

CONCRETE 2014
PROGETTO E TECNOLOGIA PER IL COSTRUITO
Tra XX e XXI secolo

Termoli
25 e 26 settembre 2014

**STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO NEL CASTELLO
SFORZESCO DI MILANO (1904-1956)**

Carolina Di Biase
Politecnico di Milano, Italia
e-mail: carolina.dibiase@polimi.it

Parole chiave: strutture "miste", murature, calcestruzzo armato, restauri, Castello Sforzesco

Abstract

At the beginning of the twentieth century, the implementation of Luca Beltrami's restoration projects for Castello Sforzesco in Milan involved the installation within the South Tower of a double tank for drinking water of the Hennebique type; this was intended to be more affordable than the previous iron drinking-water tank that had been installed in the East Tower in 1894. That new water tank was the first reinforced concrete structure in the the Castle, and whilst it had substantial economic advantages it also created some problems of permeability.

Following the destruction wrought by the 1943 bombing raids, half a century later work was carried out on the reconstruction of certain parts of the Castle and the consolidation of other existing parts of the structure; this involved extensive use of reinforced concrete features in the foundations, roof vaults, roofing, arches and platbands and even in the supports for the large portals that were added to the new museum layout designed by BBPR. As a result, Castello Sforzesco became to all intents and purposes a complex of "mixed" structures (part traditional masonry, part reinforced concrete), and it is these structures that are now the focus of attention for architects and structural engineers.

Il doppio serbatoio per l'acqua potabile del Torrione Sud

A dieci anni dalla collocazione del serbatoio in acciaio per il servizio di distribuzione dell'acqua potabile sul Torrione Est del Castello Sforzesco, completato e ripristinato secondo gli studi di Luca Beltrami e grazie all'intervento dell'Ufficio Regionale per la Conservazione dei Monumenti della Lombardia da lui diretto, la città di Milano delibera nel luglio 1903 la realizzazione di un secondo

serbatoio, questa volta in calcestruzzo armato, da collocare sul tronco del Torrione Sud.

Se il Torrione Est, a restauro completato, configurava il volto del Castello in occasione delle Esposizioni Riunite di Milano del 1894, il "rialzo e restauro" del Torrione Sud sarà concluso per il 1905, anno nel quale avrebbe dovuto inaugurarsi l'Esposizione Internazionale del Sempione (evento rimandato all'anno successivo). Nel 1905 anche la Torre del Filarete, al centro della facciata Sud-Est inquadrata dai due torrioni e rivolta al centro città, è terminata, e il "Quadrato Sforzesco" appare così interamente ripristinato.

Il "restauro razionale" - questa la definizione di Luca Beltrami (1854-1934), Senatore del regno e architetto tra i più quotati nella capitale lombarda -, è un chiaro segno di progresso nel mondo dell'arte e scienza applicata ai monumenti e le opere eseguite ai Torrioni ben rappresentano le capacità dei professionisti, ingegneri e architetti, usciti dall'Istituto Tecnico Superiore, poi Politecnico di Milano.

Come già nel caso del Torrione Est, il restauro si incarica di restituire al "secondo monumento di Milano dopo il Duomo" le forme perdute, mentre l'inserimento di un ulteriore impianto di distribuzione dell'acqua potabile¹ a servizio dei nuovi quartieri borghesi di Foro Bonaparte ne sancisce la pubblica utilità. Ornamento, decoro e innovazione a servizio della città, hanno come contraltare la realizzazione di una "struttura mista", in questo caso parte in calcestruzzo armato, parte in muratura, che è anche la prima ad essere realizzata al Castello di Milano. Più in generale, questo caso pone la questione, che diverrà sempre più ampia, delle caratteristiche e del comportamento di edifici in muratura nei quali sono inserite strutture collaboranti in calcestruzzo armato.

La documentazione conservata presso gli archivi comunali², oltre a indicare date e circostanze nelle quali matura la decisione, chiarisce le ragioni, innanzitutto economiche per le quali la struttura interna in calcestruzzo armato è preferita a quella in acciaio - il costo preventivato è di L. 33.600, contro la spesa di L.43.200 sostenuta nel caso precedente -, illustra il progetto del nucleo interno e del cilindro murario esterno. Vi sono contenuti anche gli atti di collaudo, il primo dei quali effettuato nel gennaio 1905, con prime prove di massimo e minimo sovraccarico alternate a più riprese ed accompagnate da rilievi delle deformazioni eseguiti con l'impiego di flessimetri a grande moltiplicazione, diagramma degli spostamenti, misure dei cedimenti delle travi curvilinee e dei montanti, ecc.

Un anno prima, il 20 gennaio 1904 il Comune aveva stipulato con la Ditta Porcheddu di Torino il contratto di costruzione del doppio serbatoio da realizzarsi con il sistema Hennebique: più semplice quello inferiore, dal fondo costituito da un'intelaiatura di travi e da una soletta spessa cm 25, al fine di garantire "la perfetta impermeabilità"; più complesso il serbatoio superiore, sostenuto da 22 pilastri appoggiati al massiccio della muratura esistente e costituito da un reticolato di fondo appoggiato sui pilastri e da una parete cilindrica armata di travi, sul ciglio della quale un ballatoio sporgente si raccorda alla nuova muratura del Torrione. Per entrambi i serbatoi è prevista, a garanzia di una perfetta igiene, la lisciatura delle pareti interne con "buon intonaco di cemento".

Le modalità di realizzazione, con il riutilizzo dei disegni elaborati per il Torrione Est dall'Ufficio Regionale dei Monumenti, sono indicate dettagliatamente nella

contabilità e nelle liquidazioni delle forniture e delle opere, eseguite come di consueto dalla Società Cooperativa Muratori.

In sostanza, sulla torre monca viene collocata la struttura del serbatoio che accoglie in corrispondenza di vani voltati interni preesistenti, l'impianto di adduzione dell'acqua potabile, mentre attorno, in continuità con la muratura preesistente, viene costruita la muratura curva interna di "mattoni nuovi forti grossoni comuni" – "speciali" soltanto al di sopra della fascia dei beccatelli – e malta di calce di Casale, e viene ricomposto il rivestimento esterno a bugne di sarizzo di recupero (una volta terminate, in conglomerato cementizio gettato a stampo).

Tra i periodici che commentano l'intervento, "Il Cemento. Rivista tecnica di materiali da costruzione" i cui redattori sono Arturo Danusso e Giulio Revere, ospita nel numero di aprile-maggio del 1905 un articolo interessante firmato dall'ingegner Francesco Minorini. L'autore descrive i due serbatoi cilindrici (fig.1), con capienza, rispettivamente, di 1500 metri cubi quello superiore, e di 500 metri cubi quello inferiore, che fa da troppo pieno e contiene l'acqua destinata all'"innaffiamento", come "riparati alla vista da un muro perimetrale che si eleva fino al piano dei beccatelli portanti la muratura ". Illustrato dettagliatamente il sistema strutturale (fig.2), Minorini aggiunge i dati riguardanti la composizione del calcestruzzo, unica per tutte le strutture: Mc 0,800 di ghiaietto, mc 0,400 di sabbia, CG 300,00 di Cemento di Casale II per metro cubo di impasto.

Risulta interessante anche la struttura di copertura, anch'essa in calcestruzzo armato, della quale è pubblicato il disegno di dettaglio (fig. 3).

Ma è l'incipit della seconda parte dell'articolo ad aprire il tema dei difetti costruttivi, al quale le riviste internazionali dedicano un certo spazio, del serbatoio appena realizzato: "Allorquando si mise in carica il serbatoio superiore per la prima volta si ebbero copiose filtrazioni che nelle 24 ore raggiunsero gli 11 metri cubi"; nei giorni successivi esse diminuirono per via della formazione "di vere e proprie incrostazioni prodotte dall'acqua stessa"³. Il fenomeno non è esaurito al momento in cui Minorini scrive, ed egli non fa mistero che, anche se prescelta tra molte proposte diverse per concezioni, forme e dimensioni presentate da "ditte specialiste" al Comune di Milano, "la struttura adottata per il serbatoio non parrebbe la più razionale [in quanto] non si ha un'uniforme ripartizione degli sforzi, i quali si concentrano ai nodi, dove l'intreccio complicato di armature rende difficile ottenere un impasto perfetto delle armature", problema esposto del resto sin dall'inizio alla ditta costruttrice. A sua volta, questa non aveva garantito dal trasudamento, che, in ogni caso, non avrebbe dovuto superare ½ litro nelle 24 ore per ogni mq di superficie bagnata.

Il collaudo effettuato da Antonio Federico Jorini, professore di costruzione di ponti e opere marittime al Politecnico di Milano, mostrava che le deformazioni permanenti si presentavano assai variabili dall'una all'altra componente strutturale. Jorini aveva osservato come il ritorno all'origine delle strutture in cemento armato deformate, in accordo con le esperienze di Considère, richiedesse tempi lunghi e fosse fortemente influenzato dall'imbibizione; nel caso del serbatoio del Castello, infatti, le deformazioni massime si presentavano concentrate nelle parti soggette a infiltrazioni.

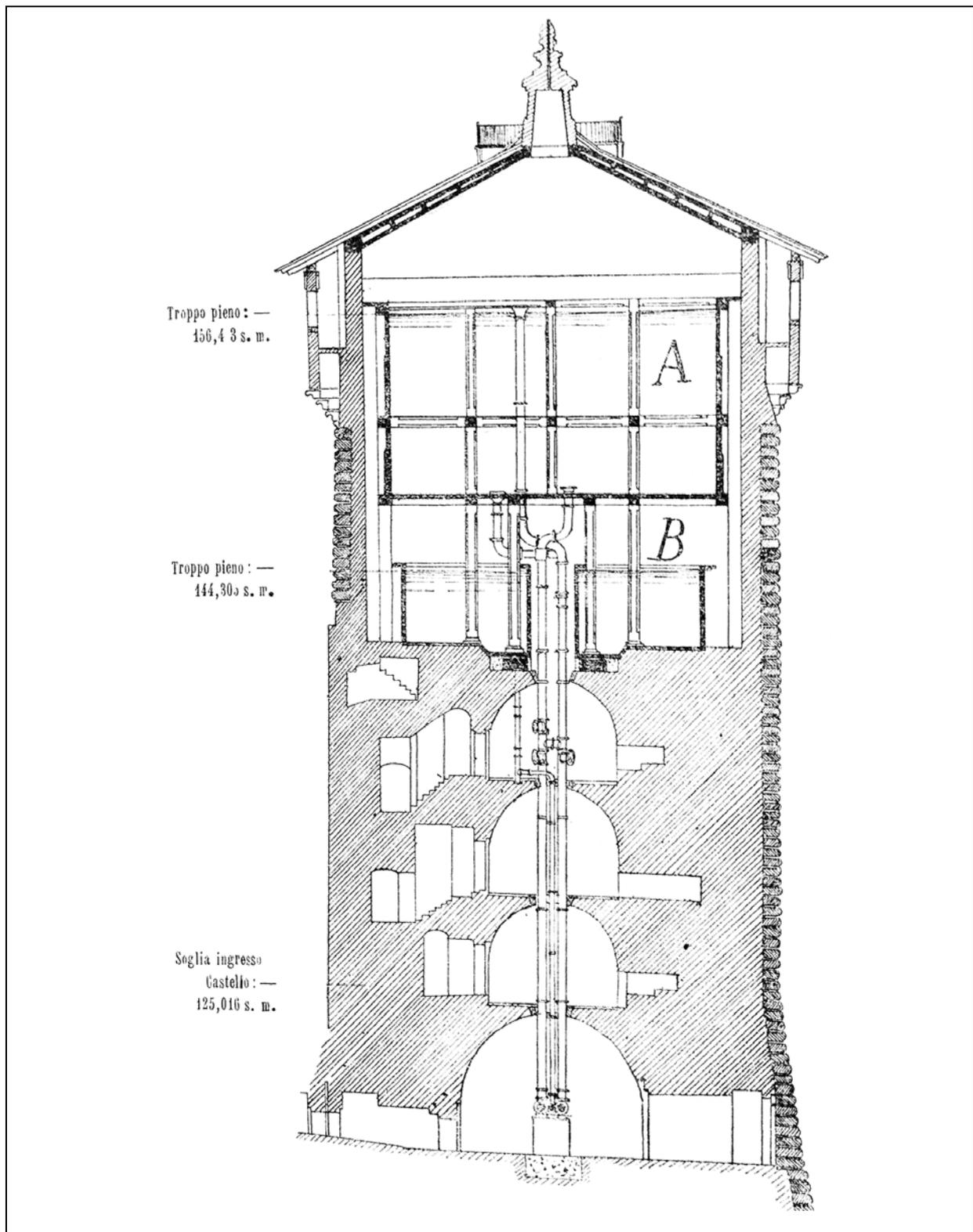


Figura1: Progetto di "rialzo" del Torrione Sud del Castello Sforzesco. In sezione, i due serbatoi sovrapposti in c.a. interni alla cortina muraria in mattoni e bugne di pietra ("Il Cemento", aprile-maggio 1905, p. 452)

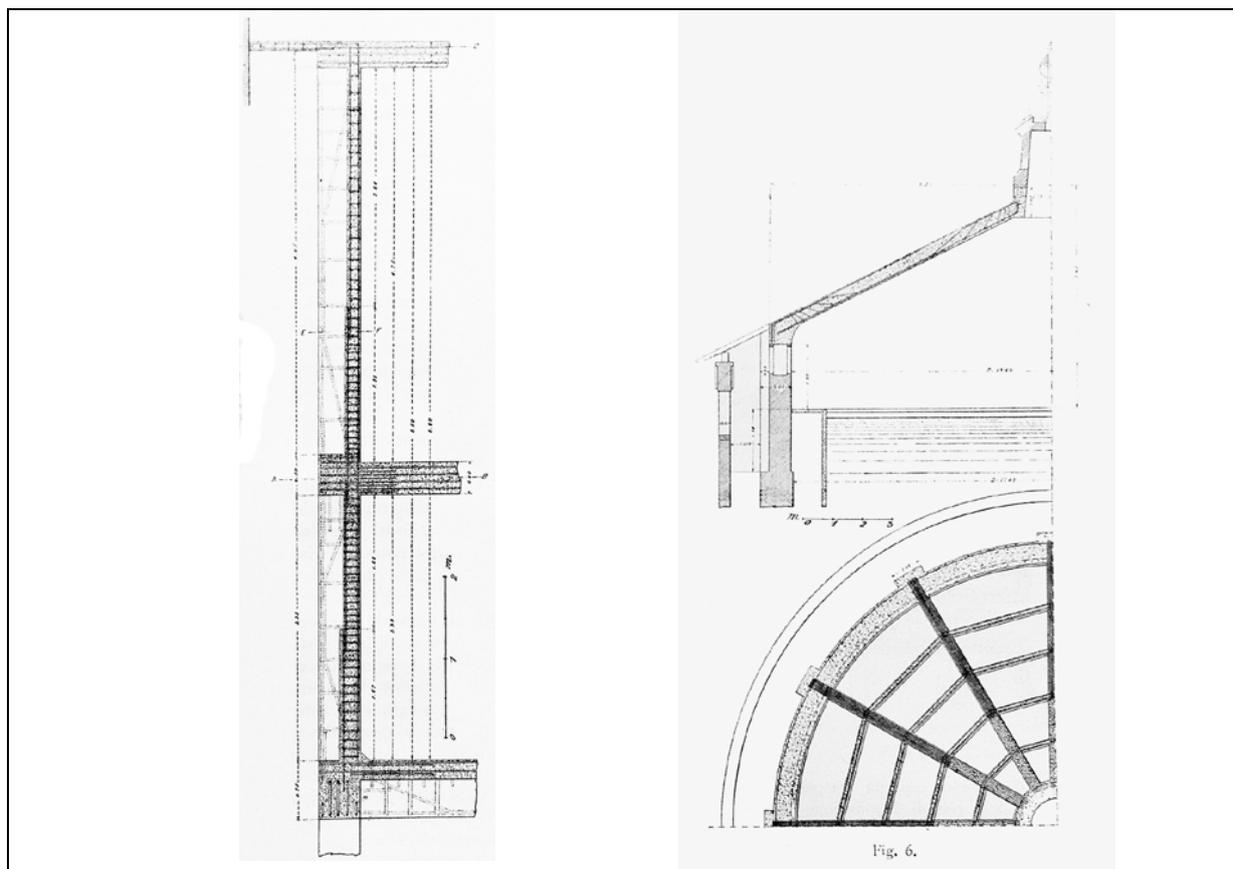


Figura 2 e 3: Struttura in c.a. sistema Hennebique di zone della parete verticale e della copertura a doppia soletta ("Il Cemento", apr.-mag. 1905, pp. 453 e 455)

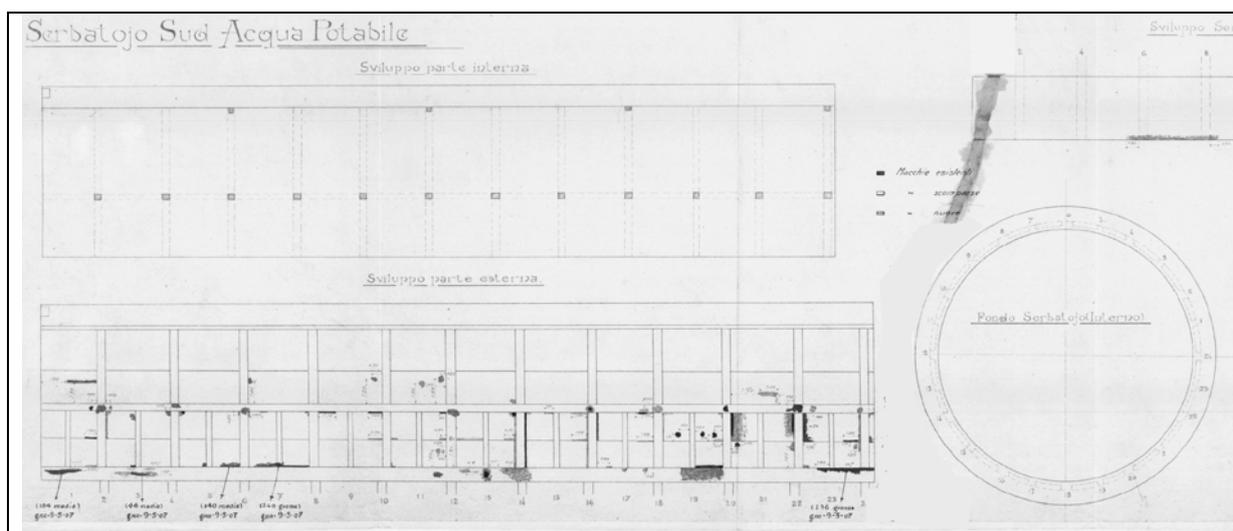


Figura 4: "Serbatoio Sud Acqua Potabile", pianta e sviluppo delle pareti interne e esterne con indicate le "macchie esistenti, scomparse, nuove" (Archivio Storico Civico di Milano, Fondo Finanze, Beni Comunali, Castello, 158/1)

Ad integrare le osservazioni di Minorini, tra i documenti d'archivio è conservata una tavola che presenta in pianta e in alzato il rilievo delle macchie causate dalle "filtrazioni" (fig.4) datato al "gno 9-5-07" che reca in legenda i colori relativi rispettivamente alle macchie "esistenti, scomparse, nuove", a prova del monitoraggio che ha avuto luogo a distanza di due anni⁴: sono rilevate la disposizione e l'intensità del trasudamento, spiegate con la variabile densità e compattezza del calcestruzzo. Il collaudo effettuato da Jorini nel giugno 1907 sancirà che, sulla base dell'esperienza in materia di strutture in cemento armato, anche quando immerse completamente in acqua, "il trasudamento non debba provocare ossidazione del ferro e quindi pericolo per la durevolezza delle strutture".

I serbatoi dei Castello da tempo dismessi, restano oggi, nei Torrioni Est e Sud, testimonianza del rinnovamento, anche tecnologico, vissuto dalla città tra fine Ottocento e inizio Novecento e *cores* strutturali dei cilindri di pietra.

Il calcestruzzo armato nelle ricostruzioni e nelle opere di riallestimento dei musei del dopoguerra

Le distruzioni e i danneggiamenti provocati dai bombardamenti dell'agosto '43 a Milano furono ingenti: un terzo della città era distrutto, molti tra caseggiati e monumenti gravemente danneggiati. Paolo Mezzanotte, incaricato per conto della Soprintendenza ai Monumenti di descrivere i danni inferti al Castello Sforzesco annotava: "Il cortile fu gravemente offeso dalle incursioni aeree: arsa la biblioteca comunale" adiacente al Torrione Est; "gli interni della Rocchetta, escluso il pian terreno, andarono distrutti"⁵.

Il Ministero dei Lavori Pubblici finanzia i lavori di ricostruzione della biblioteca civica, la prima delle opere ad essere compiuta. In seguito, sarà la volta dei corpi di fabbrica della Rocchetta.

Il "cemento armato" è largamente impiegato - insieme con i solai in laterizio armato tipo Perret - non soltanto in questi casi, ove la necessità di completare gli edifici in tempi brevi e la fiducia nell'economicità e soprattutto nelle qualità del cemento armato è unanime e sconfinata.

Al Castello, come in tutti i musei ridisegnati in Italia nel secondo dopoguerra, che segnano una pagina importante della storia dell'architettura italiana del XX secolo, si fa un uso intensivo e diffuso di malte cementizie e calcestruzzo armato, sia nel consolidamento delle strutture esistenti, sia per consentire l'introduzione dei dispositivi richiesti dai progetti di allestimento: è il caso delle coperture a falde, 'tagliate' o rimosse per far posto a lucernari in vetro retinato che assicurano l'illuminazione zenitale nei vani destinati alle pinacoteche; è il caso delle volte e dei solai lignei ritenuti inadeguati a sopportare i carichi previsti; è il caso infine, al Castello, dei portali in pietra collocati nell'omonima sala, ancorati a telai in calcestruzzo armato con superfici lavorate a martellina. Trasformazioni profonde, celate, come mezzo secolo avanti, dietro le forme antiche delle mura, in mattoni a vista o coperte da intonaci a graffito, modificano in modo significativo il comportamento strutturale dei corpi di fabbrica.

Autori del celebre progetto di "ripristino" del Castello di Milano sono i BBPR (lo studio degli architetti Rogers, Belgiojoso e Peressutti); delegato alle opere di

carattere statico, o di "riforma strutturale" secondo la sua stessa definizione, è l'Ingegnere Enrico Ghiringhelli capo dell'Ufficio tecnico comunale e direttore dei lavori. Il suo contributo alla risoluzione dei problemi di ordine strutturale è determinante. Egli stesso, a opere compiute e con la prosa "arida" del tecnico – così scrive –, elencherà gli interventi, estesi e ingenti, eseguiti al Castello.

Ma è sul consolidamento delle volte delle prime sale, quelle di ingresso ai musei, che l'attenzione di museologi e museografi si appunta. Quando nell'ala sud-est di Corte Ducale i saggi esplorativi riscoprono, murate al centro dei setti trasversali, le antiche colonne poligonali in ceppo (fig.5), il ritrovamento sarà salutato come l'avvio di una nuova soluzione progettuale per realizzare la prima grande sala del Museo archeologico. Per consentirne la "liberazione", Ghiringhelli progetta e realizza strutture di consolidamento in calcestruzzo armato.

Gianguido Belloni, allora collaboratore di Costantino Baroni, Direttore Reggente dei Musei Civici, annuncia nel maggio del 1953 il significato e la portata dell'intervento: "La grande novità edile è l'abbattimento dei muri divisorii eretti da Beltrami, che stroncarono in quattro corpi consecutivi la lineare grandiosità dell'ala destra del Cortile Ducale. Grandiosità recuperabile perché non demoliti né gli archi, né i pilastri. E tale grandiosità, se fu intuuta da coloro che hanno la massima responsabilità nei lavori di restauro, fu quasi impensata nella sua capacità di sviluppare luminosità, imponenza, ampiezza: e atmosfera, insomma, di gaia e aperta architettura". Eliminare tamponamenti e murature significherebbe concentrare i carichi sulle colonne e gli archi racchiusi entro i setti



Figure 5 e 6: Cantiere di ripristino e allestimento dei Civici Musei del Castello Sforzesco, 1953-54. Scoperta delle colonne e degli archi inglobati nei muri trasversali della Sala I e "liberazione" dalle murature posteriori (Civiche Raccolte Grafiche e Fotografiche, Civico Archivio Fotografico, Castello Sforzesco Milano, Allestimenti museali, CRGFMI-CAFCS, AM Faldone 02)

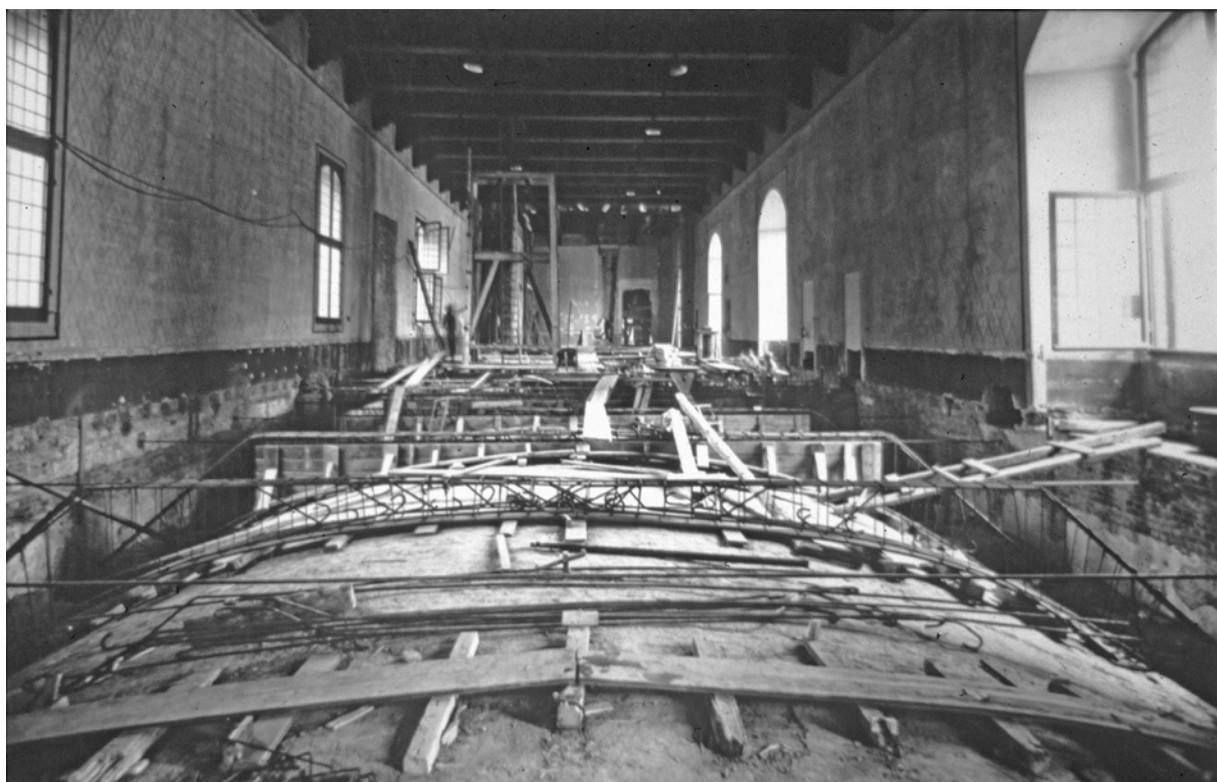


Figure 7 e 8: Volte della Sala I: intradosso ed estradosso; visibili in estradosso dopo la demolizione dei setti trasversali, le armature delle travi curve (CRGFMi-AFCS, AM FaldO7)

trasversali. "Agli edili - avverte Belloni - spettano tuttavia grossi grattacapi. La demolizione dei muri che inglobano i pilastri e archi originari impone problemi di ordine statico tutt'altro che indifferenti. Però l'ingegneria moderna saprà introdurre i suoi invisibili ma formidabili rinforzi"⁶. Di quei rinforzi, di un progetto di consolidamento imponente che parte dalla base delle murature, investe volte e solai, e raggiunge le coperture, Ghiringhelli descriverà dieci anni dopo le caratteristiche, la sequenza e le modalità, riproponendo, lungo l'itinerario museale che si svolge tra il piano terreno e il primo piano i temi e le difficoltà delle operazioni che avevano riguardato pressoché interamente i corpi di fabbrica semplici e doppi disposti attorno al Cortile Ducale⁷, e che, alla rilettura odierna, svelano pienamente il significato di "strutture miste" attribuito alle fabbriche del Castello Sforzesco.

Per quanto attiene all'intervento più complesso, eseguito per dare continuità alla grande sala di ingresso al museo - sul quale si focalizza il presente contributo - i lavori furono iniziati "nel mese di gennaio del 1954" e le opere compresero: "demolizione della muratura di riempimento degli arconi medievali con la messa in luce degli stessi (Fig. 6-7), con le relative colonne ottagonali in ceppo; consolidamento della muratura con iniezioni di cemento per la suturazione di tutte le cavernosità esistenti all'interno e rifacimento integrale di quelle che staticamente non davano la dovuta garanzia di stabilità; [...] al piano primo [...] demolizione del solaio ligneo esistente rifatto con strutture in cemento armato".

Il consolidamento della volta è reso più difficile dalla rotazione, misurata in 17 centimetri alla sommità della parete verso la Corte Ducale; complessivamente il sistema strutturale esistente è giudicato "inadatto per sopportare nuovi pesi statici e dinamici" quali quelli indotti dalla destinazioni di progetto. Di conseguenza: "si rese necessaria la sostituzione di vecchi tiranti riscontrati fortemente deteriorati" con nuove catene e relativi capochiave posti in opera su piastre di ripartizione in calcestruzzo armato.

Le murature perimetrali, dall'imposta delle volte a sino a un metro oltre il piano di pavimentazione, furono sottoposte a "un'accurata cementazione, tale da costituire un complesso monolitico" e in modo che vi potessero essere praticate le "incassature per l'appoggio delle strutture in cemento del progettato nuovo solaio". Queste ultime furono realizzate in due parti distinte: per due terzi "con travi principali a forma arcuata" (figg. 8-9) e soletta ad elementi prefabbricati in cotto e cemento; per un terzo mediante un "grande solaio orizzontale in cemento armato delle dimensioni di m. 25x 1,90x 0,25 atto a sopportare l'incastro dell'intelaiatura di travi principali e secondarie portanti la soletta in cotto e cemento".

Anche al piano primo i muri trasversali sono demoliti "per diminuire i carichi sugli arconi medievali rimessi in vista nel grande Salone di Piano Terreno. In loro luogo si realizzano "pareti a cassa vuota, in mattoni forati, appese con tiranti alle due travi a traliccio in ferro poste in opera nel sottotetto [...] della lunghezza di metri 11 e dell'altezza di m. 2"; esse "paragonabili a vere travi da ponte, sopportano il carico del tetto, del solaio di sottotetto e dei muri a cassa vuota del Primo Piano e appoggiano sui pulvini in cemento armato con piastre di scorrimento in ghisa per la necessari distribuzione del forte carico sulle murature di ambito".

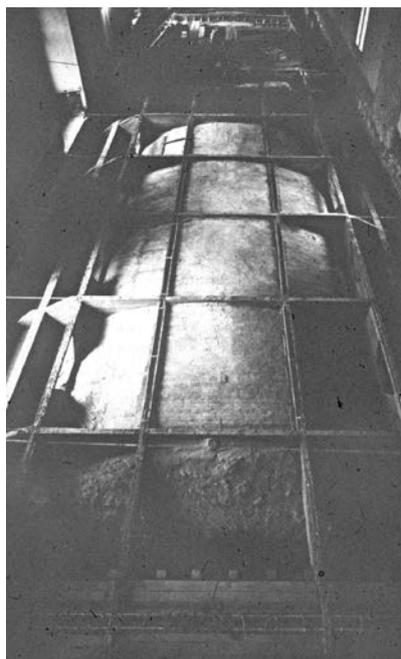


Figure 9 e 10: Estradosso delle volte, al Piano Primo, dopo il getto di calcestruzzo che completa le travi curve (CRGFMi-AFCS, AM Faldone 07)

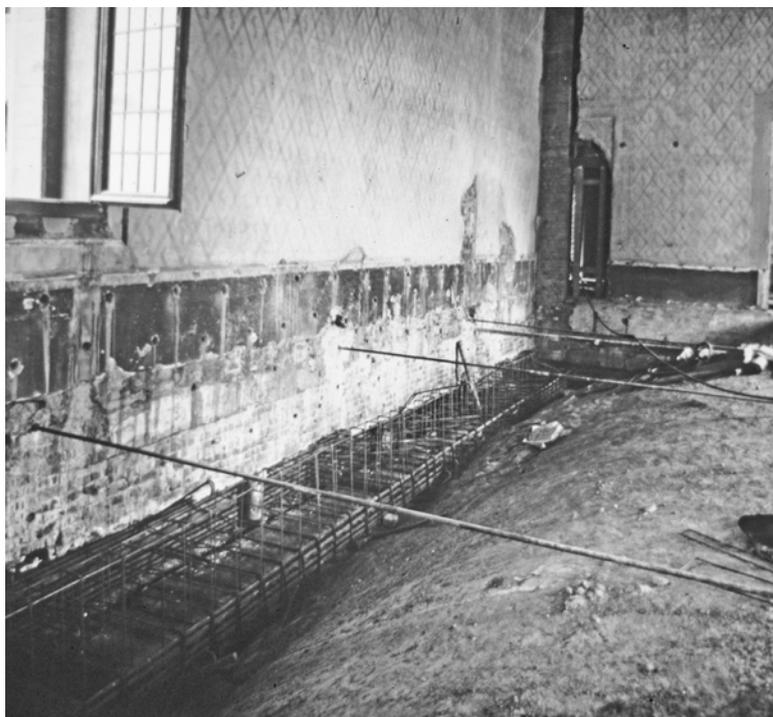


Figure 11.e 12: Piastra di ripartizione in c.a. e capochiave di uno dei nuovi tiranti (Civico Archivio Fotografico del Castello Sforzesco) e armatura delle travi laterali in c.a. inserite nei rin fianchi della volta completata da soletta in calcestruzzo (CRGFMi-AFCS)

Infine, conclude Ghiringhelli, "per garantire la stabilità di questi appoggi è stato necessario rifare, con vera opera di chirurgia edile, le murature da quota meno 8 metri sotto il piano di pavimento della Sala di Piano Terreno fino al sottotetto. Con le costruite strutture miste in ferro e cemento armato, si è potuto far collaborare, per la distribuzione del carico alla suddetta quota di meno 8 metri, una zona di muratura, tale da non superare, nella stessa, il carico unitario di Kg. 4 al cmq., carico ammissibile, per la particolare struttura".

Occorreranno alcuni decenni perché i muri antichi, che pure hanno sfidato i secoli siano indagati nelle loro caratteristiche e capacità strutturali dando luogo a una diagnostica preliminare in grado di controllare l'impatto e l'efficacia di eventuali nuovi sistemi di consolidamento. Di una lunga stagione nella quale le murature degli edifici storici erano considerate inaffidabili dal punto di vista statico, restano strutture miste collaboranti – murature antiche, calcestruzzo armato, ferro; sul loro comportamento e durabilità, a distanza di diversi decenni, si apre un nuovo fronte di studi.

Note

¹ Cfr. C. Colombo *La costruzione della rete dell' acqua potabile a Milano nel primo decennio del Novecento*, in O. Selvafolta, A. Castellano, *Costruire in Lombardia, 1880-1890. Rete e infrastrutture territoriali*, Electa, Milano 1984, pp. 119-146.

² ASCMi (Archivio Storico Civico di Milano) Fondo Finanze, Beni Comunali, 157/1-5, 158/1-5.

³ F. Minorini, *Le applicazioni...*, cit., p. 454.

⁴ ASCMi, Fondo Finanze, Beni Comunali, 158/4.

⁵ ASBAP, Archivio Monumenti, Mod. 50 bis, Immobili danneggiati dagli eventi bellici, Milano, Castello Sforzesco.

⁶ G. Belloni, *Aspetti della sistemazione definitiva delle civiche raccolte d'arte in corso al Castello Sforzesco*, "Città di Milano. Rassegna mensile del Comune e Bollettino di Statistica" A. 70- n. 5-6, Maggio-Giugno 1953, pp. 93-94.

⁷ E. Ghiringhelli, *Note Tecniche*, "Città di Milano. rassegna mensile del Comune e bollettino di statistica", A. 80, n. 2-3 febbraio-marzo 1963, pp. 196 -200.