

Ars o τεχνωμ: considerazioni critiche sulle tecniche di consolidamento tradizionali dell'architettura

Massimo Corradi

INTRODUZIONE

L'insegnamento che la Storia della Scienza e della Tecnica del costruire¹ ha direttamente o indirettamente dispensato nei secoli, e dispensa tutt'oggi attraverso il considerevole patrimonio architettonico tramandatoci, ha sempre più messo in evidenza la sua caratteristica di strumento indispensabile per operare scelte consapevoli negli interventi di consolidamento statico degli edifici storici.² Abbiamo già più volte sottolineato³ come l'attento esame degli sviluppi storici dei 'saperi' legati al mondo della costruzione ha sollevato questioni, indicato soluzioni e dato luogo ad un intenso e vivace dibattito tra gli addetti ai lavori sui metodi e sugli strumenti necessari per operare con adeguata coscienza negli interventi di consolidamento. È oramai opinione diffusa fra gli studiosi delle discipline scientifico-tecniche che, per orientare le scelte progettuali e quelle tecniche negli interventi di restauro statico, sia opportuno prendere in considerazione il considerevole patrimonio di conoscenze e saperi costruttivi propri dell'*art du bâtir*. La riscoperta degli antichi magisteri, fondati sovente più sull'esperienza e sulla sperimentazione diretta del costruire che sulla conoscenza scientifica e tecnica di particolari metodi di analisi e strumenti di calcolo, diventa dunque indispensabile quando ci troviamo di fronte a quel complesso e variegato insieme d'interventi che riguardano il restauro del patrimonio architettonico e monumentale.

In questo senso, scopo della presente nota è proporre all'attenzione degli addetti ai lavori un breve

compendio delle tecniche di consolidamento statico tradizionali. L'intento è quello presentare metodologie d'intervento compatibili con la costruzione e con l'obiettivo di recuperare quella continuità storica che è andata lentamente perdendosi, soprattutto in questi ultimi anni, a causa degli indirizzi intrapresi dalla ricerca scientifica sempre più orientati agli sviluppi di tecniche innovative, spesso, tuttavia, estranee ai caratteri costruttivi e tipologici dell'architettura stessa. Il carattere politecnico del progetto di consolidamento diventa allora attuabile se si può assegnare alla struttura il giusto ruolo che le compete nella costruzione, superando così la dicotomia tra cultura tecnica e cultura umanistica, tra «Ars» e «τεχνη», in modo tale che l'intervento di consolidamento non debba essere visto solo come strumento di conservazione dell'immagine e della materia, ma anche come momento di attribuzione di dignità materiale e statica alla struttura originaria.

La conoscenza e la riscoperta delle tecniche costruttive impiegate fino agli anni trenta del XX secolo —fino a quando, l'impiego massiccio del cemento armato e dei materiali metallici ha, di fatto, interrotto una prassi consolidata da molti secoli— ha messo in evidenza una profonda cesura tra costruzione e saperi costruttivi. Di conseguenza è venuto sempre più prepotentemente alla ribalta, in tutta la sua invadente presenza, il lato meccanicistico delle procedure di analisi, di calcolo e d'impiego dei nuovi materiali (soprattutto l'acciaio e il c.a.) e delle nuove strutture negli interventi di consolidamento, accentuando sem-

pre più quella dicotomia della quale abbiamo fatto cenno. Ciò ha prodotto un impoverimento delle conoscenze costruttive producendo, di fatto, innumerevoli danni al nostro patrimonio edilizio, danni che, in generale, non sono sempre rimediabili. Il patrimonio di conoscenze statiche e tecnologiche che era tramandato dai maestri fabbricieri, dalla trattatistica architettonica e dalla manualistica tecnica, fino ai primi anni del secolo scorso, è in parte andato perduto e in parte sta andando scomparendo soffocato dalle istanze del «nuovo»: nuovi materiali, nuove tecnologie, nuove tecniche costruttive. Il principio teorico che propugna l'uso di tecniche costruttive e di consolidamento del passato proprio negli interventi di conservazione, che più di altri richiedono un'attenta ricucitura del nuovo con l'antico, dell'attuale con il passato, non è quasi mai stato preso in considerazione. Per questo motivo abbiamo reputato opportuno riproporre, in questa sede, una panoramica su alcune tecniche di consolidamento statico del passato che, se ad un primo sommario esame possono sembrare obsolete e superate, dimostrano invece coerenza e continuità costruttiva, consapevolezza statica e meccanica, capacità tecnica e tecnologica.

I DISSESTI NELLE COSTRUZIONI IN MURATURA E I SISTEMI DI CONSOLIDAMENTO TRADIZIONALI.

Le cause che provocano situazioni di dissesto statico nelle costruzioni in muratura, sono riconducibili ad un insieme di cause perturbatrici di vario genere, e si evidenziano attraverso la formazione di lesioni sotto forma di fratture e deformazioni. Mentre è possibile per ogni lesione risalire al dissesto che la caratterizza, non è possibile per ogni dissesto individuare una sola causa che lo ha prodotto, perché spesso molte sono le cause che concorrono a turbare l'equilibrio statico della struttura. Per ciò che concerne i dissesti, possiamo classificarli più generalmente in cedimenti delle fondazioni e cedimenti delle strutture in elevazione; all'interno di queste due categorie sono compresi tutte le tipologie di dissesti che interessano le costruzioni. Le cause di dissesto, come detto, sono svariate, anche se possono farsi rientrare in due grandi categorie: a) eccesso di azioni esterne; b) difetto di risorse della costruzione. Alla prima categoria appartengono le sollecitazioni provocate da eventi come terremoti, frane, crolli, alluvioni, esplosioni, altera-

zioni dell'ambiente circostante, variazioni termiche, instabilità del suolo, uso anomalo dell'edificio ecc.; alla seconda, errori di progetto o d'esecuzione, modifiche architettoniche e strutturali, mancanza di manutenzione, degrado dei materiali e delle strutture, invecchiamento, peggioramento delle proprietà fisico-meccaniche del terreno di fondazione e così via. Analizzando la cospicua letteratura storica in materia, la maggior parte delle cause citate è riconducibile al secondo gruppo: esse sono, in genere, prodotte da imprudenti azioni dell'uomo sia nella fase di progetto sia durante la vita dell'opera come gli scavi eseguiti sotto le murature, i tagli per l'apertura di varchi o finestre, le variazioni apportate alle strutture, le sopraelevazioni, la variazione dei sovraccarichi, le fondamenta mal eseguite o realizzate con materiali scadenti, le concatenazioni sbagliate dei muri e una non idonea applicazione dei carichi e dei sovraccarichi, la cattiva qualità delle malte e dei materiali in genere, i muri che non gravano tutti perpendicolarmente e che non premono tutti agli stessi modi sulle fondamenta, l'eccessiva sottigliezza delle murature, la scarsa capacità delle opere murarie a sopportare i carichi, la scarsa qualità e la cattiva esecuzione delle murature stesse, le fondazioni non uniformemente caricate, le sezioni non omogenee, le eccentricità di carico, i terreni di fondazione poco resistenti, il mancato consolidamento dei piani di

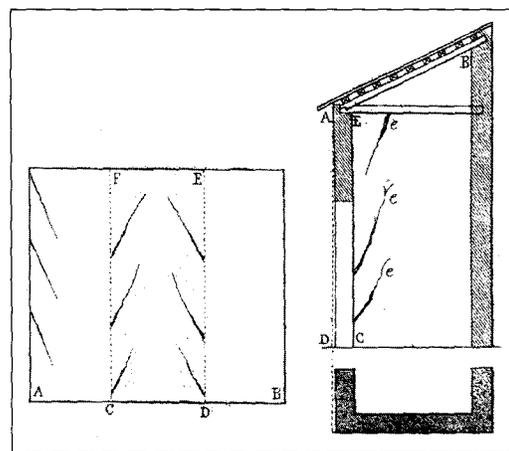


Figura 1
Lesioni indotte sulle pareti interne causate dal cedimento intermedio lungo il tratto CD (De Cesare, 1855, figg. 147-148, tav. IX).

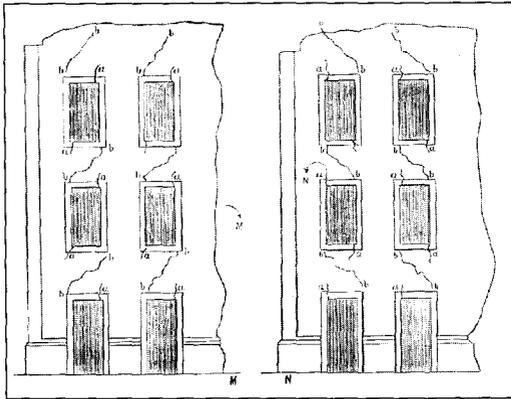


Figura 2
Lesioni sopra le aperture e nei parapetti orientate diversamente secondo il tipo di cedimento (Russo, 1947, figg. 24-25, p. 64).

posa delle fondazioni stesse, la spinta di archi e volte male contrastata, le azioni dovute ai terrapieni, la vestustà, la scarsa manutenzione, i fenomeni d'assestamento nel tempo.

I sistemi di consolidamento dei quali ci proponiamo di offrire un breve compendio, riguardano cinque grandi categorie di opere: le sottofondazioni, l'inserimento di tiranti o catene, la messa in opera di speroni

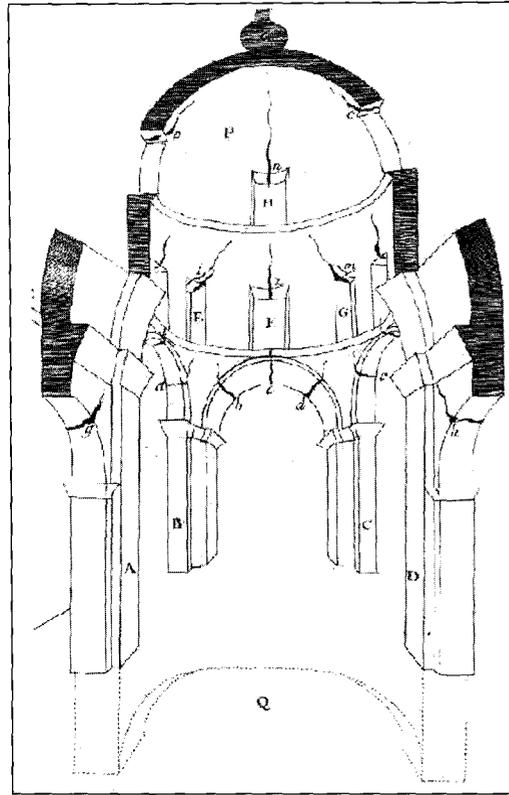


Figura 4
Lesioni in una struttura voltata (Lamberti, 1781, fig. 81, tav. VIII).

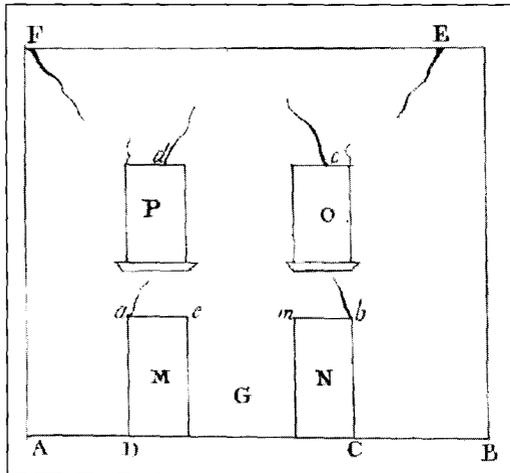


Figura 3
Lesioni sopra le aperture e nei parapetti (Lamberti, 1781, fig. 79, tav. VII).

e contrafforti, il raddrizzamento di muri strapiombanti, le riparazioni locali per mezzo, ad esempio, del cosiddetto «cuci e scuci», ed altri interventi di tipo più specifico.

1. Sottofondazioni. Gli interventi più comuni di sottofondazione hanno sempre previsto, in funzione soprattutto della capacità portante del terreno e della tipologia della fondazione originaria, la costruzione di sottomurazioni che portano ad un ampliamento della base fondale, la costruzione di un sistema ad archi e pilastri nel caso in cui il terreno ha buone caratteristiche di resistenza a grande profondità o, in alternativa, l'uso di pali (L.B. Alberti,⁴ G. Masi).⁵

La realizzazione di sottomurazioni, o del «sancire in terra e cucire in fabbrica»,⁶ prevede la creazione di

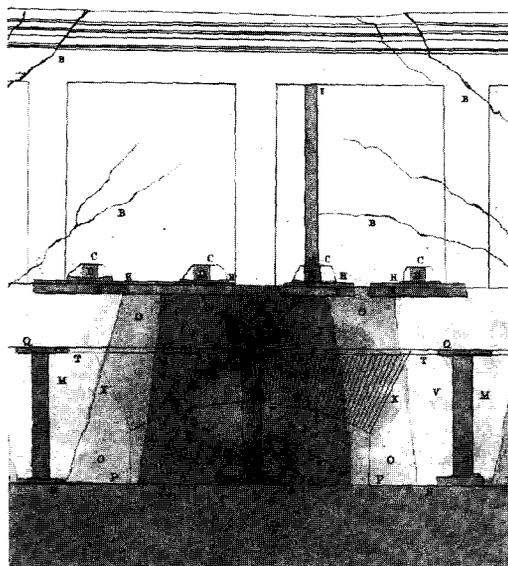


Figura 5
Particolare di una struttura da sottomurare soggetta a lesioni causate da cedimento di fondazione (Valadier, 1833, tav. CCLXVIII).

una nuova fondazione sotto l'esistente, eseguita in muratura con l'eventuale introduzione di archi di scarico, come peraltro proposto da G. Valadier.⁷

Una scelta opportuna ed un uso attento dei materiali da costruzione sono la «ricetta» per la realizzazione di una buona sottomurazione; a questo proposito, Masi suggerisce di realizzare il muro di sottofondazione con pietra buona e non a sacco, Valadier consiglia invece l'utilizzo del mattone pieno. Una prassi consolidata è anche quella di inserire un puntello sotto la vecchia fondazione a sostegno della muratura sovrastante. Tale puntello deve essere successivamente murato nella nuova fondazione (figg. 7 e 8), prendendo così il nome di *uomo morto*.⁹

Le sottofondazioni su archi e pilastri ricalcano invece le operazioni di sottomurazione per la realizzazione dei piedritti, sia per quanto riguarda il modo d'esecuzione, sia per quello che concerne l'esecuzione dei lavori per cantieri distinti e non adiacenti, e di dimensione contenuta. Una volta raggiunto il livello delle imposte si costruiscono gli archi di fondazione, contemporaneamente da entrambi i lati della stessa e per piccoli tratti. Infine, a fondazione ultimata, si eseguono i lavori di «rinzeppatura» prima e «incassa-

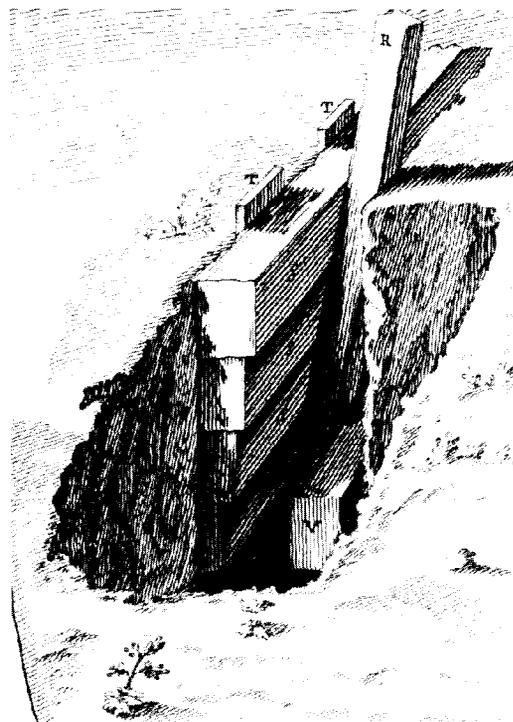


Figura 6
Sistema di consolidamento secondo Zabaglia:⁸ R è il *passone* o *steccone* detto anche *uomo morto*, S indica le *mozzature* che fortificano il passone, T indica le *tavole* poste tra le *mozzature* e il terreno, V è la *mozzatura* messa in opera sotto il passone affinché il terreno non ceda (Zabaglia, 1824, tav. VI).

tura a vivo» quando l'arco si è consolidato. In merito alle norme di dimensionamento statico di tali sottofondazioni, Folinea¹⁰ e Russo¹¹ stabiliscono che la sezione dei pilastri deve essere almeno pari a 1/8 di quella del muro. È interessante notare come nella manualistica tecnica della prima metà del secolo scorso si parli delle sottofondazioni come di opere che si realizzano «di sovente», a testimonianza di un'attività all'epoca ancora perpetuata e strettamente legata alla manutenzione degli edifici.¹²

2. Impiego di tiranti e catene. Numerosi Autori di trattati e manuali tecnici hanno sempre considerato l'utilizzo di tiranti o catene di ferro uno tra i sistemi

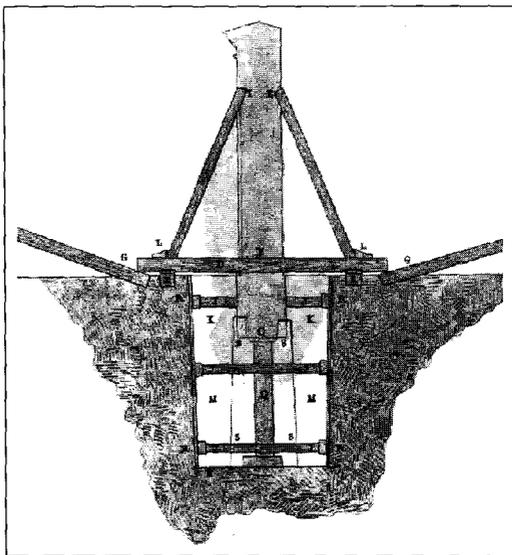


Figura 7
Sottofondazione con l'uomo morto (Valadier, 1833, tav. CCLXIX).

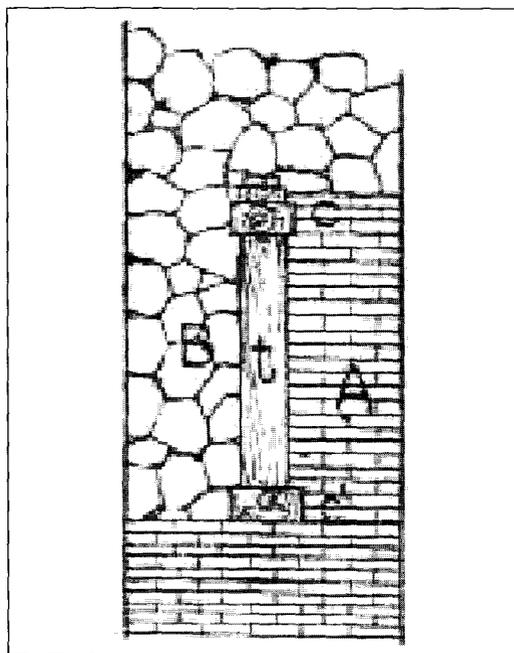


Figura 8
Uomo morto «t» (Russo, 1947, fig. 235, p. 359).

di consolidamento più comuni per gli edifici dissestati. A fronte di questa opinione, diffusa e «consolidata» nella pratica costruttiva e di cantiere, si è potuto osservare lo svolgersi d'interessanti dibattiti e *querelles* sull'impiego di tiranti e catene, sulla loro effettiva funzione statica e di consolidamento, sulla necessità di utilizzarli anche nelle nuove costruzioni e sul modo di messa in opera al fine di un loro corretto funzionamento. Nondimeno, il dibattito sull'opportunità o meno che questi elementi siano lasciati in vista è stato articolato e vario nel corso degli anni.

Tra le voci più autorevoli spiccano quelle dell'Alberti e del Serlio¹³ che consigliano l'inserimento delle catene nelle costruzioni voltate particolarmente spingenti; il primo auspica il loro impiego soprattutto negli archi ribassati, mentre il secondo nelle volte a crociera. Decisamente contrario al loro uso in qualsiasi tipo di nuova costruzione è invece Vignola, il quale, in una lettera indirizzata a Martino Bossi, scrive: «ne accetto per buono il mettervi le chiavi di ferro; perciò che le fabbriche ben intese vogliono reggersi per se, e non stare attaccate colle stringhe, e massime dove si ha libera elezione di potersi applicare al meglio».¹⁴

Meno chiara è la posizione dello Scamozzi: egli sostiene sia le ragioni dei detrattori dell'uso delle catene e dei legamenti in genere, sia i discepoli dell'impiego di questo nuovo elemento strutturale.¹⁵ La sincerità statica è l'elemento fondamentale per A. Capra; egli rimprovera l'uso di «reggie di ferro» soprattutto quando sono mascherate con la calce. La sua posizione nei confronti dell'uso delle catene è molto chiara: mentre accetta il loro uso nel consolidamento degli edifici antichi ribadisce che «giammai l'afferrerò ne gli edifici nuovi».¹⁶ Nuovamente favorevoli all'impiego dei tiranti nelle opere di consolidamento statico sono F. Milizia, che riferendosi al Vignola ne contesta l'uso nelle nuove fabbriche, e Cavalieri di San Bertolo.¹⁷ Ad animare il dibattito, che in ogni caso vede l'accordo di numerosi autori nell'attribuire alle catene la funzione d'adeguato sistema di consolidamento statico per l'eliminazione delle componenti orizzontali delle spinte, interviene ancora G. Masi che ribadisce il suo parere negativo sull'impiego dei tiranti di ferro.¹⁸ La posizione di Masi, in realtà, non contribuisce a distogliere l'attenzione dei costruttori dall'impiego delle catene negli edifici lesionati, nonostante egli metta in evidenza gli

eventuali danni prodotti dall'inserimento di questi elementi strutturali in epoca successiva alla costruzione del fabbricato. In effetti, le sollecitazioni prodotte localmente per effetto dell'inserimento della catena sono d'entità modesta e non contribuiscono ad alterare la stabilità generale del fabbricato.

Valadier e Rondelet¹⁹ contribuiranno notevolmente, con le loro opere a stampa, alla diffusione della conoscenza e dell'uso di questi elementi nelle opere di consolidamento. Addirittura Rondelet ne consiglierà l'impiego anche nella costruzione dei nuovi edifici.²⁰

A riproporre il dibattito, alla fine del XIX secolo, è Giovanni Curioni. Egli sostiene la necessità dell'uso delle catene nelle nuove costruzioni, oltreché negli interventi di consolidamento, poiché «nelle moderne costruzioni civili non sono più ammissibili quelle enormi grossezze di muri che generalmente si vedono negli antichi edifizi, e che le forme sottili e svelte hanno preso il posto di quelle massicce e pesanti».²¹ La posizione di Curioni è sostanzialmente differente da quella di Rondelet. Mentre quest'ultimo ricorre ai legamenti di ferro come assicurazione contro eventuali fenomeni d'instabilità, Curioni ipotizza l'uso di sistemi strutturali in cui i differenti materiali, e dunque anche le catene, collaborano in misura diversa alla stabilità complessiva della costruzione, riguardo alla loro capacità di resistenza.

La «leggerezza» ricercata da Curioni nel progetto e nella costruzione delle strutture portanti di un edificio è tuttavia condannata da Cantalupi il quale sostiene che «nelle moderne costruzioni non è più lecito agli architetti di proporre simili [elementi strutturali i quali] dinotano eziandio una soverchia leggerezza nell'edificio e poca solidità apparente».²² Molto vicino alla posizione di Rondelet, in merito all'utilizzo delle catene quali elementi aggiuntivi ai fini della sicurezza strutturale della costruzione, è invece il Lenti; quest'ultimo sostiene che per essere certi che i piedritti restino sempre a distanza costante è necessario assoggettarli all'azione di opportuni tiranti di ferro.²³

Molte di queste dissertazioni a favore o contro l'utilizzo dei tiranti negli edifici di nuova costruzione o in quelli dissestati, sono motivate dalla volontà di non alterare l'estetica degli edifici con la vista di elementi strutturali che potrebbero risultare impropri o comunque non gradevoli dal punto di vista architettonico. Ciò ha condotto numerosi Autori a proporre

diverse soluzioni per il loro oscuramento. La maggior parte dei sistemi utilizzati per nascondere le catene prevede la loro collocazione al di sopra dell'intradosso della volta collegandole a tiranti secondari di ancoraggio (figg. 9 e 10).

Alcune varianti, rispetto a quelle illustrate in figura, sono proposte da Cantalupi e Folinea. Si tratta di un sistema di catene a croce di S. Andrea sopra l'estradosso della volta (Cantalupi) e da un complesso di centine di ferro aderenti all'intradosso della volta e assicurate da un sistema di tiranti dentro la muratura (Folinea). Lo stesso sistema d'incatenamento proposto da Folinea è menzionato da C. Russo²⁴ il quale ne attribuisce a suo padre la paternità, asserendo che egli lo utilizzò *in primis* a Napoli alcuni anni prima che fosse menzionato nel libro di Folinea.

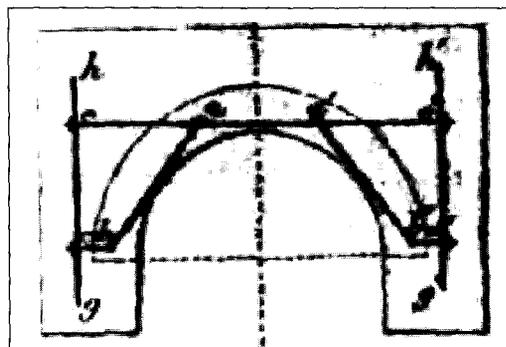


Figura 9
Catene intente (Curioni, 1868, fig. 28, tav. II).

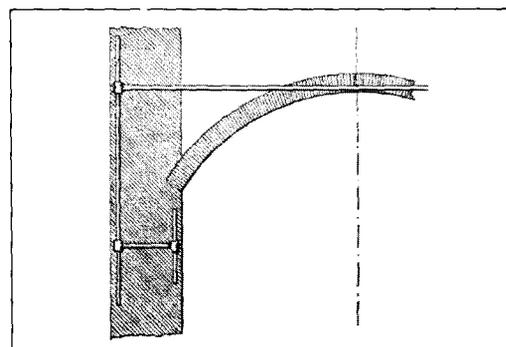


Figura 10
Particolare dell'ancoraggio della catena nel muro (Levi, 1924, fig. 97).

Contrario a questa pratica è invece Valadier il quale sostiene l'inadeguatezza statica di questo sistema: «questa sorte di catene poco o niente forzano, cedono all'urto della volta più o meno secondo la sua forma, seguendo, col piegarsi, l'andamento del cedimento naturale del volto medesimo (...) onde la catena con quella sua struttura, secondando la mossa della volta, non fa il suo officio». ²⁵ Anche Sganzin ²⁶ e De Cesare ²⁷ non sono particolarmente favorevoli a questa soluzione; il primo ne sostiene la necessità solo per gli archi ribassati e il secondo ritiene che in ogni modo il loro effetto, in tale posizione, è minore anche se non ne sconsiglia totalmente l'impiego.

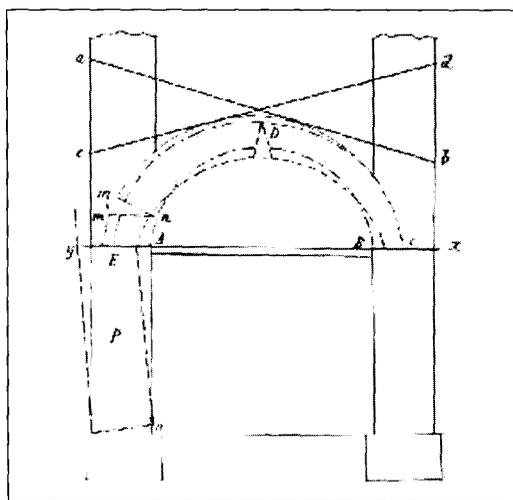


Figura 11
Disposizione a croce di S. Andrea dei tiranti interni (Cantalupe, 1874, fig. 141, tav. X).

3. L'impiego delle catene nel consolidamento delle strutture ad arco. Le catene utilizzate per consolidare i muri soggetti a forti spinte, sono poste orizzontalmente e nascoste nello spessore del solaio. Quando servono di ritegno alla spinta, esercitata da un arco, sono disposte in corrispondenza del giunto di rottura alle reni o all'imposta. Nel caso delle strutture ad arco De Cesare, individuato il meccanismo di rottura, suggerisce di far passare la catena per il punto di rottura impedendo l'ulteriore rotazione dei piedritti (fig. 12).

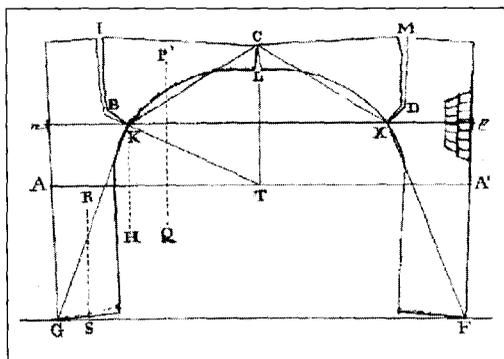


Figura 12
Corretta posizione della catena (De Cesare, 1855, figg. 91, tav. VI).

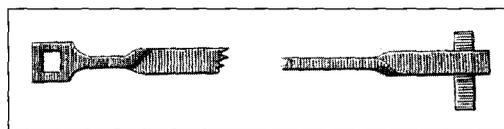


Figura 13
Capochiave e paletto (Cavalieri San Bertolo, 1832, fig. 194, p. 31).

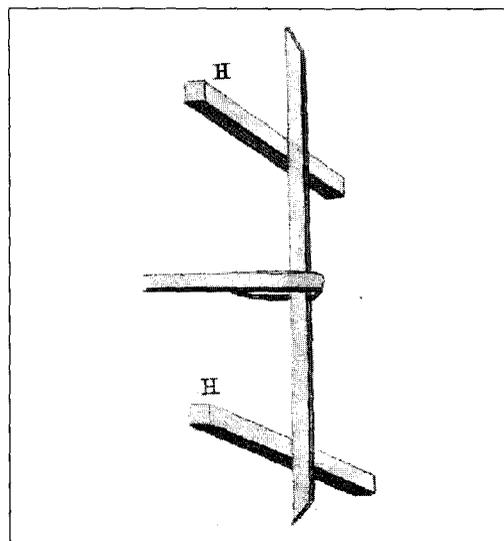


Figura 14
Aumento dell'area di azione del paletto (Valadier, 1833, fig. 7, tav. CCLXXVII).

Con riguardo al posizionamento ottimale delle catene è più precisa l'indicazione di Curioni per il quale conviene disporre la catena al di sotto del giunto nel quale tende a manifestarsi la rottura per cedimento rotazionale. Per ciascun tipo di volta Curioni stabilisce inoltre un criterio per disporre correttamente in opera le catene. Tale criterio dipende sostanzialmente dalla tipologia della volta e dall'andamento delle sue linee generatrici.

Folinea pone invece l'accento sull'importanza di disporre un numero sufficiente di catene lungo tutto lo sviluppo della volta e di bloccare ciascuna catena al muro tramite un sistema di «occhio e paletto», dove l'occhio è l'asola terminale del tirante attraverso il quale passa il paletto posto esternamente alla muratura. La maggior parte degli Autori citati è concorde nel sostenere che il foro, attraverso il quale passa la catena, deve avere forma conica verso l'esterno e, se possibile, deve essere rinforzato con pietra. Il paletto (detto anche traversa, bolzone o capochiave) è generalmente alloggiato in un incavo della muratura e, qualche volta, ricoperto con calcina per oscurarne la vista; in ogni caso esso deve essere messo in opera inclinato, per abbracciare un'area estesa di muro. Nelle murature poco consistenti è consigliato l'uso di un paletto lungo che attraversa due *occhi*, in modo da interessare una superficie maggiore di muro.

Un particolare riguardo all'esecuzione dell'occhio è consigliato da Valadier; egli suggerisce di realizzare capochiave e paletto in modo tale che quest'ultimo non si muova troppo dentro l'asola stessa. Inoltre, egli propone di realizzare il foro di forma allungata senza angoli retti in modo da non deformarsi sotto l'azione dello sforzo di trazione. De Cesare propone invece di realizzare la parte terminale della catena a vite e il paletto a piastra bloccandoli poi con un dado a «madre vite». Questo sistema, chiamato da Folinea «a vite e scrofolo»,²⁸ permette col tempo di recuperare eventuali allungamenti della catena dovuti a dilatazioni termiche della stessa.

Quando la lunghezza della catena lo richiede è possibile realizzarla in più elementi utilizzando diversi sistemi di collegamento (*uncino, cerniera, tenaglia con zeppe o capiglie, talloni, occhi, tallone con briglie e con zeppe, viti, piastre con inchiodature, dente, manicotto, forchetta, spinotto e gabbia*) che consentono di allentare o stringere la catena in modo da modificare nel tempo lo sforzo di trazione (figg. 15-16).

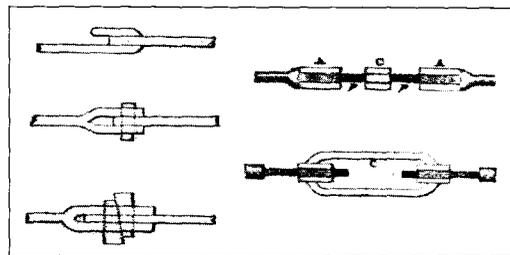


Figura 15
Diversi tipi di unioni tra due parti della catena (Curioni, 1870, tav. II).

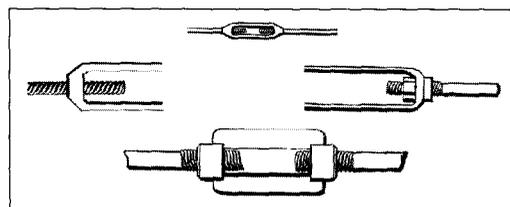


Figura 16
Particolari dell'unione a vite (Russo, 1947, fig. 99, p. 167).

Per quanto riguarda il tipo e le dimensioni delle catene che devono essere impiegate nelle opere di

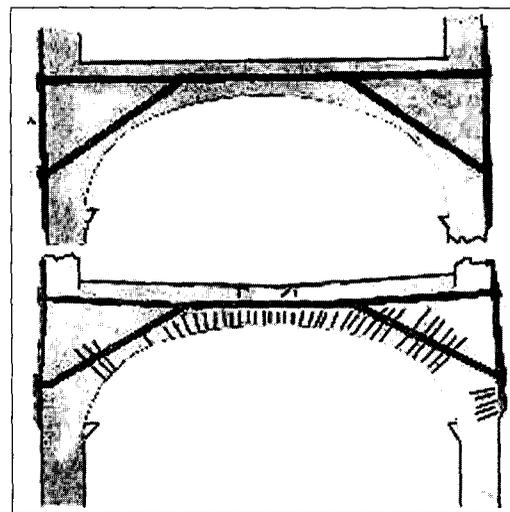


Figura 17
Fenomeni di dissesto causati da catene non correttamente messe in opera (Valadier, 1833, fig. 1-2, tav. CCLXXVII).

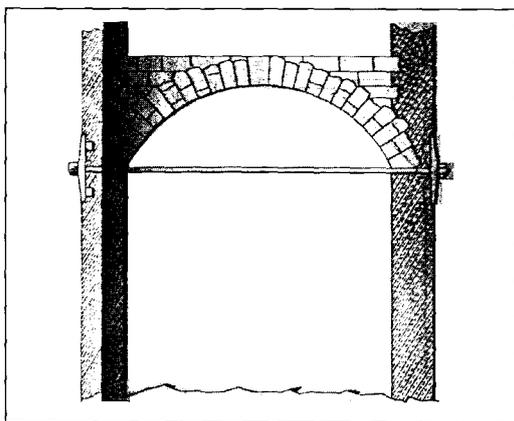


Figura 18
Catena con piastre di ancoraggio (Folinea, 1889, fig. IX).

consolidamento, Valadier consiglia il ferro circolare o «cerchione». Rondelet propone di utilizzare il ferro piatto con almeno 2-2,5 pollici di larghezza per 6-7 pollici di spessore. Cavalieri di San Bertolo suggerisce il ferro piatto di sezione commisurata allo sforzo

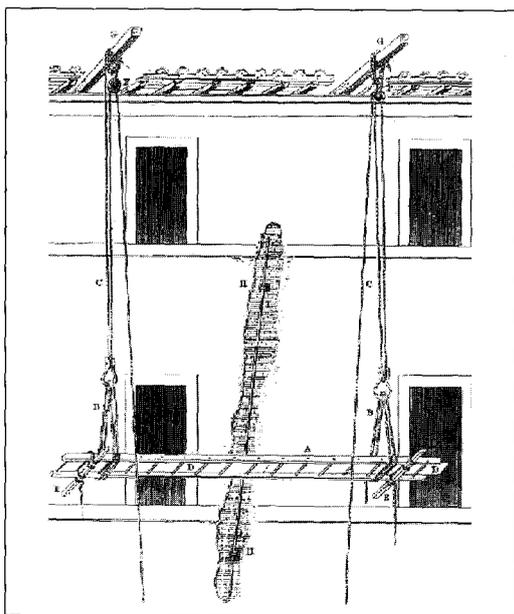


Figura 19
Paletto che comprende due catene (Valadier, 1833, tav. CCLXXIV).

di trazione che la solleca. Secondo Curioni, invece, la sezione utile della catena deve essere valutata in funzione della geometria generale della struttura e delle sollecitazioni complessive che gravano sulla costruzione.

L'analisi svolta su questo sistema di consolidamento tradizionale mostra come è possibile intervenire su strutture lesionate semplicemente mettendo in opera elementi che ricompongono lo stato di equilibrio originario senza alterare in maniera significativa lo schema statico strutturale della costruzione. Un tale sistema di consolidamento permette nel tempo di regolare l'azione della catena stessa o addirittura di rimuoverla, senza che l'elemento architettonico sia sostanzialmente modificato.

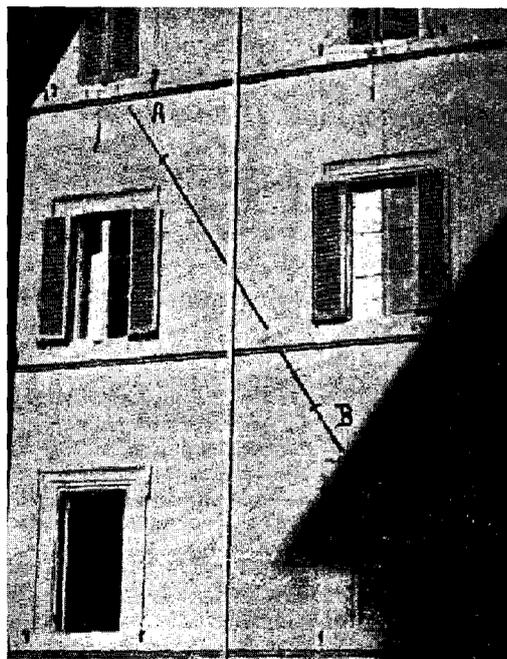


Figura 20
AB: maggiore area di azione del paletto (Russo, 1947, fig. 98).

4. L'uso di speroni e contrafforti. È noto come nei secoli passati l'uso dei contrafforti nelle opere di consolidamento (puntellamenti stabili secondo Donghi)²⁹ sia stato molto sviluppato.³⁰ Parimenti, ne-

lla trattativa architettonica e nella manualistica tecnica l'uso dei rinforzi murari è consigliato quale rimedio utile ed economico.

Alberti, Serlio, Spada³¹ propongono differenti sistemi di puntellamenti permanenti, in legno o in pietra, associati a contrafforti murari. «L'uso di speroni tradizionali era da tempo consigliato nella manualistica «dotta», per il consolidamento di «architetture» in pericolo di crollo». ³² D'altra parte l'uso dei contrafforti è testimoniato anche nell'architettura militare. In un'opera sulle fortificazioni Fournjer³³ consiglia l'uso di questi elementi sia come rinforzo ai bastioni, che come sostegno agli archi e alle volte.

Teofilo Gallacini descrivendo i diversi tipi di terreno, e indicando quelli meno adatti ad essere edificati, consiglia la costruzione di contrafforti, speroni o barbacani di rinforzo nelle fondamenta³⁴ nel caso in cui non si può fare a meno di costruire su terreno cedevole.

Sul problema dell'unione tra muratura vecchia e nuova, questione peraltro già evidenziata da Spada, Gallacini sostiene che «è meglio il fabbricare fuggendo le mura vecchie, essendo miglior partito il fabbricarle di fondo, e far l'opera tutta uniforme; poiché le mura vecchie con le nuove non si uniscono mai, e d'ordinario cedono al nuovo peso». ³⁵

Masi è al contrario molto attento al collegamento tra il vecchio e il nuovo muro e suggerisce di «spicconarlo, e farvi delle tracce, e trafori da potervi internare il nuovo materiale». ³⁶ Breyman consiglia invece di realizzare un giunto a tutt'altezza che lasci dello spazio tra i due muri evitando così eventuali fessurazioni sino a che il nuovo muro si sarà piena-

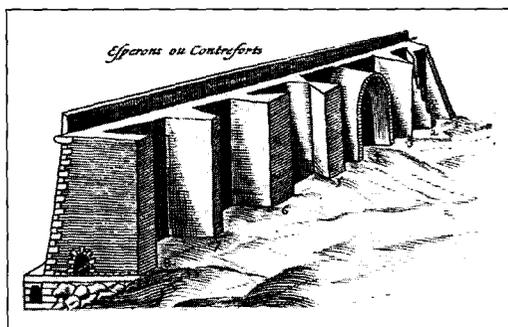


Figura 21
Forme di speroni secondo Fournjer (Fournjer, 1654, fig. G8, p. 98).

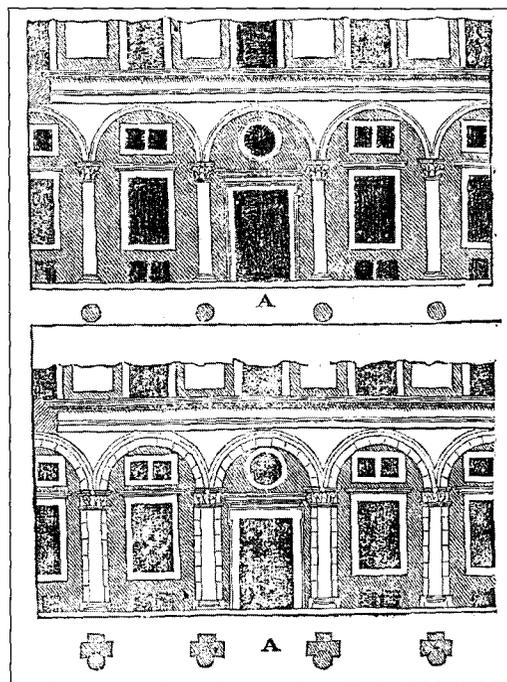


Figura 22
Contrafforti aderenti alle colonne (Serlio, 1584, fig. X A, p. 159).

mente assestato; solo allora potrà essere riempita la commensura.

Della stessa opinione è Francesco Milizia il quale sostiene che, in presenza di fondazioni solide, il miglior rimedio è l'uso di contrafforti, di speroni, di barbacani e d'archi di scarico facendo tuttavia sempre molta attenzione «che il nuovo legghi bene col vecchio: il che è molto difficile perché il vecchio non fa alcun moto mentre il nuovo col dissecarsi è in continua alterazione finché non sia bene assestato». ³⁷ Sganzin suggerisce l'impiego dei contrafforti come mezzo utile per sostenere le volte e i piedritti dissestati. ³⁸ De Cesare propone di sostituire i contrafforti con porticati e avancorpi che svolgono la stessa funzione ma offrono sicuramente una vista migliore. Breyman prevede di fornire ai contrafforti uno spessore uguale ai $\frac{2}{7}$ dell'altezza con una scarpa di $\frac{1}{6}$ della stessa e uno spessore minimo in sommità di 0,7-1 metri; ³⁹ De Bono propone la realizzazione di speroni o barbacani addirittura ancora prima di essere costretti ad intervenire con le opere di consolida-

mento. Essi devono avere almeno mezzo metro di fondazione e la base ampliata con tavole di quercia pino o *pitch-pine* di 8 cm. di spessore; i filari delle pietre vanno disposti ortogonali alla faccia esterna inclinata con un angolo di 27-30°.40 Anche Cristoforo Russo consiglia, nel caso di puntellamento di un muro soggetto a forti sollecitazioni di compressione di utilizzare al posto dei puntoni di legno, speroni o scarpe.

Giovannoni sostiene che gli speroni a scarpa entrano di diritto a far parte del linguaggio dell'opera architettonica. L'osservazione di Giovannoni ci sembra particolarmente utile a chiarire la natura di questo sistema consolidativo tradizionale; si tratta di opere che per la loro forma e dimensione ridisegnano l'architettura dell'edificio che contribuiscono a sostenere apportando importanti contributi al linguaggio architettonico dell'opera stessa. Nel passato, a differenza di ciò che succede oggi, i restauri erano considerati manutenzione ordinaria attraverso la quale si realiz-

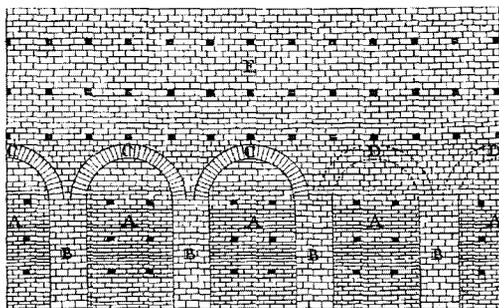
zava un *continuum* nella vita dell'edificio; interventi di questo tipo non sono pertanto intromissioni o stravolgimenti della costruzione, ma elaborazioni successive in una struttura dissestata, non solo per errori di progetto, ma anche per effetto di eventi naturali esterni (es. l'azione dei terremoti) di natura eccezionale.

5. Raddrizzamento dei muri strapiombati. Un capitolo interessante del consolidamento strutturale degli edifici in muratura riguarda la possibilità di ricondurre alla verticalità le pareti così dette «fuori piombo». Questo tipo di dissesto, conseguenza dell'azione di spinte o cedimenti delle fondazioni, è altresì espressione di un buon comportamento della massa muraria dovuto anche ad una tessitura muraria ancora in buono stato, e dove la malta mantiene la sua capacità di coesione e la muratura non denuncia rottura fragile, lesioni e fenomeni di distacco. In questa situazione è possibile pensare di applicare un sistema di forze, utilizzando tecniche che prevedano di ridurre o eliminare lo stato di alterazione geometrica del manufatto rispetto alla situazione originale. Nei trattati e nei manuali troviamo descritti questi diversi sistemi; si tratta in alcuni casi di operazioni sperimentate direttamente e in altri della cronaca di esperienze altrui. Le operazioni illustrate utilizzano il principio statico della leva e della fune; nel primo caso si solleva la struttura (Alberti)⁴¹ e nel secondo si raddrizza con l'ausilio di tiranti. Un sistema alternativo è infine quello che non interviene direttamente sulla parete danneggiata, ma ne ricostruisce la verticalità con un'altra parete in aderenza.

Per quanto riguarda lo spostamento di una parete con l'uso di tiranti di ferro è interessante l'esperienza realizzata da Molard al Conservatoire des Arts et Metiers di Parigi è riportata da Rondelet nel suo trattato.⁴²

Tutti i sistemi proposti, per riportare il muro alla situazione di verticalità, mostrano ampia fiducia nella statica originaria della costruzione in muratura e sulla sua riserva di resistenza anche dopo la comparsa di un fenomeno di dissesto.

6. Le riparazioni locali. Una volta eliminate le cause che hanno provocato i dissesti, occorre risarcire le lesioni presenti sulla superficie muraria; in alcuni casi si tratta di fessure limitate ad una zona poco estesa, in altri di parti consistenti della muratura. Nel



A, *Dimostrano la Muraglia vecchia.*
 B, *Dimostrano la Muraglia nuova fatta a modo di pilastre.*
 C, *Gli Archi scoperti.*
 D, *Gli Archi coperti.*
 E, *Tutto l'abozzo della Muraglia nuova.*

Figura 23

Archi di rinforzo inseriti nella muratura originale. «Ma quando pure l'architetto sia forzato a murare sopra il vecchio, sarà buono avvedimento il fortificare le muraglie vecchie, prima che vi si fabbrichi sopra, cioè, o rifondendole, o facendovi con determinati intervalli alcuni pezzi di muraglia nuova sopra il fondamento medesimo della vecchia, a modo di pilastri, incatenandogli continuamente, mentre si alzano col muro vecchio ad ogni banda, e condotti vicino all'altezza della muraglia, cioè, quanta è la testa d'un mattone, affinché la superficie del muro non si mostri interrotta dagli archi» (Gallacini, 1767, p. 69).

primo caso si esegue una semplice *sarcitura* delle lesioni; nel secondo si sostituisce la muratura danneggiata con muratura nuova utilizzando un metodo di ricostruzione in breccia o sostruzione definito nella pratica «cuci e scuci». Quest'operazione s'identifica in alcuni casi nella realizzazione di una struttura interna ad archi e pilastri, in altri casi nella costruzione di porzioni di muratura di forma diversa. Nel caso di elementi isolati quali colonne e pilastri è invece più opportuno prevedere la totale sostituzione.

La *sarcitura* delle lesioni o del «cecare le lesioni»⁴³ è un'operazione conclusiva destinata a riportare l'edificio al suo aspetto originario una volta realizzate tutte le operazioni di consolidamento. I diversi autori propongono «ricette» diverse per eseguire quest'operazione; è interessante notare come nel caso di opere di modesta entità emerga in modo più rilevante la tradizione locale cui l'autore appartiene. Valadier propone «di accompagnare gli aggetti, cornici, ed altri ornati al meglio possibile, perché le parti abbassate dal cedimento meno appariscano, e si legheranno l'una parte coll'altra del muro lesa con mattoni che riuniscano le parti».⁴⁴

Folinea affronta il restauro delle lesioni «definitive». «Se le lesioni sono capillari basta scarciarle e rimarginarle con semplice malta di assoluto gesso. Se le medesime si presentano pronunziate e con sensibile distacco, occorrerà restaurarle con fabbrica di mattoni e malta di assoluto gesso con addentellature nei due lati, dette comunemente dagli artefici a dente di cane ovvero a catenelle».⁴⁵ Nel caso in cui la forma di dissesto è limitata alla malta ormai priva di coesione, Folinea consiglia di eliminarla dalle committiture, innaffiare bene la muratura e rinzaffarla con gesso. Per le lesioni superficiali Russo propone di scaltarle e rinzepparle utilizzando scaglie di mattoni e gesso nei luoghi asciutti o cemento in quelli umidi; se le lesioni sono più profonde allora prevede un incatenamento della muratura con mattoni e malta di cemento da eseguirsi su entrambe le facce del muro e in modo che il nuovo muro si addentelli al vecchio. Rosci suggerisce le lesioni di un certo rilievo rinzepandole «con scaglie di beola forte ben forzata entro le fenditure previa ingollatura di malta fina cemento e sabbia».⁴⁶

L'operazione di «cuci e scuci» prevede lo smontaggio e la ricostruzione *in situ* della parte di muratura danneggiata, con il disfacimento totale o parziale della vecchia muratura o, in alternativa, con la cos-

truzione in aderenza aggiungendo dei rinforzi. È interessante notare che non è posta alcuna attenzione al problema dell'unione «stilistica tra muratura storica e nuova».

Alberti propone di costruire un muro nuovo in aderenza al vecchio, se questi è troppo sottile, e di legarlo con «delle morse ben forti di pietra robusta» all'esistente; in alternativa, egli propone di realizzare un sistema di contrafforti utilizzando un'ossatura di pilastri costruita nello spessore del muro. Valadier si sofferma sull'importanza di valutare i costi dell'operazione, per verificare se convenga il rifacimento del muro per parti o la sua totale ricostruzione. Quest'operazione, definita dal Cantalupi, sottomurazione o sostruzione, deve essere eseguita per cantieri che non «eccedono i 1^m,50 o 2^m,00 di lunghezza per volta, onde evitare qualsiasi sconcerto nell'edificio»⁴⁷ e prestando attenzione che i filari del nuovo muro siano possibilmente allineati con quelli del vecchio. In caso di murature fortemente disgregate De Cesare consiglia di rifarli interamente «scucendo e cucendo la fabbrica a piccole partite».⁴⁸ Il Folinea, nonostante sottolinei l'abilità dei costruttori meridionali nell'eseguire queste operazioni, solleva il problema del rassetto della malta e dell'unione tra le parti antiche e quelle nuove.

Nel caso di grave seppur parziale schiacciamento della muratura, e dove per esempio le parti più danneggiate sono gli angoli, gli incroci e i contorni dei vuoti, C. Russo propone di rifare questi elementi a pilastri e far scaricare su di loro le spinte degli archi a tutto sesto. Tra l'arco e il pilastro rimane una zona di muratura originaria che funziona da tamponamento. L'autore evidenzia l'importanza di conservare la muratura in buono stato, dove è possibile, cercando d'immorsarla al meglio con quella nuova. Lo stesso sistema di cucitura e scucitura ad archi e pilastri è proposto da De Bono il quale sostiene che per queste operazioni è possibile utilizzare sia il laterizio sia il tufo preferendo l'uso del secondo ai piani alti e del primo a quelli bassi della costruzione. Giovannoni, infine, rileva l'importanza di evitare che ci sia un'eccessiva differenza tra la resistenza del nuovo materiale e quella del vecchio per evitare che la pressione vada a concentrarsi sulle porzioni di muratura nuova.

Sisto Mastrodicosa⁴⁹ identifica quest'operazione con l'esecuzione di catenelle murarie costruite partendo «dal basso aprendo il cavo passante della larghezza minima di due teste (...) raschiando la superfi-

cie dello strappo [e con la costruzione poi della] catenella muraria in mattoni pieni e malta di cemento inserendo bene i mattoni nelle asperità delle pareti laterali del cavo e riempiendo con scaglie e malta di cemento i piccoli vani fra il nuovo e il vecchio ove va fatta rifluire abbondante la malta per empire ogni vuoto (...) così di seguito fino all'apice superiore della fessurazione».⁵⁰

La riparazione di una colonna lesionata può invece essere realizzata sostituendo l'elemento danneggiato con una colonna di materiale nuovo o riparandola *in situ*, mantenendo quindi la struttura originaria dell'edificio. L'Alberti, più incline al primo sistema, scrive: «si toglierà di lì la colonna avariata e al suo posto se ne sistemerà una sana».⁵¹

La stessa operazione, ripetuta per molto tempo nei secoli successivi, trova nel Valadier un suo sincero sostenitore. «Se la colonna con la base e capitello, sarà composta di rocchi (...) si salveranno li pezzi rocchi non danneggiati per riporli in opera, sostituendo le sole parti danneggiate».⁵² Tuttavia, lo stesso Valadier proporrà un sistema, ritenuto più economico, che prevede la riparazione della colonna lesionata con l'impiego di due «sbranche» di ferro stagnato o di rame che colleghino i due pezzi della colonna lesionata. La «sbranca» è realizzata in un unico pezzo e ha due grappe rivoltate a coda di rondine per meglio ancorarsi alla colonna ed è inserita in un incavo sigillato con piombo fuso appositamente predisposto (troppo stretto per non forzare troppo la colonna, troppo largo per non fare lavorare troppo il piombo),

ed eventualmente nascosta con tasselli dello stesso materiale della colonna.

CONCLUSIONI

Questo breve resoconto non può, evidentemente, rendere merito all'insieme di conoscenze e saperi messi in luce in questi secoli—in parallelo con gli sviluppi dell'architettura e delle costruzioni— sia nella trattatistica architettonica sia nella manualistica tecnica, oltretutto nei cantieri di restauro e manutenzione. La mancanza di una *Storia della costruzione*, disciplina peraltro assente negli ordinamenti didattici delle Facoltà di Architettura, e di una *Scienza del consolidamento*, per la quale abbiamo in altre sedi già perorato la causa, è un elemento che contribuisce vieppiù a disperdere questo patrimonio di conoscenze che non si trova ormai più documentato se non in particolari ambiti settoriali, o in pubblicazioni specialistiche.

La necessità di promuovere e incentivare la conoscenza di metodiche e tecniche di analisi e di intervento nonché delle tecnologie del passato, l'approfondimento di conoscenze empiriche e scientifiche da confrontare, soppesare, valutare per quello che di positivo contengono, diventa compito importante ai fini di una ri-appropriazione di saperi che altrimenti andranno perduti, sommersi da quella volontà di nuovo che tutto dimentica e distrugge. Con l'intento di conservare, mantenere e trasmettere ai nostri successori l'innumerabile patrimonio architettonico e

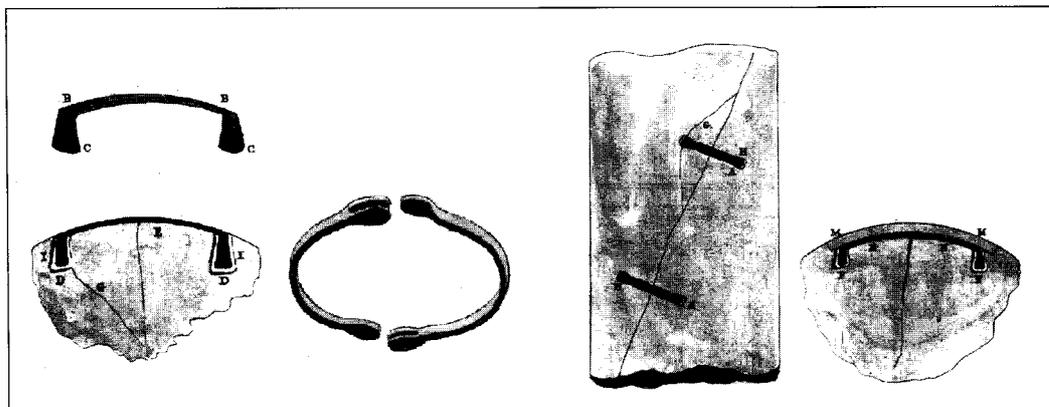


Figura 24
«Sbranche» di ferro (Valadier, 1833, tav. CCLXXII-CCLXXIII).

edilizio attraverso le opere di restauro, di conservazione e di manutenzione diventa indispensabile riprendere le fila di un discorso interrotto - quello delle tecniche di consolidamento tradizionali - che sicuramente meglio si adattano alla conservazione e alla manutenzione del nostro patrimonio edilizio.

NOTE BIBLIOGRAFICHE.

1. Corradi, M.: «Science of Strengthening Historic Buildings - A Possible New Discipline», in *Masonry (8) Proc. of the Fifth Int. Masonry Conf.*, a cura di H.W. H. West, Publ. by the Society, Stoke-on-Trent 1998, pp. 314-319.
2. Corradi, M.: «Il ruolo della scienza del costruire nella 'reintegrazione delle lacune'», in *La reintegrazione nel restauro dell'antico. La protezione del patrimonio dal rischio sismico*, a cura di M. M. Segarra Lagunes, Gangemi, Roma 1997, pp. 257-264; Corradi, M.: «Alcune considerazioni sul ruolo della scienza del costruire nella 'Reintegrazione delle lacune' », in *Lacune in Architettura: aspetti teorici ed operativi*, a cura di G. Biscontin e G. Driussi, Atti del XIII Convegno Scienza e Beni Culturali 1997, Arcadia Ricerche, Venezia 1997, pp. 107-115.
3. Corradi, M.: «Fondamenti storici della «Scienza del consolidamento»», in *Atti del V Congresso Nazionale ASS.I.R.C.CO.*, Orvieto 22-24 maggio 1997, a cura di R. Ciuffo, F. Migliorato, E. Virdia, pp. 221-226, Edizioni Kappa, Roma, 1997; Brigandì, F.; Corradi, M.: «Tecniche di consolidamento tradizionali per la manutenzione del costruito storico», in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *Ripensare alla manutenzione*, Atti del Convegno di Studi, «Scienza e Beni culturali, XV. 1999» —Bressanone 29 giugno— 2 luglio 1999, Arcadia Ricerche, Venezia 1999, pp. 209-222.
4. Nei terreni poco consistenti «si scaveranno dei pozzi e si planteranno nel terreno dei pali molto fitti, sui quali si disporranno, da ambedue le parti, delle travi robustissime, longitudinalmente rispetto al muro. Poi, sopra queste, in posizione trasversale, sotto le fondamenta del muro, si collocheranno altre travi, più grosse e solide ancora delle precedenti; si poggiino sul primo strato di travi, e col proprio dorso, quasi fosse un ponte o un giogo, sostengano il muro» (Alberti, L.B.: *De Re Aedificatoria*, 1452. Ristampa anastatica, Il Polifilo, Milano 1966, p. 992).
5. Masi, G.: *Teoria e pratica di architettura civile*, A. Fulgoni, Roma 1788.
6. De Cesare, F.: *La scienza dell'architettura applicata alla costruzione, alla distribuzione, alla decorazione*, G. Bellinzona, Napoli 1855, p. 261.
7. «Se fra l'una e l'altra per risparmio di tempo e di materia si volesse assicurare col farvi un arco, o a tutto sesto, o a cima di sesto, non si avrà che lasciare nei nuovi muri l'imposte, come alla lett. X, e cavare nel terreno il sordino lett. Z, costruendo tale arco in due o tre tempi, perché il muro danneggiato non resti totalmente sui cavalli in un tempo» (Valadier, G.: *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di S.Luca*, per la società Tipografica, Roma 1829-1833, pp. 75-76).
8. Zabaglia, N.: *Castelli e ponti di Maestro Nicola Zabaglia*, Tipografia Puccinelli, Roma, 1824.
9. I fautori di questo sistema di consolidamento sono stati Masi, Zabaglia e Valadier. Quest'ultimo consiglia, dopo aver spianato bene il di sotto della fondazione, di piantare «nel mezzo della grossezza del fondamento suddetto una mozzatura di legname atto a resistere all'umido, come sarebbe la quercia o il leccio, trave piuttosto grosso, chiamato uomo-morto, ben forzato, basato sopra un lastrone solido di pietra, e ad un pezzo di tavolone sotto all'antico fondamento» (Valadier, G.: *op. cit.*, p. 75). Della stessa opinione saranno in seguito Musso e Copperi (Musso, G.; Copperi, G.: *Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati*, G. B. Paravia, Torino, Roma, Milano, Firenze, Napoli 1885, 3a ed.) e C. Russo (Russo, C.: *Trattato sulle lesioni dei fabbricati*, Utet, Torino 1947).
10. Folinea, E.: *Sulla origine delle lesioni nei fabbricati e metodi di restauro*, A. Trani, Napoli 1889, p. 15.
11. Russo, C.: *op. cit.*, p. 32.
12. «Avviene sovente di dover fare parti di fondazione o maggiori approfondimenti, perché le vecchie si sono logorate od hanno subito danneggiamenti, o perché la platea di terreno sodo si è rammollita o perché gli archi si sono sconnessi, o per formarne altri, o per altre consimili ragioni. Debbono essere a tale intento praticate bilancie e puntellamenti atti a sostenere provvisoriamente il sovrastante murato con i relativi sovraccarichi, per il tempo occorrente a demolire le fondazioni guaste o per rifare gli archi sconnessi e quelli nuovi, o per fare i maggiori approfondimenti sul terreno a seconda dei casi. Le nuove parti di muratura debbono essere fatte collo stesso sistema di quelle vecchie, rifacendo i filari in prosecuzione di quelli rispettati, anzi collegandoli con quelli in modo da costituire un unico corpo ben solido (...) è indispensabile controllare che i filari siano rifatti coi suesposti criteri, che i materiali siano della qualità richiesta e che le malte siano uniformemente resistenti» (Andreani, I.: *Nel Cantiere*, Hoepli, Milano 1929, pp. 201-202).
13. Serlio, S.: *I sette libri dell'architettura*, Venezia 1584.
14. Barozzo da Vignola, G.: *Lettera di Giacomo Barozzi Vignola al magn. Messer Martino Bossi*, in *Raccolta di lettere, sulla pittura, scultura ed architettura*, a cura di

- S. Ticozzi, Giovanni Silvestri, Milano 1822, Vol. I, p. 499.
15. «Quali cose si devono molto bene osservare per sfuggire quelli abusi, e disconci di metter ferramente, e catene da legar pali attraverso a' luoghi; le quali maniere furono introdotte da' Barbari, e genti straniere, e del tutto lontane dalle belle, e gratiose maniere dell'edificare; e però alle volte osservate da alcuni moderni poco intendenti, e manco osservatori del buono». Una posizione dispregiativa nei confronti delle catene che però più avanti si attenua quando sostiene che «vero è, che alle volte si potiamo assicurare con le catene di ferro fin tanto, che l'opera possi stabilirsi, e far buon presa» (Scamozzi, V.: *Dell'idea di architettura universale*, Venezia 1615, p. 319).
 16. CAPRA, A.: *La nuova architettura famigliare*, G. Monti, Bologna 1678, L. II, cap. XII, p. 120.
 17. Cavalieri di S. Bertolo, N.: *Istituzione di architettura statica e idraulica*, Bologna 1826-27, pp. 240-241.
 18. «Non ho mai suggerito per riparare a danni, che avvengono negli Edifizi l'uso delle chiavi, o catene di ferro, perché sono di sentimento, che quanto possano giovare (...) negli Edifizi, che si fabbricano di pianta, almeno fintantochè i materiali non abbiano fatta buona presa. altrettanto stimo che possan'essere di pregiudizio adoperandole ne' vecchi Edifizi, sì pel gravame, di cui li vengono a caricare, sì per i squarci che bisogna fare ne' muri per situarvele, onde sono di parere, che le chiavi di ferro non siano per essere di giovamento ne' vecchi Edifizi, ma piuttosto di pregiudizio, eccettuato però qualche caso particolare, in cui un giusto discernimento, e l'esperienza suggeriranno all'Architetto l'espedito di stringere l'Edifizio mediante le chiavi di ferro con morale certezza di impedirne l'ulteriore deterioramento, che si teme» (Masi, G.: *op. cit.*, p. 67).
 19. Rondelet, G.: *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, Caramenti, Mantova 1832.
 20. Cfr. a questo proposito le indicazioni di Cantalupi in Cantalupi, A.: *Istruzioni pratiche sull'arte di costruire le fabbriche civili*, Salvi e Co., Milano 1862, p. 23.
 21. Curioni, G.: *L'arte di fabbricare*, Negro, Torino 1868, p. 92.
 22. Cantalupi, A.: *op. cit.*, p. 23.
 23. Lenti, A.: *Corso pratico di costruzioni*, Tipografia G. Chiari, Alessandria 1884-85, p. 67.
 24. Russo, C.: *op. cit.*, pp. 164-165.
 25. Valadier, G.: *op. cit.*, p. 92.
 26. Sganzin, M.: *Nuovo corso completo di pubbliche costruzioni*, (trad. ital.) Venezia 1849, p. 141.
 27. De Cesare, F.: *op. cit.*, p. 198.
 28. Folinea, E.: *op. cit.*, p. 43.
 29. Donghi, D.: *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1925-35, p. 283.
 30. Gizzi, S.: *Analisi storica e comportamentale di sistemi di consolidamento tradizionali in muratura nelle aree archeologiche romane e laziali*, Min. BB. CC. e AA. Soprintendenza Archeologica per il Lazio, Roma 1991, pp. 39-41.
 31. Bonavia, M.; Francucci, R.: *Visite guidate nel cantiere barocco*, in *Conoscenza e sviluppi teorici per la salvaguardia di sistemi costruttivi tradizionali in muratura*, a cura di G. Biscontin e R. Angeletti, Libreria Progetto, Padova 1987, pp. 83-84.
 32. Gizzi, S.: *op. cit.*, p. 15.
 33. Fournier, G.: *Architecture militaire*, Librairie Lurè, Paris, 1654 (2ème éd.), p. 36 e p. 149.
 34. «Facciansi alla muraglia dei fondamenti, ad ogni due o tre braccia, alcuni speroni fatti a modo di branche, ovvero a mezz'archi, i quali, come saettoni, o puntelli, entrino sotto il muro dalla parte del terreno, che si piega, (il che si conosce dalle sue vene) facendo il posamento loro molto più basso di quello della muraglia, e tanto lontano da esso, che vi si possa far l'arco, o la branca» (Gallacini, T.: *Trattato sopra gli errori degli architetti*, Venezia 1767, p. 24).
 35. Gallacini, T.: *op. cit.*, p. 69.
 36. Masi, G.: *op. cit.*, cap. I, p. 66.
 37. Milizia, F.: *Principi di architettura civile*. Finale Ligure, 1781 (1a ed.); Milano, 1847, p. 572.
 38. «Si aumenta la resistenza delle volte e dei loro piedritti, 1° innalzando delle masse murali ed altre a perpendicolo delle origini o dei piedritti come le mostrano le fabbriche gotiche; 2° rinforzando di distanza in distanza l'estradosso delle origini o dei piedritti col mezzo di contrafforti piani, o con archi, a similitudine delle costruzioni gotiche, ma converrà regolare l'intervallo di codesti appoggi in maniera che i muri intercalari non possano distaccarsi dalle zone sostenute dai contrafforti ne rompersi tra un contrafforte e l'altro» (SGANZIN, M.: *op. cit.*, p. 141).
 39. Breymann, G.A.: *Trattato di costruzioni civili*, Milano 1885, pp. 316-317.
 40. De Bono, E.: *Diagnosi e terapia dei fabbricati lesionati*, Guida, Napoli 1932, pp. 82-83.
 41. I sistemi utilizzati per il sollevamento delle fabbriche seguono di massima lo schema descritto dall'Alberti: «Se il muro si è discostato dalla verticale, si sistemano delle travi facendole aderire al muro stesso. A ciascuna di queste si applicherà un puntello di legno ben robusto, con l'estremità inferiore discosta dal muro; poi si stringerà a poco per mezzo di legni e di cunei, si che esercitino pressione sul muro. In tal modo, distribuendo accortamente le spinte, il muro sarà riportato sulla verticale. Il sollevamento si attua inserendo sotto il corpo una trave in funzione di leva, che abbiamo denominato stadera. Si comincerà a scavare sotto il centro del lato che interessa, ai piedi dell'orlo inferiore dello spiccato. Quivi si praticherà in profondità un'apertura

non molto ampia, la cui altezza sia tale da consentire di riempirla con pietre ordinarie robustissime inserite nella posizione che si preferisce. Nel posarvi dentro queste ultime non bisogna riempirla fino all'orlo, bensì lasciarvi un vuoto della profondità di alcuni palmi, che saranno occupati da concii di rovere, non troppo radi. Con identico procedimento si puntellerà l'intero lato di tale cappella, che da quella parte appunto si vuol fare coricare un po' di più. Quando questi sostegni abbiano preso su di sé il peso della costruzione, con accuratezza e cautela si estrarranno di sotto i concii medesimi, per modo che il muro, or ora inclinato, torni ad allinearsi esattamente sulla verticale. Gli spazi vuoti tra concio e concio si riempiranno con altri concii di pietra robustissima» (Alberti, L. B.: *op. cit.*, p. 996).

42. Rondelet, G.: *op. cit.*, nota 1, p. 60.

43. De Cesare, F.: *op. cit.*, p. 260.

44. Valadier, G.: *op. cit.*, pp. 76-78.

45. Folinea, E.: *op. cit.*, p. 35.

46. Rosci, L.: *Puntellamenti e rinforzi negli edifici lesionati*, G. Lavagnolo, Torino 1933, p. 48.

47. Cantalupi, A.: *op. cit.*, pp. 191-192.

48. De Cesare, F.: *op. cit.*, p. 261.

49. Mastrodicasa, S.: *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Hoepli, Milano 1993 (9a ed.).

50. Mastrodicasa, S.: *op. cit.*, p. 496.

51. Alberti, L.B.: *op. cit.*, p. 996.

52. Valadier, G.: *op. cit.*, p. 83.