

L'uso del ferro nelle strutture romane

Carla Maria Amici

La tendenza alla sperimentazione progettuale tipica dell'architettura romana viene esemplificata dall'utilizzazione di sistemi resistenti basati sul ricorso a tiranti metallici, spesso in connessione con un opus caementicium a composizione opportunamente calibrata. L'analisi dei singoli casi, documentabili in un ambito cronologico che va dal I sec. a.C. al III sec. d.C., sempre pertinenti ad architetture complesse ed a circuito chiuso, suggerisce l'intenzione di operare sulla resistenza globale dell'intero edificio piuttosto che di fornire soluzioni puntuali per un singolo problema spazialmente localizzato.

Premessa

Una delle caratteristiche fondamentali dell'architettura romana è la disponibilità e la tendenza alle innovazioni piuttosto che la ricerca del perfezionamento di metodologie già acquisite, secondo criteri resi possibili da una progettualità molto avanzata. Nell'*iter* evolutivo collegato alla realizzazione di sistemi spingenti in *opus caementicium*, un posto di rilievo è costituito dall'utilizzazione di catene in ferro nella confezione di piattabande, rettilinee o curve, o di volte semplici con generatrice rettilinea e di notevole lunghezza. La resistenza a trazione del metallo viene sfruttata per sottodimensionare i piedritti, generalmente colonne o pilastri, alleggerire il carico gravante sugli architravi liberi, limitare l'effetto di eventuali cedimenti differenziali e garantire stabilità a sistemi complessi ed articolati.

1 Documentazione archeologica

Si deve comunque tenere presente la difficoltà di effettivo ritrovamento delle catene, e quindi la possibilità di documentazione necessariamente parziale e lacunosa.

1.1 Tiranti metallici

Si presentano due esempi cronologicamente coevi:

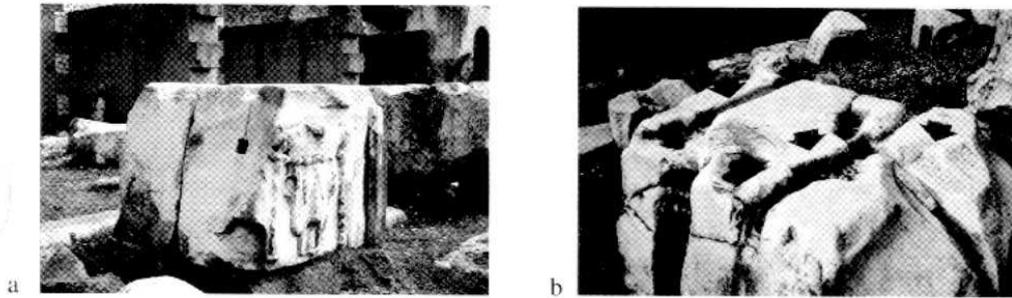


Fig. 1 Portico della Basilica Aemilia: a) fregio con decorazione a bucrani e ghirlande. Sulla parete laterale evidenti, in sezione, gli incassi per le catene longitudinali, e un foro per grappa con canaletto per l'impiantatura; b) superficie superiore del blocco del fregio. Le frecce indicano l'incasso a coda di rondine per la catena trasversale e gli incassi per le catene longitudinali. Sono inoltre visibili un condotto verticale per lo smaltimento dell'acqua, un foro da olivella, e uno degli incassi dei perni impiombati per il soprastante blocco di cornice.

- a) il primo è fornito dalle sbarre, probabilmente in ferro, che collegavano i blocchi del fregio del portico perimetrale della Basilica Aemilia¹ nella ricostruzione della fine del I sec. a.C., utilizzate come rinforzi longitudinali sopra la teoria di archi che costituiva la parete in affaccio sulla via Sacra, ed abbinata ad elementi analoghi, ma qui con specifica funzione di tiranti, disposti ortogonalmente lungo la direttrice delle volte di copertura. L'applicazione ha lasciato sui blocchi di marmo incassi evidenti, di sezione 5 x 5 cm circa, con aggancio a forma di artiglio per gli elementi disposti longitudinalmente, e a coda di rondine per quelli disposti trasversalmente (fig. 1); a testimoniare la preoccupazione destata dall'impiego di una tecnica presumibilmente ai primi tentativi. (Schema dimensionale: sviluppo del portico 95 m ca.; luce 7,80 m; diam. colonna 1,20 m; alt. alla cornice 12 m ca.; interasse 6,40 m);
- b) sempre dello stesso periodo è la costruzione delle volte a botte in opera cemen-

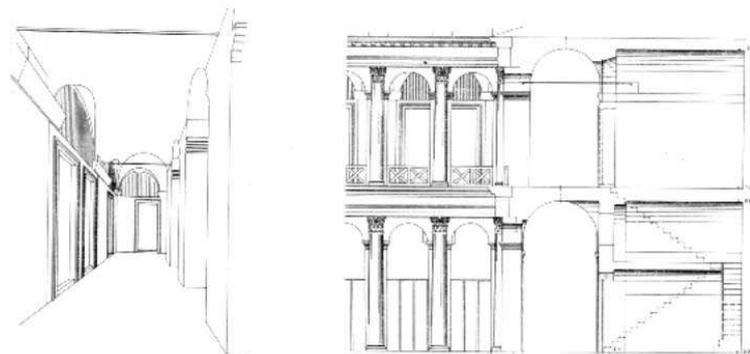


Fig. 2 Horrea Agrippiana. Schizzo prospettico e sezione prospettica ricostruttivi del piano superiore (da H. Bauer, op. cit., figg. 3, 4). Il portico, che garantiva la necessaria illuminazione ai magazzini retrostanti, perimetrava un cortile di 30 x 32 m.

tizia del portico superiore degli Horrea Agrippiana², la cui spinta viene efficacemente contrastata da catene metalliche inserite alle reni in blocchi di travertino, sulla verticale dei pilastri che scandiscono il fronte del portico e l'ingresso delle botteghe retrostanti (fig. 2). Inoltre, non a caso, risultano reciprocamente ingrappati ed impernati mediante gli abituali elementi in ferro impiombato, solo i blocchi montati in corrispondenza del segmento strutturale interessato dalla catena metallica. La tecnica costruttiva dell'edificio infatti non prevedeva, come invece frequentemente attestato altrove, il ricorso a perni o grappe, ma i singoli blocchi di tufo o di travertino dell'ossatura muraria sono semplicemente giustapposti o sovrapposti gli uni agli altri. Una soluzione di questo genere implica la piena comprensione del comportamento statico di una volta, con conseguente identificazione dei settori maggiormente sollecitati. Non va tra l'altro sottovalutato il miglioramento in termini di stabilità dei piedritti durante la gettata delle volte. (Schema dimensionale: sviluppo totale del portico 35 x 38 m ca.; luce 5,50 m; larg. pilastri 1,18 m + 0,25 semicolonna addossata; muro 0,60 m; alt. 12 m; interasse 5,50 m).

Sia nel caso della Basilica Aemilia che in quello degli Horrea Agrippiana, il risultato, sia formale che strutturale, è molto simile a quello riscontrabile in numerosi portici rinascimentali; considerando l'attenzione, non antiquaria, ma dinamica, rivolta dagli architetti tra il Quattrocento e il Seicento ai resti degli edifici romani, certamente più leggibili di oggi, sia per stato di conservazione che, soprattutto, per affinità culturale degli studiosi, non escluderei la possibilità di risultati dovuti a cosciente applicazione di dati tecnici correttamente analizzati ed applicati³.

1.2 Tiranti metallici in connessione con piattabande

Il passo successivo è costituito dall'utilizzazione dei tiranti metallici in connessione con piattabande in mattoni o in *opus caementicium* con cortina in mattoni, documentate dalla seconda metà del I sec. d.C. ma soprattutto in epoca adrianea, in particolare a Villa Adriana a Tivoli, per esempio nel Teatro Marittimo, nel portico della Sala dei Pilastri dorici, nello Stadio e nel cosiddetto Ninfeo, e costituite da elementi collegati da armature sagomate, che risalgono in corrispondenza dei piani di imposta mediante scanalature ricavate nei pulvini⁴ (fig. 3).

L'aggancio è sempre ad unghia sui blocchi, in questo caso pulvini, sull'asse dei piedritti (fig. 4a); e il tirante ha la doppia funzione di garantire la stabilità del sistema e di rendere superflua la centina per la costruzione della piattabanda vera e propria, successivamente rivestita di lastre di marmo con decorazione architettonica, che suggerisce la presenza di architravi (fig. 4b). Dal punto di vista formale, una soluzione di questo tipo è tra l'altro perfettamente coerente con una delle caratteristiche tipiche dell'architettura romana, basata sulla mancanza di identità tra struttura portante e apparato decorativo, solitamente svincolate tra loro.

1.3 Tiranti metallici in connessione con l'*opus caementicium*

Infine, sempre nel corso del II sec. d.C., non a caso documentati per la prima volta nella sofisticata Basilica Ulpia⁵, ma successivamente riscontrabili anche nelle pa-

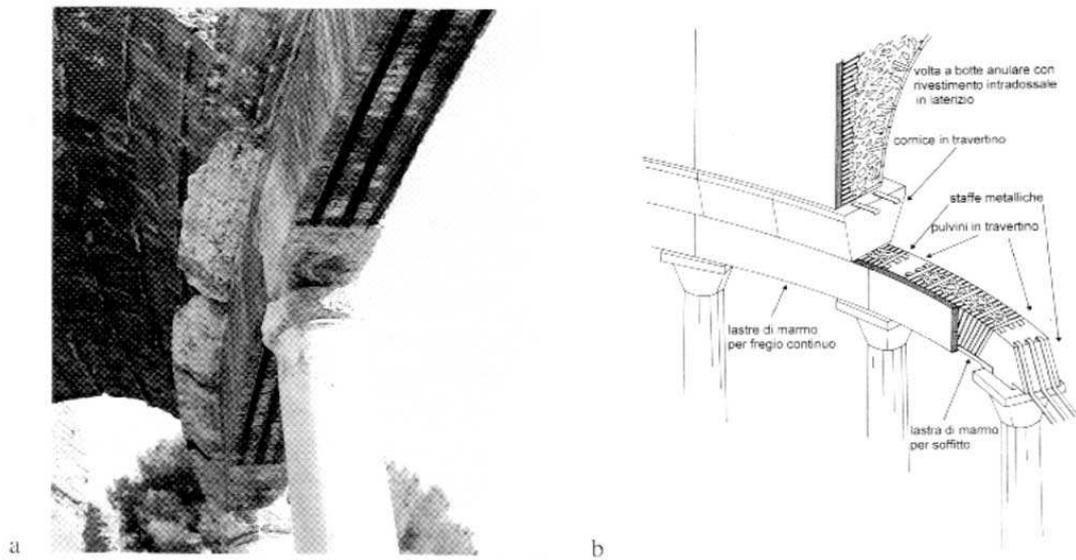


Fig. 3 Tivoli, Villa Adriana, Teatro Marittimo: a) piattabande armate nel restauro della metà del Novecento; b) schizzo esemplificativo della tecnica costruttiva.

lestre delle terme di Caracalla⁶ e di Diocleziano, i tiranti vengono affogati nella struttura in *opus caementicium* delle volte, costruite quindi in una sorta di vero e proprio calcestruzzo armato.

Nel caso della Basilica Ulpia, le cui navate laterali sono coperte da un doppio sistema di volte a botte, le catene hanno sezione di 3 x 3 cm circa (fig. 5), sono disposte almeno in coppia a distanza di circa 80 cm una dall'altra, con sezione operante complessiva di 18 cmq circa, in modo che le proiezioni degli ancoraggi (fig. 6) siano contenute nella sezione delle colonne di granito sottostanti. (Schema dimensionale Basilica Ulpia: sviluppo totale del doppio porticato 42 x 90 m ca.; luce 6,60 m; I ordine: diam. colonna 1,12 m; alt. alla cornice 12,50 m; interasse 5,20 m; II ordine: diam. colonna 0,95 m; alt. alla cornice 11,35 m).



Fig. 4 Tivoli, Villa Adriana, Sala dei Pilastrini Dorici: a) particolare di uno dei pulvini in travertino; b) l'ornato architettonico della trabeazione in lastre di marmo applicate, che mostra la presenza di architravi, fodera le piattabande mascherandone la reale articolazione costruttiva, basata su un sistema spingente che permette di utilizzare pilastrini di sostegno estremamente snelli.



Fig. 5 Roma, Basilica Ulpia. Blocco di cornice con incasso per catena metallica.

Nei portici perimetrali delle palestre delle Terme di Caracalla e delle Terme di Diocleziano (figg. 7, 8) i tiranti metallici sono invece inseriti nel conglomerato all'altezza del cervello della volta a botte di copertura, e condotti dal muro di fondo all'attico del colonnato antistante, in modo che l'ancoraggio di ogni catena insista sulla proiezione della sezione di una colonna. (Schema dimensionale palestra Terme di Caracalla: sviluppo totale del porticato 30 x 60 m ca.; luce 7,20 m; diam. colonna 0,80 m; alt. alla cornice 8,70 m; interasse 2,70 m).

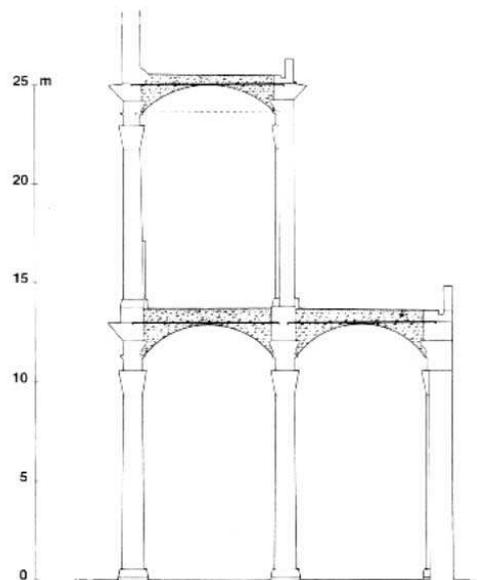


Fig. 6 Roma, Basilica Ulpia. Sezione ricostruttiva delle volte armate. Al secondo ordine, il ritrovamento di un blocco con catena inserita all'altezza del fregio permette di ipotizzare la presenza di catene nel punto più favorevole, bilanciando così la diminuzione del diametro delle colonne portanti al secondo ordine.

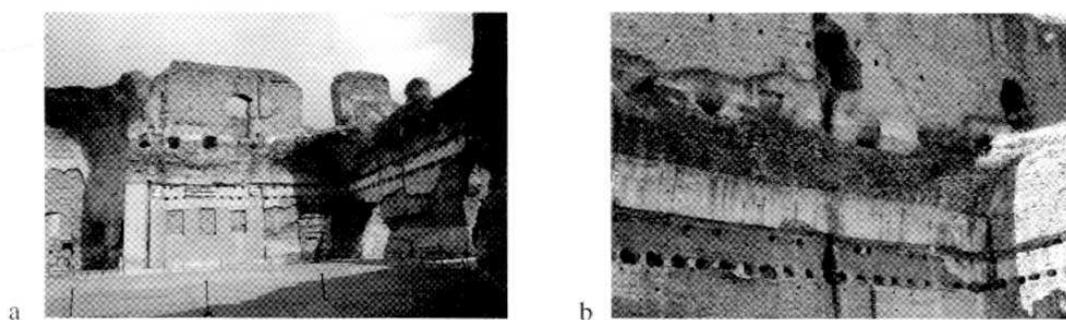


Fig. 7 Roma, Terme di Caracalla: a) palestra orientale; b) particolare degli scassi nel muro perimetrale, all'altezza dell'estradosso della volta, provocati dall'asporto dei blocchi di ancoraggio delle catene, disposte ciascuna sull'asse di ogni colonna del portico.

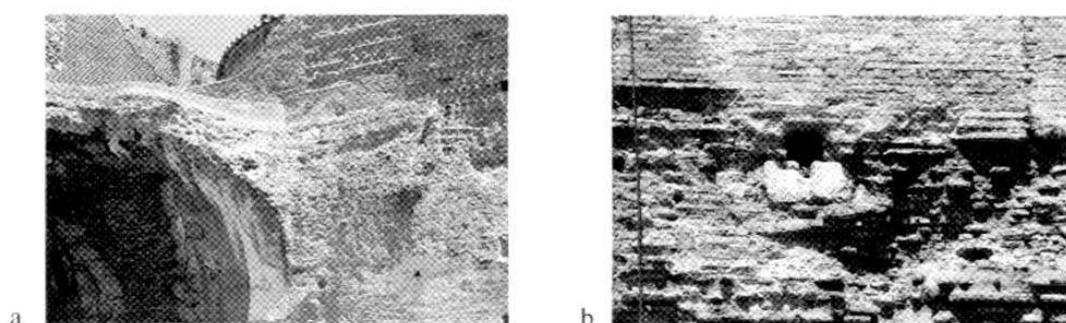


Fig. 8 Roma, Terme di Diocleziano, palestra orientale: a) blocco di ancoraggio di una catena, ancora inserito nel muro perimetrale, e resti della volta a botte in conglomerato di tufo e pomice; b) particolare.

2 Problemi tecnici di applicazione

In tutti questi edifici il problema nodale costituito dall'aggancio delle testate del tirante metallico alla struttura in opera cementizia viene risolto piegando ad uncino le estremità della catena ed inserendole in appositi alloggiamenti ricavati in blocchi di pietra, affogati nel conglomerato da un lato, e collegati ai ritti con perni e grappe dall'altro (fig. 8). Non mi sembra infatti proponibile l'applicazione di una catena a L rovescio, tra muro di fondo e colonnato, come proposto da J. De Laine per le palestre delle Terme di Caracalla; la lunghezza delle leve non avrebbe offerto la necessaria resistenza, con lavoro squilibrato nei due segmenti, rischi di tenuta nel punto di giunzione a gomito, e mancanza di collegamento orizzontale tra le varie sezioni che avrebbe vanificato l'efficacia dell'intero sistema (fig. 9).

Tra i numerosi frammenti architettonici pertinenti alla palestra orientale è presente un blocco di cornice d'attico del portico, con un incasso per catena metallica, e fori per perni che ne garantiscono l'appartenenza ad una struttura in blocchi saldamente connessi tra loro⁷ (fig. 10).

All'uso degli elementi metallici viene abbinata anche una confezione calibrata

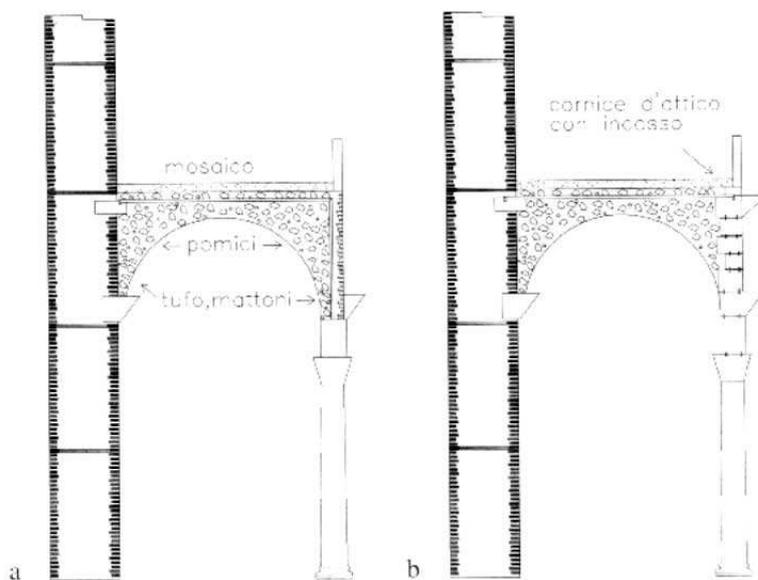


Fig. 9 Roma, Terme di Caracalla. Schema ricostruttivo dell'articolazione dei tiranti metallici: a) secondo J. De Laine (op.cit., 1985, p. 20, fig.12.2); b) secondo l'ipotesi qui proposta.

dell'opera cementizia, che prevede l'utilizzazione di inerti di peso specifico decrescente dalle reni al cervello della volta, dal calcare alla pomice o altre scorie vulcaniche, in un'ottica di alleggerimento progressivo dei carichi gravanti sugli architravi liberi e sul complessivo sistema portante⁸ (cfr. fig. 8a).

È da notare come sia nel caso delle piattabande armate che nel caso delle volte a botte in conglomerato armato, il ricorso ai tiranti avviene sempre nell'ambito di architetture a circuito chiuso, in cui quindi il miglioramento delle capacità resistenti

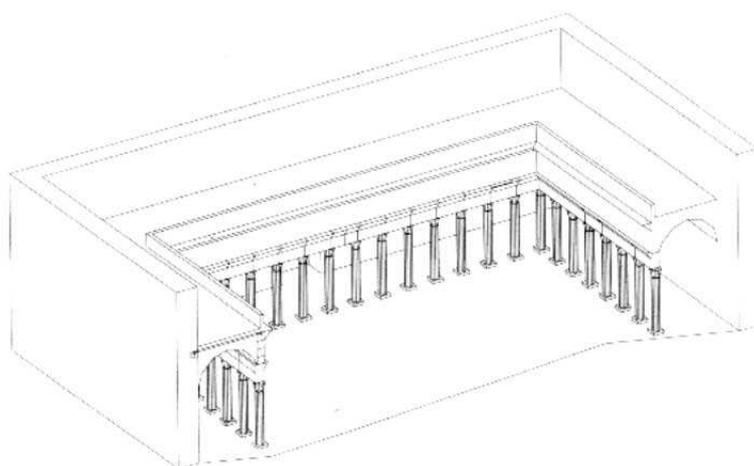


Fig. 10 Roma, Terme di Caracalla, Palestra, ipotesi ricostruttiva. È probabile però, a giudicare dal numero e dalle caratteristiche dei frammenti architettonici superstiti, che il portico prevedesse anche un secondo piano.

del singolo segmento si traduce in una ottimizzazione dell'intero organismo strutturale. Sembra evidente perciò che la progettazione architettonica dei vari complessi veniva elaborata in maniera globale, anche dal punto di vista più propriamente tecnico, in un'ottica secondo la quale ogni singola porzione strutturale veniva pensata come parte di un meccanismo complessivamente resistente. Di conseguenza dunque le specifiche soluzioni tecniche emergenti dall'analisi monumentale, solitamente punto d'arrivo di un lungo *iter* di ricerca applicata in cui l'esperienza pratica aveva probabilmente un ruolo nettamente prevalente rispetto all'elaborazione teorica, non vanno valutate solo in rapporto al settore in esame, quanto invece nel più ampio ambito dell'intera articolazione architettonica.

3 Precedenti

Precedenti per soluzioni basate sull'uso dei tiranti metallici e sul conglomerato armato sono forse da ricercare in una serie di tentativi, anche molto diversificati tra loro, documentabili in un ambito relativamente vasto dal punto di vista geografico e cronologico, ma notevolmente ristretto dal punto di vista dell'omogeneità culturale, tipicamente "romana", della tecnica edilizia utilizzata.

Solai pensili in piano ottenuti inglobando al conglomerato cementizio griglie di fasce metalliche incrociate, agganciate ai muri perimetrali, per fruire di un solido pavimento sospeso, sono documentati già dalla fine del I sec. a.C., per esempio nella Villa di Giulia a Ventotene⁹.

Elementi lignei, dapprima inseriti nelle murature come semplici strutture di rinforzo e collegamento sono stati successivamente utilizzati con più specifica funzione di tiranti; è progressivamente documentabile una sempre più ampia diffusione dell'uso del metallo, solitamente ferro ma a volte anche bronzo, adoperato per la



Fig. 11 Istanbul, Santa Sofia, matroneo, lato ovest. Tronconi dei tiranti lignei che collegavano i pilastri, sostituiti da quelli metallici. L'analisi al radiocarbonio del legname ha evidenziato una datazione al 470 ± 70 del materiale; almeno alcune delle catene in ferro sono invece riferibili al restauro strutturale eseguito nel 1847-49 da Gaspare Fossati per il sultano Abdul Medjid.

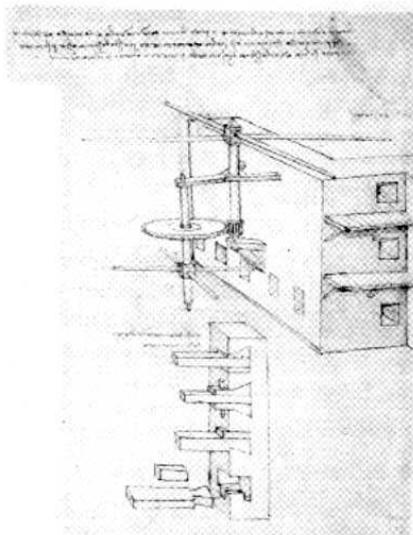


Fig. 12 Leonardo, studi di sistemi di aggancio per tiranti in legno e ferro, in rapporto ad apprestamenti difensivi (Cod. Atlantico, ff. 89r e 139r).

realizzazione di perni e grappe di collegamento riscontrabili nelle strutture a blocchi, o di staffe per la costruzione di soffitti o controcalotte appese¹⁰.

L'evoluzione rappresentata dal ricorso alla carpenteria metallica del resto non ha impedito che si continuassero ad utilizzare catene lignee, nell'ambito di un quadro cronologico e topografico estremamente vasto, dalle applicazioni nel matroneo di S.Sofia a Costantinopoli (fig. 11) a quelle della navata centrale della chiesa dei Frari a Venezia, o nella moschea di Kairouan in Tunisia; sempre comunque con notevoli difficoltà nella realizzazione di un efficace dispositivo di presa alla estremità delle aste, quindi nei punti di applicazione delle forze esterne. Non a caso nel codice Atlantico è conservata una serie di disegni di Leonardo (fig. 12), in cui la soluzione del problema viene affidata a meccanismi in legno e ferro desunti dallo studio dei sistemi di imperniaggio e di ingrappaggio, con particolare riferimento alle olivelle, largamente presenti nella tecnica edilizia romana.

Note

1 Per la Basilica Aemilia cfr. H.Bauer, *Kaiserfora und Janustempel*, *Roemische Mitteilungen*, 84 (1977), fig. 3.

2 Per gli Horrea Agrippiana cfr. H. Bauer, *Elementi architettonici degli Horrea Agrippiana, e Un tentativo di ricostruzione degli Horrea Agrippiana*, *Archeologia Classica*, XXX (1978), pp. 106-131 e 132-146.

3 Dal Rinascimento in poi del resto l'applicazione di catene metalliche nei sistemi voltati trova larga diffusione fino alla metà dell'Ottocento, nelle forme più semplici come in quelle più complesse, come nel portico del peristilio della Sainte Geneviève di J.B. Rondelet a Parigi; cfr. tra gli altri: G. Carbonara, *Restauro architettonico*, UTET, Torino 1997, pp.100-103, fig. 21. Perfet-

tamente chiari erano anche, e tali saranno stati anche in età romana, i vantaggi e gli svantaggi che l'inserzione nelle murature di elementi in ferro spesso non sufficientemente protetti poteva provocare, del resto in analogia con analoghi problemi nelle ben più recenti costruzioni in cemento armato; cfr. per esempio: F. Milizia, *Principi di Architettura Civile*, Roma 1781, III, XV.

4 Per le piattabande armate cfr. F. Olivier, *Sommiers de plates-bandes appareillées et armées à Conimbriga et à la Villa d'Hadrien à Tivoli*, Mélanges de l'Ecole Française de Rome, Série Antiquité, (1995), 2, pp. 937-59; con documentazione tra l'altro del ritrovamento di un frammento di una sbarra di ferro di cm 85x8,5x4,5; J. De Laine, *Structural experimentation: the lintel arch, corbel and tie in western Roman architecture*, *World Archaeology*, 21 (1990), 3, pp. 419-423; E. Scetti, *La tecnica costruttiva della piattabanda armata in Villa Adriana e nel mondo romano*, *Palladio*, 17 (1996), pp. 5-16.

5 Per la Basilica Ulpia cfr. C.M. Amici, *Basilica Ulpia e Biblioteche*, Studi e Materiali dei Monumenti del Comune di Roma, Roma 1982, pp. 28-35.

6 Per le Terme di Caracalla cfr. J. De Laine, *An engineering approach to Roman building techniques: the Bath of Caracalla in Rome*, *British Archaeological Reports*, (1985), pp. 195-205; Eadem, op. cit., *World Archaeology*, 21 (1990), 3, pp. 417-423.

7 Ringrazio la Dott.ssa Marina Piranomonte per avermi facilitato in ogni modo nei necessari controlli alle Terme di Caracalla; e la Dott.ssa Gunhild Jenewein che con estrema disponibilità mi ha consentito la visione dei frammenti architettonici pertinenti alle palestre, oggetto di un suo studio ancora in corso ma di prossima pubblicazione.

8 Per altri casi analoghi, di cui il Pantheon è forse l'esempio più significativo, in rapporto alla resistenza alla compressione dei conglomerati romani cfr. O. Lamprecht, *Opus caementicium: costruzioni in calcestruzzo romano*, L'Industria Italiana del Cemento, (1986), 7-8, pp. 590 ss.

9 In corso di pubblicazione; notizie preliminari in G.M. De Rossi, *Ventotene e S.Stefano*, Guidotti Editore, Roma 1993, pp. 38-40.

10 Cfr. Vitruvius V, 10,3; R. Mainstone, *Developments in structural forms*, Thames and Hudson, Cambridge 1975, pp. 51-88; G. Tampone, *Il restauro delle strutture in legno*, Hoepli, Milano 1996, pp. 53-57; per perni e grappe cfr. R. Ginouves, R. Martin, *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. I. Matériaux et techniques*, Coll. Ecole Française de Rome, Roma, 84, 1985. Per gli uncini muniti di staffa trasversale usati nella costruzione di controcalotte, cfr. Vitruvius II, 8,4; C.F. Giuliani, *Volte e cupole a doppia calotta in età adrianea*, *Roemische Mitteilungen*, 82 (1975), pp. 330-342; J. De Laine, op. cit. (1985), pp. 202-205.

L'Autore:

C.M. Amici, *Rilievo e analisi tecnica dei monumenti antichi*, Facoltà di Beni Culturali, Università di Lecce.

Summary

An active process of structural innovation is a distinctive feature of the Roman architecture. An important step in the development of the structure of vaulted concrete buildings is the insertion of metallic tie rods in flat arches or straight barrel vaults. The insertion may be aimed to resist an outward thrust, to reduce the load on free lintels, to control differential subsidence or to increase the general stability of complex articulated structures.

Early, probably experimental, examples are found in the portico of the Basilica Aemilia and in the upper arcades of the Horrea Agrippiana, both vaulted in the Augustan age, where deep cuts in travertine or marble blocks show evidence of tie rods that ran across the span of the archways (see figures 1 - 2).

A different use of metallic tie rods in connection with colonnades is found first in the Forum of Conimbriga (Portugal) then in Villa Adriana in Tivoli (figures 3 - 4). Each column carries a trapezoidal impost block in which grooves are cut in the sloping sides to lodge metal rods that linked each column to the next one, both ends of the ties being fixed with lead into the top of the blocks. The result was a metal armature that supported the brick faced concrete flat arches that linked the columns together.

A marble soffit slab that rested on the capitals and lateral marble slabs concealed completely the concrete structure of the flat arch and suggested the presence of an architrave; a decorative solution that is a perfect example of the disjunction between structure and decoration that is typical of Roman architecture.

A later application, found first in the Basilica Ulpia (2nd century A.D.) and then in the Palestrae of the Baths of Caracalla and Diocletian (3rd century A.D.) in Rome, is that of metal tie rods embedded in concrete passing through the shallow crown of barrel vaults; the ends of the tie rods were affixed into the stone blocks of the outer walls that were bonded to the same concrete, or into entablature blocks over each column. The metal rods were so concealed from view and the result was a sort of ferro-concrete (figures 5 - 10).

It is worth noting that metal ties in flat arches or barrel vaults were constantly used in closed architectural systems where the improvement of each single element resulted in an improvement of the whole, therefore they were used as a part of a global unitary project and not as technical devices aimed to the solution of local problems.

Precedents to such a use of metal reinforcement in concrete may be found in metal cramps, iron or bronze, used to join stone blocks, or in the suspension of tile vaults to a lattice of metal rods to realize a suspended floor. Such metal elements would also be used in conjunction with timber ties, for instance to increase stability against earthquakes; later, similar techniques would be largely employed in early and late medieval times.