

Provvedimenti antisismici nell'antichità¹

CAIROLI FULVIO GIULIANI

L'uomo ha sempre istintivamente cercato di rimuovere il terremoto dalla propria coscienza fino a cancellarne il ricordo, magari per motivi scaramantici. È forse per questo che le notizie delle fonti letterarie ed epigrafiche riguardanti i terremoti nell'antichità sono relativamente scarse in rapporto al loro numero presumibile e riguardano più gli incendi, spesso conseguenza del sisma dato l'uso della fiamma libera. È nell'ambito di questo ostinato fatalismo che si colloca il ripetersi dei sistemi costruttivi apparentemente privi di accorgimenti antisismici fino quasi a un secolo fa, quando cominciarono a essere imposte le prime normative antisismiche.

Contrariamente all'uomo gli edifici non dimenticano, specialmente quelli progettati e costruiti per durare il più a lungo possibile come quelli antichi. Essi hanno memoria lunga e sono un vero e proprio archivio delle vicende che li hanno coinvolti. Pertanto solo in essi è possibile rintracciare i segni sia del sisma sia degli eventuali provvedimenti presi dall'uomo per riparare o contrastare i suoi effetti.

Una premessa, però: l'arte del costruire, fin dalle origini, ha progredito riparando gli errori. Il fallimento è stato il più potente motore del progresso tecnologico nell'edilizia e questo si deve considerare anche nella ricerca degli eventuali accorgimenti messi in opera per opporsi alle sollecitazioni sismiche. Molti di questi tentativi, ammesso che ci siano stati, all'atto pratico poterono essere anche velleitari o inadeguati e perciò più difficilmente riconoscibili.

Occorre considerare, inoltre, che per verificarne l'efficacia, occorre aspettare un altro terremoto, che poteva arrivare anche dopo secoli, quando magari si era perduta perfino la memoria del provvedimento adottato. C'è da dire, inoltre, che ogni intervento di riparazione dei danni è anche una prevenzione per il terremoto successivo e, in tal senso, è un provvedimento antisismico; soprattutto in una materia sperimentale in cui "lo stato dell'arte"² ha svolto per oltre due millenni un ruolo decisivo.

Naturalmente l'indagine in questo campo è difficilissima perché uno stesso provvedimento potrebbe avere più scopi differenti oppure un fine principale diverso da quello che sembra a prima vista o, ancor peggio, potrebbe trattarsi di uno scambio di

¹ Il presente contributo costituisce un primo saggio di un lavoro più esteso e complesso sui sistemi antisismici e sugli interventi post sismici presenti nell'architettura romana attualmente in corso d'opera.

Ringrazio l'arch. Enrico del Fiacco alla cui gentilezza devo le foto alle figg. 7-10, 19, 32-35, 40.

² Per *stato dell'arte*, *regola dell'arte*, o *diligenza dell'arte* s'intende il complesso degli accorgimenti

messi a punto dalle maestranze durante l'esercizio della pratica al fine di conferire alla struttura solidità, stabilità e durabilità. Il concetto dipende dalla "regola dell'arte" che Antonino Giuffré e la sua scuola riportarono in auge negli anni '80 del secolo scorso (cfr. anche E. Benvenuto, S. Di Pasquale e S. D'Agostino) e che adesso è autorevolmente portato avanti da Giovanni Cangi, Francesco Giovannetti e Paolo Marconi.

funzioni (un accorgimento finalizzato a uno scopo può essere risultato efficace per una situazione imprevista).

Inoltre, dobbiamo fare attenzione a non proiettare nel passato i risultati della nostra cultura che tende a trasformare in “normativa” sistemi di volta in volta ritenuti efficaci.

È probabile che eventuali interventi restassero legati all’iniziativa di singoli committenti e/o gruppi di progettisti, alla disponibilità economica ecc. per cui nello stesso luogo e nello stesso periodo potevano sorgere edifici provvisti di accorgimenti particolari accanto ad altri che ne erano del tutto privi. E tutto questo tralasciando la possibile incidenza della speculazione che certo non è un’invenzione squisitamente moderna.

Non possiamo escludere, poi, il possibile potenziamento o la diffusione dei tentativi nei periodi immediatamente successivi a eventi sismici e neppure il fenomeno della trasmigrazione del problema. Faccio un solo esempio: nel 115 Antiochia di Siria fu praticamente distrutta da un terremoto. Lì era acuartierato l’esercito di Traiano al comando di Adriano in attesa di riprendere le operazioni connesse alla guerra partica. Naturalmente gli architetti del genio militare, al comando di Apollodoro di Damasco, dovettero avere esperienza diretta dei problemi riguardanti il fenomeno. Due anni più tardi Adriano divenne imperatore e poco dopo iniziò l’ispezione dell’impero restaurando città e infrastrutture e disseminando architetti e tecnici (evidentemente quelli del corpo dei fabbri liberatisi a causa della riduzione dell’esercito). Alcuni di questi architetti dovevano aver vissuto l’esperienza di Antiochia (ma anche di altri dissesti in tempi e regioni differenti) e non è verosimile che non abbiano sperimentato tecniche di contrasto al fenomeno, diffondendo le tecniche anche in territori lontani.

Esisteva comunque la consapevolezza che un edificio costruito “per durare per sempre”³ avrebbe inevitabilmente dovuto sopportare terremoti ripetuti e di energia imprevedibile. Qui importa indagare se tale consapevolezza abbia favorito l’applicazione di accorgimenti atti a limitare i danni del movimento tellurico e se questi siano leggibili sui resti degli edifici.

Nell’arco della vita dell’uomo è possibile che, anche in zona sismica, non si verifici alcun terremoto e proprio la diversità della scala temporale della vita dell’edificio rispetto a quella umana, pur comportando un coefficiente di rischio per la costruzione, non dava la certezza che il sisma si sarebbe verificato. Da qui poteva derivare la tendenza, in un certo senso apotropaica, alla rimozione del fenomeno, con la conseguenza di evitare l’applicazione di accorgimenti di contrasto costosi e aleatori.

La coscienza dell’inevitabile ripetersi del sisma, comunque, restava, se Plinio il Vecchio scrive: “*Dove la terra ha tremato tremerà ancora*”.⁴

Del resto, che gli antichi riconoscessero tre tipi principali di onde sismiche (sulsultorie, ondulatorie e vibranti) è noto e che tentassero di indagare le cause del sisma lo è altrettanto (Aristotele, Posidonio di Apamea, Seneca, Antemio di Tralle ecc.).

Ora il problema è questo: nel campo archeologico gli studi sull’edilizia interessano prevalentemente l’edificio come supporto di decorazione e solo raramente si riferiscono alla sua struttura e alla sua funzionalità e quando questo avviene si tiene in conto quasi sempre la risposta statica.

I problemi statici, però, riguardano la solidità del costruito ma non la stabilità⁵, che rientra più nel campo della dinamica.

³ Vitruvio in più punti fa riferimento a questa filosofia di costruzione.

⁴ Plin., *NH*, II.

⁵ Per spiegare la differenza tra i due termini basti pensare a una lastra di acciaio posta verticalmente: essa è indubbiamente *solida*, ma un colpo

Le fonti antiche, ma anche la maggior parte degli studiosi moderni, tengono in gran conto la solidità, la robustezza, la qualità globale delle murature intesa sia nelle sue caratteristiche strutturali sia nei modi di confezione (l'equivalente del concetto vitruviano di *firmitas, utilitas, venustas*).

L'insistenza di Vitruvio nel tenere unite il più possibile le due cortine con il nucleo⁶, verificabile facilmente sui resti materiali, è normalmente riferita alla statica degli edifici⁷.

La caratteristica fondamentale della costruzione romana è la cura delle connessioni trasversali nell'apparecchio murario a doppio paramento (attraverso legni affogati nella muratura⁸, le teste delle travi dei ponteggi lasciate nella struttura, ricorsi di bipedali, ecc.).

Esemplare a questo proposito è la muratura dei pilastri del Pantheon dove la "cortina" è rappresentata da muri spessi circa 0,60 m sulle due facce del pilone integralmente costruiti in laterizio, mentre il nucleo interno è di un'eccellente muratura a strati di tufo alternati a travertino legati da malta pozzolanica di grandissima qualità (Fig.1).



Fig. 1 – Roma, Pantheon, particolare della muratura di un pilone; a destra, evidenziata, la struttura in laterizio.

Anche la cura delle connessioni verticali tra pareti ortogonali, già applicata normalmente nell'area romano-laziale, ma spesso trascurata in altre zone, rientra in questa specie di accorgimenti. Così a Pompei, dove prima del terremoto del 62 molti edifici erano privi delle ammorsature cantonali, constatiamo, dopo quella data, l'intervento sistematico per realizzare ex novo le connessioni dove mancavano.

Tutto questo, però, rientra nel convincimento che la costruzione più è globalmente solida, più è capace di resistere a sollecitazioni di ogni tipo, terremoti compresi, secondo il concetto per cui l'urto del sisma debba e possa essere risolto all'interno dell'edificio stesso.⁹

Questa è la filosofia costruttiva che si attribuisce agli antichi. Tuttavia non sempre il concetto di solidità collima con quello di stabilità e non è sempre vero che una costruzione solida sia per ciò stesso stabile.

laterale può abbatte-la facilmente perché non è stabile.

⁶ Vitr., II, 8, 1-2.

⁷ Ne L'edilizia nell'antichità, I ed. Roma 1990 e II ed. Roma 2004, sono incorso in questo errore.

⁸ Vitr., I, 5,1.

⁹ Oggi si riconosce che è bene lasciare all'esterno della costruzione l'azione sismica in modo che l'edificio possa muoversi nel suo insieme sul terreno dissipando così la forza d'urto.

Sono, infatti, d'accordo con Salvatore Di Pasquale quando dice che "le regole generali del buon costruire compendiate da Vitruvio non sono, da sole, sufficienti a garantire la stabilità delle fabbriche in presenza di sisma".¹⁰

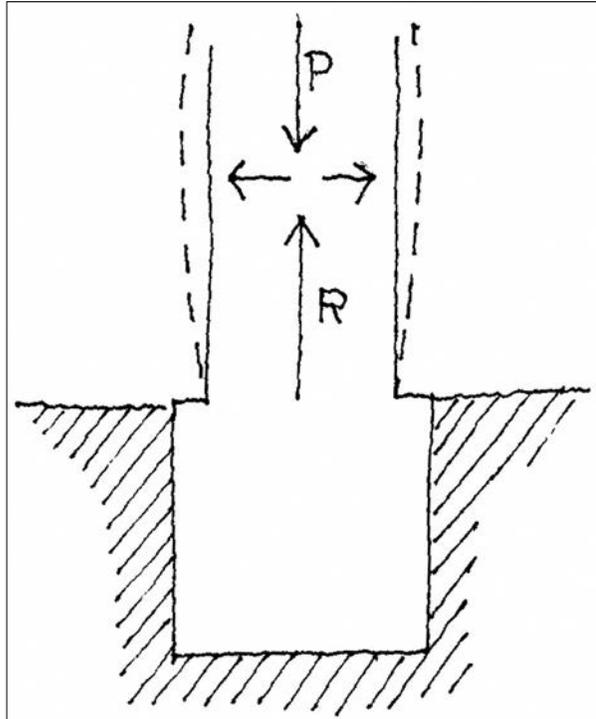
La mancata considerazione di questo concetto può portare a equivoci grossolani.

Un esempio: l'uso di grappe e perni nell'opera quadrata di edifici a carattere monumentale è attribuita ancora alla necessità di realizzare una costruzione solida, capace di opporsi alle spinte diverse dalla verticale come per esempio quelle provocate dalla posizione in piano inclinato delle cornici sommitali di un timpano¹¹ o anche a quelle orizzontali dovute alla risposta della fondazione al carico del muro stesso (cfr. p. 42 ss.), o ancora alla dilatazione termica per strutture particolarmente esposte. Pertanto, nell'opinione comune, un edificio è costruito per resistere alla compressione, cercando di evitare al massimo lo sforzo a trazione, il cosiddetto *taglio*, per il quale le strutture edilizie risultano assai meno idonee.

Quando gli alzati sono compatibili con le coperture prescelte e le fondazioni adeguate al tutto, cioè se sono rispettate tutte le condizioni che si riferiscono alla statica, il gioco è fatto: l'edificio risulta solido e questo basta. Senza l'intervento di fattori esterni la costruzione sarebbe teoricamente eterna¹² (a patto di tralasciare il problema della senescenza dei materiali ecc). Va considerato comunque che anche le forze gravitazionali, per la risposta del terreno al peso della costruzione, generano delle spinte orizzontali (Fig. 2).

Nelle costruzioni antiche vi sono, tuttavia, accorgimenti, anche di grande impegno, che non sembrano rientrare propriamente in questo schema, ma piuttosto riferirsi a sollecitazioni con direzione differente dalla verticale.

Fig. 2 – Tendenza a spanciamento per risultante di trazione.



¹⁰ S. DI PASQUALE, *L'arte del costruire tra scienza e conoscenza*, Venezia 1996, p. 155.

¹¹ G. RONDELET, *Trattato teorico e pratico dell'Arte di Edificare*, III, tomo III, parte II, pp. 66 ss. Rist. Ed. Dedalo, Roma 2005

¹² È da questa filosofia costruttiva che deriva poi la profezia del Venerabile Beda: *Quandiu stabit Colyseus stabit et Roma, quandiu cadet Colyseus cadet et Roma, quamdiu cadet Roma cadet et mundus.*

Con la definizione della funzione di questi accorgimenti la domanda se gli antichi si ponessero il problema dell'uso di sistemi antisismici diventerebbe assolutamente retorica.

In questo senso, però, le fonti letterarie non ci aiutano molto. Infatti, dall'antichità classica non sappiamo praticamente nulla sulle tecniche di contrasto usate nell'edilizia e poco riguardo ai terremoti se escludiamo la teoria aristotelica¹³ sulla loro origine.

Su questa scia, ancora un millennio più tardi, Antemio di Tralle conduceva esperimenti probabilmente connessi all'incarico ricevuto da Giustiniano di progettare la nuova Santa Sofia.¹⁴

Prima di procedere converrà ripetere due semplici concetti riguardanti il comportamento dei solidi murari e le sollecitazioni cui sono sottoposti. Un muro isolato, sollecitato solo dal proprio peso, è sottoposto alla compressione; ma se a esso si applica una forza con una direzione diversa dalla verticale, si attivano tensioni che portano al "taglio" e quindi a un prevalente sforzo a trazione.

La cosa ovviamente si complica in un'ossatura complessa giacché le conseguenze dell'urto sismico sono strettamente legate alla conformazione di ogni edificio e delle sue singole componenti.

Un esempio possiamo trarlo dal comportamento della colonna (*Fig. 3*). Normalmente la colonna monolitica è più soggetta al ribaltamento (*Fig. 4*) di quella a rocchi tozzi poiché quest'ultima, fino ad un certo punto, compensa l'urto con lo spostamento progressivo dei blocchi (*Fig. 5*). E comunque gli effetti sulla struttura soprastante sono molto diversi tra i due casi.

Nel caso delle grandi colonne coclidi romane, abbiamo comportamenti apparentemente differenti: in quella Traiana non si notano spostamenti di rocchi mentre nell'Antonina, lo spostamento è solo apparente (*Fig. 6*) giacché si tratta della dislocazione di parti di rocchi già frammentati probabilmente da un fulmine¹⁵, come sembrano indicare anche le lunghe lesioni verticali che compaiono in incisioni e disegni già dal XVI secolo.

¹³ Aristotele, nel *Trattato sul Cosmo per Alessandro* a lui attribuito (ed. a cura di G. REALE, Napoli, 1974, pp. 159-61), vede la causa dei terremoti nelle correnti d'aria sotterranee. Posidonio nel II secolo a.C. modifica tale teoria pensando che siano generati da condotte sotterranee di comunicazione tra vulcani.

¹⁴ Di questi esperimenti si ha notizia da Agazia di Mirina (536-582) che cita in forma aneddotica un episodio della vita di Antemio di Tralle, architetto, noto fisico e matematico. Accennando all'origine dei terremoti Agazia critica coloro che li attribuiscono a influssi astrali e propende per la teoria aristotelica dello spostamento di aria sotterranea. A questa teoria, sempre sulla base di Agazia, sembra aderisse Antemio di Tralle.

Egli era vicino di casa e nemico del retore Zenone il quale, in ogni discussione, prevaleva su di lui. Così, Antemio pensò di batterlo ricorrendo alle sue conoscenze tecniche "costruita una caldaia con degli ugelli rastremati, che terminavano sotto il pavimento del vicino, aveva creato un vapore così violento da provocare una sorta di ter-

remoto (più probabile una forte vibrazione), al punto da far fuggire il retore in preda al panico" (Agath. 5,7). Antemio continuò poi a impaurire Zenone con lampi e tuoni artificiali: il retore, una volta scoperti i trucchi, si lagnò presso l'imperatore; ma, criticando l'abuso delle forze della natura da parte di Antemio, ammise al tempo stesso la sua sconfitta.

Agazia spiega poi che la gente, a causa della storia del finto terremoto, aveva riconosciuto Antemio come lo scopritore empirico della causa dei sismi. E' chiaro che lo sperimentalismo di Antemio attiene strettamente alla sua attività di costruttore e che i suoi esperimenti s'inseriscono nel filone alessandrino delle macchine a vapore, come l'*Eolipila* descritta da Erone di Alessandria nel I secolo, ma derivata probabilmente da scoperte precedenti, forse di Ctesibio.

¹⁵ A. GIUFFRÈ, F. ORTOLANI, Le colonne coclidi testimoni dei terremoti di Roma, in A. GIUFFRÈ, *Monumenti e terremoti, aspetti statici del restauro*, Sc. Spec. Studio e restauro dei Monumenti, Strumenti, 7, 1988, pp. 55-72.



Fig. 3 – Selinunte, tempio C: l'effetto dell'urto sismico ortogonale alla peristasi del lato nord costituito da colonne di rocchi tozzi (prima dell'anastilosi).

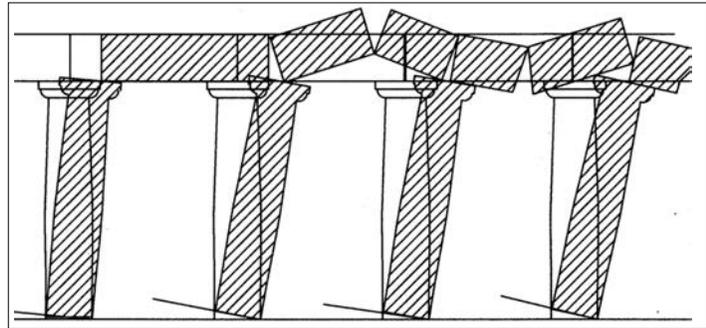


Fig. 4 – Cinematismo di colonna monolitica.

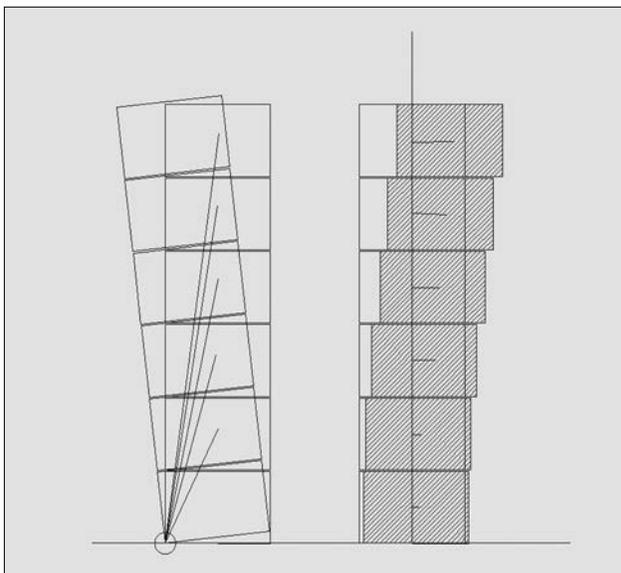


Fig. 5 – Cinematismo della colonna a rocchi tozzi, a destra, posizione a seguito dell'urto.

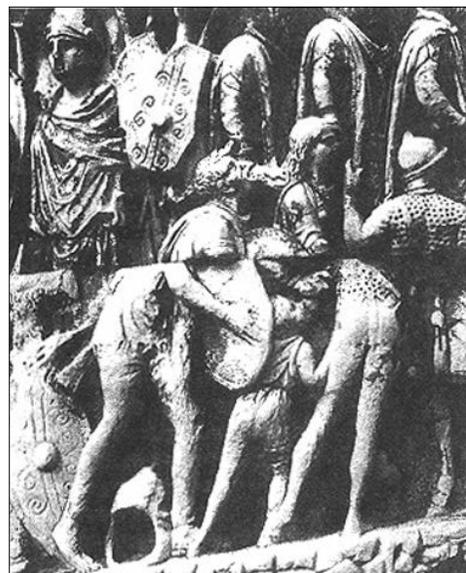


Fig. 6 – Roma, Colonna Antonina, spostamento di un frammento di rocchio dovuto a terremoto.

Il particolare cinematismo che interessa ogni singolo edificio comporta che eventuali provvedimenti antisismici piuttosto che “sistematizzati” sarebbero dovuti essere progettati per ogni singola struttura.

Naturalmente se in antico furono fatti tentativi di contrastare il terremoto, essi certamente furono differenti per tipo e collocazione e andranno ricercati in varie zone dell'edificio: sul piano fondale, in singoli elementi strutturali, nei legami tra differenti membrature ossature, nei componenti la struttura muraria, nella qualità generale della confezione delle murature, ecc.

Comunque, non si presenteranno certo come frutto di teorie astratte di carattere scientifico ma piuttosto, di volta in volta, come contrasto pratico ai possibili effetti del terremoto.

All'inizio questi accorgimenti saranno facilmente legati alla progettualità del singolo e solo dopo essere entrati a far parte del “mestiere”, dello “stato dell'arte” li vedremo entrare nella sistematicità del costruire.

Come s'è detto, dalle fonti non sappiamo praticamente nulla in merito; si torna sempre al noto passo di Plinio¹⁶ che racconta come l'Artemision di Efeso “*fu costruito su un terreno paludoso per difenderlo dai terremoti e dagli sprofondamenti*”, d'altra parte però, per non collocare le fondamenta di tanta mole su di un suolo sdrucchioloso e instabile, posero sotto di esse uno strato di carbone pestato e un altro di velli di lana.

Il testo non è chiarissimo: per esempio l'accostamento degli effetti del terremoto e degli sprofondamenti fondali è in realtà una ripetizione¹⁷ e a proposito degli strati di carbone e velli di lana utili per mantenere il drenaggio tace della necessaria, sottostante palificata di legno che invece Vitruvio dà come regola per il consolidamento dei terreni umidi¹⁸ e necessaria anche per contrastare eventuali cedimenti differenziali.

Il passo resta fondamentale, tuttavia, perché, motivando la particolare collocazione del tempio con lo scopo di “difenderlo dai terremoti”, denuncia chiaramente le esistenze d'intenzioni antisismiche almeno nella prima età ellenistica.¹⁹

Quello che contrasta il sisma, dunque, secondo Plinio²⁰, è il terreno paludoso perché esso consente all'edificio di scivolare assecondando le scosse e riducendo così i danni. La citazione, pertanto, potrebbe inquadrarsi nella vulgata per cui nei terreni paludosi l'effetto del terremoto sarebbe meno sentito se non addirittura nullo. È più probabile invece che fosse proprio la palificata di legno su cui poggiava la fondazione che, flettendosi, attenuasse le oscillazioni, allo stesso modo riconosciuto da F. L. Wright per il suo Imperial Hotel di Tokyo che, secondo il progettista, resistette al forte terremoto del 1923 proprio grazie alla flessibilità dei pali sottostanti la fondazione.

Tuttavia il generico ruolo di ammortizzatore del terreno paludoso resta nell'aria.

Un'analoga funzione è attribuita allo strato di sabbia di cui si ha notizia nelle fondazioni del tempio di Cerere a Paestum²¹.

¹⁶ Plin., *N. H.*, XXXVI, 95.

¹⁷ Plinio infatti (*N. H.*, II) parlando di terremoti li connette spesso agli sprofondamenti del terreno.

¹⁸ Vitr., II, 9, 11; III, 4, 2.

¹⁹ L'Artemision di Efeso, una delle sette meraviglie del mondo antico, risale al VI secolo a.C., tuttavia esso fu ricostruito in età ellenistica. È perciò verosimile collocare in questo periodo l'accorgimento delle fondazioni.

²⁰ O anche semplicemente secondo la rielaborazione pliniana di una fonte precedente.

²¹ G. AUGUSTI, Il restauro dei templi di Paestum, i presupposti tecnico-scientifici, in M. CIPRIANI E G. AVAGLIANO (a cura di), *Il restauro dei templi di Poseidonia, un intervento di conservazione e valorizzazione*, Atti Conv. Inter. Paestum 26-27 giugno 2004, p. 37.

L'autore ignora se l'esistenza di questo strato sia mai stata confermata e se esso abbia interessato tutte le fondazioni, oppure se si limitasse a quel singolo punto. È ovvio come in questo caso la sua presenza, del tutto occasionale, non abbia alcun valore. L'autore, tuttavia, esclude che possa riferirsi a un "isolante sismico" ("perché concetto troppo moderno") ma pensa piuttosto a ragioni di drenaggio.

Egli ammette, però, che "un tal sottofondo ridurrebbe eventuali oscillazioni della costruzione e quindi, secondo le conoscenze attuali, contribuirebbe alla sua sicurezza sismica".²²

Dunque si esclude l'ipotesi di questa intuizione sulla base dell'"eccesso di modernità"²³ e così si rischia l'analogia con quanto accaduto per gli ingranaggi di Ctesibio, la diottra descritta da Erone e soprattutto con il meccanismo di Anticitera²⁴. La storia della scienza ci ha insegnato che questo modo di procedere è spesso eccessivamente semplicistico.²⁵

La cosa tuttavia non è di poco conto perché accertarne la realtà, nei casi di Efeso e Paestum, significherebbe ammettere che già in antico si era pensato²⁶ alla possibilità di smorzare la forza d'urto all'esterno dell'edificio piuttosto che contare esclusivamente sulla resistenza interna confidando nella *firmitas* della costruzione.

E' noto, poi, che l'urto sismico innesca, soprattutto negli edifici in cui la parte alta è di grande peso, il fenomeno del "pendolo rovescio" per oscillazione, e del "colpo di maglio" per la forte e rapida compressione sulla parte inferiore per la ricaduta del peso dell'intera costruzione sulla fascia inferiore dell'edificio.

Il "pendolo rovescio", rilasciando l'energia cinetica accumulata nelle parti alte dell'edificio, impone un moto incentrato alla base dove si vanno a collocare le cerniere cilindriche, esaltando i danni nelle strutture superiori (*Figg. 7, 9*).

Speroni e contrafforti

Vitruvio²⁷ tratta i contrafforti esclusivamente come accorgimento per contrastare le spinte del terreno alle spalle di una sostruzione²⁸, quindi sono casi di progettazione contestuale all'edificio contraffortato.

Esempi sono i casi delle dighe a gravità alleggerita (quelle di Proserpina e Hurrondiz, di Almocinad de la Cuba, di Esparragalejo in Spagna, ecc.) o quelli dei grandi complessi santuariali della fine della repubblica (Tivoli, Palestrina, Terracina, Sulmona) o degli estesi terrazzamenti delle ville coeve.

Vitruvio non fa menzione dell'uso dei contrafforti per riparare danni da "fuori piombo", ma, tenendo per fermo che essi servono a contrastare la spinta obliqua del terreno retrostante, ammette comunque un certo lavoro a taglio.

²² Questo naturalmente in assenza di acqua, altrimenti si sarebbe rischiato il fenomeno della liquefazione del terreno.

²³ Cfr. M. CINI, prefazione a L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata*, III ed., Milano 2003, p. 11.

²⁴ DEREK J. DE SOLLA PRICE, *Gears from the Greeks, The Antikythera Mechanism – A calendar Computer from ca. 80 B.C.*, in *Trans. Am. Phil. Soc.*, 64, 1974, part. 7; rist. *Scienze History Publications*, New York 1975, p. 53 cit. in L. Russo, *La rivoluzione dimenticata*, Milano 2003, p. 129 e n. 24. Si ricordi, a proposito della cronologia del meccanismo di Anticitera il giudizio da tifo di molti studiosi distesi per oltre cinquant'anni dal

ritrovamento finché il De Solla Price, che lo studiò per i successivi vent'anni, non ne dimostrò inequivocabilmente funzione e antichità.

²⁵ A questo proposito si veda L. RUSSO *La rivoluzione dimenticata*, III ed., Milano 2003.

²⁶ Sarebbe qualcosa che ricorda il principio del moderno isolatore elastomerico che, interposto tra le fondazioni e la sovrastruttura, consente oscillazioni orizzontali anche di 20/30 cm riducendo da 5 a 10 volte l'energia del sisma sull'edificio.

²⁷ Vitruv., VI, 8 ss.

²⁸ C. F. GIULIANI, *L'edilizia nell'antichità*, II ed., Roma 2006, pp. 148-159.



Fig. 7 – Siria, Halabye: pretorio; è evidente la maggiore entità delle lesioni con l'aumentare dell'altezza dovute all'effetto "pendolo rovescio".

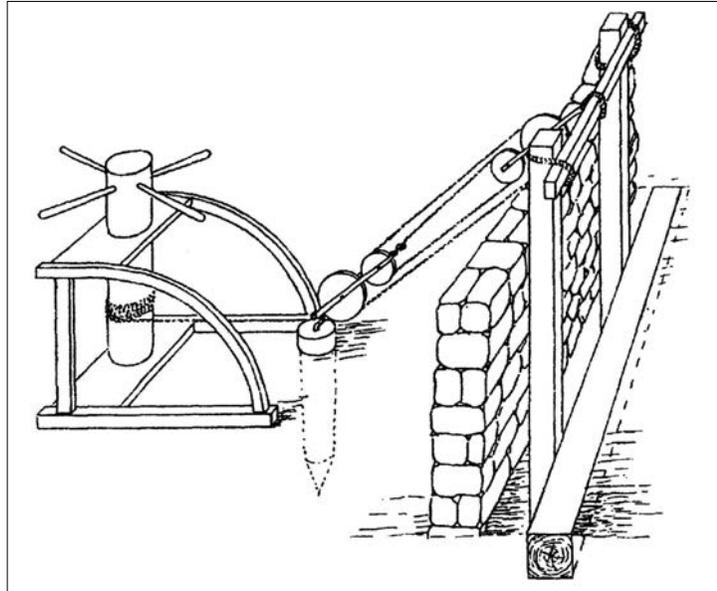
Fig. 8 – Anatolia, Jerade, spostamento dei blocchi non vincolati.



Fig. 9 – Anatolia, Jerade, schiacciamento dell'arco per allontanamento dei piedritti con dissesto della struttura soprastante.

Fig. 10 – Siria, Doura Europos, "scatamento" dei blocchi favorito dall'assenza di vincoli efficaci.

Fig. 11 – Sistema per raddrizzare una parete strapiombata (da Erone di Alessandria).



Molto interessante è invece il sistema illustrato da Erone di Alessandria per rimettere a piombo meccanicamente pareti strapiombate.

Tuttavia è innegabile l'uso dei contrafforti e degli speroni come contrasto al fuori piombo di una parete conseguente a danno sismico. Oltre la funzione, di riparazione del danno, il sistema si rivela anche un buon presidio per i terremoti successivi. Questo, però, a patto che sia raggiunta, con idonee ammorsature, l'omogeneità strutturale per ottenere che la forza sismica al momento dell'urto attivi una sola cerniera alla base e non due separate con il conseguente scorrimento del contrafforte sul muro.

Certamente in un campo sperimentale come l'edilizia antica ci si accorse presto che: gli edifici contraffortati resistevano meglio alle scosse e che quello era il sistema più efficace per "ridare piede" a un muro uscito fuori piombo. Infatti, se l'ammorsatura di contatto era ben realizzata, una volta applicato il contrafforte a un muro, anche se ammalorato dal terremoto, esso resisteva meglio nella crisi sismica successiva.

A questo proposito in altra sede²⁹ ho scritto che l'aggiunta secondaria di contrafforti "poteva dipendere sia da dissesti statici di varia natura sia dalla previsione di un aumento o cambiamento di direzione delle sollecitazioni originarie (...). È intuibile che mentre nel primo caso gli speroni erano chiamati a lavorare subito, nel secondo si faceva affidamento anche sulla possibile riserva di stabilità, nel senso che la struttura aggiunta poteva entrare in funzione solo "se" le sollecitazioni lo avessero reso necessario".

Come si vede, in questa casistica, per effetto dell'appiattimento concettuale che tiene conto solo della statica, non compare un fenomeno che pure è largamente presente nella realtà costruttiva anche recente. Infatti, tra gli elementi antisismici compaiono appunto anche i contrafforti.

La presenza di frequenti e articolate speronature e archi di sbatacchio è generalizzata nei centri storici per contrastare sensibili strapiombi dovuti alla ricorrente attività sismica.

Naturalmente in questo campo si va da contrafforti semplici come quello delle Figg.12-14 a quelli più complessi, veri e propri organismi, come nei casi di Minerva Medica, di Santa Sofia di Costantinopoli ecc., di cui si parlerà più avanti.

²⁹ C. F. GIULIANI, *L'edilizia nell'antichità*, II ed., Roma 2006, pp. 148.

Occorre, dunque, distinguere tra i contrafforti previsti nel progetto originario e quelli aggiunti in fase successiva. Questi ultimi potevano distinguersi come:

- a) previsione cautelare
- b) minacce di danni
- c) riparazione di danni avvenuti.

Nel caso della zona absidale della grande aula del Palazzo Sessoriano detta Tempio di Venere e Cupido³⁰ due contrafforti, molto meno aggettanti, furono posti a



Fig. 12, 13 – Roma, Palazzo Sessoriano, aula detta tempio di Venere e Cupido, i contrafforti esterni all'abside e particolare delle murse.

Fig. 14 – Idem, fotografata dalla fronte (Foto Anderson).



³⁰ Visibile nel giardino del Museo della Fanteria presso Santa Croce in Gerusalemme.

contenere la parte convessa dell'abside in corrispondenza dei maschi murari compresi tra le finestre (Figg. 12,13); altri due grandi elementi triangolari, dello spessore di 3,35 m, furono eretti per impedire che l'arcone frontale della nicchia si aprisse (Fig. 14). In quello di sinistra furono aperti tre archi, due sovrapposti a ridosso dell'aula e uno sulla linea più esterna³¹.

Grossi blocchi di travertino furono adoperati come morse con il corpo absidale per impedire il formarsi di cerniere cilindriche separate (tra muro e contrafforte) in caso di scossa sismica.

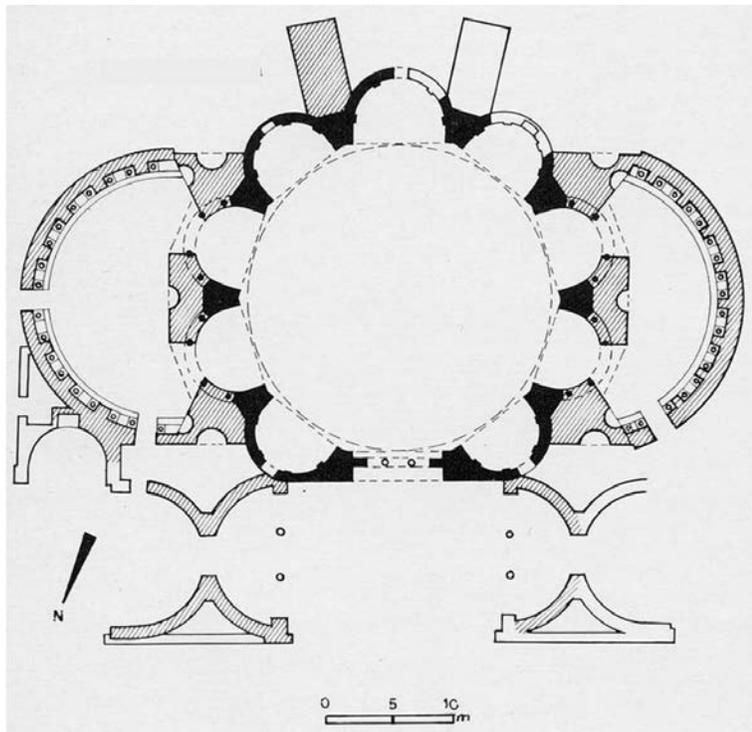
Anche in questo caso ritengo che si tratti di riparazione di danni da terremoto (443 o 484/508?) e proprio l'efficacia dell'intervento ha fatto giungere l'abside fino a noi. Difficilmente sostenibile è, infatti, l'idea di G.T. Rivoira³² secondo cui l'intervento sarebbe stato causato dalla cattiva muratura e dalla sottigliezza delle pareti.

Per Minerva Medica la costruzione di massicci contrafforti fu seguita da quella di grandi strutture absidate, sorta di ganasce (Figg. 15, 16), seguendo una via simile a quella applicata, più tardi, all'aula maggiore di Santa Sofia a Istanbul (Fig. 17).

Anche per Minerva Medica, piuttosto che a un errore di progettazione, penso si tratti di rimedi strutturali messi in opera a seguito di danni sismici e in due momenti distinti (443 e 494/508?).

A questo proposito si veda il comportamento delle volte di questo tipo in occasione del terremoto illustrato chiaramente da un'intuizione di G. Cangi³³ (Fig. 16).

Fig. 15 – Roma, Minerva Medica, in nero pieno la struttura originaria.



³¹ E. NASH, *Pictorial Dictionary of Ancient Rome*, II London 1968, p.384 e fig. 1173 (da Anderson 2354). Vedi anche G.T. RIVOIRA, *Architettura Romana*, Milano 1921, p. 186, fig 173. Per un esempio simile si veda S. Vitale a Ravenna (fig. 18).

³² G.T. RIVOIRA, *Architettura Romana*, Milano

1921, pp. 185-Cfr. anche A. COLINI, *Mem. Pont. Acc.*, 8, 1955, p. 168.

³³ G. CANGI, *Geometrie, Comportamento meccanico e Tecniche costruttive*, in A. BORRI, L. BUSSI (a cura di), *Archi e volte in zona sismica. Meccanica delle strutture voltate*, Napoli 2011, fig. 3. 41.

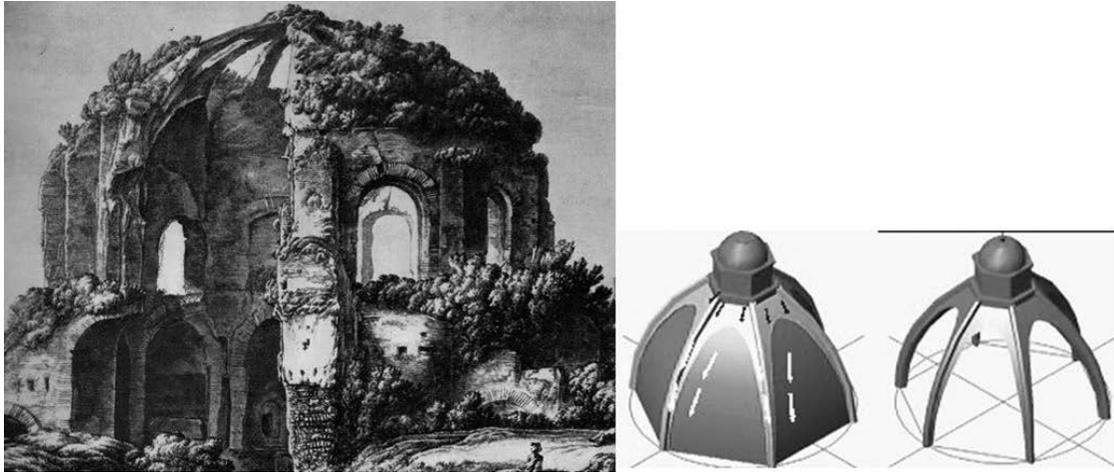


Fig. 16 – Idem, da un'incisione di F. I. Kobell del 1780. Sopravvivono ancora le nervature in laterizio della grande volta; a lato la lettura di G. Cangi.



Fig. 17 – Santa Sofia di Costantinopoli, si noti il complesso contraffortamento della cupola centrale.
Fig. 18 – Contrafforti lineari esterni a San Vitale di Ravenna.

Archi di sbatacchio o di contrasto

Un altro elemento con funzione di rimedio e prevenzione fu l'arco di contrasto o di sbatacchio (*Figg. 19-24*).

Nel caso di Roma basterà ricordare i grandi archi di questo tipo eretti per la Basilica di Massenzio in corrispondenza dell'angolo sul Foro della Pace e sulla facciata verso il tempio di Venere e Roma³⁴ o quello tra la basilica Giulia e il Tempio di Saturno³⁵ (*Fig. 25*).

³⁴ Cfr. C. M. AMICI, L'iter progettuale e costruttivo nel contesto storico topografico, in Atti Conv. CISTeC, *La Basilica di Massenzio*, Roma 2001, pp. 17-29

³⁵ Erroneamente interpretato da F. Coarelli (Lexicon Top. Urbis Romae, s. v. *Arcus Tiberii*)

come resti dell'arco di Tiberio (che in questo caso sarebbe stato eretto ex novo in laterizio dopo la ricostruzione diocleziana della basilica Giulia). Per questo vedi C.F. GIULIANI, Archeologia oggi, la fantasia al potere, *Quaderni di Archeologia e Cultura*, II, Tivoli 2012, p. 41.

Fig. 19 – Siria, Doura Europos, la funzione di sbatacchio assolta dalla porta rispetto alle strutture laterali strapiombate perché prive di contrasto.



Fig. 20 – Baia, c.d. Terme di Sosandra, serie di archi di sbatacchio forse resi necessari dal bradisismo.

Fig. 21 – Roma, Via Nova, archi di contrasto posti forse per lo scivolamento del Palatino.



Fig. 22 – Napoli, teatro: uno dei due contrafforti in laterizio eretti all'esterno della cavea dopo il terremoto del 62.

Fig. 23 – Volterra, archi di contrasto sovrapposti e, in primo piano, sperone a destra e fuori piombo a sinistra.

Fig. 24 – Basilica Giulia, angolo N, retro del pilone angolare che inglobò la colonna della basilica.



I sottarchi di rinforzo e prevenzione

A questa categoria d'interventi si ricollega l'uso di inserire tra i pilastri in opera quadrata in alcuni tratti degli acquedotti (per esempio *Anio Novus*) uno o due ordini di archi in laterizio, con le relative spalle, a contrasto proprio dei piloni in opera quadrata per evitarne lo scatastamento (Figg. 26, 27).

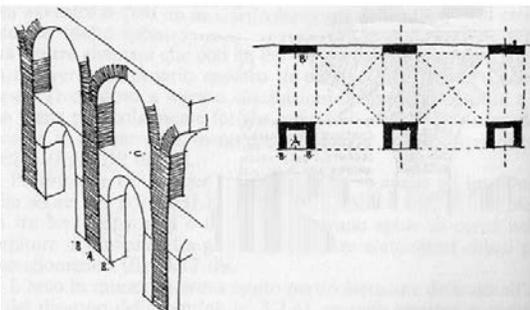
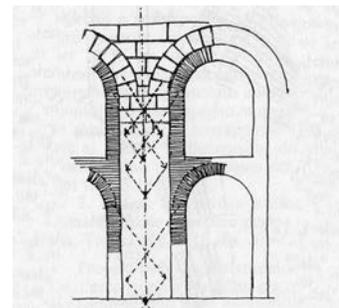
Un intervento particolarmente complesso si trova a Ostia nel Caseggiato degli Aurighi, dove nel cortile centrale, il portico originario fu diviso in due piani con volte a crociera e fodera su tre lati dei pilastri (Fig. 28).



Fig. 25 – Roma, Archi dell'Aqua Claudia abbattuti dal terremoto del 1899.

Figg. 26, 27 – Roma, *Anio Novus*, sottarchi di rinforzo tra piloni in opera quadrata.

Fig. 28 – Ostia, Caseggiato degli Aurighi: interventi di consolidamento (A fase originaria, B intervento post sismico, C estradosso delle crociere di II fase).



Archi e piattabande con conci a saetta

Per limitare i danni risultanti dall'allontanamento dei piedritti provocato da scosse parallele alla ghiera negli archi e nelle piattabande, si ricorse, in alcuni casi come nel palazzo di Diocleziano a Spalato (*Fig. 29*) o il mausoleo di Teodorico a Ravenna (*Fig. 30*), a cunei sagomati a baionetta attestati su quello in chiave formato a T. Questa forma fu evidentemente dettata dalla discesa irreversibile del normale concio in chiave a facce lisce che avviene per allontanamento dei piedritti (*Fig. 31*).

Questo sistema lo ritroviamo spesso in una zona molto sismica come l'Anatolia (*Figg. 32 - 36*). L'accorgimento, permette di eliminare o ridurre al minimo l'uso di grappe e perni metallici - applicato molto tempo prima in altre aree (per esempio, a Roma nelle piattabande del Colosseo o in quelle della fase severiana del Portico d'Otavia³⁶, cfr. *Fig. 38*; è diffusissimo negli archi).

Fig. 29 – Spalato, piattabanda dentata nel palazzo di Diocleziano (chiave rilavorata).

Fig. 30 – Ravenna, Mausoleo di Teodorico, piattabanda a conci dentati.

Fig. 31 – Siria, Halabye, chiave discesa per allontanamento dei piedritti.

Fig. 32 – Giordania, Qasr Hallabat, castello omayyade, circa VII secolo, conci a saetta di una piattabanda.



³⁶ Nel 203 d.C. il portico, e probabilmente anche i templi in esso racchiusi, vennero ricostruiti, forse con la stessa pianta, e nuovamente dedicati

da Settimio Severo e Caracalla, dopo le distruzioni dovute ad un incendio (forse quello del 191 d.C.).



Fig. 33 – Siria, Halabye, pretorio di età bizantina. L'efficacia dei blocchi a saetta in caso di allontanamento dei piedritti per urto sismico parallelo alla fronte.

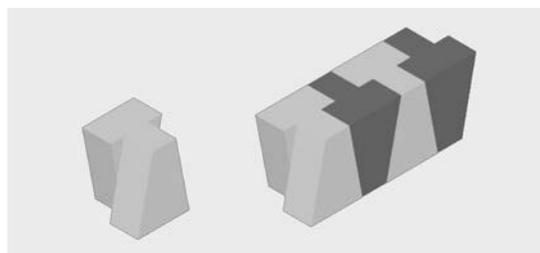
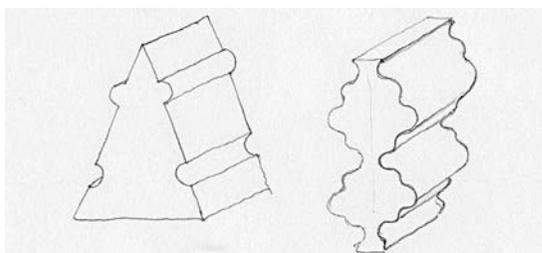


Fig. 34 – Siria, Fethiye Camii, piattabanda a saetta nell'architettura islamica.



Fig. 35 – Siria, Aleppo, cittadella, piattabanda a saetta nell'architettura islamica.

Fig. 36 – Conci di piattabande nell'architettura islamica.
Fig. 37 – Concio singolo e assemblaggio dei blocchi della piattabanda del Duomo di Prato.



La forma dei blocchi a saetta è funzionale a contrastare entro certi limiti (almeno per la distanza doppia della risega) l'effetto dell'allontanamento dei piedritti e della conseguente caduta dei cunei e ovviamente risulta molto più efficace se l'urto sismico ha direzione parallela alla fronte della piattabanda.

Il sistema, evidentemente efficace, passò dall'architettura classica a quella islamica e poi a quella occidentale (*Fig. 37*) con applicazioni sempre più complesse e utilizzate anche a fini decorativi fino a essere, in qualche caso, defunzionalizzati al solo scopo estetico

L'uso di perni e grappe per contrastare il taglio

Un diverso sistema per limitare i danni alle piattabande e agli archi in blocchi lapidei fu quello di legare tra loro i conci con perni e grappe: con il vantaggio, rispetto all'uso dei cunei a saetta, di ostacolare sia la traslazione verticale in caso di allontanamento dei piedritti, sia quella orizzontale in caso di scossa ortogonale alla parete (*Fig. 38*)³⁷.

Fig. 38 – Roma, Portico di Ottavia, fase severiana, piattabanda imperniata (perni ortogonali al piano del cuneo).



Come si è visto (p. 40), l'uso è alternativo, forse precedente e assai più dispendioso, della "dentatura" dei conci. Tuttavia questo sistema non si limita solo agli archi e alle piattabande, ma interessa spesso anche le strutture continue come le pareti.

La catasta e la struttura

Se una parete in opera quadrata, priva di fuori piombo e con giacitura orizzontale, presenta elementi collegati da perni e grappe dobbiamo pensare a un generico irrobustimento della struttura o non piuttosto a un intervento destinato a contrastare una sollecitazione precisa con l'intenzione di trasformare una "catasta" di blocchi in una struttura di elementi solidali?

Se le antiche costruzioni fossero state progettate per resistere esclusivamente alle sollecitazioni verticali e non anche a quelle di taglio; non dovrebbero aver avuto bisogno di simili accorgimenti. E' possibile, dunque, che gli architetti abbiano intuito, ol-

³⁷ A Roma sembra che i perni negli archi si comincino dopo l'età augustea.

tre la possibilità di tensioni per cedimenti differenziali o spinte diverse dalla verticale per condizioni particolari, un modo per tentare di opporsi all'evento sismico.

In realtà, come fa notare Antonino Giuffrè³⁸, si tratta della trasformazione di una "catasta" in organismo strutturato.

È dunque probabile che, soprattutto per gli edifici monumentali, la presenza di numerosi grappe e perni sia dovuta al tentativo di contrastare proprio l'urto sismico (almeno dopo l'età augustea)³⁹.

Facciamo l'esempio dell'arco a conci di pietra, una struttura che lavora prevalentemente a compressione nella quale solo errori possono introdurre una sollecitazione locale a trazione.

Questo comportamento era talmente noto agli antichi che nei maggiori monumenti, per esempio il Colosseo, ma anche il teatro di Marcello e molti ponti, i conci di travertino sono messi in modo da opporre sempre la faccia piana delle stratificazioni ortogonalmente all'andamento delle pressioni (*Fig. 39*) risultando così costantemente dirette verso il centro geometrico dell'arco.

Dato che l'arco, per costruzione, non consente alcun movimento ai blocchi se non a patto di traslazione o rotazione dei piedritti o di urto sismico (*Fig. 40*) quale poteva essere lo scopo del grande impiego di grappe e perni in alcune di queste strutture, soprattutto in quelle di grande impegno?⁴⁰

Nel caso della *Fig. 40* la traslazione e la frattura dei cunei sono dovute essenzialmente all'urto sismico di direzione ortogonale alla direttrice dell'arco. L'effetto è stato facilitato sia dalla mancanza d'incastri particolari tra i cunei, sia dall'assenza di grappe e perni.



Fig. 39 – Colosseo, ordine inferiore, notare la direzione verso il centro geometrico dell'arco dei piani sedimentari del travertino.

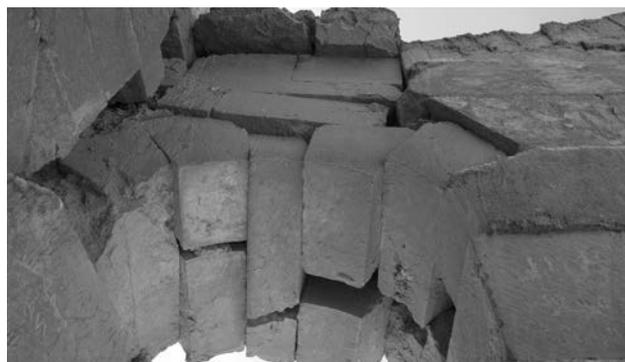


Fig. 40 – Siria, Halabye, pretorio di età bizantina, dislocazione dei blocchi per effetto del sisma.

³⁸ Cfr. nota 19.

³⁹ Cfr. p. 42.

⁴⁰ Ad esempio l'uso è sistematico nel Colosseo,

anche nelle piattabande dei sotterranei mentre sembra assente nel Teatro di Marcello e generalmente nel foro di Augusto negli horrea Agrippiana.

Il vincolo reciproco dei blocchi, finalizzato a evitare lo “scatastamento”, si trova applicato in epoche e zone differenti con diversi sistemi e materiali⁴¹. Si va dai bossoli cubici di legno con perno interno di legno forte (*polos ed empolion*; talora essi sono anche di bronzo) (Fig. 41) incastrati negli elementi litici con grande precisione, a quelli metallici resi solidali alla pietra attraverso colature di piombo (Figg. 42-45).

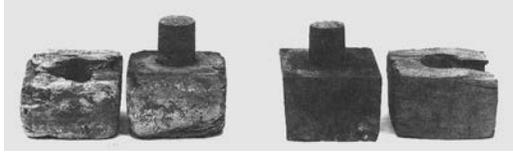


Fig. 41 – Venezia, Seminario Patriarcale.

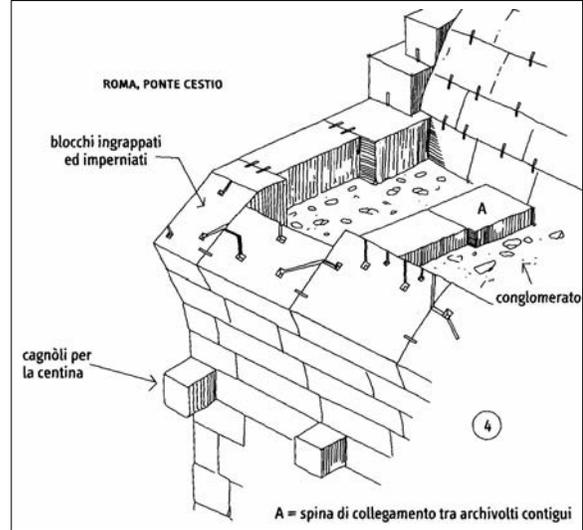


Fig. 42 – Roma, Ponte Cestio, il sistema di legame dei blocchi.

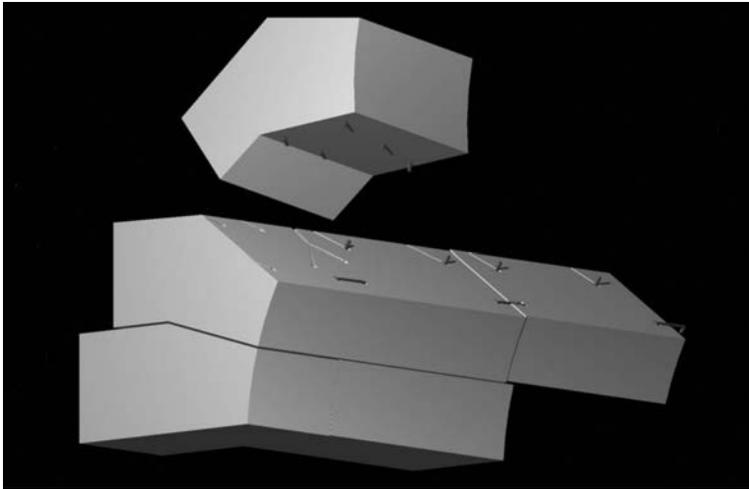


Fig. 43 – Modello dei conci di un arco con grappe e perni.

Fig. 44 – S. Maria Capua Vetere, Anfiteatro Campano, sotterranei della porta nord

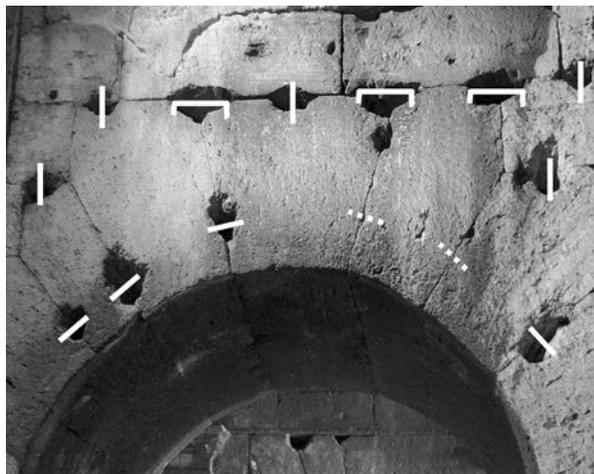


Fig. 45 – Roma, Colosseo, perni e grappe negli archi interni del secondo ordine. Si noti la stessa tecnica nella piattabanda di sfondo.

Quel che più importa, però, per l'efficacia del sistema, è il rapporto dimensionale tra massa litica e perno che, se troppo squilibrato, risulta certamente privo di efficacia in caso di ribaltamento ma forse di un qualche valore in caso di modeste traslazioni orizzontali. D'altra parte non si deve mai dimenticare in questo campo la differenza che esiste tra un tentativo di contrasto al terremoto e una soluzione efficace: siamo in un campo sperimentale ed è naturale che ci siano tanti esempi di tentativi inefficaci.

Connesso ai perni e alle grappe, è l'uso del piombo. Questo metallo fu molto adoperato nell'antichità per la riparazione dei danni da terremoto. Basterà citare due soli esempi: la risarcitura delle lesioni da distanziamento dei blocchi nella sostruzione di opera poligonale lesbia di Delfi (Fig. 46) e il rinalzo delle colonne in muratura della grande palestra di Pompei dopo il terremoto del 62 d.C. (Fig. 47)⁴².

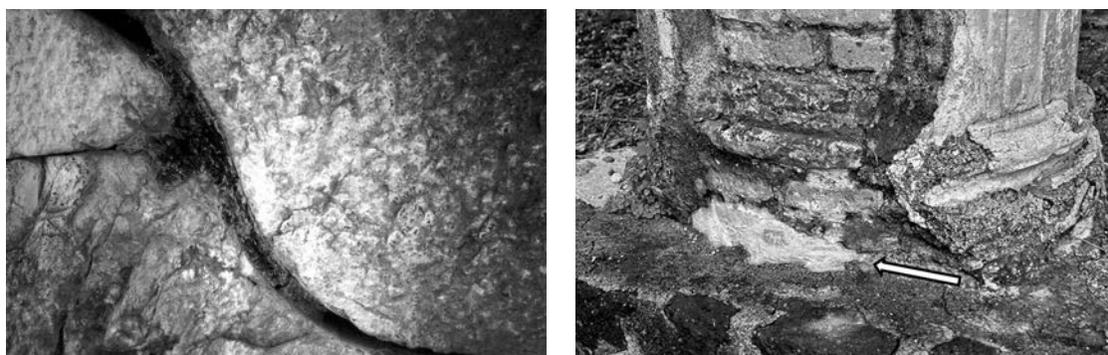


Fig. 46 – Delfi, sarcitura in piombo (con codolo anti slittamento) delle lesioni sismiche dell'opera poligonale nel santuario di Delfi.

Fig. 47 – Pompei, Grande Palestra, rinalzata di piombo alla base della colonna.

Nell'imperniatura dei blocchi o dei rocchi di colonna, normalmente l'estremità inferiore del perno è affogata in una quantità di piombo maggiore che non nell'estremità opposta.

E' probabile che questo sistema abbia avuto un ruolo nella presunta funzione antisismica e che, in qualche caso, sia stato adoperato come ammortizzatore tra elementi con caratteristiche meccaniche differenti come la pietra e il metallo di durezza e fragilità differenti⁴³ (Figg. 48-50).

Lo stesso uso non infrequente e, sembra, abbastanza tardo di inserire un foglio di piombo tra la base e il fusto delle colonne potrebbe avere lo stesso fine. Il fatto è normalmente interpretato come un espediente per far meglio aderire i due elementi senza la necessità di lavorarli con troppa accuratezza (o rilavorarli poiché spesso si tratta di materiale di recupero). Mi domando se non sia possibile, invece, che questa tecnica non abbia a che vedere, insieme con la cerchiatura bronzea dell'imoscapo delle colonne messa per contrastare le lesioni alla base, con la volontà di consentire ai due elementi di marmo un certo grado di movimento in occasione di scosse telluriche, ritardando la formazione del punto di cerniera sul bordo dell'imoscapo e il progredire del suo spostamento all'interno con il conseguente ribaltamento della colonna.

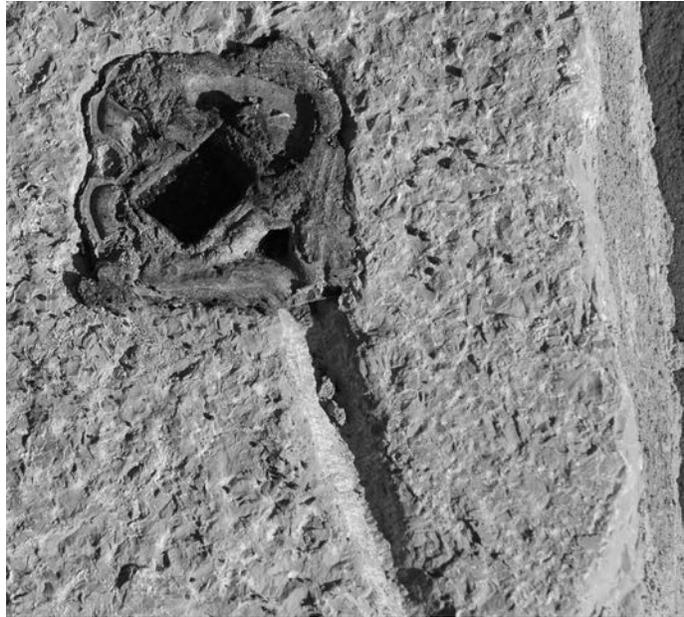
⁴¹ Sulla funzione antisismica dei perni e delle grappe cfr. STATHIS C. STIROS, Archaeological evidence of antiseismic constructions in antiquity, *Annali di Geofisica, Earthquakes in the past, multidisciplinary approaches*, XXXVIII, 5-6 1995, pp. 725-736.

⁴² A. MAIURI, *Le ultime fasi edilizie di Pompei*, Studi Romani 1940.

⁴³ La capacità di plastificazione del piombo è

adesso sfruttata anche nei moderni isolatori elastomerici, i dispositivi antisismici di appoggio costituiti da un'anima cilindrica in piombo e strati alterni di gomma e acciaio, fra loro vincolati mediante vulcanizzazione a caldo. Il nucleo in piombo, plasticizzandosi, consente all'isolatore di raggiungere uno smorzamento viscoso equivalente al 30% della sollecitazione.

Fig. 48 – Piombatura di perno sulla faccia d'attesa di un blocco.



Figg. 49, 50 – Teano, teatro, (scena di età severiana), perno di bronzo di una colonna. Si noti il perno inclinato. Il piombo ne ha assecondato lo spostamento senza fratturare il blocco.

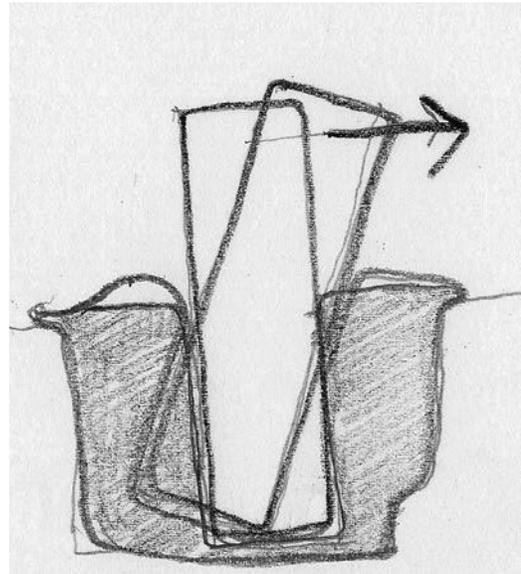
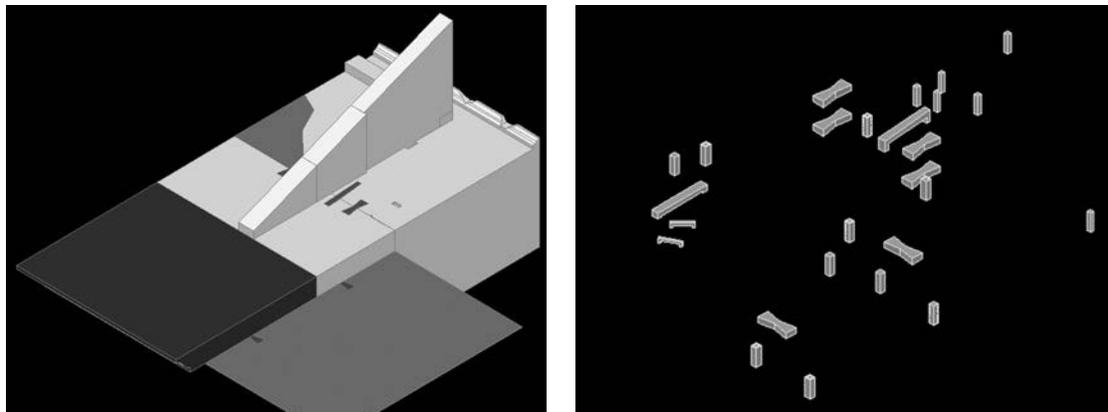


Fig. 51 – Foro Romano, rocchio di colonna con tracce di doppio intervento, I fase perno centrale, II fase tre perni periferici. Il secondo intervento è certamente più efficace perché si oppone a sollecitazioni multi direzionali.



Figg. 52, 53 – Roma, Foro di Cesare, frontone posteriore del T. di Venere Genitrice, particolare ed evidenziazione delle grappe e dei perni (C. M. Amici).

Catene ed elementi metallici

Un'altra categoria che può appartenere ai provvedimenti antisismici riguarda le catene metalliche inserite nelle volte di calcestruzzo.

Normalmente le catene in abbinamento agli archi sono poste alle reni della struttura in modo da contrastare le spinte attive dell'arco stesso. Una collocazione estradossale evidentemente sarebbe “un errore” tecnico e così spesso è stato giudicato.

Personalmente sono piuttosto restio a liquidare come “errori” quello che non capisco nelle strutture antiche, soprattutto quando le anomalie si riscontrano su organismi funzionanti da due millenni.

Mi chiedo pertanto se la collocazione estradossale delle catene non sia messa a vincolare la parte superiore delle volte contrastando l'accumulo di energia cinetica e limitando l'effetto del pendolo rovescio⁴⁴.

Di grande interesse e densa di problemi interpretativi è l'uso dell'armatura nelle piattabande, antesignana della moderna trave in conglomerato armato o forse, per meglio dire, della trave in muratura armata (Figg. 56 - 59). Questo tipo di piattabanda era usato sia in connessione con colonnati sia in abbinamento con la muratura (Ostia, terme dei Sette Sapienti, Villa Adriana) (Figg. 56, 57).

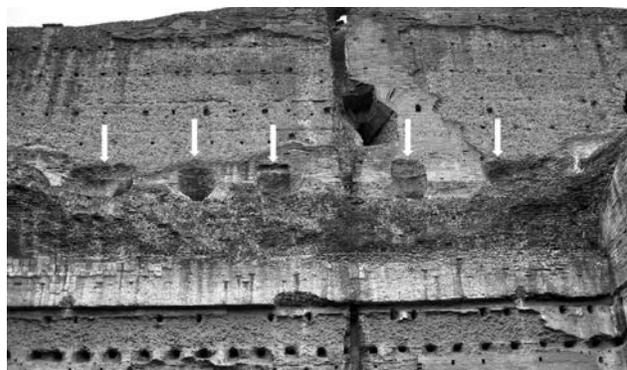
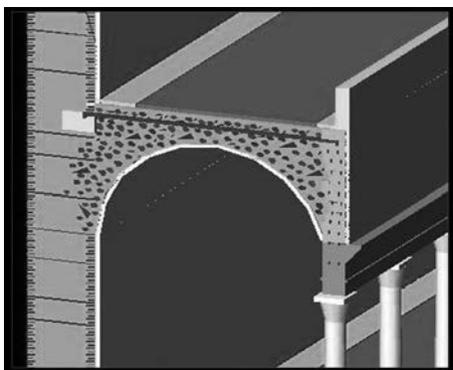


Fig. 54 – Roma, Terme di Caracalla, ricollocazione virtuale delle catene (C.M.Amici).

Fig. 55 – Roma Terme di Caracalla, tracce degli alloggiamenti dei blocchi d'ancoraggio delle catene metalliche. Si noti la quota degli alloggiamenti rispetto al profilo della volta.

⁴⁴ G. CANGI, *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, II ed. Roma 2012, pp. 304-312.

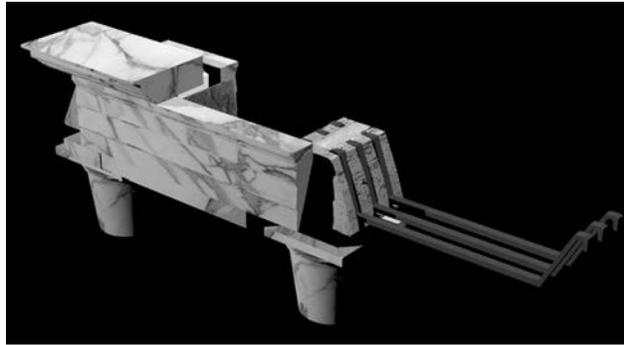
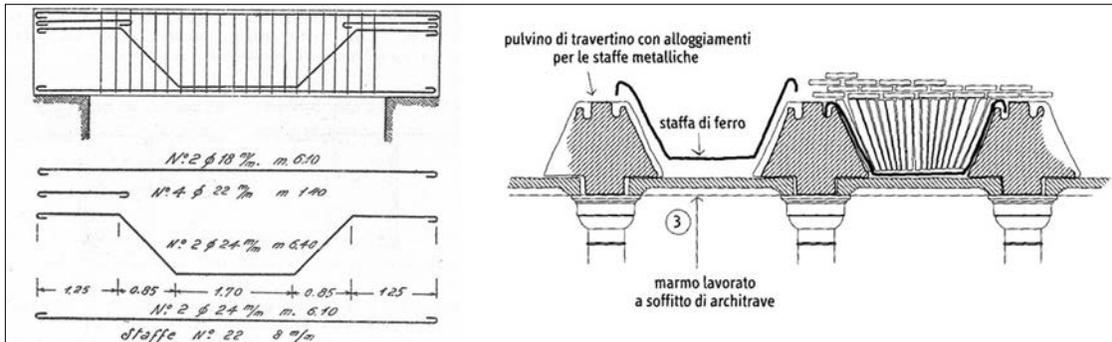


Fig. 56 – Ostia, T. dei Sette Sapienti.

Fig. 57 – Villa Adriana, Grandi Terme.

Fig. 58 – Esempio di piattabanda armata.

Fig. 59 – Schema dei ferri in un architrave in conglomerato armato e nella piattabanda armata antica.



Chiusure di colonnati

Un sistema molto diffuso per consolidare colonnati messi in pregiudizio dal terremoto è quello che si riscontra in alcuni peristili di Pompei (Fig. 60).

A questo proposito va notato un fatto di costume. Se in presenza di un peristilio pompeiano inizialmente aereo e in seguito collegato fino a una certa altezza da un muro è spontaneo considerare questo come un intervento post sismico, nel caso invece di un edificio di altra classe monumentale, per esempio il Tempio F della collina orientale di Selinunte, un intervento molto simile è letto o come elemento funzionale al culto, o magari come schermo protettivo messo in opera durante la costruzione del prossimo tempio E.⁴⁵ Questo senza neppure inserire il dubbio che possa trattarsi di

⁴⁵ C. ZOPPI, Note selinuntine, in *Selinunte 3*, ALII, Architettura Greca, Milano 2007, p. 835. Roma 1996, 137-206. Cfr anche E. LIPPOLIS et



Fig. 60 – Pompei, Villa dei Misteri, colonnato chiuso dopo il terremoto del 62.

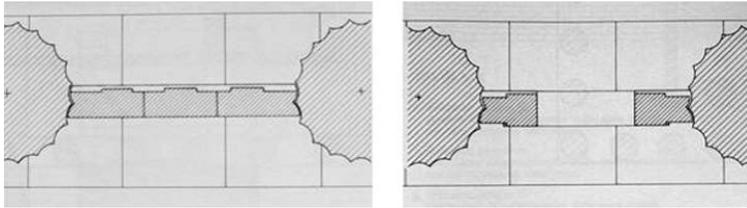


Fig. 61 – Selinunte, tempio F, parziale chiusura degli intercolumni con parete di seconda fase piena e finestrata.

un accorgimento analogo a quello descritto, a parte la raffinatezza dell'intervento, la sottigliezza del diaframma e la sua eccentricità rispetto alle colonne, elementi, questi, che pur ponendo notevoli difficoltà di lettura non escludono a priori una funzione come quella citata per Pompei.

Un esempio concreto d'interventi simili a Roma si ha nel pronao del Portico di Ottavia in cui, forse dopo il terremoto del 443⁴⁶ valutato del 7,5-8 gradi con epicentro in Roma, le due colonne di destra con i tre intercolumni furono sostituiti da un'arcata (Fig. 62) e nella fronte del Tempio di Venere Genitrice nel Foro di Cesare in cui le colonne furono incapsulate in una parete di laterizio forse nella stessa occasione.⁴⁷

Aula dei Mercati Traiane

Un tema diverso, ma di notevole interesse, è proposto dalla grande aula dei c.d. Mercati di Traiano. Qui la teoria di crociere rettangolari poggia su pilastri di travertino che verso l'interno divenivano mensole a sostegno degli archi di sesquipedali che scandivano le crociere (Fig. 64).

La simulazione delle deformazioni dell'organismo basata sul metodo degli elementi finiti (Fig. 65) ha dimostrato, come del resto era intuitivo, che la maggior sollecitazione, in caso di deformazione della struttura per urto sismico, ricade appunto sui

⁴⁶ Cfr. *Cataloghi dei Forti terremoti in Italia dal 461 a. C. al 1980*, Ist. Naz. Geofisica, Bologna 1995, pp. 171,172.

⁴⁷ C.M.AMICI, *Il Foro di Cesare*, Firenze 1991, pp. 145-167.

pilastrini di travertino che, tutti, sono costituiti da due blocchi sovrapposti, di cui il superiore si allungava all'interno del vano in una mensola (ora le mensole sono quasi tutte troncate). I blocchi, stando almeno all'assenza dei codoli delle colature di piombo, sembra che fossero privi dei perni verticali.



Fig. 62 – Fronte del pronao d'ingresso al Portico di Ottavia.

Fig. 63 – Roma, Foro di Cesare, Tempio di Venere Genitrice, chiusura del colonnato frontale. Sono visibili nel calcestruzzo i listelli di separazione delle scanalature (da C.M. Amici).



Fig. 64 – Ricostruzione 3D della grande aula dei c.d. Mercati di Traiano (da M. Bianchini).

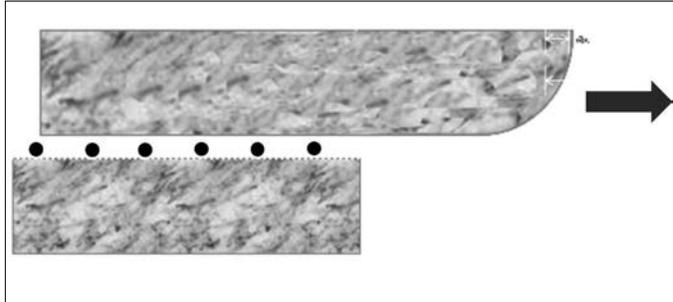
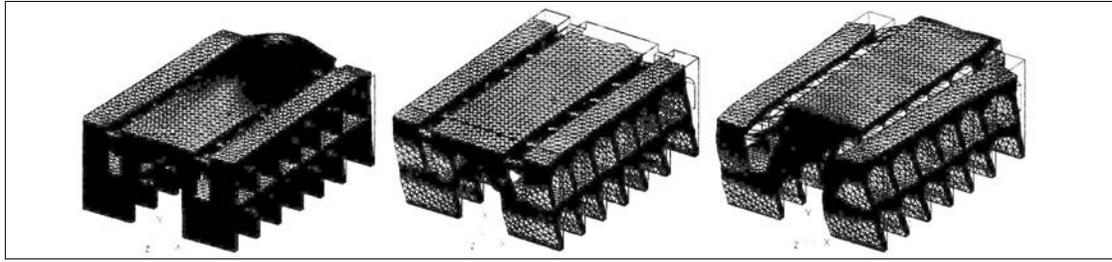


Fig. 65 – Simulazione delle deformazioni della copertura della grande aula sottoposta a sollecitazione ortogonale alla fronte (da Phil Brun). Naturalmente l'entità della deformazione è molto esaltata per renderla apprezzabile.

Fig. 66 – Meccanica dello slittamento verso l'interno del blocco superiore (da Phil Brun)

Nel caso di deformazione della volta, con la discesa della chiave e conseguente allontanamento dei piedritti (tenendo conto del fatto che il calcestruzzo è considerato elastico), i due blocchi sarebbero stati sottoposti a una sollecitazione che avrebbe provocato lo scivolamento verso l'interno del blocco superiore (Fig. 66)⁴⁸.

Questo movimento sarebbe stato facilitato proprio dal fatto che il maschio su cui grava il peso della volta, essendo formato da due blocchi sovrapposti, offriva un piano di scorrimento che assecondava la parziale rotazione della volta soprastante.

Risulta difficile immaginare che i costruttori non abbiano intuito questa possibilità fin dalla progettazione, anche se in linea di principio non possiamo escludere un errore. Tuttavia a questo errore, se di errore si trattò, si volle porre rimedio.

Ognuno di questi nuclei di travertino mostra l'applicazione su tre lati di grosse grappe a farfalla poste verticalmente a "cucire" i due blocchi, in modo da contrastarne lo scorrimento reciproco. Tuttavia, perché il sistema funzionasse, era evidentemente necessaria una cintura metallica che trattenesse al loro posto le grappe che altrimenti sarebbero state espunte alla minima sollecitazione (Figg. 67-69).

Quello della cronologia di quest'accorgimento è probabilmente un falso problema. Infatti se fosse stato applicato in una fase diversa da quella di costruzione ciò sarebbe avvenuto a seguito di spostamenti pericolosi, che nel nostro caso sono del tutto assenti⁴⁹.

Questo può voler dire solo che le grappe furono applicate in opera, immediatamente dopo la costruzione, quando i responsabili si resero conto che l'esistenza di un piano di scorrimento di questo genere avrebbe potuto creare problemi.

L'intervento, del tutto esterno e applicato a blocchi probabilmente non imperniati fra loro, rivela il suo carattere di "rimedio" non previsto in progetto.

La situazione, dunque, si presenta come la testimonianza dell'applicazione di una cautela costruttiva posta a ostacolare evidentemente una dinamica che avrebbe potuto esercitare una sollecitazione a trazione tra i due blocchi determinando uno slittamento reciproco⁵⁰.

⁴⁸ PHIL BRUN, *The Mechanics of Imperial Roman Concrete and the structural design of Vaulted Monuments*, Tesi di dottorato Univ. of Rochester, N.Y. 2010.

⁴⁹ Contra, vedi J. ADAM, *L'Arte di costruire presso i Romani*, Milano 1996, p. 60.

⁵⁰ C'è da rimarcare, tuttavia, che, nonostante la volta si sia lesionata anche fortemente nel tempo e che le grappe a farfalla siano scomparse da secoli, lo scorrimento orizzontale tra i due blocchi delle mensole previsto nell'analisi a elementi finiti non si è verificato.



Fig. 67 – Roma, c.d. Mercati di Traiano, pilastri di appoggio delle crociere della grande aula. Si notano gli incassi per le grappe a farfalla verticali.



Fig. 68 – Idem particolare.

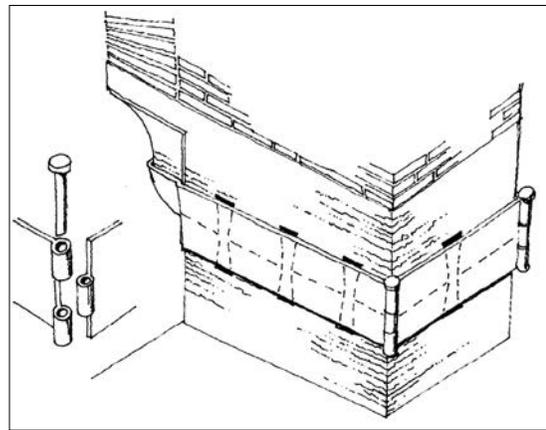


Fig. 69 – Proposta di ricostruzione del sistema per il fissaggio delle grappe attraverso una fascia metallica (bronzo) sagomata ad avvolgere anche la parte inferiore della mensola.

Fig. 70 – Costantinopoli, Santa Sofia, cerchiature in bronzo della base e dell'imoscapo di una colonna.

La stessa collocazione “erronea” o almeno poco funzionale degli archi di sbadacchio del matroneo, che sono collocati troppo in alto per accogliere le forze attive della copertura dell’aula, ben si prestano, per posizione, al confronto con le catene metalliche di estradosso, cioè a limitare l’accumulo di energia cinetica alla sommità delle volte nel caso di sisma ortogonale ai lati lunghi dell’aula.

Come si vede, anche basandosi su queste parziali notazioni, il problema dell’esame delle strutture antiche anche dal punto di vista dinamico, oltre che da quello statico, può condurre sia ad una revisione delle letture di alcune caratteristiche strutturali, sia ad una più corretta interpretazione delle testimonianze antiche, come, per esempio, nel caso dell’*Arcus Tiberii*.