



magazine
recupero e conservazione

estratto



ISSN 2283-7558

novembre-dicembre 2024

184

- 4 L'EDITORIALE _ di Cesare Feiffer
Finirà il restauro?
- 8 LETTERA AL DIRETTORE _ di Daniele Kihlgren
Progetto culturale e progetto economico
- 10 IL RESTAURO TIMIDO _ di Marco Ermentini
Il passato è davanti. Le generazioni e il costruito
- 16 PILLOLE DI RESTAURO ARCHITETTONICO _ di Riccardo Dalla Negra
Quando si torna a leggere la sintassi architettonica
Il restauro della Prospettiva della Ghiara a Ferrara
- 20 **Progettare i restauri. Il ruolo del restauratore di BB.CC.**
di Paolo Gasparoli
- 26 da ADSI
Patrimonio privato non valorizzato
Le potenzialità degli immobili storico-culturali come volano di sviluppo
di Luciano Monti
- 30 **Casa Suardi a Bergamo_Parte 1**
Intervento di restauro strutturale
di Paolo Foraboschi, Fabio Dalla Pozza, Paolo Fasolato, Luca Stefani
- 42 da ASSORESTAURO
Il Castello Mediceo di Melegnano
Il progetto di Assorestauro e Anci Lab sviluppato grazie al bando Innovacultura 2024, tra Tecnologia e Conservazione
di Erika Elisa Grassano
- 44 da MAPEI
Palazzo Arcivescovile di Crotone
Recupero storico tra tradizione e innovazione
- 50 in cantiere con ... BOSSONG
Ex sede Banca d'Italia a Taranto
Diatoni artificiali per murature in tufo a doppio paramento
- 52 in cantiere con ... MGN
Ospizio Salesiano Sacro Cuore a Roma
Risanamento di murature ammalorate per abbondante presenza di acqua e umidità di risalita
- 54 in cantiere con ... VICAT
Restauro di facciate
Il Castello di Luigi XI La-Cote-Saint-Andre, Francia
- 56 **Riquilificare attraverso i murali**
Una simbiosi infelice con l'architettura
di Domenico Giaccone
- 68 **Hortus inclusus e chiostrì urbani**
Un approccio per il recupero microclimatico
di Barbara Gherri, Sara Matoti, Lisa Rovetta

articolo
estratto



PARTE 1

CASA SUARDI A BERGAMO

Intervento di restauro strutturale

Questo articolo verte sull'intervento di restauro architettonico e strutturale, e di riqualificazione funzionale di Casa Suardi, un palazzo che costituisce uno dei due lati lunghi di Piazza Vecchia a Bergamo, di cui gli autori hanno svolto la progettazione e la direzione dei lavori.

L'articolo appunta l'attenzione su alcuni passaggi progettuali ed esecutivi che possono rivestire un qualche interesse nel restauro strutturale degli edifici storici.

PAROLE CHIAVE acciaio strutturale, cinturazioni attive, adeguamento statico, miglioramento sismico, murature storiche

Abstract **STRUCTURAL RESTORATION OF A HISTORICAL PALACE IN ITALY**

Casa Suardi in Bergamo, Italy

This article focuses on the architectural restoration, structural retrofitting, and functional rehabilitation of Casa Suardi, a palace forming one of the two long sides of Piazza Vecchia in Bergamo, Italy. The authors developed the design and managed the construction process, including supervising the construction work.

The article highlights specific design and execution phases that may be of particular interest for the structural restoration of historic buildings.

KEYWORDS active confinement, double flat-jacks, static upgrading, compressive strength, structural steel

Paolo Foraboschi
Università Iuav di Venezia
Dipartimento di Culture del Progetto
paofor@iuav.it

Fabio Dalla Pozza, Paolo Fasolato,
Luca Stefani
Studio AEDITECNE di Vicenza
amministrazione@studioaeditecne.it



Casa Suardi è un palazzo storico situato a Bergamo, nella Città Alta, in Piazza Vecchia 8. Il prospetto principale affaccia sulla piazza mentre il prospetto laterale su via Bartolomeo Colleoni.

Stato di fatto architettonico di Casa Suardi

Casa Suardi costituisce una unità strutturale (figure 1-3); si compone del piano terra, di due impalcati fuori terra più il sottotetto e la copertura; cui si aggiungono due piani interrati, costituiti da porzioni di impalcato.

I due piani interrati e la gran parte del piano terra non sono di proprietà del Comune e sono sede di due ristoranti (figura 1). Al piano terra, il Comune possiede soltanto l'accesso al palazzo dalla piazza – un ampio portone al centro del prospetto –, un cortile interno (figura 2) e uno scalone che dal cortile porta ai piani superiori.

Il primo piano (figura 3), il secondo piano e il sottotetto sono invece interamente di proprietà del Comune.

Il Comune aveva dedicato la sua proprietà a Gaetano Donizetti, destinandola alla Fondazione Teatro Donizetti, gestore dell'omonimo teatro situato in adiacenza al palazzo. L'intervento ne ha cambiato la destinazione d'uso e ha trasformato Casa Suardi in un archivio storico comunale dotato di sale di lettura, a supporto della prospiciente biblioteca Angelo Mai: dal 18 marzo 2024 sono attivi i servizi di consultazione e sono aperte le visite libere alle collezioni.

IN APERTURA_1. Casa Suardi a Bergamo, nella Città alta, in Piazza Vecchia 8, nello stato *ante-operam*: prospetto dalla piazza. Con la fine della Seconda Guerra Mondiale, il palazzo passò allo stato italiano, per poi tornare, nel 1956, di proprietà comunale. Dal 1961 al 1968, Casa Suardi ospitò la Scuola di Specializzazione di Giornalismo della Università Cattolica di Milano e dal 1968 al 1992, l'Università di Bergamo. Nel 1992, infine, Casa Suardi diventò un organismo statale. Dal 2001, per qualche anno, ospitò il Centro Studi Universitario sul Territorio Lelio Pagani. Infine, il Comune dedicò la sua proprietà a Gaetano Donizetti, destinandola alla Fondazione Teatro Donizetti (Donizetti Opera).

2. Cortile interno nello stato di fatto (lo spazio veniva usato dai ristoranti come deposito). L'ultimo arco a sinistra è l'accesso dalla piazza; da lì parte lo scalone di accesso.

3. Sbarco dello scalone di accesso e corridoio del primo piano. La parete di destra dà sul cortile interno.



SCHEDA CANTIERE

OGGETTO | Restauro e recupero funzionale di Casa Suardi (intervento finanziato con il PNRR).

COMMITTENTE | Comune di Bergamo; proprietario dell'immobile RUP | Arch. Rossella Lacanna

SOPRINTENDENZA | Arch. Luca Rinaldi; Arch. Cinzia Robbiati PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA E IMPIANTISTICA, E DL ARCHITETTONICA |

Arch. Paolo Fasolato, Arch. Luca Stefani, Arch. Anna Costa, Arch. Francesco Baldin PROGETTAZIONE E DL STRUTTURALE | Arch. Fabio Dalla Pozza,

Prof. Ing. Paolo Foraboschi

IMPRESE ESECUTRICI | Ecoedile Srl per la parte architettonica e strutturale; Due Esse Impianti Srl per la parte impiantistica

TEMPISTICHE | ottobre 2022 - ottobre 2023



4. Olio su tela: veduta della piazza, allora denominata Piazza Grande, del 1833. Il Congresso di Vienna (1815) incluse Bergamo nel Regno Lombardo-Veneto (come noto, una regione amministrativa dell'Impero austriaco). Ormai Bergamo era costituita da due città: quella alta e quella bassa.
5. Pianta dell'edificio nel 1876. Nel 1859, Giuseppe Garibaldi fece il suo ingresso nella città, ponendo fine al dominio austriaco e Bergamo divenne parte del Regno d'Italia. Emblematico che la piazza fosse intitolata a Garibaldi, che era ancora in vita.

Storia del palazzo Casa Suardi

Il Palazzo fu costruito nel XII secolo dalla famiglia Suardi (*Palazzo ex Zentilino Suardo*); era adibito a civile abitazione, da cui la denominazione Casa Suardi.

Nel XIV secolo l'edificio fu ampliato. La trasformazione fu così profonda che alcune fonti storiche la ascrivono a una nuova edificazione: una casa patrizia non meritevole di particolari attenzioni da parte delle cronache, due secoli dopo l'edificazione primigenia fu trasformata da palazzo gentilizio a palazzo pubblico di grande importanza per la città. Poco dopo tale trasformazione, nel 1360, un incendio danneggiò gravemente il palazzo; seguì il restauro.

Nel 1422 la proprietà passò dalla famiglia Suardi ai fratelli Avogadro, i quali subito dopo ne vendettero una parte alla Congregazione della Misericordia Maggiore.

Nel 1428, Venezia conquistò la città di Bergamo e i Veneziani destinarono il palazzo a residenza del podestà. Da cui una seconda denominazione di Casa Suardi: Palazzo del Podestà (*palatium potestatis*). In ragione della nuova destinazione d'uso, il palazzo venne ingrandito, venne aperto un ingresso sulla piazza – quello attuale – e venne inserito lo scalone esterno che collega Casa Suardi al vicino Palazzo della Ragione (verso Sud-Est). Seguirono molte altre trasformazioni di destinazione d'uso e architettoniche. Una delle prime fu la trasformazione del piano terreno in camera fiscale, sede del camerlengo, del podestà e del capitano. Da cui un'altra denominazione di Casa Suardi: Palazzo dei Giuristi. Nel 1477 la facciata fu decorata con affreschi di Donato Bramante, i cui pochi frammenti salvati si conservano nel Salone delle Capriate del Palazzo della Ragione.

Nel 1770, un altro incendio, di ampie dimensioni, danneggiò il palazzo, soprattutto la parte più a Sud. I danni causati dall'incendio, tutt'ora visibili, richiesero un grande intervento di riparazione, che fu accompagnato anche da una ristrutturazione.

Con la caduta della Serenissima Repubblica di Venezia, Bergamo rientrò nei domini napoleonici e inizialmente Casa Suardi divenne la sede della corte di giustizia e del tribunale provinciale. Poi quelle sedi istituzionali furono trasferite nella parte bassa della città e il palazzo fu lasciato vuoto e abbandonato.

Le vicissitudini storiche del XIX secolo si rifletterono su casa Suardi che fu oggetto di molti cambiamenti sia di proprietà sia di destinazione d'uso, i quali inclusero modifiche architettoniche (figure 4 e 5).

Il XX secolo iniziò con un evento importante per il palazzo: nel 1910, il Ministero dell'Istruzione Pubblica notificò il vincolo di tutela sull'edificio al proprietario Comune di Bergamo. Il vincolo limitò le modifiche architettoniche dell'edificio, mentre i cambiamenti di proprietà e di destinazione d'uso proseguirono anche in quel secolo.

Da ultimo, come già accennato, Casa Suardi è stata dedicata a Gaetano Donizetti ed è quella la destinazione d'uso dello stato di fatto dal quale il progetto di trasformazione è partito.



6. Tra i più significativi i cambiamenti di proprietà e di destinazione d'uso di Casa Suardi del XX secolo vi è quello del 1926, anno cui risale questa fotografia, quando Casa Suardi per alcuni anni ospitò il Civico Museo di Storia Naturale (successivamente spostato nella cittadella viscontea). Poi, nel 1942, Casa Suardi fu ceduta alla Federazione Provinciale Fascista.

Stato di fatto strutturale di Casa Suardi

Le indagini sulle strutture e le prove sui materiali hanno fatto emergere un sistema strutturale verticale diverso da quella che sembrava, che ha richiesto una soluzione progettuale specifica.

Il piano terra è costituito prevalentemente da colonne mentre i piani superiori sono costituiti da pareti. Nei paramenti che danno sul cortile interno, tuttavia, quelle che sembrano paraste o lesene in realtà sono colonne immerse in quei paramenti: in origine il corridoio era una loggia porticata, che è stata tamponata e chiusa. Questa trasformazione è avvenuta sotto il dominio veneziano.

Quasi tutte le colonne hanno sezione ottagonale irregolare: un quadrato con vertici riflati (quattro lati più lunghi, longitudinali e trasversali, e quattro lati più corti, diagonali). Le colonne al piano terra sono in pietra. Le colonne ai piani superiori, immerse nei paramenti, sono in mattoni. La qualità muraria di tutte le colonne è buona.

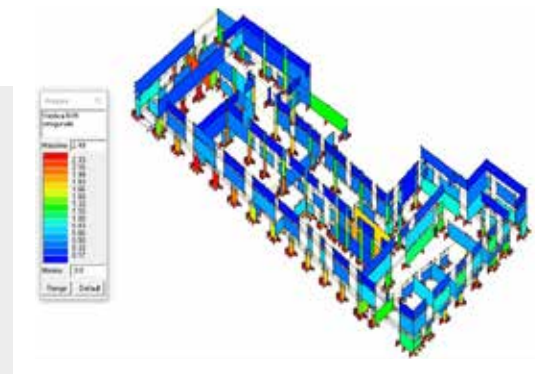
Le pareti perimetrali delle due facciate (su Piazza Vecchia e su via Bartolomeo Colleoni) sono in muratura di pietra. La qualità muraria di queste pareti è buona.

Le altre pareti dei piani superiori sono in muratura di mattoni o mista. La qualità muraria di queste pareti è modesta: i giunti di malta sono di calce aerea e, in più, molto degradati ed erosi; l'andamento dei corsi è irregolare, con molti vuoti e cavità; l'apparecchio è composto da mattoni di recupero (frammenti o mezzi mattoni) con, nel caso delle murature miste, blocchetti di pietra irregolari sia nella forma sia nella disposizione.

Quasi tutte le pareti interne presentano numerosissime e ampie aperture, derivanti dalle modifiche architettoniche del palazzo nel corso dei secoli: paramenti nati per essere muri portanti, ancorché di bassa qualità, sono stati trasformati in pareti forate costituite da maschi corti, pressoché puntiformi, e fasce di piano lunghe, di luce elevata rispetto ai maschi. Le fasce di piano o hanno l'intradosso ad arco, costituito da una ghiera, oppure presentano un architrave ligneo.

Il palazzo presenta anche situazioni inverse: aperture tamponate. Sennonché sono state richiuse con compagini murarie non ammorsate, che quindi non collaborano alla portanza dei carichi verticali. In termini strutturali, dunque, anche i paramenti con aperture richiuse sono pareti forate.

In sintesi, il sistema strutturale verticale dei piani superiori alla vista sembra essere costituito da pareti, mentre per lo più è costituito da colonne e da maschi murari sottili.



Una tettonica e una morfologia comuni a Venezia ma inusuali in terraferma

Il sistema strutturale di Casa Suardi nello stato di fatto consiste, per la gran parte, in un telaio le cui strutture verticali sono colonne murarie e maschi murari sottili. Trattasi di un tipo costruttivo ricorrente a Venezia. Arcinote sono le Procuratie Vecchie, ma quella tettonica e quella morfologia sono tipiche dell'intero costruito veneziano, dove occorreva minimizzare i pesi degli edifici, stante la moderata capacità portante del suolo. Il suolo lagunare era infatti estremamente soffice e, per poter costruire, i Veneziani lo avevano consolidato (compattandolo e densificandolo mediante l'infrissione di tantissimi pali lignei); ma la rigidità e la portanza non avevano neanche lontanamente raggiunto i livelli dei suoli della terraferma.

Sennonché, le tecniche costruttive veneziane non erano conosciute in terraferma. E difatti, quando una "archistar" veniva chiamata a Venezia dalla terraferma, più di talvolta falliva (vedasi Jacopo Sansovino e Vincenzo Scamozzi): per costruire a Venezia occorreva essere veneziani (Baldassare Longhena) oppure avere assimilato la pluricentenaria cultura e sapienza costruttiva veneziana (Andrea Palladio).

Con Casa Suardi siamo in una situazione opposta: le trasformazioni dell'edificio hanno portato il palazzo a ricadere in un tipo strutturale – il telaio in muratura – inconsueto sulla terraferma, che richiedeva magisteri costruttivi ad hoc, i quali non erano però noti sulla terraferma. E difatti la tettonica e la morfologia di Casa Suardi sono totalmente diverse da quelle degli edifici veneziani. Saltano subito agli occhi tanti componenti costruttivi pesanti, mentre il costruito veneziano è leggero, come pure l'abbondante uso di volte, mentre a Venezia le volte venivano realizzate solo là dove erano assolutamente indispensabili.

Il risultato è un palazzo massiccio supportato da un sistema strutturale costituito da colonne e maschi, ossia puntiforme. Logica conseguenza, la struttura di Casa Suardi, pur non costituendo una somma urgenza, era staticamente carente: non era in grado di portare in sicurezza nemmeno i soli pesi propri e i carichi permanenti. Naturalmente la capacità sismica era modestissima: il telaio murario è estremamente vulnerabile ai terremoti.

IN ALTO_Esportazione assonometrica derivata dalla nuvola di punti del rilievo laser-scanner. SOPRA_Modello di calcolo. Si osserva la conformazione puntiforme del sistema strutturale verticale.

Progetto strutturale di Casa Suardi

Il progetto strutturale ha dotato la costruzione della capacità statica necessaria e ha migliorato la capacità sismica. In termini normativi, l'intervento strutturale è un miglioramento.

Con riferimento ai carichi gravitazionali – è appena il caso di accennare che su quei carichi la normativa non fa sconti e non potrebbe farli – l'intervento ha dotato la struttura della capacità di portare i carichi gravitazionali dello stato di progetto allo SLU e di limitare la freccia allo SLE. Si precisa che, pur essendo i sovraccarichi Q di progetto nettamente maggiori di quelli ante-operam, il carico gravitazionale totale dello stato di progetto supera quello ante-operam meno del 10 % poiché i carichi G_1 e G_2 sono decisamente elevati.

Con riferimento alla sismica, l'intervento non si è limitato a incrementare il rapporto fra capacità diviso domanda ζ_E di almeno 0.10, ma lo ha anche portato a superare 0.60. In questo modo l'edificio, che ha una capienza superiore alle 100 persone e quindi ricade quantomeno nella Classe d'Uso III, può essere utilizzato anche per attività didattiche (uso scolastico). Arrivati al fondo del progetto si è poi verificato che l'edificio garantisce $\zeta_E > 0.60$ anche per la Classe d'Uso IV e quindi il palazzo ha titolo per essere considerato una costruzione con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche nella gestione della protezione civile in caso di calamità.

Questo paragrafo verte sulle strutture orizzontali, mentre l'adeguamento statico delle strutture verticali – il passaggio più delicato dell'intera progettazione – è trattato nel paragrafo successivo.

La portanza dei sovraccarichi previsti dalla normativa per la destinazione d'uso di archivio-libreria è stata ottenuta con impalcati ex-novo, realizzati però senza demolire e rimuovere gli impalcati esistenti. Questi ultimi sono solo stati esautorati della funzione portante, ma sono stati lasciati in opera, quale testimonianza della storia costruttiva del palazzo (figura 7).

7. Impalcato esistente: travi e tavolato in legno con alcuni elementi più nuovi, in acciaio. Il legno mostra i segni dell'ultimo incendio subito dal palazzo, quello del 1770. L'impalcato ex-novo è stato progettato in modo da poter lasciare in opera l'impalcato esistente. Le strutture orizzontali esistenti – prevalentemente lignee, ma alcune metalliche – avrebbero potuto essere rinforzate: il rinforzo con FRP avrebbe reso le strutture lignee staticamente adeguate. Tuttavia, le reazioni verticali scaricate dalle strutture orizzontali esistenti sulle colonne e sui muri avevano una elevata eccentricità: la reazione verticale determinava pressioni il cui centro era piuttosto vicino al bordo della sezione trasversale della colonna o del maschio murario, e ciò era una delle cause dell'inadeguatezza statica.



Gli impalcati ex-novo sono stati realizzati a struttura mista acciaio-calcestruzzo: travi metalliche a “doppio T” (in particolare HEA), calcestruzzo e connettori d'acciaio saldati a quelle e annegati in questo (figure 8-11). La scelta, per le strutture orizzontali, del sistema composto acciaio-calcestruzzo è derivata dalla richiesta architettonica di contenere lo spessore dell'impalcato al minimo. Fra tutti i tipi strutturali, quello che permette di minimizzare lo spessore è, appunto, il tipo composto acciaio-calcestruzzo.

L'appoggio in acciaio ha permesso, mediante piastrame ad hoc, di applicare le reazioni vincolari verticali allo SLU in asse alle sottostanti strutture verticali: l'appoggio è stato progettato in modo che l'eccentricità sia teoricamente nulla.

Quello sul piano teorico. Passando dalla ragioneria all'ingegneria, l'appoggio progettato ha nettamente ridotto le eccentricità dei carichi applicati sulle strutture verticali, abbattendo così le tensioni flessionali nelle colonne e nei maschi murari, e quindi diminuendo considerevolmente le tensioni sollecitanti, quantunque ancora senza portarle al di sotto dei valori accettabili.

Altro problema da risolvere per le strutture orizzontali ex-novo è derivato dalla configurazione puntiforme delle strutture verticali: le fasce di piano debbono fornire l'appoggio delle travi metalliche che si collocano nelle luci tra le colonne o tra i maschi murari. Ciò ha richiesto di rinforzare le fasce di piano (sia gli architravi sia le compagini sovrastanti). Il rinforzo è stato ottenuto con la ristilatura dei giunti (non armata in quanto ritenuta più efficace di quella armata) e l'iniezione delle murature (le fasce di piano sono intonacate e quindi la ristilatura rimane occultata).

Dove era possibile, le travi ex-novo sono state inserite negli scassi presenti nello stato di fatto. Là dove gli scassi non c'erano, le travi sono state vincolate alle strutture verticali mediante ancoraggi a taglio, così da evitare di praticare nuovi scassi, minimizzando così il “sacrificio di materia”.



IN SENSO ORARIO 8. Travi metalliche ex-novo: vista intradosale. Le travi d'acciaio ex-novo sono state messe in opera tra le travi di legno esistenti: l'impalcato ligneo è stato conservato, ancorché destituito della portanza dei sovraccarichi. Il punto di applicazione delle reazioni verticali (centro delle pressioni) dipende anche dai carichi sulla struttura orizzontale: maggior è il carico minore è l'eccentricità. L'appoggio è stato progettato in modo che l'eccentricità sia teoricamente nulla per il carico $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q$, laddove è comunque accettabile anche per i soli carichi $G_1 + G_2$, con $Q = 0$.

9. Parte in acciaio del sistema composto acciaio-calcestruzzo. In primo piano: travi metalliche con connettori, lamiera grecata e rete elettrosaldata estradosale. Il calcestruzzo è stato gettato su lamiera grecata hi-bond piazzate all'estradosso delle travi metalliche, le quali hanno sia semplificato e facilitato il getto sia realizzato una armatura intradosale.

10. Getto di calcestruzzo di completamento della struttura composta. Non è stato possibile fare arrivare una betoniera e quindi il calcestruzzo ha dovuto essere gettato con modalità ad hoc. Il getto ha incluso reti d'armatura all'estradosso, le quali hanno completato il sistema, dando luogo a una soletta in cemento armato. Il collegamento tra la soletta e le travi realizzato dai connettori ha prodotto una struttura composta.

11. Il cantiere ha rivelato che un campo di solaio descritto in legno dal rilievo invece era costituito da travi metalliche all'intradosso e una soletta in cemento armato all'estradosso. Sebbene la situazione riscontrata fosse migliore di quella ipotizzata, l'impalcato risultava comunque staticamente inadeguato. Il calcolo ha però anche mostrato che, connettendo la soletta alle travi con un collegamento sufficientemente rigido allo scorrimento assiale (slip), la struttura composta risultante avrebbe garantito la portanza. Il progetto è stato allora modificato: quell'impalcato è stato mantenuto in opera e la soletta è stata connessa alle travi mediante staffe di grosso diametro (atte a lavorare a taglio), saldate a queste e inserite in scassi praticati in quella, poi riempiti di malta di cemento a ritiro compensato.

Resistenza a compressione delle murature

Il percorso di conoscenza dello stato di fatto dovrebbe determinare la resistenza a compressione monoassiale della muratura. A tale proposito, la normativa presenta, nella Circolare 7/2019, la ben nota tabella C8.5.I che, per i tipi murari identificati da quel documento, fornisce i valori di riferimento dei parametri meccanici, tra cui la resistenza media a compressione (denotata: f); presenta inoltre la tabella C8.5.II che fornisce i coefficienti correttivi da applicare in presenza di talune caratteristiche.

Inoltre, l'attuale normativa indica le prove con cui ricavare i parametri meccanici delle murature, dando al tempo stesso un peso statistico ai risultati sperimentali. La normativa riconosce dunque che il risultato sperimentale non è automaticamente il valore più accurato, ma lo è con un certo coefficiente di ponderazione che tiene conto dell'affidabilità della prova e del numero di prove. L'affidabilità è definita anch'essa dalla normativa ed è quantificata da un coefficiente denotato k (tabella C.8.5.III). Parimenti, la normativa dà un peso statistico anche ai valori a priori delle tabelle C8.5.I e C8.5.II.

Ciò posto, la normativa prescrive che, se il progettista intende avvalersi dei risultati delle prove non solo per identificare il tipo murario (LC 1 e 2) ma anche per definire la resistenza meccanica (LC3), il parametro venga definito con una media pesata: il valore deve derivare dal bilanciamento tra la misura sperimentale ricavata con le prove e il valore a-priori fornito dalle tabelle C8.5.I e C8.5.II. Il bilanciamento è definito dalle formule C8.5.4.1/2/3, le quali considerano il succitato coefficiente k e il numero di misure effettuate. Una sorta di applicazione del teorema di Bayes per ricavare il valore a-posteriori. Tuttavia, a ben vedere, l'impostazione normativa è, si pregevole, ma solo per la sismica, mentre è carente per la statica delle murature.

Con riferimento al peso statistico dei valori a priori, la normativa specifica che le tabelle C8.5.I e C8.5.II sono rivolte ai criteri di resistenza adottati dalla normativa e si riferiscono solo ai comportamenti a tempi brevi. A parere di chi scrive quei valori sono calibrati per le verifiche sismiche, mentre per le verifiche statiche a sforzo normale eccentrico quei valori non sono appropriati (a prescindere da $\gamma_M = 3.0$).

Quanto sopra sembrerebbe suggerire che lo strumento adeguato ad attingere il livello di conoscenza dovuto sia la sperimentazione. Sennonché, le prove sperimentali per ricavare le resistenze a compressione sono affette pure loro da criticità. La resistenza a compressione di una muratura può essere misurata con: 1- la prova di compressione diretta 2- e la prova con martinetto piatto doppio.

La prova di compressione diretta viene eseguita su una porzione di muratura sufficientemente grande talché il risultato sia relativo a una struttura e non a una compagine di materiale: né l'effetto scala, né la diffusione delle tensioni, né il confinamento indotto dal set-up di carico debbono influenzare il risultato. Questa prova fornisce una resistenza a compressione decisamente attendibile per le verifiche statiche; sennonché, è molto onerosa e, soprattutto, solitamente non si dispone di una struttura muraria sacrificale.

La prova con il martinetto piatto doppio testa una compagine muraria e quindi, nella migliore delle ipotesi (e posto che la prova riesca ad arrivare a rottura), ricava la resistenza della porzione testata e non dell'intera struttura. Ma soprattutto, il risultato è affetto da un rilevante inquinamento, prodotto dall'effetto scala, dalla diffusione delle tensioni e dal confinamento.

L'effetto scala implica che la compagine testata possa avere un meccanismo resistente assai diverso da quello dell'intera struttura. Nelle murature di pietra l'effetto scala è così influente da rendere questa prova inattendibile e quindi pressoché inutile. Nelle murature di mattoni, l'effetto scala è meno influente ma comunque deve essere debitamente considerato. La diffusione delle tensioni nella muratura comporta che, al centro della compagine testata, la compressione sollecitante sia minore di quella impressa dai martinetti piatti.

Il confinamento deriva dall'attrito dei martinetti piatti con la muratura, che contrasta la dilatazione trasversale della compagine testata. Al confinamento consegue una apparente extra-resistenza a compressione. Tale extra-resistenza è massima in prossimità dei martinetti piatti mentre è minima a metà tra i due martinetti. Per questa ragione la rottura avviene all'incirca a metà tra i due martinetti, ossia al centro della compagine muraria testata.

Nell'intreccio tra i due fenomeni – diffusione e confinamento – questo prevale dunque su quello: al centro della compagine muraria testata, le sollecitazioni sono minori che vicino ai martinetti, in ragione della diffusione, ma in ragione del confinamento la resistenza è molto minore che vicino ai martinetti.

La prova corregge il valore misurato con un coefficiente di conversione che tiene conto della diffusione e del confinamento, oltre che della rigidità dei martinetti. Ma quel coefficiente è a priori e si riferisce a un mezzo elastico, omogeneo e isotropo, mentre la diffusione e il confinamento avvengono in un mezzo non-omogeneo e anisotropo che, a rottura, è in campo largamente inelastico e micro-fessurato. Fenomeni ignorati dal coefficiente di conversione.

Quanto sopra è in linea con la normativa, che attribuisce $k = 3$ alla prova con martinetti piatti doppi usati per ricavare la resistenza a compressione della muratura.

Per inciso, la letteratura presenta correlazioni empiriche tra il modulo di deformabilità e la resistenza a compressione della muratura, che però valgono, forse, per ricavare quello da questa, ma non viceversa.

In sintesi, determinare la resistenza a compressione di una muratura è ostico; la normativa ne fornisce solo l'ordine di grandezza e le prove la misurano con approssimazioni inadeguate per le verifiche statiche.

La metodologia più affidabile è di misurare la resistenza a compressione e a trazione della malta e dei blocchi (mattoni o pietre), e anche i loro moduli di deformabilità, e quindi ricavare la resistenza a compressione della muratura con una modellazione non-lineare dell'apparecchio. Così facendo si ricava un valore più attendibile ma, soprattutto, si definisce un limite inferiore della resistenza a compressione.

La normativa, se non è di grande aiuto nella valutazione dell'ente resistente, è addirittura contraddittoria nella valutazione dell'ente sollecitante. Per la normativa, la capacità di una muratura a pressoflessione è diversa se lo sforzo normale assiale e il momento flettente derivano dai carichi statici oppure dalle azioni sismiche: quella è calcolata con le formule di cui al punto 4.5.6 (o, eventualmente, al punto C4.5.6.2), mentre questa con le formule di cui al punto 7.8.2.2.

Naturalmente, non occorre la normativa per effettuare una verifica a pressoflessione con sezione interamente reagente o parzializzata. Tuttavia, ci sono strutture murarie per le quali le non-linearità geometriche sono significative. Come noto, infatti, la snellezza reale non è quella geometrica ma è quella della parte compressa; quindi dipende dall'eccentricità dello sforzo normale. Quel calcolo è complesso e perciò dovrebbe essere normalizzato. In effetti la normativa fornisce un coefficiente empirico che, nella misura in cui uno ci crede, riproduce quel fenomeno; ma lo fornisce solo per la capacità statica, non per quella sismica di normativa.

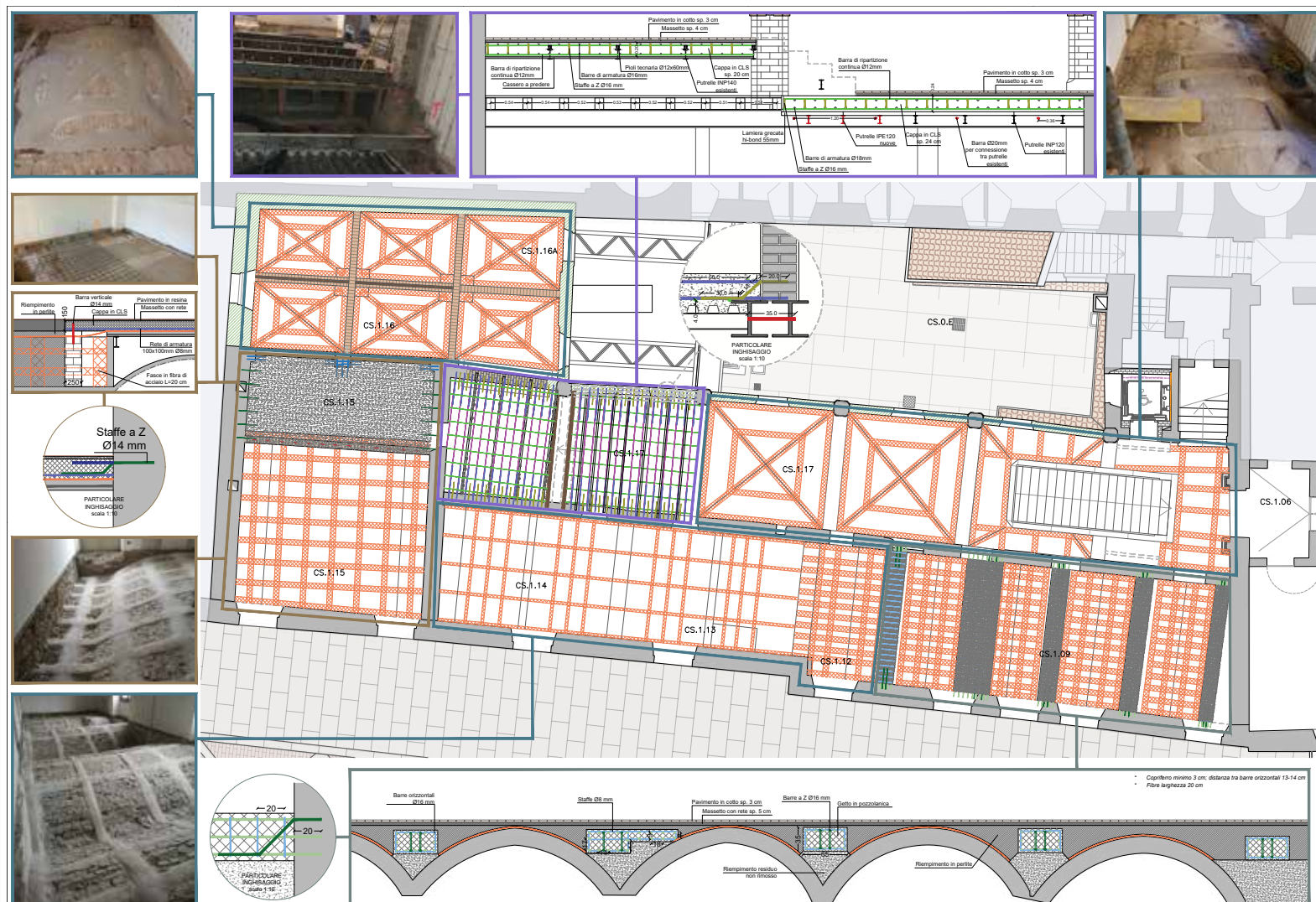
La progettazione degli ancoraggi a taglio è stata svolta utilizzando un modello analitico degli autori (la letteratura scientifica soffre di un vuoto e la letteratura tecnica presenta metodi che gli autori ritengono inaffidabili). Le previsioni del modello analitico sono state verificate con una sperimentazione in sito.

Le volte murarie – in mattoni, alcune con archi in pietra al contorno – erano staticamente inadeguate: distribuzioni asimmetriche dei sovraccarichi avrebbero innescato il meccanismo a 4 cerniere o il meccanismo a 5 cerniere a imposte fisse. Le volte sono state rinforzate con FRCM (Fiber-Reinforced-Cementitious-Matrix) applicati all'estradosso. Il rinforzo è stato però disposto, non in modo continuo come è tipico per l'FRCM, ma a strisce, così da non alterare la traspirazione. Per inciso, i rinforzi applicati hanno fibra in acciaio galvanizzato e matrice in malta di calce.

La copertura era, anch'essa, staticamente inadeguata. L'adeguamento statico di travi, travetti e tavolati di legno nelle porzioni dove era previsto il controsoffitto è stato ottenuto con FRP (Fiber-Reinforced-Polymeric), mentre nelle altre porzioni, come pure nel caso delle capriate, che sono in vista, con elementi d'acciaio. Rispetto alla soluzione in acciaio, la soluzione in FRP ha sacrificato la figurazione (ma solo là dove l'intervento è occultato dal controsoffitto), però ha comportato costi assai minori.

È anche da dire che, per effettuare un intervento assolutamente non invasivo e rimovibile, sarebbe stato necessario operare dall'estradosso della copertura. Ciò avrebbe però comportato il rifacimento del manto, che invece era del tutto efficiente. E quindi questa soluzione è stata scartata.

12. Planimetria dei solai "as built". Le tortuose vicende storiche legate alla vita di Casa Suardi hanno portato con sé numerose trasformazioni non solo planimetriche, ma anche costruttive, specialmente sui solai, rendendo l'edificio estremamente eterogeneo. Il progetto prima e il cantiere poi, hanno dovuto gestire ed adattare le modalità di intervento a tutti i casi specifici, pur garantendo i medesimi requisiti di sicurezza strutturale.



Adeguamento statico delle colonne

Un passaggio progettuale che può essere di un qualche interesse è l'adeguamento statico delle colonne murarie, in pietra e in mattoni.

La resistenza a compressione delle colonne di pietra e delle colonne di muratura è stata calcolata sulla base dei parametri meccanici dei componenti e della geometria dei diversi apparecchi murari. Più nello specifico, la resistenza a compressione della malta è stata ottenuta con prove penetrometriche tarate sulle resistenze a compressione di provini estratti dalle murature e testati in laboratorio con la prova a compressione diretta normalizzata. La resistenza a trazione della malta e le resistenze a compressione e a trazione dei mattoni e delle pietre sono state ottenute su provini estratti in sito e testati in laboratorio.

Ciò ha permesso di svolgere le verifiche statiche. Come illustrato nel paragrafo precedente, lo stato di progetto ha ridotto drasticamente l'eccentricità degli sforzi normali; ciò nondimeno le verifiche statiche risultavano ancora largamente insoddisfatte. Le comuni tecniche per l'incremento della capacità statica non avrebbero raggiunto il risultato dovuto o voluto: la ristilatura dei giunti di malta avrebbe sortito effetti non più che moderati, quindi inadeguati (a prescindere che le colonne e alcuni maschi sono faccia a vista); una incravattatura avrebbe prodotto l'effetto strutturale necessario solo se in acciaio (in composito non avrebbe sortito effetti apprezzabili) e purché continua dalle fondazioni sino all'intradosso del secondo piano, per cui avrebbe alterato eccessivamente la figurazione; lo scuci e cuci avrebbe dovuto consistere nel ricostruire ex-novo tutte le colonne e i maschi murari, per cui non era nemmeno proponibile; l'iniezione delle colonne non sarebbe stata possibile, poiché gli apparecchi murari non presentavano vuoti, cavità e percorsi interni in cui introdurre materiale, mentre l'iniezione dei maschi murari – questa possibile ed effettivamente eseguita – ha prodotto incrementi di resistenza a compressione apprezzabili ma non sufficienti; l'inserimento di diaframi attivi (barre trasversali pretesate, con o senza piastre esterne) avrebbe prodotto risultati adeguati

12a. Cinturazione pretesata di una colonna.





in termini strutturali e restaurativi, ma la carotatura per inserirli sarebbe stata troppo invasiva e, finché l'intervento non fosse stato ultimato, l'edificio avrebbe gravato su colonne indebolite in misura non trascurabile.

La progettazione si è allora riferita all'unica tecnica valida tra quelle comuni succitate – i diaconi pretesati – e ha concepito una soluzione analoga che però non includesse la carotatura delle colonne: una cinturazione attiva.

La cinturazione è consistita in elementi metallici ottagonali realizzati sulla dima delle colonne. Così come la sezione trasversale delle colonne, ciascuna cintura è costituita da quattro lati più lunghi e quattro lati più corti (questi ultimi obliqui). I quattro lati più lunghi contengono un tirante; quindi, quattro tiranti per cintura. Ciascuna cintura è dunque composta da quattro elementi metallici, i quali sono stati assemblati in opera connettendoli tra loro con i tenditori, ciascuno dei quali collega due tiranti contigui: l'avvitamento dei quattro tenditori dava luogo a una cintura chiusa e attiva (figure 12 e 13).

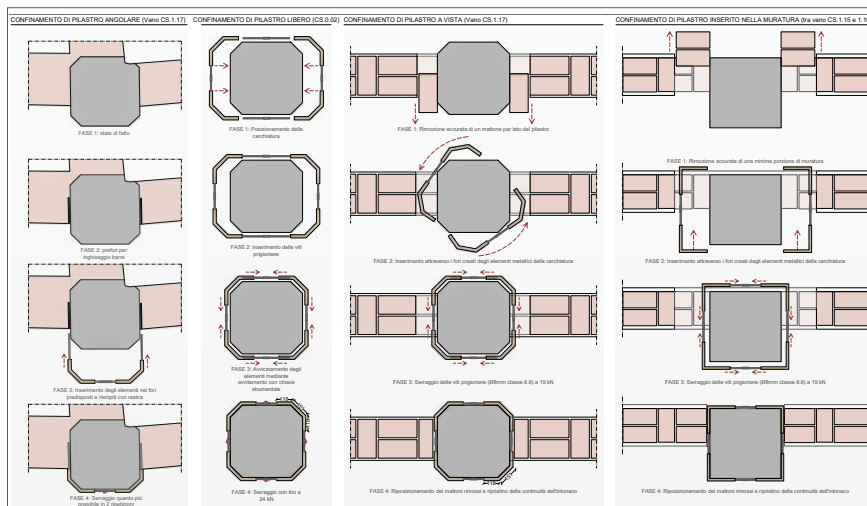
Il punto cruciale di questo intervento è rappresentato dalla definizione del passo delle cinturazioni, del tiro da imprimere e dello spessore delle aste.

Il calcolo è stato effettuato utilizzando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb (o, meglio, la curva limite di Mohr, non la retta limite di Coulomb). Questo criterio è sufficientemente rappresentativo della crisi del materiale muratura. In questo caso, poi, la terza tensione principale, che il criterio trascura (considera solo le prime due), è pari alla seconda e quindi il criterio è ancora più rappresentativo.



12b-d. Cinturazione pretesata delle colonne e dei maschi murari atta a produrre un confinamento attivo: colonne del cortile al piano terra, colonne lato cortile al piano primo, maschio murario tamponato al piano secondo. Un aspetto tutt'altro che secondario, questo però del progetto architettonico, è stato la definizione del colore da dare alle cinture.

13. Progetto della cinturazione attiva. Ciascuno dei quattro componenti di una cintura consiste in tre segmenti sagomati sulla colonna. Il segmento centrale è applicato sul lato obliquo della colonna e la ricalca in lunghezza. Gli altri due segmenti sono applicati su metà dei lati lunghi della colonna (a meno del gioco) e ciascuno termina con una barra filettata. I tre segmenti (a parte le due barre filettate terminali) consistono in un'asta metallica di sezione quadrata avente lato 35 mm, ottenuta tagliando una lamiera con il plasma. Dunque, nessuna saldatura fra i tre segmenti. Le barre filettate terminali sono state inserite nell'asta con un procedimento di saldatura in officina tale da garantire una estrema affidabilità.



Verifica della cinturazione attiva

Il metodo di calcolo della cinturazione fa riferimento alla curva limite di Mohr, al piano di Mohr (tensioni principali σ in ascissa, le tensioni tangenziali τ in ordinata) e ai circoli di Mohr degli stati piani di tensione. Christian Otto Mohr al cubo.

Nello stato ante-operam, il regime tensionale delle strutture murarie verticali era monoassiale. In ciascun punto, pertanto, il circolo di Mohr che rappresenta lo stato di sollecitazione sul piano di Mohr era tangente all'ordinata (nell'origine degli assi), poiché la seconda tensione principale era nulla. Le verifiche hanno dimostrato che il carico di progetto comportava circoli di Mohr intersecanti la curva limite di Mohr. Ergo, lo stato di fatto non era in grado di portare il carico di progetto.

Il sistema di cinturazione è stato progettato in modo da generare una opportuna tensione trasversale di compressione, cosicché la seconda tensione principale (nulla nello stato ante-operam), assumesse un valore tale per cui il conseguente circolo di Mohr stesse all'interno della curva limite di Mohr in tutti i punti delle strutture verticali.

La cinturazione attiva ha quindi permesso di adeguare staticamente le strutture verticali senza agire sul materiale: la curva limite di Mohr è rimasta la stessa. E ovviamente senza ridurre il carico applicato: la tensione principale di compressione massima (in valore assoluto) è rimasta la stessa. Ciò che l'intervento ha fatto è stato di generare una seconda tensione principale, riducendo così il diametro dei circoli di Mohr. Passo, tiro e spessore delle cinture sono stati calcolati in modo che tale riduzione generasse circoli di Mohr contenuti nella curva limite di Mohr.

Mentre la spiegazione è intuitiva, il calcolo non è semplice, poiché occorre tenere conto dei comportamenti inelastici, della geometria dell'apparecchio (disomogeneità e anisotropie) e dei fenomeni differiti. A quest'ultimo proposito, il tiro impresso nella messa in opera delle cinturazioni è stato registrato a fine lavori.

Osservazioni riepilogative

L'intervento presentato coinvolge una molteplicità di aspetti propri del restauro.

Tra questi, gli autori hanno focalizzato l'attenzione sulle soluzioni rese possibili dall'acciaio, ritenendo che questo materiale sia assai lontano dall'essere sorpassato dai materiali cosiddetti innovativi e avanzati.

Le normative sismiche di ultima generazione hanno dimostrato che il telaio in cemento armato – il tipo strutturale più diffuso nel nostro Paese dal Dopoguerra – deve essere ripensato, poiché, per dotarlo della capacità sismica dovuta, non è sufficiente ingrandire un po' le sezioni e aumentare il quantitativo d'armatura (come purtroppo più di talvolta viene fatto). Le normative sismiche di ultima generazione hanno creato una gerarchia nei tipi strutturali, al cui vertice stanno le strutture in cemento armato a pareti e i telai in acciaio controventati.

Negli edifici bassi (in particolare nelle villette) quella gerarchia è stata riconosciuta e recepita, e la soluzione a pareti ha largamente preso piede. Questo anche grazie al sistema costruttivo a "blocchi cassero". Negli altri edifici, invece, quella gerarchia non è stata né riconosciuta né recepita, e spesso la soluzione adottata è ancora il telaio in cemento armato, laddove il telaio controventato in acciaio sarebbe spesso una soluzione migliore.

Una analoga gerarchia esiste anche nella conservazione e nel restauro dell'esistente; ma qui non solo per la sismica, anche per la statica.

Infatti, l'acciaio permette di intervenire spesso in misura molto meno invasiva rispetto agli altri materiali; in più permette di realizzare interventi rimovibili – posto che questa sia una qualità – e leggibili – là dove il progettista ritenga che il proprio intervento debba essere connotato da quell'attributo.

Anche qui, però, non sempre quella supremazia viene recepita e riconosciuta, e spesso la conservazione e il restauro usano altre soluzioni. In particolare, da una ventina d'anni i materiali compositi – FRP e FRCM – vengono spesso visti come il toccasana: la panacea del restauro strutturale. In effetti, in alcune situazioni gli FRP e gli FRCM permettono di conseguire risultati cui gli altri materiali e prodotti o non arrivano oppure arrivano con oneri assai maggiori. Ma in molte altre situazioni l'acciaio rimane la soluzione migliore. Mentre più di talvolta si assiste a un impiego parossistico dei compositi: un uso compulsivo di questa tecnica, come se non esistessero alternative. Inoltre, sia gli FRP sia gli FRCM possono anche causare effetti dannosi: controindicazioni che non sempre vengono considerate. Cui si aggiunge che il rinforzo delle strutture in muratura o in cemento armato mediante gli FRP o gli FRCM viene frequentemente analizzato e verificato con metodi di calcolo improbabili: software di dubbia validità anziché modelli analitici formulati scientificamente.

La motivazione principale per la quale la costruzione italiana abbia sempre usato l'acciaio molto meno di quello che avrebbe meritato deriva dal nostro passato, quello tutt'altro che da incensare. In Italia le materie prime necessarie all'industria siderurgica – minerale di ferro, carbone, calcare – sono scarse. Nel ventennio fascista, l'autarchia (cui si aggiunse l'embargo comminato dalla Società delle Nazioni in risposta all'invasione italiana dell'Etiopia) ha implicato una scarsa disponibilità dell'acciaio sul mercato. In quel periodo, quindi, il mondo delle costruzioni ha usato solo il cemento armato. Ciò ha creato una tendenza che è proseguita nell'immediato Dopoguerra e pure nel decennio successivo. Anche perché, là dove il cemento armato era inadeguato, la costruzione italiana adottò il quasi neonato cemento armato precompresso. Una soluzione, il precompresso, che allora non era ancora matura, mentre l'acciaio, pur non avendo raggiunto la sua maturità, era comunque supportato da conoscenze scientifiche e tecniche più avanzate, e in molti casi avrebbe dato risultati migliori.

L'intervento presentato in questo articolo, improntato sull'uso dell'acciaio, ha mostrato un esempio a tale proposito: l'acciaio ha permesso di risolvere problemi altrimenti non solubili. Laddove alcuni passaggi progettuali hanno comunque richiesto l'uso dei materiali compositi, anche qui per risolvere problemi altrimenti non solubili.

Una annotazione conclusiva sull'acciaio nel settore delle strutture. Nell'industria siderurgica, gli acciai da carpenteria sono prodotti di qualità minima: la metallurgia offre acciai di qualità assai superiori. Sennonché l'edilizia usa quantitativi drasticamente maggiori rispetto agli altri manufatti e i maggiori costi dei prodotti di qualità superiore ne precludono l'uso su larga scala: il settore delle strutture non può permettersi i prodotti metallurgici più avanzati.

Una eccezione è rappresentata dall'acciaio inox. Ormai da molti anni il restauro usa spesso prodotti (in genere barre, ma non solo) in acciaio inox, nonostante il costo sia considerevolmente maggiore rispetto all'acciaio normale. Ebbene, i benefici procurati da quella eccezione sono notevoli, e non solo in termini di conservazione: se quei benefici vengono monetizzati, si scopre che i maggiori costi iniziali sono largamente compensati dai risparmi nella gestione.

Quella eccezione suggerisce alla metallurgia di esplorare nuove strade rivolte al settore delle strutture: prodotti in sé un po' più costosi ma più vantaggiosi se inquadrati sulla scala del progetto architettonico e della vita di servizio. Una sfida della metallurgia dei prossimi anni dovrebbe essere di produrre acciai con costi sì maggiori ma comunque adeguati all'edilizia, aventi proprietà superiori rispetto ai comuni acciai da carpenteria.



IN ALTO_Vista del tirante-capriata.
SOPRA_Solaio di un corridoio del primo livello durante i lavori.



ISSN 2283-7558

184_novembredicembre2024

Direttore Responsabile **Chiara Falcini**
chiara.falcini@recmagazine.it

Direttore Editoriale **Cesare Feiffer**
cesarefeiffer@studiofeiffer.com

Vicedirettore **Alessandro Bozzetti**
a.bozzetti@studiocroci.it

Comitato Scientifico Internazionale
Area ESTERO

> **Alessandro Bozzetti, Dario Alvarez, Amnon Baror, Marcella Gabbiani**

Area PROGETTI E CANTIERI

> **Riccardo Dalla Negra, Nicola Berlucchi, Francesco Trovò, Lorenzo Jurina**

Area PAESAGGIO

> **Maria Grazia Cianci, Giovanna Battista, Angelo Verderosa, Anna Raimondi**

Area CULTURA DEL PROGETTO

> **Luca Rinaldi, Marco Ermentini, Marco Pretelli, Michele Trimarchi,**

Giulia Ceriani Sebregondi

Area TECNOLOGIA

> **Paolo Gasparoli, Marta Calzolari, Pietromaria Davoli, Marianna Rotilio**

Editore
via Dormelletto, 49
28041 Arona (NO)

rec_*editrice*

Redazione_redazione@recmagazine.it

Grafica_JungleMedia
Collaborazione Federica Moraglio

NOTA_In questo numero alcuni articoli sono stati sottoposti a double blind peer review

RIVISTA DIGITALE PERIODICA VENDUTA IN ABBONAMENTO

6 numeri/anno – uscita bimestrale

abbonamenti@recmagazine.it

Tutti i diritti di riproduzione sono riservati

Pubblicazione online a periodicità bimestrale registrata

presso il Tribunale di Verbania

n.3 del 2.03.2017 - n. cron. 594/2017

in COPERTINA_Villa Bonzi a Ripalta Cremasca. Il battacchio del portone di accesso al Museo Leonardo Bonzi (restauro timido, Ermentini Architetti, 2002).



La rivista digitale periodica dedicata agli operatori del mondo del restauro e del riuso.

Il magazine di aggiornamento e di approfondimento per chi si occupa di beni culturali e di tutela, di riqualificazione e di consolidamento strutturale.

magazine
recupero*e***conservazione**

è per tutti coloro che ritengono che conservare il patrimonio sia un piacere oltre che un dovere.

www.recuperoeconservazionemagazine.it

www.recmagazine.it

info@recmagazine.it