

STORIA DELLE TECNICHE MURARIE E TUTELA DEL COSTRUITO

Esperienze e questioni di metodo

a cura di Stefano Della Torre

GUERINI

S T U D I O



Il volume raccoglie gli Atti del Convegno tenutosi a Brescia, il 6 e 7 aprile 1995, organizzato con il contributo del Collegio dei Costruttori edili di Brescia e Provincia.

Pubblicato con il contributo del Centro di studio e ricerca per la conservazione ed il recupero dei beni architettonici ed ambientali.

© 1996 Edizioni Angelo Guerini e Associati S.p.A.
viale Filippetti, 28 - 20122 Milano

Prima edizione: luglio 1996

Ristampa: v iv iii ii i 1996 1997 1998 1999 2000

Copertina di Laura Mauceri

In copertina: A. Palladio, muri antichi di Roma e di Napoli,
da *I quattro libri dell'architettura*, Venezia 1570, libro I, p. 13.

Printed in Italy

ISBN 88-7802-671-9

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, non autorizzata, compresa la fotocopia. L'Editore potrà concedere a pagamento l'autorizzazione a riprodurre una porzione non superiore a un decimo del presente volume. Le richieste di riproduzione vanno inoltrate all'Associazione Italiana per i Diritti di Riproduzione delle Opere all'ingegno (AIDRO), via delle Erbe, 2 - 20121 Milano, tel. e fax 02/809506.

PIERO GELFI

LE PILASTRATE ESTERNE E LE VOLTE DEL LOGGIATO «VISCONTEO»
DEL BROLETTO DI BRESCIA *

1. Premessa

La presente memoria raccoglie i risultati delle indagini diagnostiche eseguite sui pilastri e sulle volte del loggiato «visconteo», ala sudest del Broletto di Brescia, indagini eseguite dal Centro di Ricerca per la Conservazione e il Recupero dei Beni Architettonici e Ambientali dell'Università di Brescia, su incarico del Comune di Brescia.

Il Broletto è l'edificio civile più carico di storia che Brescia possa vantare e rappresenta per i bresciani un punto di riferimento di grande importanza. La sua costruzione inizia nel 1223 sul lato sud con il Palatium Novum Maius e si sviluppa fino alla fine dell'età comunale (1281) con il Palatium Novum Minus sul lato sud e il Portico della Ragione sul lato ovest. Si tralascia la descrizione delle fasi successive per porre l'attenzione sulla parte oggetto della presente memoria, il cosiddetto «Loggiato Visconteo» prospiciente il lato orientale della corte (fig. 191), la cui copertura con volte a crociera è solitamente fatta risalire alla dominazione dei Visconti (1337-1404).

Originariamente la struttura della copertura era costituita da travi lignee, sul tipo di quelle ancora visibili nell'ingresso di Piazza del Duomo. La sostituzione della struttura lignea in struttura voltata non è documentata. Questa mancanza ha lasciato spazio a varie ipotesi circa la datazione di quest'opera. Sulla base di semplici ragioni «stilistiche» gli studiosi hanno solitamente datato questo intervento nel XIV secolo, durante la dominazione viscontea. Secondo Giulio Lupo, che ha svolto nell'ambito della sopracitata indagine lo studio storico sul loggiato, la leggera inflessione (figg. 199 e 201) presente nell'intradosso degli archi di imposta delle volte a crociera potrebbe far pensare a una datazione successiva, nel periodo della dominazione di Venezia. Questa ipotesi potrebbe essere suffragata anche dal fatto che la costruzione delle volte, con costoloni a sezione poligonale (pseudotorica), senza alcun elemento in chiave e di fattura molto grossolana, sembra essere un intervento in economia, probabilmente un'opera più utilitaria che di decoro, fatta allo scopo di sostituire un materiale deperibile

* Si ringrazia l'Azienda Servizi Municipalizzati per aver messo a disposizione l'apparecchiatura endoscopica e l'architetto Marco Fassler per le preziose indicazioni fornite sulle caratteristiche degli intonaci e sulla loro possibile datazione, nonché per i contributi all'indagine storica.

le come il legno con una più resistente struttura voltata in laterizio. Un'opera in economia, fra le tante documentate in questo periodo, che ben si accorderebbe con la parsimonia e la politica del governo veneziano.

Dall'indagine conoscitiva eseguita i costoloni sono risultati indipendenti dalle vele della volta, rivelando una funzione più decorativa che statica. Questa particolarità, sebbene normale nella tecnica costruttiva delle volte a crociera, ha fatto insorgere il sospetto che i costoloni potessero essere un'opera posticcia, un'aggiunta Ottocentesca, una sorta di «messa in stile» del portico. In realtà, le volte esistevano sicuramente già nel 1830-35, come attesta un'incisione di Giacomo Soldi.

Nel 1886 si è proceduto a un restauro del portico. Nella documentazione ancora esistente in Archivio di Stato di Brescia è conservato un rilievo eseguito per l'occasione, dal quale si evince che la struttura voltata era esattamente come è oggi. Sebbene la documentazione non scenda mai nel dettaglio, tuttavia le opere eseguite sono sufficientemente descritte: fu «scrostato» l'intonaco a dieci pilastri allo scopo di verificare le loro condizioni e per «restituirli al loro primiero stato architettonico», cioè con pietra a vista; furono restaurate le volte di otto campate più «due mezze» e restaurati i «sottarchi».

Dall'entità dei lavori non sembra che sia stato eseguito un radicale restauro della struttura delle volte: sembra piuttosto un restauro superficiale, di rattoppi e chiusure di fessure, intonacature delle vele, tinteggiatura e rifinitura dei costoloni con intonachino di cocciopesto e marcatura dei giunti dei mattoni. Poiché non sembra che si siano avuti successivi rifacimenti, lo stato attuale delle volte è sostanzialmente quello determinato dai lavori in economia dell'intervento Ottocentesco.

Durante i lavori di «restauro e ristrutturazione del complesso del Broletto, angolo sudest (ex ufficio d'igiene)», ora sede dell'emeroteca della biblioteca Queriniana, è stata eseguita una campagna di scavi archeologici sotto la guida della Soprintendenza Archeologica della Lombardia. Gli scavi hanno messo in evidenza fondazioni dei pilastri interni del portico di esecuzione grossolana e in stato assolutamente precario (fig. 196), fondazioni che sono state quindi consolidate. Di buona fattura è apparsa invece la fondazione continua dei pilastri lato corte. Sono stati messi in opera incatenamenti provvisori all'imposta degli archi (fig. 200). La pavimentazione è stata ricostruita alla quota originaria, testimoniata dal ritrovamento dell'ammattonato a coltello, ancora visibile in frammenti, ripristinando le proporzioni del porticato.

La necessità di un'indagine conoscitiva sulla struttura delle volte si è manifestata fin dall'installazione del cantiere di restauro sopra menzionato, con l'osservazione dell'andamento atipico delle fessurazioni sulle volte (fig. 197) e sui pilastri (fig. 192). Le volte presentavano un quadro fessurativo, illustrato in dettaglio nel paragrafo 3, che faceva ipotizzare la presenza di una struttura portante indipendente, quale un solaio ligneo di fattura analoga a quella presente in altre parti del complesso. D'altra parte il notevole fuori piombo della parete esterna e le vistose fessurazioni verticali lungo gli spigoli dei pilastri sembravano indicare un notevole impegno

statico e quindi la necessità di un'indagine conoscitiva che fornisse indicazioni atte a valutare la sicurezza della struttura e l'eventuale necessità di un intervento di consolidamento.

2. Rilievo topografico e analisi di laboratorio

L'indagine è iniziata con un accurato rilievo della geometria della parte del Broletto interessata dal Loggiato Visconteo, con particolare riguardo alla geometria della struttura e al quadro fessurativo delle volte e dei pilastri.

Sulla facciata prospiciente la corte e sui paramenti dei pilastri è stato eseguito un rilievo fotogrammetrico. I fotogrammi sono stati digitalizzati mediante scanner, messi in scala e raddrizzati al computer, uniti e riprodotti mediante stampante termica a sublimazione. Si sono così ottenuti fotopiani in scala come quelli riprodotti nelle figure 191 e 192. Per il pilastro 4, che è il più danneggiato, si è eseguita anche la restituzione grafica delle quattro facce per mettere maggiormente in evidenza la tessitura dei conci, l'andamento delle fessure e delle sbrecciature (fig. 192).

La geometria delle volte è stata rilevata direttamente mediante teodolite Wild T 1600 accoppiato al distanziometro elettronico Dior 3002, che non richiede la presenza del prisma riflettente sul punto da rilevare, e restituita in tridimensionale con Autocad. Il rilievo (figg. 194 e 195) ha interessato solo la zona della prima crociera, dato che le altre hanno andamento quasi identico. Le misure in pianta sono state eseguite mediante trilaterazione, per mettere in evidenza le disimmetrie e le anomalie negli allineamenti. Si sono inoltre rilevati i profili verticali della facciata (fig. 195), che mostrano un fuori piombo massimo della parete di ben 24 cm.

Per indagare la struttura interna dei pilastri onde evidenziare la presenza di eventuali cavità (muratura a sacco) si sono eseguiti quattro micro-carotaggi nei pilastri 2 e 4, due in direzione ortogonale al paramento e due in direzione obliqua, interessando corsi diversi di muratura. Si sono poi costruite le sezioni dei pilastri ipotizzando che i conci di pietra, rilevabili sui paramenti esterni, si estendessero anche all'interno e si sono confrontati i frammenti di carota con tale ipotesi (fig. 193). I carotaggi sono stati eseguiti partendo dalle sbrecciature presenti in corrispondenza dei pluviali, in modo da non rovinare i paramenti esterni dei pilastri. L'esplorazione dei fori mediante un endoscopio ha mostrato che la struttura dei pilastri è costituita da grossi conci di pietra, con giunti di modesto spessore e con qualche irregolarità riempita con conglomerato di calce e ghiaia.

Si sono eseguite prove di resistenza meccanica a compressione su campioni di pietra ottenuti dalle carote e su campioni di laterizio della struttura della volta. I risultati mostrano valori delle tensioni di rottura per la pietra molto dispersi, ma comunque molto elevati, maggiori di 67 N/mm^2 ; per il laterizio si sono avuti valori maggiori di 17 N/mm^2 . Il peso specifico delle murature, considerando la presenza delle malte e di piccoli vuoti, è stato stimato in 26 KN/m^3 .

Su due campioni di pietra si sono eseguite analisi petrografiche e chimiche che hanno permesso di classificarli come calcare compatto a grana fine, fossilifero (biomicrite), con vene decimillimetriche di calcilite limpida, generalmente sub-parallele. Questa pietra è caratteristica delle colline intorno a Brescia ed è chiamata «medolo».

Le analisi chimiche su campioni di malta hanno stabilito che non vi sarebbero particolari incompatibilità con leganti a base cementizia da impiegare per eventuali iniezioni consolidanti.

Si è prelevato un campione del materiale di riempimento delle volte, costituito da sabbia, polvere, frammenti di pietra e laterizio, e se ne è determinato il peso specifico allo stato sciolto e dopo costipamento, per riportarlo alle condizioni *in situ*, ottenendo un peso specifico di 15 KN/m³ per il materiale sciolto e di 16 KN/m³ per il materiale costipato.

3. Quadro fessurativo e struttura delle volte

Il quadro fessurativo dei pilastri (fig. 192), mostra uno stato di degrado avanzato, con fessurazioni ad andamento verticale che interessano soprattutto gli spigoli lato corte e con sfaldamento superficiale della parte inferiore del paramento lato portico.

Le fessurazioni verticali lungo gli spigoli sembrano dovute all'azione concomitante degli agenti meteorici (cicli di gelo e disgelo) e alla concentrazione di sforzi dovuta alla parzializzazione delle sezioni conseguente alla inclinazione dei pilastri provocata dalla spinta delle volte. Tali cause sono state aggravate dagli scassi praticati in epoca relativamente recente (forse durante i restauri del 1886) per l'inserimento di pluviali in lamiera zincata, scassi che hanno indebolito la sezione proprio nella parte più sollecitata e che hanno consentito l'infiltrazione dell'acqua piovana tra le pietre attraverso numerosi varchi apertisi nella lamiera a causa della corrosione. Lo sfaldamento superficiale della parte inferiore del paramento lato portico, fino alla quota della precedente pavimentazione, sembra da attribuire all'azione corrosiva delle acque di lavaggio che presumibilmente furono impiegate per secoli per la pulizia del portico.

Le volte sono caratterizzate da fessure (figg. 197 e 200), localizzate prevalentemente in chiave, con andamento parallelo al muro sulla corte; le fessure tendono a chiudersi verso il centro delle crociere e hanno apertura massima di 4-5 mm. Tale andamento indica che le vele sono in alcune zone scariche in chiave, condizione che può verificarsi solo per volte leggere e scariche, e quindi solo se il pavimento grava su una struttura indipendente. Tale constatazione ha indotto a pensare che le volte fossero un «controsoffitto» e che la struttura portante fosse ancora costituita dal solaio ligneo medievale, con travi analoghe a quelle ordite in altre zone del Broletto.

Questa ipotesi sembrava suffragata da un primo sondaggio eseguito asportando un mattone in chiave (fig. 197), asportazione che si è eseguita facilmente a conferma del fatto che la volta era quasi scarica. L'ispezione ha rivelato la presenza di una cavità, chiusa in sommità da una struttura in

mattoni, a una distanza di 40 cm dall'intradosso della volta e che sembrava sorreggere il pavimento tra le ipotetiche travi lignee.

È stato quindi eseguito un sondaggio nel locale soprastante, nella convinzione di trovare il solaio ligneo. Il sondaggio (fig. 202), eseguito contro il muro verso la corte, ha rivelato invece la presenza del classico riempimento in materiale di risulta. Esso ha però confermato la preesistenza di un solaio ligneo come indicato dalla presenza di una mensola corrente in pietra, analoga a quella presente nelle stanze al di sotto del salone dell'Anagrafe, e dalle tasche di alloggiamento delle travi.

Non essendoci traccia delle travi, si è quindi pensato che la struttura individuata dalla prima ispezione fosse costituita da una controvolta, la cui estensione doveva essere limitata alla zona adiacente il pilastro in quanto mancava in corrispondenza dello scavo di assaggio. L'allargamento successivo del sondaggio verso sud per circa 150 cm (fig. 202) non ha potuto essere sufficientemente profondo (si sono raggiunti i 70 cm), pertanto si è cercato di individuare la quota di imposta della controvolta infiggendo nel materiale di riempimento fino a rifiuto una punta che si è arrestata a 113 cm dal pavimento. Successivamente si è esplorata la cavità fra volta e controvolta con una telecamera, attraverso il varco praticato in chiave per il primo sondaggio e si sono determinate le dimensioni in pianta della controvolta (circa 180 cm per parte a partire dall'arco di imposta della crociera). L'esplorazione della cavità ha rivelato la presenza di resti di cannicciato e di bastoncelli di legno decomposti dagli insetti, nonché di frammenti di intonaco con l'impronta del cannicciato. Questi ritrovamenti potrebbero testimoniare il metodo di costruzione della controvolta, posata su una carpenteria leggera, costituita appunto dal cannicciato irrigidito da bastoncelli e da una spalmata di intonaco, e appoggiata per punti sulla sottostante volta mediante pezzi di legno. Tale tecnica sembra essere stata in uso nel bresciano.

Un secondo sondaggio (fig. 202) ha confermato la presenza della controvolta e ha consentito di definirne la geometria (fig. 203). La misura delle quote della porzione di controvolta interessata dal sondaggio ha indicato che le generatrici sono inclinate, con pendenza leggermente inferiore a quella delle vele (si vedano le sezioni di fig. 203). Si è inoltre rilevata una vistosa fessura (fig. 202), con scorrimento verticale di circa 5 cm, come evidenziato nella sezione 2-2 della figura 203, dovuta all'abbassamento della controvolta, conseguente al vistoso fuori piombo della muratura. L'abbassamento non si è verificato nella zona a sinistra in seguito al contatto con la sottostante volta.

Il quadro fessurativo appare giustificato dalla particolarità della struttura: le vele parallele al muro esterno si sono aperte in chiave, perché scari- che e deformate dall'inclinazione dei pilastri provocata dalla spinta delle controvolte. Verso il centro della crociera le fessure si chiudono perché in tali zone le volte sono cariche non essendoci la controvolta. Non è chiaro il motivo che ha indotto i costruttori medievali a introdurre la struttura delle controvolte, che è sicuramente economicamente e staticamente onerosa, soprattutto nel caso in esame ove l'intercapedine vuota è limitata (circa 20 cm in chiave) e quindi è modesto il risparmio di peso.

Oltre al quadro fessurativo sopra esposto, sono presenti fessure cospicue tra le vele ortogonali alle precedenti e la muratura (figg. 197 e 198). Più precisamente la struttura in mattoni è distaccata dalla muratura di circa 10 cm in chiave, distacco che diminuisce e si annulla verso i peducci, dove ovviamente le volte si ammorsano nella muratura. Tale distacco è in accordo con il valore del fuori-piombo della muratura. Il materiale di riempimento è trattenuto da mattoni posati al di sopra della volta (fig. 198), il che fa pensare che il distacco e il fuori piombo si siano verificati subito, nella fase di riempimento. Il distacco è mascherato dall'intonaco.

È interessante notare che l'intonaco delle volte (fig. 198) è costituito da due strati di malta a base di calce aerea e inerte. Lo strato interno, che sembra essere quello originale, termina a filo della struttura della volta e quindi non riempie il distacco di cui sopra; esso è caratterizzato da calcinaroli con diametro di 4-5 mm e da due livelli di scialbatura di calce, il più esterno dei quali presenta una pigmentazione giallo-ocra. Questo strato presenta picchiettature atte a ricevere lo strato successivo, che è esteso fino a coprire il distacco fra volta e muratura fra le quali rimane tuttavia una fessura di 10-15 mm. Tale secondo strato ha caratteristiche simili a quelle della malta con cui sono state eseguite le stilature dei pilastri (diametro dei calcinaroli di 1-2 mm, granulometria degli inerti, protettivo consolidante). Questo fatto permetterebbe di datare l'intonaco al restauro del 1886. Il protettivo consolidante si è alterato nel tempo ed è il responsabile della colorazione scura delle superfici, delle esfoliazioni evidenti soprattutto sulle parti in cotto (fig. 201), nonché del distacco dello strato superficiale di intonaco da quello sottostante (fig. 198). Queste osservazioni inducono a ritenere che il distacco di 10-15 mm tra lo strato esterno di intonaco e la muratura si sia sviluppato a partire dal 1886 e che quindi sia ancora in atto l'aumento progressivo del fuori-piombo. Tale ipotesi è avvalorata dalle vistose fessure presenti sul pavimento dei locali sovrastanti le volte, in corrispondenza dell'attacco alla muratura.

Gli archi di imposta pseudotorici sono formati da un concio inferiore, costituito da un mattone sagomato, e da un concio superiore, costituito da un mattone intero, non ammorsati fra di loro né ammorsati alla volta. Le discontinuità sono mascherate da un velo di malta colorata sulla quale sono tracciate le fughe di finti mattoni. Gli archi sono interessati da una fessurazione longitudinale che ne segna la discontinuità con la volta (fig. 201). Le finte fughe tracciate sulla malta di rivestimento sono interrotte da tali fessure e hanno i tratti dislocati, segno di un notevole spostamento relativo tra arco e volta. Anche gli archi diagonali, costituiti da un solo concio in mattone sagomato, non sono ammorsati alla crociera.

4. Effetti della spinta delle volte e delle controvolte

I pilastri sono soggetti ai carichi trasmessi dalla copertura, dal sottotetto, dalla muratura, dalle volte a crociera e dalle controvolte (fig. 205).

La struttura portante della copertura, costituita da capriate con catena

rialzata (fig. 194, sez. B-B), ha un effetto spingente e ha contribuito ad aggravare la situazione del fuori piombo della muratura. Tuttavia, essendo le capriate isostatiche, le spinte, nate per congruenza e non per equilibrio, si ritengono esaurite con l'assessamento del terreno di fondazione. Nelle valutazioni che seguono si considera il solo peso proprio della copertura ($1,50 \text{ KN/m}^2$), con reazione verticale applicata sull'asse della muratura; poiché l'interasse dei pilastri è di m 5,60 e la larghezza della copertura, misurata fra i fili esterni delle pareti, è di m 12,40, il carico P_t trasmesso dalla copertura su ogni pilastro è pari a 52,08 KN.

Per il solaio del sottotetto, costituito da una struttura con travi in legno a sezione circolare di 30 cm di diametro poste a interasse di circa 80 cm, assito e intonaco su cannicciato, viene considerato un peso proprio di $1,50 \text{ KN/m}^2$ che, sulla luce netta di 10,10 m, implica un carico P_s gravante su ogni pilastro di 42,42 KN.

Il peso P_m della muratura gravante alla base del pilastro, con un peso specifico di 26 KN/m^3 e uno spessore è di 1,15 m, considerando la presenza dei vuoti delle aperture, è stimabile in 1756 KN. Tale carico, considerando che fra la base del pilastro e la sommità della muratura vi è un fuori-piombo massimo di 24 cm, ha un'eccentricità di circa 12 cm.

Data la presenza della controvolta, ordita in corrispondenza dei pilastri per una larghezza di circa 3,60 m, si devono considerare separatamente i carichi trasmessi dalle due strutture. Le azioni possono essere considerate pari al doppio di quelle trasmesse dal quarto di crociera (spicchio) della figura 204.

La volta a crociera porta, oltre al peso proprio della struttura in mattoni, che ha uno spessore di 18 cm, il peso del volume delimitato superiormente dalla porzione di pavimento, di larghezza pari a 1 m, che non grava sulla controvolta (si veda l'assonometria di fig. 204); è inoltre presente il riempimento alle reni (fig. 204, sez. A-A); i pesi specifici della volta in mattoni e del riempimento possono essere ritenuti uguali a 17 KN/m^3 . Nella figura 204 sono riportati i valori del volume e del peso complessivi nonché la posizione del baricentro. Il carico complessivo $P_1 = 75,82 \text{ KN}$ è equilibrato dalla reazione del pilastro, che possiamo considerare applicata nel punto indicato nella figura 204, e dalla distribuzione di reazioni orizzontali f_1 , distribuite lungo la sezione di chiave della vela ma solo in prossimità dell'apice della crociera, come suggerito dall'andamento delle fessurazioni della volta. La risultante S_1 delle f_1 può quindi considerarsi applicata all'apice della crociera, con un braccio di circa 3,00 m e pertanto con un valore di 28,05 KN. Sul pilastro gravano due spicchi e pertanto la forza che la volta trasmette al pilastro ha le componenti $P_v = 151,64 \text{ KN}$ e $S_v = 56,10 \text{ KN}$.

La controvolta porta il peso del materiale di riempimento indicato nella figura 204. Le spinte S_2 , ipotizzando la situazione limite di collasso con cerniere all'estradosso in chiave e all'intradosso all'imposta, hanno un braccio di 0,87 m e pertanto sul pilastro si hanno le componenti $P_c = 127,16 \text{ KN}$ e $S_c = 179,78 \text{ KN}$.

Si noti che, se non ci fosse la controvolta, se cioè all'imposta dei peduc- ci si scaricasse l'intero carico costituito dal volume delimitato dal pavimen-

to, sul pilastro graverebbero in totale le componenti $P_{sc} = 336,60$ KN e $S_{sc} = 134,64$ KN, contro un carico totale $P = P_v + P_c = 278,80$ KN e una spinta complessiva $S = S_v + S_c = 235,88$ KN del caso reale. Il guadagno in termini di carico determinato dall'inserimento della controvolta è quindi modesto (17 %) mentre l'aggravio in termini di spinta è notevole (75 % in valore assoluto, senza contare l'aumento di quota della risultante delle spinte).

Il carico totale P_p gravante alla base del pilastro vale in definitiva $P_p = P_t + P_s + P_m + P_v + P_c = 2129$ KN e, rispetto al punto A della figura 205, si ha un momento stabilizzante $M_s = 1174$ KNm e un momento ribaltante $M_R = 1818$ KNm.

Poiché il momento ribaltante è maggiore del momento stabilizzante è evidente che la struttura mobilita risorse statiche non considerate, perché di valutazione molto incerta. Queste risorse potrebbero qualitativamente essere individuate nel funzionamento a catena della copertura e del massetto del pavimento e nella collaborazione fra volta e controvolta. Il funzionamento a catena delle capriate del tetto e delle travi del sottotetto, seppure non volutamente ammorsate nella muratura, può assorbire forze orizzontali per esempio mobilitando l'attrito. La collaborazione tra volta e controvolta, con parziale scarico di quest'ultima e trasferimento di un'aliquota del carico dalla controvolta alla volta con diminuzione del valore e della quota della spinta, sembrerebbe confermata dalla situazione di equilibrio che si avrebbe se la controvolta non fosse spingente e il suo carico gravasse interamente sulla volta sottostante. Infatti, nel caso ipotetico in cui non fosse presente la spinta della controvolta e l'intero carico, costituito dal peso del riempimento fra la volta e il pavimento, si scaricasse all'imposta dei peducci, si avrebbe un carico totale alla base del pilastro $P_p = 2187$ KN, un momento stabilizzante $M_s = 1240,40$ KNm, un momento ribaltante $M_R = 852,39$ KNm e un coefficiente di sicurezza al ribaltamento $M_s/M_R = 1,46$ di valore accettabile; anche il valore della compressione massima di $5,7$ N/mm² si potrebbe ritenere accettabile.

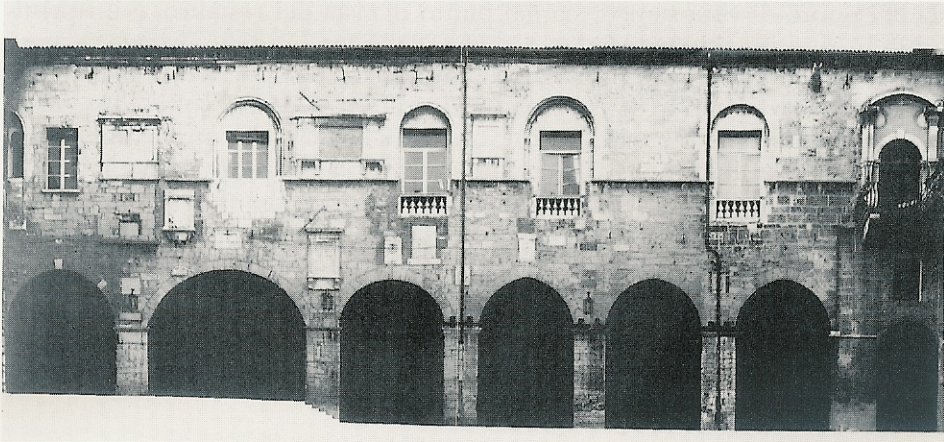
Nonostante la sproporzione fra i valori del momento stabilizzante e ribaltante, questi contributi, di difficile quantificazione, hanno permesso comunque l'instaurarsi di una situazione di equilibrio, sia pure con i valori elevati del fuori-piombo più sopra menzionati.

5. Conclusioni

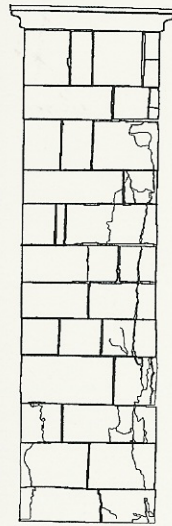
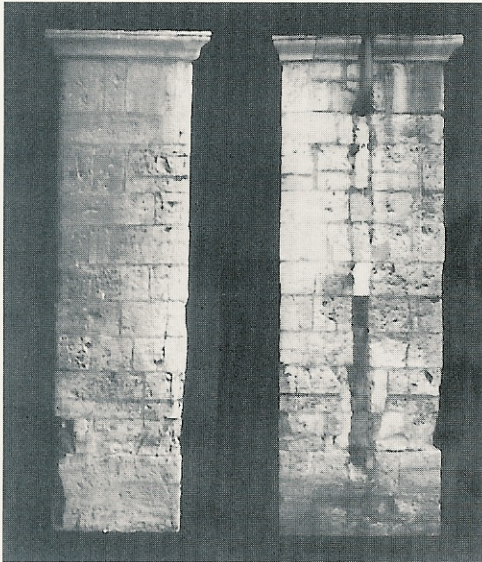
L'indagine conoscitiva ha permesso di giustificare l'anomalo quadro fessurativo riscontrabile sulle volte del Loggiato «Visconteo», mettendo in luce la presenza di una controvolta, realizzata dalle maestranze dell'epoca nell'evidente convinzione di migliorare il regime statico della struttura, determinandone invece un forte aggravio. Di conseguenza la struttura si trova in una situazione di equilibrio precario e appare necessario un sollecito intervento di consolidamento. Le catene messe in opera durante i recenti lavori di restauro hanno aggiunto una risorsa statica importante, ma rappresentano una soluzione provvisoria.

L'ipotesi di intervento definitivo che sembra essere la più opportuna, sia dal punto di vista statico, sia dal punto di vista del restauro, è il ripristino del primitivo schema statico a trave. Nelle tasche delle originarie travi lignee potrebbero essere inserite travi in acciaio per portare il pavimento, scaricando in tal modo sensibilmente le volte e le controvolte con conseguente forte riduzione delle spinte orizzontali. Le travi, opportunamente ammorsate alla muratura, svolgerebbero anche la funzione di catene estradossali, contribuendo a ricentrare i carichi alla base dei pilastri.

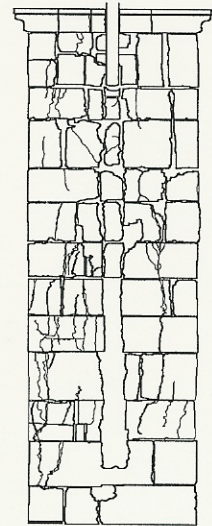
Importante sarà inoltre un'ispezione accurata degli archi di imposta e degli archi diagonali intervenendo per affrancare quei conci che manifestassero una tendenza al distacco.



191. Brescia, loggiato «visconteo» del Broletto: fotopiano della facciata

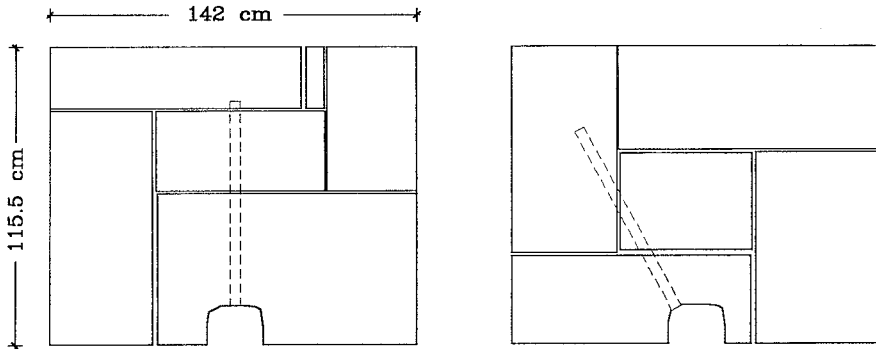


lato nord

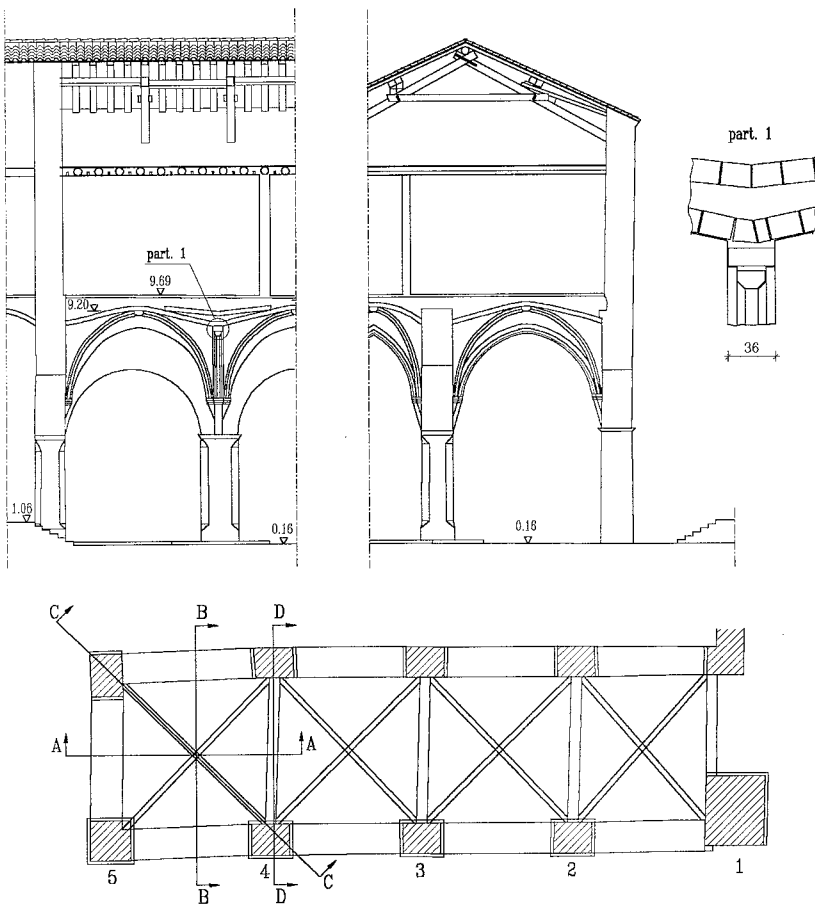


lato ovest

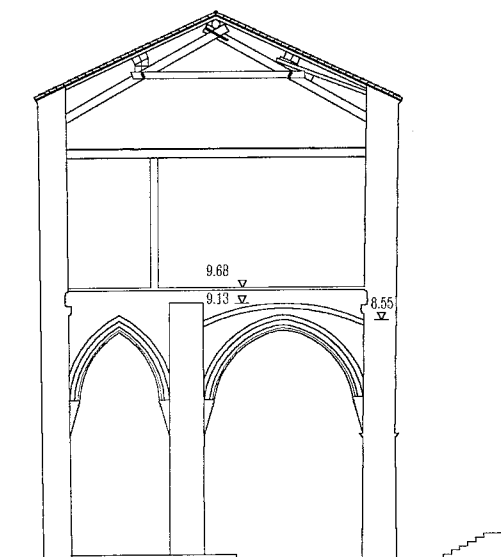
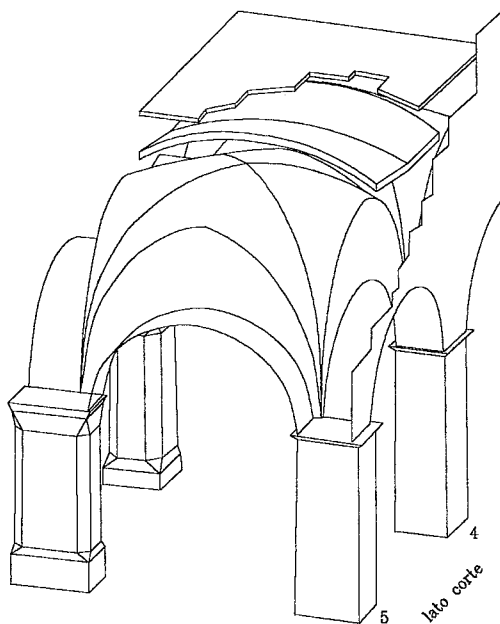
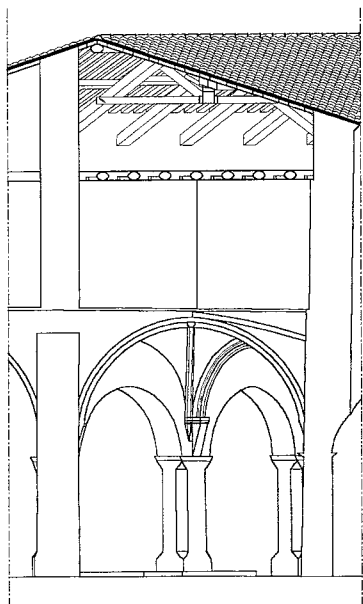
192. Fotopiani e restituzione dei lati nord e ovest del pilastro 4



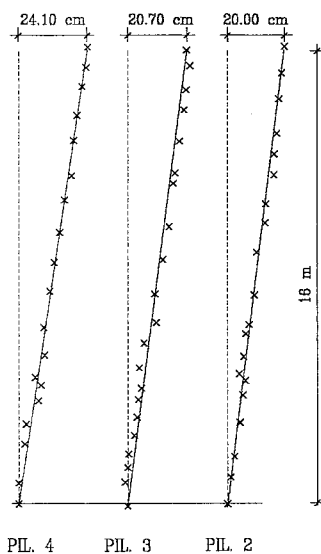
193. Ricostruzione della tessitura dei conci del pilastro 4 dopo i micro-carotaggi



194. Rilievo del loggiato «visconteo»: pianta e sezioni (A-A a sinistra, B-B a destra)



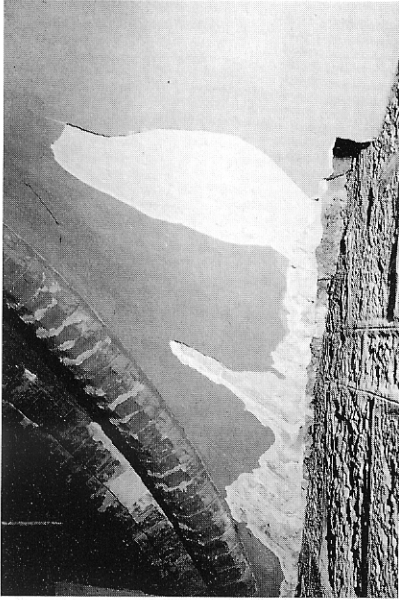
Profili verticali



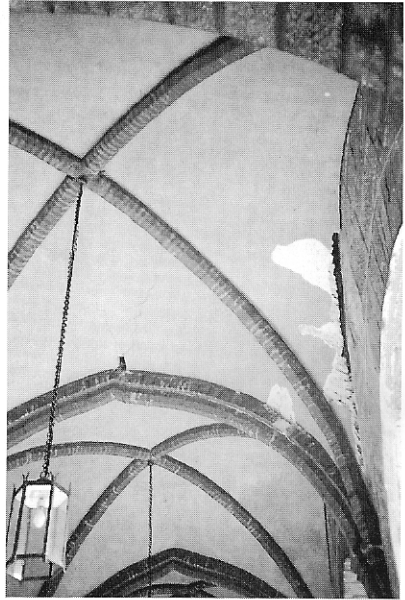
195. Rilievo del loggiato «visconteo»: sezioni (a sinistra: C-C in alto, D-D in basso), assonometria, fuori-piombo



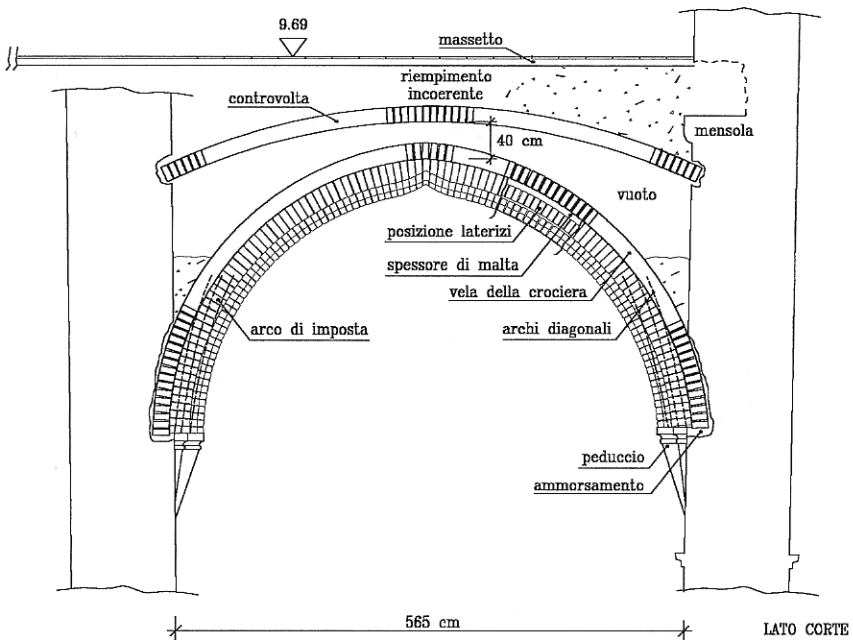
196. La fondazione del pilastro interno 3 durante lo scavo archeologico



197. Quadro fessurativo in chiave e distacco dalla muratura

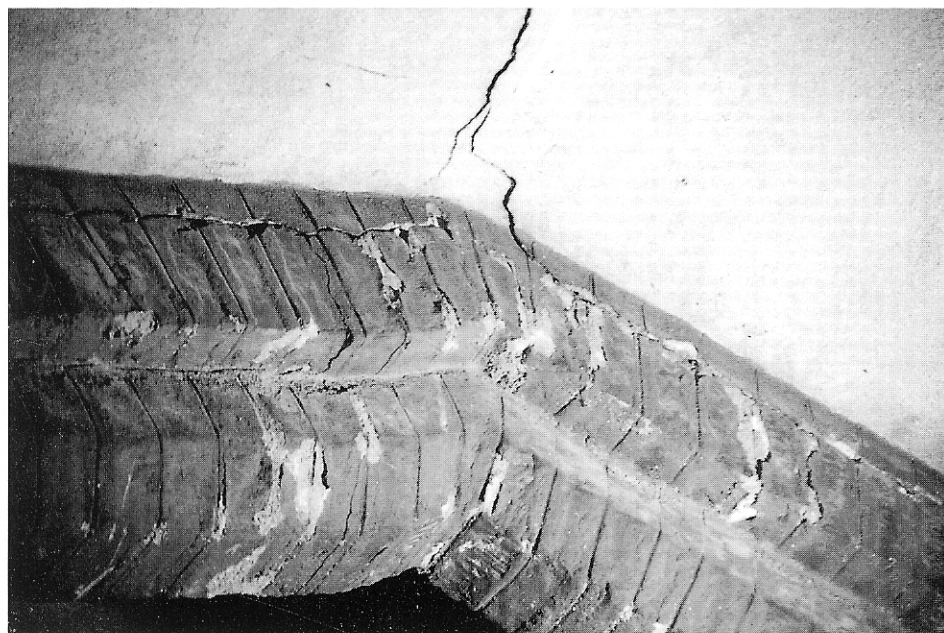
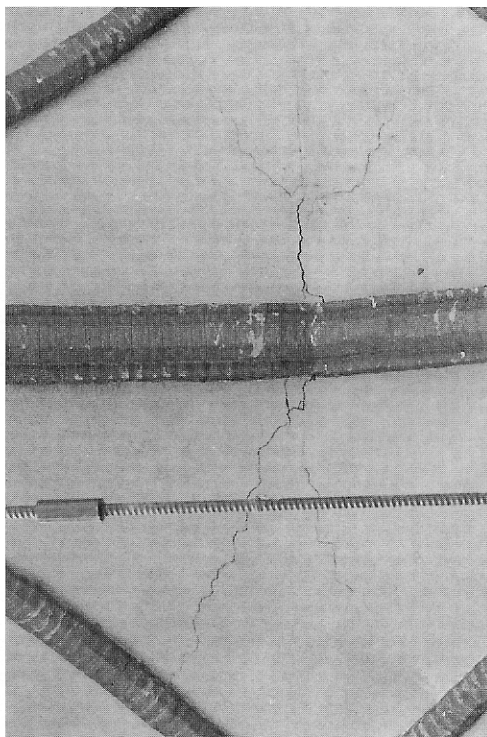


198. Stratificazione degli intonaci

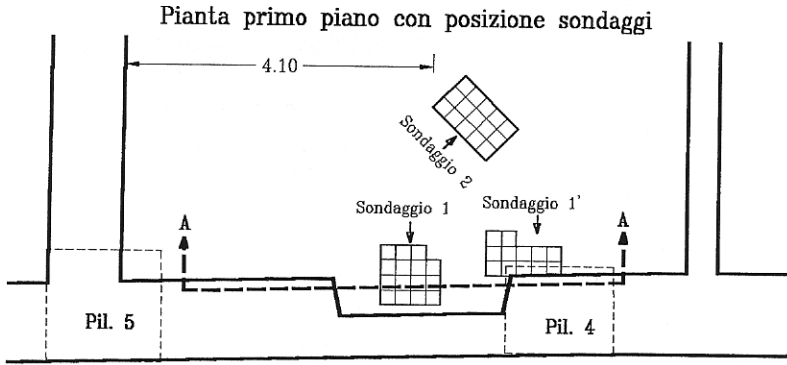


199. Sezione sull'arco di imposta

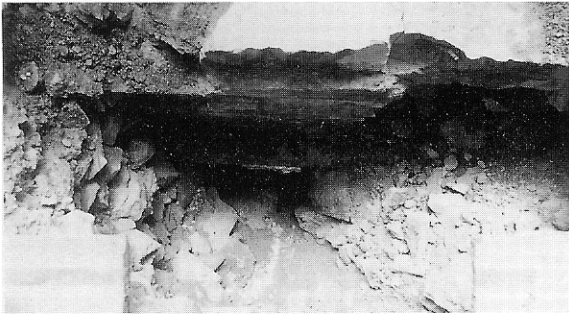
200. Particolare delle fessure in chiave



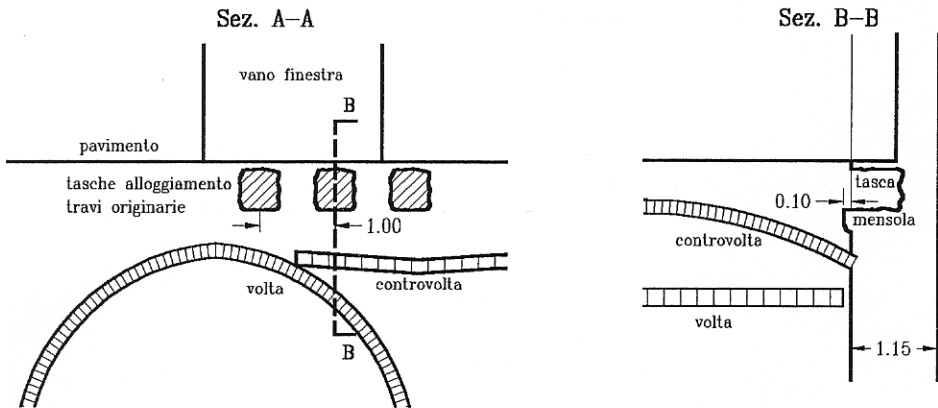
201. Fessurazione longitudinale negli archi di imposta



Sondaggio 1

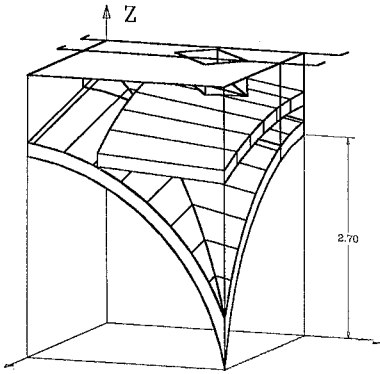


Sondaggio 2

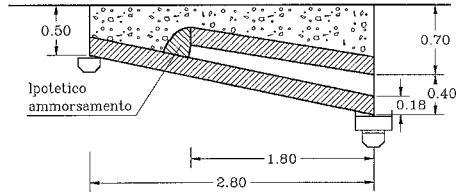


202. Posizione dei sondaggi e rilievo della controvolta, della volta e delle tasche di alloggiamento delle travi lignee originarie

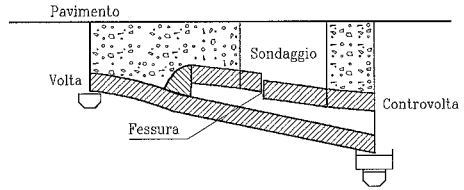
ASSONOMETRIA
DELLO SPICCHIO



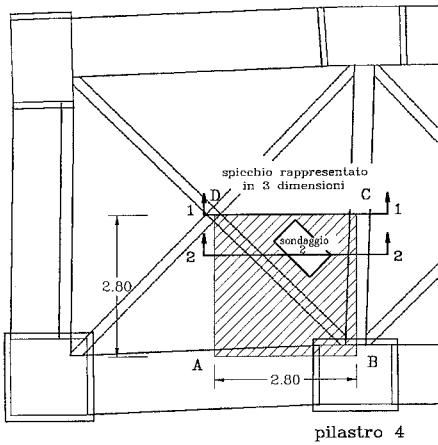
SEZIONE 1-1



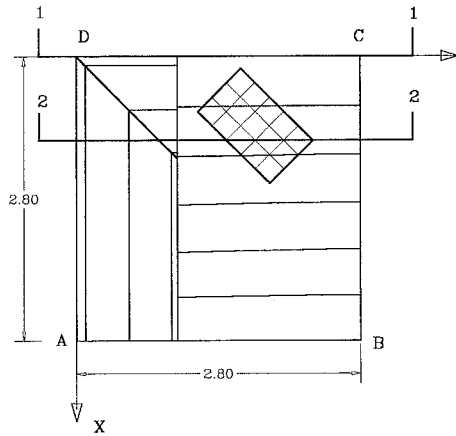
SEZIONE 2-2



PIANTA DELLA VOLTA

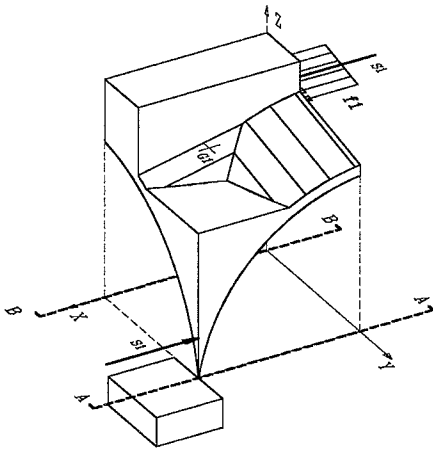


PIANTA DELLO SPICCHIO

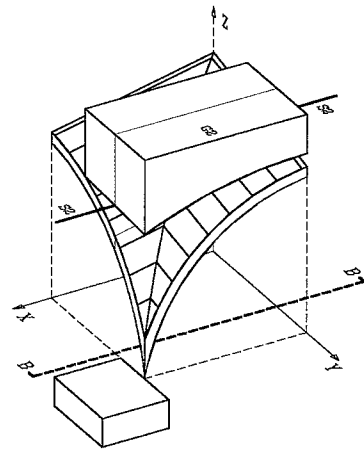


203. Andamento della controvolta ricostruito in base ai sondaggi

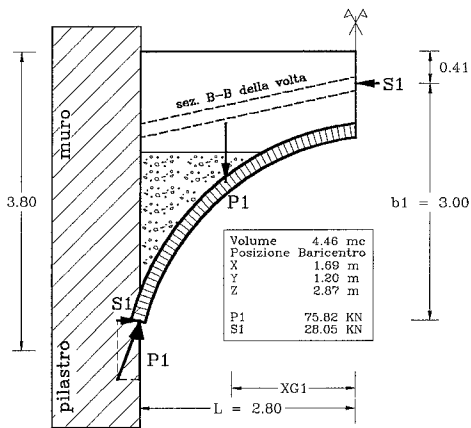
CARICO SULLA VOLTA



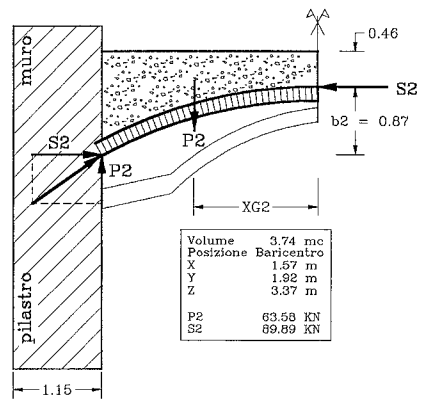
CARICO SULLA CONTROVOLTA

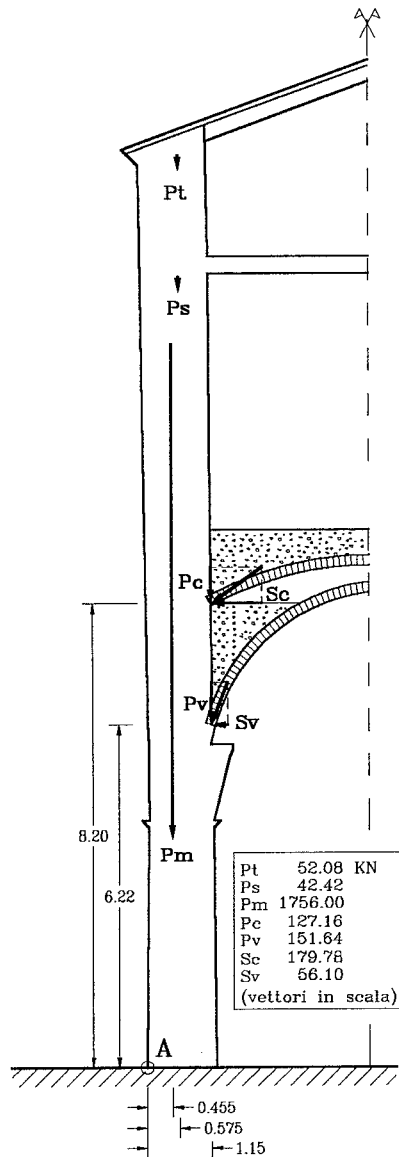


SEZIONE A-A



SEZIONE B-B





205. Azioni alla base del pilastro

INDICE

- 7 STEFANO DELLA TORRE
Introduzione
- 15 RICHARD SCHOFIELD
Dal progetto al cantiere:
Bramante e la Canonica di S. Ambrogio a Milano
- 31 GIULIO LUPO
«Gli abiti de le architetture antiche non si confanno ai dossi
de le moderne»: il crollo della volta della Libreria Marciana
di Jacopo Sansovino
- 53 GIUSEPPE FIENGO
Cronologia dei paramenti murari napoletani moderni
- 71 LUIGI GUERRIERO
Note sulle cortine laterizie napoletane dell'età moderna
- 83 MARIA RUSSO
Apparecchi murari «a cantieri» del XVI secolo in Napoli
- 97 DONATELLA FIORANI
Le tecniche costruttive murarie medievali del basso Lazio.
Metodo e percorsi di una ricerca
- 113 DANIELA ESPOSITO
La tecnica muraria a blocchetti lapidei in area romana
- 127 SILVIA ABBANEO, ANNA ANZANI, LUIGIA BINDA
Il rilievo delle sezioni e il comportamento meccanico delle murature
- 145 MAURIZIO RICCI, NICOLA BERLUCCHI
La struttura muraria della Torre degli Asinelli
- 159 AURORA CAGNANA
L'esperienza ligure nell'esame archeologico delle strutture murarie

- 171 ANNA BOATO
Il costruire storico genovese:
fonti scritte e studio delle tecniche murarie
- 181 GIAN PIETRO BROGIOLO
Esperienze nel Bresciano di studio archeologico dell'architettura
- 195 LAURA RECCHIONE
Prime indagini mensiocronologiche sui laterizi nella città di Brescia
- 205 IRENE GIUSTINA
Problemi di lessico tecnico nella documentazione relativa
a cantieri ricchiniani
- 233 VALENTINO VOLTA
Disegni di «macchine prodigiose» nel cantiere settecentesco
- 249 CARLO MINELLI, ENRICA PINNA, ROSY TOMA
Il dibattito sulla cupola della chiesa del Cimitero vantiniano
a Brescia
- 263 VALERIA PRACCHI
Il modo di restaurare. Le tecniche nel cantiere di restauro
tra Otto e Novecento e l'impiego del cemento armato
- 277 GIAN PAOLO TRECCANI
Pratiche costruttive e progetto di conservazione
- 289 EZIO GIURIANI, ALESSANDRA GUBANA
Recupero e consolidamento di volte in muratura
- 315 PIERO GELFI
Le pilastrate esterne e le volte del loggiato «visconteo»
del Broletto di Brescia
- 335 Gli Autori

GLI AUTORI

- SILVIA ABBANEO, Scuola di Specializzazione in Restauro dei monumenti
del Politecnico di Milano
- ANNA ANZANI, Politecnico di Milano
- NICOLA BERLUCCHI, borsista EULO/Università di Brescia
- LUIGIA BINDA, Politecnico di Milano
- ANNA BOATO, Dottorato di ricerca in Conservazione presso il Politecnico di
Milano
- GIAN PIETRO BROGIOLO, Università di Padova
- AURORA CAGNANA, Istituto per la Storia della Cultura Materiale di Genova
- STEFANO DELLA TORRE, Università di Brescia
- DANIELA ESPOSITO, Dottorato di ricerca presso l'Università di Roma
«La Sapienza»
- GIUSEPPE FIENGO, Seconda Università di Napoli
- DONATELLA FIORANI, Dottorato di ricerca presso l'Università di Roma
«La Sapienza»
- PIERO GELFI, Università di Brescia
- EZIO GIURIANI, Università di Brescia
- IRENE GIUSTINA, Università di Brescia
- ALESSANDRA GUBANA, Università di Brescia
- LUIGI GUERRIERO, Seconda Università di Napoli
- GIULIO LUPO, Università di Brescia
- CARLO MINELLI, Scuola di Specializzazione in Restauro dei monumenti
del Politecnico di Milano
- MARIO PIANA, Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici
di Venezia
- ENRICA PINNA, Scuola di Specializzazione in Restauro dei monumenti
del Politecnico di Milano
- VALERIA PRACCHI, Dottorato di ricerca in Conservazione presso
il Politecnico di Milano
- LAURA RECCHIONE, borsista EULO/Università di Brescia
- MAURIZIO RICCI, Soprintendenza ai Beni Ambientali e Architettonici
dell'Emilia
- MARIA RUSSO, Seconda Università di Napoli
- RICHARD SCHOFIELD, University of Nottingham
- ROSY TOMA, Scuola di Specializzazione in Restauro dei monumenti
del Politecnico di Milano
- GIAN PAOLO TRECCANI, Politecnico di Milano
- VALENTINO VOLTA, Università di Brescia