

Quaderni di Architettura Tecnica

# ARCHITETTURA DEL VANO MURARIO

**Cristiana Cellucci   Michele Di Sivo   Giovanni Santi**

*vai alla scheda del libro su [www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)*



**Edizioni ETS**



Foto: Joel Filipe on Unsplash.

<b>La parete e l'apertura nella cultura architettonica, di <i>Cristiana Cellucci</i></b>	<b>9</b>
L'eredità della storia	11
Verso la sperimentazione	25
Le tendenze razionalizzatrici	29
L'innovazione tecnologica legata all'uso dell'energia	36
<b>La parete-apertura nell'architettura contemporanea, di <i>Michele Di Sivo</i></b>	<b>47</b>
Le qualità espressive	50
L'architettura e la tecnologia	55
Requisiti e prestazioni	56
Conformazione della parete-apertura	59
L'integrazione e le lavorazioni	94
L'architettura della parete-apertura: le occasioni del progetto	102
<b>L'appropriatezza dei principi statici del rapporto parete-apertura di <i>Giovanni Santi</i></b>	<b>125</b>
Il sistema architravato	132
Il sistema arcuato	134
Il sistema a piattabanda	138
<b>Bibliografia</b>	<b>140</b>



## La parete e l'apertura nella cultura architettonica

Cristiana Cellucci



pp. 4-5, foto: Sergio Camplone, Lubiana 2017.

Parete e finestra sono contrapposte come pieno e vuoto, ma al tempo stesso si completano attribuendosi reciprocamente significati rinnovati. La parete, emblema della difesa, della protezione, della definizione e della chiusura dall'interno verso l'esterno e viceversa. La finestra, emblema della trasparenza, della leggerezza, della comunicazione, del passaggio dell'aria e della luce. La storia dell'architettura è anche la storia del dialogo fra queste due categorie e fra questi due elementi costruttivi. Le due idee fondamentali di separare e di comunicare, di luce e di ombra sono sempre presenti in qualunque involucro costruito e il loro dialogo è, da sempre, campo di applicazione principale dell'esercizio architettonico.

Nel rapporto tra interno ed esterno o, se si preferisce, tra vuoti e pieni che generano discontinuità nel sistema murario, tra luce e ombra che influenzano e caratterizzano gli spazi interni dell'organismo architettonico, la configurazione dell'apertura e della finestra continua a rivestire, nella cultura architettonica, un ruolo cruciale nella ricerca della qualità formale, tecnica, estetica ma anche emozionale. Ruolo che, con l'affermarsi di nuove tecniche realizzative e di nuovi componenti a elevato contenuto tecnologico, invita a una revisione dei concetti tradizionali di muro e finestra, di pieno e di vuoto, di opaco e di trasparente, di tenuta e di permeabilità e altresì all'invenzione di categorie comprensive, sintetiche, complesse e diversamente articolate, per individuare risposte tecniche, materiali, componenti e organismi architettonici legati a valori più densi di qualità e di significati espressivi.

La necessità strumentale delle aperture nella continuità delle pareti, in origine piccole e trascurabili, da non richiedere alcuna forma di schermatura, divenne col tempo elemento funzionale di grande importanza igienica e architettonica, con fini puramente decorativi e/o tecnico-costruttivi.



Particolare del *Jüdisches Museum* di Daniel Libeskind.

Foto: Sergio Camplone.

Questa relazione tra funzione semantica e funzione tecnica sembra comunque, nel corso dei secoli, perpetuarsi.

## L'EREDITÀ DELLA STORIA

I primi esempi di architettura con aperture praticate nella muratura sono rappresentati dal padiglione reale di Medinet Habù e dalla sala ipostila del tempio di Amun e di Denderah. Tali realizzazioni prescindevano da ogni finalità abitativa per assolvere funzioni religiose. Le aperture erano ridotte al minimo: il valore simbolico era affidato al dialogo luce-ombra-penombra e alla suggestione delle *griglie* in lastre sottili di selenite variamente lavorate o con incroci di elementi chiodati e incastrati tra loro o con incroci di elementi di ferro simili a quelli che Vitruvio descrive quando parla delle porte dei templi, le *clarate*<sup>1</sup>.

Trilite del santuario maltese di Mnajdra.



Il tipo di apertura prevalentemente utilizzato fu quello basato sul sistema trilitico, a vano leggermente trapezoidale o rettangolare, oppure a blocchi lievemente aggettanti. Infatti, il passaggio dall'uso di blocchi non lavorati a elementi squadrati si caratterizza nella sua prima fase attraverso l'uso del blocco di pietra (architrave) regolarizzato che con il suo peso grava su appoggi verticali (piedritti). L'uso della pietra, a conci squadrati, come membratura orizzontale e verticale lineare, portò a determinazioni formali di grande interesse: ad esempio, l'evidente necessità di contenere le luci fra gli appoggi condizionò la

<sup>1</sup>La clarata, scrive Vitruvio, è "lavoro fatto a gelosia, e si trovano porte fatte a questo modo, che si può per quelle vedere, nella parte interiore, sono come ferrate".



Acropoli di Pergamo, Turchia.  
Foto: Cristina Cellucci.

distanza fra i piedritti. È interessante notare anche i segni di un probabile disagio tecnico di fronte al sistema trilitico in pietra – in alcune opere dell'architettura micenea – nelle quali all'elemento orizzontale è sovrapposto uno pseudo arco in blocchi, aggettanti ciascuno sul sottostante, con l'evidente funzione di ricondurre le sollecitazioni sui piedritti verticali.

Fra i fattori di sviluppo della costruzione dell'apertura, riveste comunque un ruolo fondamentale la scoperta dei metalli e la loro conseguente lavorazione. Le nuove tecniche di costruzione, evolvendosi, danno vita ad un vano murario bivalente, come elemento costruttivo costituito da blocchi con funzioni strutturali o ornamentali. È il caso, ad esempio, delle svariate architetture dell'arte cretese-micenea, ove i vani murari di accesso o parti di edifici erano rivestiti di pietra (basamenti, scale, ecc.), mentre l'apertura (i piedritti e l'architrave) era realizzata con enormi blocchi appena regolarizzati mediante la tecnica della spaccatura e della riquadratura, e ancorati alla muratura mediante grappe. Nell'architettura della Creta minoica, infatti, gli elementi costitutivi delle aperture, spesso qualificati con fasce e dipinti a matrici ornamentali, erano evidenziati da forme quadrate e rettangolari monofore e polifore, architravate e intelaiate da travature policrome<sup>2</sup>. Mentre le facciate d'ingresso delle tombe a Tholos, nella Grecia micenea, presentano aperture riccamente decorate, basate sul sistema trilitico.

Le aperture di forma trapezoidale erano per lo più intelaiate da una *mostra* in pietra degli stessi conci del muro o caratterizzate da semicolonne a tronco di cono rovesciato. L'architrave, elemento monolitico, era spesso decorato a fasce o modanature orizzontali sovrapposte;

<sup>2</sup> Prospetti di case cretesi sono rappresentati nelle tavolette in ceramica smaltata conservate nel museo di Iraklion.

## La parete-apertura nell'architettura contemporanea

Michele Di Sivo



foto: Sergio Camplone, Lubiana 2017

La ricerca scientifica e la sperimentazione in architettura hanno lavorato moltissimo, negli ultimi anni, per il miglioramento delle prestazioni dell'edificio, generando un incremento considerevole della complessità e della gamma di prodotti offerti al progettista e l'affinamento delle tecniche e dei materiali tradizionali.

Dagli anni Settanta a oggi, le tecnologie per la realizzazione delle facciate degli edifici sono mutate notevolmente e hanno marcato il passaggio nella cultura tecnologica dal concetto di chiusura a quello d'involucro edilizio<sup>1</sup>. Sono molti gli esempi di architettura in cui all'involucro è affidata tutta la contemporaneità del linguaggio e della poetica degli autori.

Una fortissima tendenza all'innovazione in tale ambito ha avuto come driver fondamentale un'esperata ricerca estetica orientata alla spettacolarizzazione dell'architettura. In molti casi l'innovazione tecnologica è stata indotta dalla volontà di realizzare soluzioni architettoniche assolutamente inedite, iconiche, connotate da fortissima volontà di forma. In questi casi, le soluzioni e gli avanzamenti tecnologici ideati per questi progetti hanno stentato ad affermarsi al di fuori della specifica applicazione per la quale sono stati concepiti. D'altra parte, importanti processi d'innovazione sono prodotti grazie all'evoluzione degli assetti normativi europei e nazionali per il contenimento dei consumi energetici, il miglioramento del comfort interno e più in generale per l'ottimizzazione delle prestazioni ambientali. Si tratta di processi innovativi che riguardano prevalentemente i materiali e i componenti

<sup>1</sup> Questo "da elemento-barriera prevalentemente protettivo si è evoluto, nella recente ricerca e sperimentazione tecnologico-architettonica contemporanea, in un complesso sistema-filtro selettivo e polivalente, in grado da una parte di ottimizzare le interazioni tra microambiente interno e macroambiente esterno (e viceversa) al mutare delle condizioni climatico ambientali (...) e dall'altro di rispondere sempre più in senso 'intelligente' agli stessi mutamenti culturali, sociologici, psicologici, del modo di vivere i rapporti con tali fattori micro e macro ambientali da parte dei fruitori dell'architettura 'involucrata'". Tucci F., *Involucro Ben Temperato*, Alinea Editrice, Firenze, 2006.



Centro Galego de Arte Contemporanea di Alvaro Siza, Santiago De Compostela, Spagna.  
Foto: Cristiana Cellucci.

che testimoniano un'evoluzione più lenta ma più pervasiva nella diffusione e applicazione nella realtà costruttiva.

Le chiusure sono state coinvolte pienamente in queste ricerche, producendo un processo d'innovazioni volto ad assumere questi elementi fortemente connotanti l'architettura come filtro selettivo capace di interagire con le condizioni esterne per il benessere e la riduzione dei consumi energetici dell'edificio. Un primo aspetto maggiormente tangibile della gran parte di queste trasformazioni consiste in innovazioni nel campo dei materiali e della tecnologia di produzione dei profili e dei telai, o meglio, nella messa a punto di procedimenti di produzione industriale che dalla materia prima portano ad un prodotto finito sempre più sofisticato (ottimizzazione dei profili, introduzione del taglio termico e del giunto aperto, controllo sulle precisioni nell'estrusione dei profili, ecc.) e, inoltre, nell'elaborazione di un sistema di norme di controllo e garanzia della qualità del prodotto nell'intero ciclo di vita. Allo scopo di limitare le dispersioni, la risposta del settore del serramento è stata sempre più orientata al raggiungimento di livelli prestazionali più alti nell'isolamento termico e nella tenuta.

Per la realizzazione delle pareti, le innovazioni tecnologiche sviluppate sono quelle dell'assemblaggio a secco, in legno, in acciaio o miste; inoltre è molto cresciuto l'interesse per le tecnologie massive in relazione alle necessità di adattamento ai climi caldi.

La base comune delle dimensioni dell'innovazione (innovazione di prodotto, della tecnologia produttiva e della normativa) consiste nella definitiva acquisizione dell'interazione tra vano murario e finestra. Da un lato l'acquisizione del concetto di serramento come sistema nei suoi rapporti tra telaio fisso, telaio mobile, giunti e parti vetrate, nella gamma dei profili a disposizione (un componente efficiente e funzionale nell'adempiere a funzioni statiche, di apertura e chiusura e di conservazione di alcune condizioni ambientali all'interno dell'organismo edilizio); dall'altro l'innovazione che, con il suo dispiegarsi, pone la necessità di concentrare l'attenzione su altri parametri, certamente più vicini alla ricerca di nuove tipologie e nuove forme per nuovi modi di generare i valori degli spazi.

Dal delicato equilibrio tra questi due aspetti (esigenziale-prestazionale ed estetico-formale) scaturiscono le spinte evolutive, che consentono di sperimentare e sviluppare sempre nuove soluzioni.

Il lavoro di sperimentazione e di elaborazione progettuale spesso è più innovatore laddove è più profonda la conoscenza degli avanzamenti nelle tecnologie di produzione. La conoscenza specifica dei sistemi e dei processi produttivi e d'innovazione degli stessi è indispensabile per una progettazione tecnologica avanzata. È proprio at-

traverso la conoscenza di tali processi che si può, difatti, scoprire tutta la potenzialità creativa entro cui lavorare, riuscendo a intravedere anche nuove possibilità compositive per la definizione delle scelte.

## LE QUALITÀ ESPRESSIVE

In architettura il delicato rapporto tra interno ed esterno, tra pieni e vuoti che generano discontinuità nel sistema murario, tra luce e ombra che influenzano la caratterizzazione degli spazi interni e la configurazione e relazione parete-finestra, rivestono un ruolo cruciale nella ricerca della qualità formale, tecnica, estetica ed emozionale in quanto soggetti di un dialogo che é, da sempre, campo di applicazione principale dell'esercizio architettonico.

La parete protegge, delimita, separa, chiude fisicamente e carat-

*Mensa der Schulschwestern di Günther Domenig, Graz, Austria.  
Foto: Cristiana Cellucci.*



## L'appropriatezza dei principi statici del rapporto parete-apertura

Giovanni Santi



Foto: Sergio Camplone, Lubiana 2017.

Uno degli approcci progettuali che spesso viene erroneamente utilizzato è quello di dare forma al manufatto edilizio partendo da considerazioni che sono le più varie, per poi passare, in un secondo momento, ad una progettazione strutturale che possa condurre all'effettiva realizzazione dello stesso, senza che la struttura possa contribuire, nella fase ideativa, a plasmarne la forma e l'aspetto.

Nel corso della storia il rapporto tra spazio, struttura ed involucro, in cui sono comprese le ragioni pratiche e ideali di un manufatto architettonico, e quindi la specificità dell'architettura, è mutato soprattutto con l'avvento dei nuovi materiali, a partire dalla seconda metà del secolo XIX, come l'acciaio e il calcestruzzo armato, che hanno consentito di prescindere dalla lunga tradizione della continuità muraria che da sempre aveva dominato nella storia dell'architettura, consentendo una maggiore libertà progettuale grazie alle possibilità offerte da una struttura ridotta a una serie di montanti isolati e di traversi o, addirittura, a un unico elemento capace di assolvere da solo alla funzione portante. Da ciò, l'impiego dei nuovi materiali permise ai progettisti di elaborare ipotesi costruttive differenti in relazione alla gerarchia nell'ordine di importanza tra lo spazio, la struttura e la forma, con posizioni in cui predominava la volontà di recingere lo spazio con elementi leggeri privilegiando, quindi, il valore dell'involucro, al contrapposto principio irrinunciabile basato sulla veridicità della struttura e dei materiali.

Ma qualunque che sia l'approccio progettuale di un'architettura, quello ottimale non può prescindere dallo studio della struttura e del trasferimento delle forze all'interno di essa, analizzando i sistemi statici più diffusi nell'edilizia e i rapporti che li legano alle loro risultanze formali e quindi alla relazione tra struttura e configurazione del manufatto edilizio, da cui l'esigenza di conoscere i materiali, la possibilità del loro assemblaggio in sistemi statici più o meno omogenei, e le forme più congeniali a ciascun tipo di struttura, focalizzando perciò il



Foto: Giovanni Santi, *Fondazione Prada*, Milano 2017.

concetto di unitarietà assoluta del fare architettonico.

In tale quadro, le strutture in elevazione rappresentano un interessante campo di ricerca e sperimentazione, sia dal punto di vista progettuale che tecnico-costruttivo, poiché rappresentano uno degli elementi primari dell'edificio, sia per la sua definizione architettonica ed espressiva, che per le funzioni strutturali che assolvono. Nel classificare i tre principali sistemi statici fondamentali, quello pesante, quello elastico e quello spingente, ciascuno caratterizzato dal diverso principio aggregativo messo in atto<sup>1</sup>, risulta evidente il livello di diversità tra la continuità spaziale permessa dallo scheletro portante di un edificio, in rapporto all'esterno della struttura muraria, e la libertà espressiva di un edificio con struttura a scheletro indipendente, avvolta da un diaframma interno ed esterno che si identifica in un involucro, portato dalla struttura, capace di arricchirsi di numerosi elementi tecnologici che separano gli spazi esterni da quelli interni. Un ruolo determinante, all'interno di tale sistema, lo occupa il vano, il tramite tra lo spazio interno e quello esterno, che caratterizza ogni architettura, conferendole una ritmica prospettiva di primaria importanza. Le varie tipologie di aperture, nelle murature tradizionali degli edifici, seguono perciò ragioni funzionali, costruttive ed estetiche che ne regolano forma, proporzioni ed il collocamento nel complesso edilizio, come ben evidente negli esempi riportati nei capitoli precedenti; al tempo stesso, vi sono principi statici e tecnologici che ne segnano la conformazione geometrica e ne regolano l'assemblaggio dei vari componenti edilizi, in funzione degli elementi che ne definiscono la forma, da quello superiore (architrave, arco o piattabanda), a quello laterale (stipite, spalla o fianco), a quello inferiore (davanzale – per le finestre –, soglia – per le porte –)<sup>2</sup>; risulta perciò evidente che il vano debba essere visto come un sistema complesso che si relaziona alle varie tecniche costruttive e ai sistemi e sub-sistemi dell'organismo edilizio.

La stabilità delle strutture murarie tradizionali dipende da molti fattori, così come ampiamente dimostrato dalla manualistica e normativa specialistica<sup>3</sup>, ed un ruolo determinante lo ha, oltre alla natura dei materiali impiegati, anche la conformazione dei vani presenti.

<sup>1</sup> Cfr. Cataldi G., *Sistemi statici in architettura*, Edizioni Ceam, Padova, 1979.

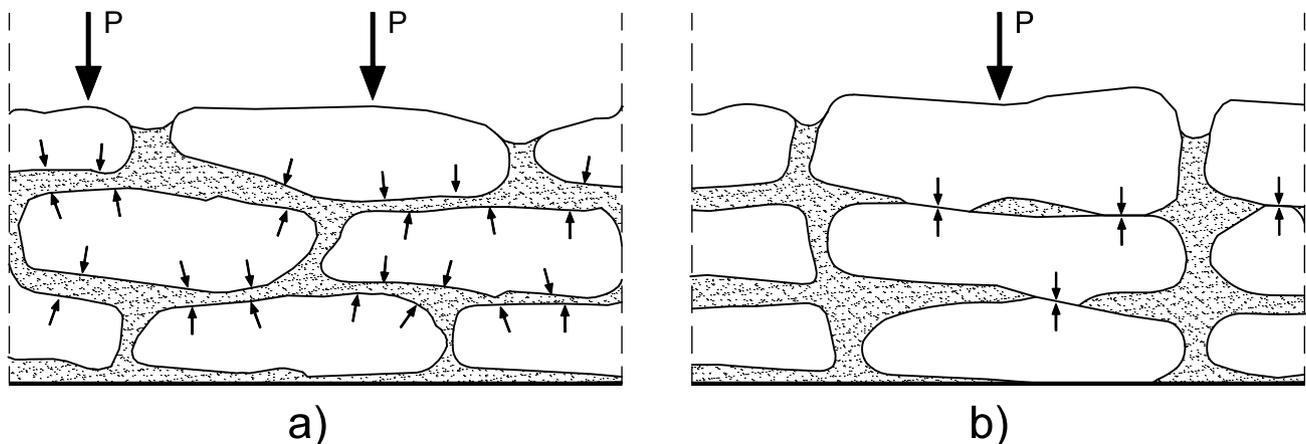
<sup>2</sup> Come riportato negli schemi di p. 67.

<sup>3</sup> Di seguito una sintetica rassegna delle principali normative e testi specifici per un approfondimento della tematica: Ministero dLP (2008) DM 14-01-2008, "Norme tecniche per le costruzioni", Gazzetta Ufficiale, 29. Ministero dIT (2009) Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni». Eurocode 6: Design of masonry structures, EN 1996, 2001. Augenti N., *Il calcolo sismico degli edifici in muratura*, 9° Edizione, Milano, 1993. Valluzzi M. R., *Consolidamento e recupero delle murature*, Faenza, 2003. Mordà N., *Calcolo pratico delle costruzioni esistenti in muratura*, Santarcangelo di Romagna, 2016. Vinci M., *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura*, Palermo, 2012.

La forma più comune del vano è quella rettangolare, con l'altezza il doppio della larghezza, dove nella parte superiore vi è un architrave monolitico, che agisce per semplice peso sui piedritti che contengono il vano stesso; ciò, sintetizza il principio trilitico, ossia il sistema pesante, basato sul principio statico dell'appoggio semplice, fondato sulla trasmissione verticale delle forze-peso. Dal punto di vista statico, la presenza dei vani, siano essi porte o finestre, in una muratura ne diminuiscono la relativa sezione resistente, provocandone un indebolimento. È da premettere, al proposito, che non è possibile considerare la muratura un vero e proprio materiale, non perché costituita dalla differente qualità della malta o degli elementi, siano essi in laterizio o lapidei, piuttosto perché condizionata da fattori incontrollabili come la geometria dell'assemblaggio e le modalità di posa in opera. Un sistema quindi costituito da più elementi e da differenti materiali, il cui assemblaggio può mutare sia all'interno di una stessa muratura che tra una ed un'altra, poiché risultato di un prodotto artigianale-manuale. Perciò, sebbene le maestranze utilizzino prevalentemente due componenti sufficientemente omogenei e isotropi, con caratteristiche ben definite, come gli elementi in laterizio o lapidei e la malta, la differente disposizione dei vari elementi, o il diverso spessore degli strati di malta, sono solamente due delle innumerevoli variabili che possono distinguere, profondamente, murature realizzate con gli stessi materiali, dando così luogo ad un prodotto che può essere considerato una costruzione nella costruzione.

In riferimento alle murature, comunque, si è giunti ad assimilarle ad un materiale ideale, omogeneo e isotropo, procedura che vale anche per altri materiali come ad esempio il cemento armato, nonostante permanga l'estrema aleatorietà dovuta alla modalità di posa in opera,

La malta ha anche la funzione di trasmettere e ripartire le sollecitazioni agli elementi di materiale principale in maniera possibilmente uniforme, senza che questi vengano a contatto in punti in cui la concentrazione delle sollecitazioni può dare origine ad un eccessivo carico che può scheggiare o frantumare i pezzi. In figura, esempio di una muratura in pietrame con malta: a) commenti di malta ben eseguiti che ripartiscono il carico; b) cattivo assemblaggio degli elementi in pietra e relativi punti di contatto in cui si ha la concentrazione delle sollecitazioni.



Edizioni ETS  
Piazza Carrara, 16-19, I-56126 Pisa  
info@edizioniets.com - www.edizioniets.com  
Finito di stampare nel mese di novembre 2017