linee Guida*: coneixement i sensatesa

El maig del 2005 es va constituir una comissió amb l'objectiu de redactar el document que es va acabar concretant en les Linee Guida. Aquesta comissió havia d'establir els criteris per adaptar els edificis patrimonials a les noves normes sísmiques, en aquell moment recents. A la comissió hi havia la major part de les autoritats científiques i tècniques italianes en el camp de les estructures dels edificis històrics, gairebé tots enginyers. El juliol del 2006 se'n va publicar la primera versió, que ja va ser un primer testimoni del fet que els redactors eren capaços de conciliar el coneixement de la història i la sísmica en un text caracteritzat per una insòlita i sensata sensibilitat envers els edificis històrics.

Amb el temps va ser necessari redissenyar-la per adaptar-la tant a les noves NTC com a les corresponents Istruzioni. La versió definitiva (ja citada a la nota 3) va aparèixer a la Gazzetta Ufficiale (el BOE italià) el 26 de febrer del 2011, i no suposa cap minva, més aviat al contrari, respecte a les notables característiques de la primera versió. El seu objectiu és especificar, limitant-se als edificis d'obra de fàbrica, una guia per al procés de 1) coneixement de l'edifici, 2) avaluació del nivell de seguretat davant accions sísmiques i 3) el projecte d'eventuals intervencions conceptualment anàleg al recorregut previst per als edificis no protegits, però oportunament adaptat a les exigències i les

particularitats del patrimoni cultural. S'estén al llarg de 86 pàgines molt denses en la versió oficial o en 415 menys atapeïdes en altres versions, que, a més, ofereixen exemples reals d'aplicació.

Igual que els documents generals, les Linee Guida aborden, adaptant-los a la seva finalitat, d'una banda, els paràmetres que incideixen en la determinació del valor de l'acceleració màxima previsible i, de l'altra, els que incideixen en la capacitat de resposta dels edificis en l'estat inicial o un cop reforçats.

El procediment per obtenir valor de l'acceleració màxima previsible es basa en consideracions que en realitat només són aplicables a Itàlia. No així la capacitat de resposta. Per a conèixer aquesta capacitat de resposta, tal com prescriuen les NTC, es requereix un recorregut que s'inicia amb el coneixement en extensió i profunditat de totes les característiques geomètriques, materials i constructives de l'edifici en qüestió. Cal recordar que el "nivell de coneixement" defineix el "factor de confiança", factor que, al seu torn, defineix els coeficients parcials de seguretat que s'han d'aplicar en el model d'anàlisi estructural. I aquesta és una altra de les claus bàsiques: quin model estructural?

Les *Linee Guida* concedeixen a aquesta qüestió tanta importància que li dediquen un annex complet, titulat *L'anàlisi estructural de la construcció històrica en obra de fàbrica*. Al tercer apartat, "Els mètodes d'anàlisi", després d'unes extenses consideracions sobre l'anàlisi elàstica mitjançant elements finits, indica que no pot ser un instrument imprescindible per a la verificació sísmica. Prossegueix assenyalant que, per verificar la seguretat en relació amb la condició límit de col·lapse, és útil el mètode d'anàlisi més simple i eficaç, que, tot i que no pot descriure el comportament en condicions de servei, sí que ho pot fer en relació amb les condicions últimes. Es refereix a l'anàlisi límit d'equilibri, sigui mitjançant l'anàlisi incremental, sigui mitjançant l'anàlisi per cinemàtica. Aquesta darrera considera l'estructura com a composta de blocs rígids i, en el cas que aquests s'hagin individualitzat correctament, potser gràcies a l'observació de l'estat de fissuració ja existent, ofereix un mètode molt simple en l'estimació dels recursos últims de l'edifici.

*La necessitat de neutralitzar i superar totes les pràctiques equivocades i generalitzades que han presidit les intervencions a Itàlia ha dut els redactors de les Linee Guida a aportar la màxima informació possible*

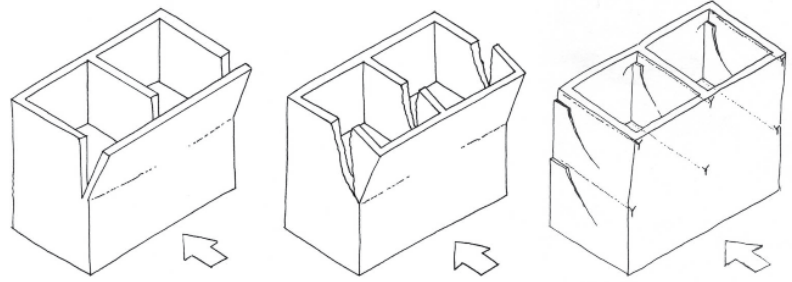


FIG. 1

FIG. 2

FIG. 3

Les *Linee Guida* no aporten exemples aclaridors sobre els mètodes esmentats, per la qual cosa, abans de seguir amb la presentació dels seus apartats, sembla recomanable concretar-los ara en aquest text per mitjà d'un cas determinat.

L'efecte de l'acció sísmica sobre un edifici d'obra de fàbrica tradicional del tipus dedicat preferentment a habitatges o palaus amb forjats o voltes intermèdies es pot concretar en el desplom i possible enfonsament posterior de parets el pla de les quals és perpendicular a la direcció del moviment a causa de la manca de connexió amb les parets paral·leles a aquest (fig. 1).

Si la connexió és eficaç a causa del lligam aconseguit amb els carreus de cantonada, l'afectació es pot produir a les parets paral·leles per l'arrossegament de la paret perpendicular (fig. 2). En cas que la connexió sigui, per exemple, mitjançant tirants metàl·lics embeguts en l'obra es pot evitar el desplom de la paret frontal, i només quan el sisme és de gran intensitat, també pot, si no es col·lapsa, afectar les parets laterals amb el resultat de la fissuració habitual en X, atesa l'acció de vaivé del sisme (fig. 3). Òbviament, aquests tres casos no esgoten totes les conseqüències possibles, però n'expliquen la majoria.

Ara ens centrarem en el que passa a la cantonada esquerra sobre un cas similar al que il·lustra la figura 2. Cal indicar que tot el que s'exposa a continuació es basa en les conclusions d'una infinitat d'observacions sistemàtiques que han fet els professionals especialitzats italians dels nombrosos casos en què malauradament s'han pogut comprovar els efectes sísmics sobre els edificis històrics. La gran majoria de col·lapses es deuen a desploms semblants als de la figura 1 i la figura 2, i la clau en la prevenció sísmica passa per conèixer a fons els fenòmens mecànics que els determinen. Els efectes sobre altres tipus d'edificis, com per exemple les esglésies, han estat també objecte d'estudi sistemàtic i sobre aquests s'exposen algunes consideracions més endavant.

El desplaçament horitzontal del terreny degut al sisme origina les forces inercials horitzontals en el sentit contrari, que són proporcionals a les masses dels elements constructius en joc. Es produirà la ruptura de la paret lateral si aquestes forces inercials són superiors a les que s'hi oposen, que són de dos tipus: el pes mateix dels elements i la reacció deguda a la resistència a tracció que s'origina en el possible pla de fractura de la paret lateral. La variable clau de què depenen moltes de les altres implicades és l'angle en què es pot produir aquesta fractura: com més gran l'angle, més gran la inèrcia oposada.

L'experiència demostra el que la intuïció pot preveure. La fractura es produeix per la part dèbil de la fàbrica, és a dir, el morter, i és condicionada per la seva qualitat i especialment per l'aparell format per les peces: com més petit és el cavalcament entre les peces, més petit és l'angle (fig. 4). Una obra de fàbrica de qualitat basada en un bon morter, una bona adherència i un aparell ben travat és una bona defensa contra el sisme. Conèixer a fons aquestes característiques de l'edifici és imprescindible per preveure'n el comportament.

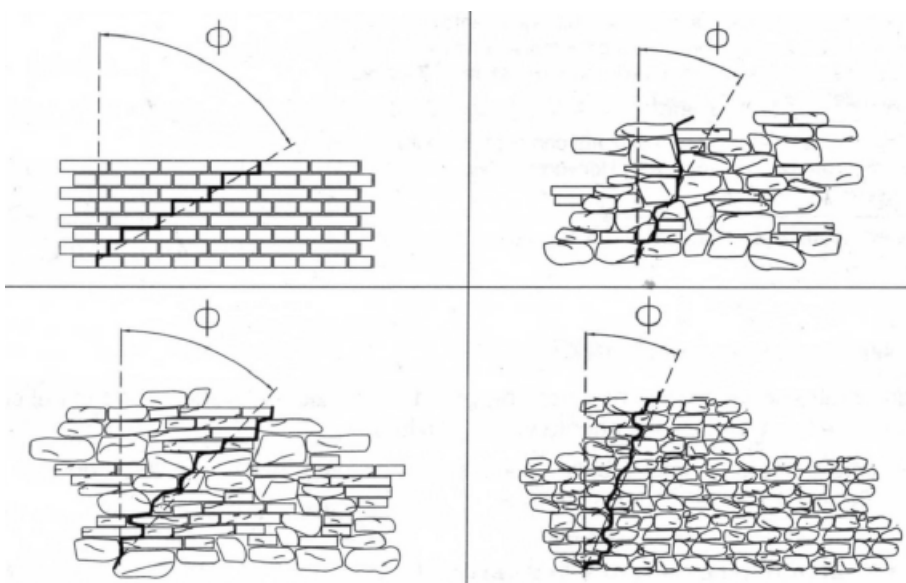


FIG. 4 (CANGI 2010, AMB PERMÍS DE L'AUTOR, VEURE NOTA 7)

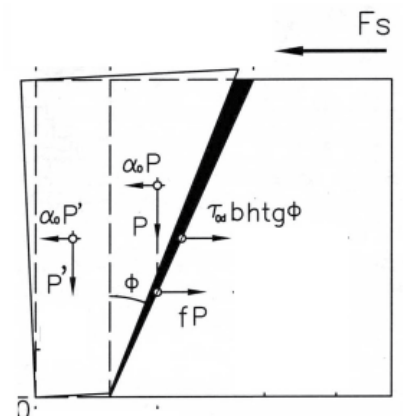


FIG. 5 (CANGI 2010, AMB PERMÍS DE L'AUTOR)

Amb tot, no podem ser excessivament optimistes, ja que es pot produir un angle més petit del previst, amb la qual cosa l'edifici pot col·lapsar davant d'un sisme de menys intensitat. Suposat determinat l'angle, podem passar a determinar quina serà la força que pot produir la ruptura. Per fer-ho, considerarem moments sobre la frontissa virtual o eix de gir de tot el conjunt, la situació de la qual també s'ha d'estudiar amb detall en funció de les característiques constructives de l'edifici.

Es produirà la ruptura de la fàbrica indicada a la figura 5 quan el moment de bolcada produït per les forces horitzontals  $M_s$  sigui superior a la suma de les que s'oposen a la bolcada:  $M_{RC}$ , moment resistent degut a la cohesió, i  $M_{RP}$ , el de les forces gravitatòries conseqüència de la forma de la part separada.

$M_S$  és el resultat de la suma de moments de les forces inercials  $\alpha P$  i  $\alpha P'$ , on  $\alpha$  depèn de la intensitat del moviment sísmic. S'anomena  $\alpha_0$  el valor per al qual  $M_S$  és igual a  $M_{RC} + M_{RP}$ , de manera que quan sigui una mica més gran s'iniciarà la fractura. Un instant després, l'oposició al moviment només dependrà de les masses dels trams.

La qüestió clau és establir la relació del multiplicador  $\alpha_0$  amb l'acceleració que suposa l'activació del moviment  $a_0$  per poder comparar-la amb l'acceleració màxima previsible que afecta l'edifici concret, valor que, com ja s'ha indicat, no s'exposa en aquestes línies donada l'exclusivitat italiana del procediment. Amb tot, les *Linee Guida* aporten lliçons que, sense entrar en càlculs complexos, ens poden suposar una gran ajuda per a la comprensió del comportament sísmic dels edificis d'obra de fàbrica.

## ■ Les Linee Guida: una lliçó de construcció històrica

### Avaluació de la vulnerabilitat

Les Linee Guida proposen tres nivells d'avaluació: LV1) vulnerabilitat del patrimoni cultural a escala territorial, LV2) projectes d'intervencions locals o de reparació, i LV3) projectes d'intervencions de millora sísmica que han d'incloure la totalitat de l'edifici. Per al nivell d'avaluació 2, es fan servir models de mecanismes locals de col·lapse de parts de l'edifici del tipus d'anàlisi cinemàticolineal ja esmentat, i per al 3 poden ser aquests mateixos mecanismes locals aplicats al conjunt de totes les parts, o bé models globals (8).

Un cop conegut a fons l'edifici, fet el model parcial o global, segons si el nivell és 2 o 3, que el representa mecànicament, i aplicada l'acceleració màxima previsible, en coneixerem la vulnerabilitat. En funció d'aquesta vulnerabilitat, cal projectar la intervenció de millora sísmica, òbviament de manera compatible amb la conservació. I és precisament aquesta compatibilitat necessària la que limitarà el valor de la vida nominal de l'edifici reforçat. Les Linee Guida accepten valors de vida nominal inferiors als que preveuen les NTC per a obra nova, sempre que al final d'aquesta vida, com ja s'ha indicat, es prevegi tornar a fer l'avaluació de seguretat sísmica per al període següent.

Per al nivell 1 d'escala territorial, les Linee Guida desenvolupen un extens tractament d'avaluacions per tipus de l'edifici, malgrat que l'apartat corresponent s'inicia dient que el concepte de tipus s'adapta malament als edificis històrics, que caldria considerar com a elements únics de la història de la construcció, atesa la manera en què han estat concebuts, realitzats i transformats en el temps. Tot i així, admet que en la majoria de construccions històriques és possible reconèixer caràcters recurrents i sobre aquesta base és com es poden trobar models simplificats que els representen tots, mantenint la precaució de comprovar si en cada cas l'edifici s'allunya molt o poc del tipus considerat.

Els tipus avaluats d'una manera molt extensa són els següents:

- palaus, vil·les i altres estructures amb parets de càrrega i elements horitzontals intermedis;
- esglésies, llocs de culte i altres estructures amb grans aules sense elements horitzontals intermedis;
- torres, campanars i altres estructures amb el predominant desenvolupament vertical;
- ponts en obra de fàbrica, arcs triomfals i altres estructures d'arc o volta.

Els seus continguts són tota una lliçó de construcció històrica. Per a tots aporta models "simplificats", de gran complexitat per a l'estimació de l'índex de seguretat sísmica que correspon al nivell d'avaluació 1.

Sobre el tipus eclesial indica que l'anàlisi sistemàtica dels danys patits per les esglésies en els darrers decennis ha evidenciat com el seu comportament sísmic es pot interpretar a través d'una descomposició en porcions arquitectòniques (anomenades macroelements), caracteritzades per una resposta estructural autònoma respecte a l'església en conjunt (façana, aula, absis, campanar, cúpula, arc triomfal, etc.). Només en el cas d'esglésies de planta central, dotades en general d'un o més eixos de simetria en planta, una homogeneïtat constructiva i una bona connexió entre elements, pot ser útil procedir mitjançant un model global de la construcció. En la majoria de casos, és preferible procedir amb verificacions referides a diversos macroelements. Sobre cadascun d'aquests es pot aplicar el mètode d'anàlisi cinemàtica ja descrit anteriorment. A tot plegat les Linee Guida dediquen el seu annex B, en el qual apareixen 28 tipus de col·lapse amb les seves imatges representatives corresponents, de les quals es reproduïxen les més expressives (fig. 6).

### Críteris per a la millora sísmica i tècniques d'intervenció

Sens dubte, la necessitat de neutralitzar i superar totes les pràctiques equivocades i generalitzades que han presidit les intervencions a Itàlia, sísmiques o no, en els últims decennis —que han considerat el formigó armat gairebé com l'única referència— ha dut

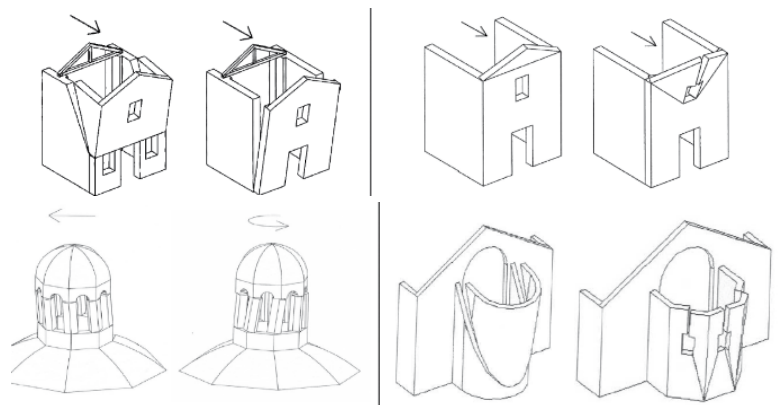


FIG. 6 (DE LES LINEE GUIDA)

*Les Linee Guida aborden els paràmetres que incideixen en la determinació del valor de l'acceleració màxima previsible*

els redactors de les Linee Guida a aportar la màxima informació possible i fins al més mínim detall sobre com abordar el reforç d'un edifici històric.

El seu tractament s'inicia amb dues qüestions de tipus general, anomenades "Estratègia per a l'elecció de la intervenció de millora" i "Influència de les intervencions d'adequació de les instal·lacions". De la primera es poden destacar les claus segons les quals es poden caracteritzar els diferents tipus d'intervenció:

- l'extensió: intervenció limitada o que abraci tota l'estructura;
- el comportament estàtic: les intervencions que no modifiquen l'original, les que sí que el modifiquen però continuen sent coherents amb el tipus estructural, i les que sí que el modifiquen completament;
- l'estat de coacció aportat: segons si és una intervenció passiva o la contrària, que introdueix estats de sol·licitacions mitjançant accions autoequilibrades.

Dels tres punts següents, no cal detallar-ne el significat: durabilitat i compatibilitat material; invasiabilitat i reversibilitat, i, finalment, integritat arquitectònica.

La segona qüestió plantejada, la de les instal·lacions, demostra que els redactors són professionals que estan en contacte directe amb la realitat de les obres, a través de les quals es constata que adequar als usos actuals els espais heretats del passat comporta una —diguem-ne— brutal interpenetració entre les instal·lacions i els elements constructius històrics: murs, forjats, fonaments... Els llibres de teoria no en donen notícia. Les indicacions proposades per les Linee Guida destaquen els casos més usuals i els criteris per evitar l'afectació provocada i, si no es pot evitar, incloure'n la influència decisiva en la capacitat sísmica de l'edifici.

Fetes aquestes dues consideracions, inicien l'exposició dels procediments tècnics d'intervenció, que s'estructuren segons els apartats següents:

- 1) reduir les mancances del lligam;
- 2) reduir l'empenta d'arcs i voltes i la seva consolidació;

- 3) reduir la deformabilitat excessiva dels forjats i la seva consolidació;
- 4) reduir la deformabilitat excessiva de les cobertes;
- 5) incrementar la resistència dels elements de murs;
- 6) incrementar la resistència de pilastres i columnes;
- 7) incrementar la resistència d'elements no estructurals, i
- 8) incrementar la resistència dels fonaments.

Els continguts desenvolupats en cadascun d'aquests apartats són estrictament coherents amb tots els criteris aplicats per les Linee Guida, especialment amb els últims esmentats sobre compatibilitat, no invasiabilitat, reversibilitat i integritat arquitectònica. A més a més, tot plegat es basa en un coneixement extraordinari de la construcció històrica i una gran sensibilitat respecte a la seva conservació.

Dit això, donem per finalitzada aquesta recensió molt curta, atesa l'extensió de l'original, de les Linee Guida, convidant el lector a accedir-hi directament mitjançant una simple connexió a la xarxa ([www.cslp.it/cslp/index.php?option=com\\_content&task=view&id=66&Itemid=20](http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=20))

Malgrat tot, no es pot esperar que tots els professionals involucrats coneguin les subtileses i la terminologia específica de la llengua italiana. Per això, s'insten les entitats concernides —públiques, semipúbliques o privades— a implicar-se en un procés d'elaboració i difusió a Espanya d'aquesta qüestió, especialment a les zones amb una sismicitat que ho requereix de manera urgent. ■

### **Sobre l'autor**

*José Luis González Moreno-Navarro és doctor arquitecte, catedràtic de Construcció de l'ETSAB, especialista en rehabilitació de patrimoni, i autor d'una gran producció científica, com a autor de nombrosos articles i publicacions divulgatives i tècniques i participació en congressos internacionals.*

### NOTES

- (1) Reial Decret 997/2002, de 27 de setembre, pel qual s'aprova la Norma de construcció sismoresistent: part general i edificació (NCSE-02). BOE núm. 244, 11 d'octubre de 2002.
- (2) Consell Superior de Col·legis d'Arquitectes d'Espanya i Universitat Politècnica de Catalunya, Aplicación del CTE a las obras de intervención y restauración arquitectónica de edificios protegidos. Setembre de 2009. Redacció dirigida per José Luis González Moreno-Navarro.
- (3) Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri, Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008, (G. U. 26 febbraio 2011 n. 47).
- (4) Sergio Lagomarsino, Le nuove Linee Guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale, allineate alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, Seminario CIAS, Gènova, 2010.
- (5) Decreto del Ministero Infrastrutture e Trasporti 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (G.U. 4 febbraio 2008, n. 29, n. 30).
- (6) Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617, Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 (G.U. 26 febbraio 2009, n. 47, n. 27).
- (7) G. Cangini, M. Caraboni, A. De Maria, Analisi strutturale per il recupero antisismico. Calcolo dei cinematicismi per edifici in muratura secondo le NTC, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma, 2010.
- (8) Un programa específic es troba a: A. Galasco, S. Lagomarsino, A. Penna, Programma di calcolo TREMURI: Analisi sismica di edifici 3D in muratura, Università di Genova, Gènova, 2002.