

## **Modellable Wall, una nuova muratura curva per uso architettonico**

Natasha Calandrino Van Kleef, NVK DESIGN - Milano

Britta Gelati, ingegnere, Milano

Luca Martinelli, DIS – Politecnico di Milano

Leonardo da Vinci asseriva che "Le stanze pichole ravvivan l'ingegno".. quasi una dichiarazione di sfida nella progettazione degli spazi domestici del nostro abitare. L'ispirazione di questo pensiero ha condotto alla ricerca della possibilità di avere nuove scenografie del quotidiano, mettendo a punto una tecnica capace di rendere "sagomabili" e forgiabili le rigide pareti in laterizio che compongono le nostre architetture: l'utilizzo del brevetto sulle murature sagomabili "Modellable Wall" consente infatti di esprimere le potenzialità figurative, luministiche e tattili del materiale laterizio.

L'uso di pareti divisorie curve, generalmente realizzate in vetro, cartongesso, o altro materiale sagomabile, è già ampiamente diffuso. Questi materiali permettono però generalmente di ottenere una curvatura singola, ossia la parete è definita dall'estrusione verticale di una curva direttrice orizzontale.

Il limite è naturalmente dettato da un lato dalle problematiche tecniche correlate alla messa in opera di una superficie avente curvatura doppia, dall'altro ai requisiti di resistenza meccanica e di isolamento termico/acustico imposti in edilizia alle pareti divisorie e perimetrali. Questi limiti diventano ancora più evidenti se si vuole realizzare la parete con tecniche e materiali tradizionali, come blocchi in laterizio.

### **Le murature curve in architettura**

L'uso del mattone in grandi strutture è molto antico: i primi resti di strutture che utilizzano la struttura ad arco sono le volte a corsi inclinati (volta nubiana) e sono state scoperte in una regione mesopotamica (nota è la grande sala a [Tepe Gawra](#), risalente al IV millennio a.C.) e nel Basso Egitto fra il IV e III millennio a.C. ([tomba di Helwan](#), risalente al 3000 a.C. e ingresso ad arco in una tomba [mastaba](#) a [Giza](#) risalente al 2600 a.C.). Anche le prime cupole in argilla datano a circa il IV millennio a.C. e sono state utilizzate per coprire alcune abitazioni primitive impostate su murature circolari composte da macerie e argilla (le case di Khirokitia a Cipro. Altri esempi più recenti si trovano nella civilizzazione micenea (tholoi) ed etrusca (Necropoli di Cerveteri). Tali coperture si rifanno al principio del sistema trilitico: sono infatti costituite da blocchi sovrapposti posati progressivamente con una lieve sporgenza e convergenti nel vertice.

I costruttori romani utilizzavano nervature di mattoni nella massa di calcestruzzo, il cosiddetto *opus caementicium*, in cui il calcestruzzo veniva frazionato e gettato tra le nervature. Più tardi gli stessi romani svilupparono la tecnica detta "tubi fittili", ossia tubi di terracotta vuoti (spesso anfore), collocati verticalmente uno dentro l'altro nel calcestruzzo, in cerchi concentrici, come per esempio nel Battistero di Nerone o nella cupola di San Vitale a Ravenna (V secolo).

Le murature curve portanti in mattone pieno hanno caratterizzato la storia dell'architettura anche in campo religioso e civile. Sarebbe impossibile elencare in poche righe gli innumerevoli e maestosi esempi; per tutti valga il Pantheon a Roma. Dalla metà dell'Ottocento in poi, l'introduzione del mattone forato ha consentito lo sviluppo di nuove architetture in laterizio armato parallelamente a quelle in calcestruzzo armato, come le straordinarie e innovative strutture create di Eladio Dieste (Chiesa Cristo Operaio di Atlantida).

Attualmente, per la creazione di murature curve in laterizio, vengono spesso adottati mattoni posati in corsi sfalsati: lo studio indiano [Anagram Architects](#), per esempio, ha progettato a Nuova Delhi la nuova sede del [South Asian Human Rights Documentation Centre](#) (Sahrdc), disegnando pile verticali che girano su se stesse e danno origine a una trama ondulata e materica; all'Università di Eindhoven, Ricardo Ploemen ha creato una cappella virtuale e, attraverso uno script di Autocad, ha determinato la struttura di ogni singola facciata secondo diversi parametri informatici che creano curve complesse e modellabili, formulando così la *brick tectonics*. Il desiderio di rendere fluide e "tessili" le superfici architettoniche si è concretizzato nella cosiddetta "architettura

parametrica”: intorno al 1990 alcuni architetti hanno cominciato a utilizzare software “parametrici” per definire le relazioni tra le superfici architettoniche, ottenendo curve e forme particolarmente elaborate e complesse. Si pensi a progetti quali l’aeroporto di Shenzhen degli architetti Reiser e Umemoto, lo Stata Center al Mit di Frank Gehry o lo Stadio Nazionale di Pechino della società di ingegneria Arup Sport. Nel 2012 Bellini e Ricciotti progettano il nuovo Dipartimento di Arti Islamiche al Louvre, creando una struttura che esalta l’aspetto dinamico e tessile fino a sembrare un foulard che ondeggia nel vento.

## **Principi di funzionamento statico**

Il principio statico che ha consentito la realizzazione delle murature storiche a semplice o a doppia curvatura è quello della resistenza per forma, ovvero fare sì che, attraverso la forma data all’opera, la risultante delle forze trasmesse tra un elemento (blocco) ed un altro sia applicata internamente alla superficie di contatto (faccia) tra i blocchi. Rispetto al blocco l’eccentricità dell’azione trasmessa deve essere minore dello spessore del blocco. Se la risultante cade all’interno del nocciolo centrale di inerzia della faccia, allora tutta la superficie della stessa risulterà compressa. Questo si traduce ad esempio nella nota regola del terzo medio per i conci in pietra di un arco.

L’esigenza statica prima richiamata ha come conseguenza che le murature curve possono sopportare forze essenzialmente dirette nel verso della concavità della muratura.

L’idea progettuale della muratura sagomabile “Modellable Wall” nasce per sfruttare in modo nuovo materiali tradizionali, comunemente impiegati in edilizia, mantenendo soddisfatti tutti i requisiti meccanici e fisici normalmente richiesti alle chiusure verticali.

Mentre i requisiti termico/acustici di una parete in blocchi in laterizio possono essere risolti con una scelta opportuna degli strati e dei suoi elementi costitutivi di base, quelli imposti dalle normative, e relativi alla resistenza meccanica della parete alle forze orizzontali, vedono chiamate in causa la forma e le dimensioni stesse della parete nel suo complesso. Le NTC 2008, ma anche le norme precedenti, richiedono che gli elementi verticali bidimensionali (ad esempio, tramezzi, pareti, tamponamenti esterni) siano oggetto a verifica locale e debbano resistere (NTC 2008 3.1.4.1) ad un carico orizzontale lineare  $H_k = 1,00 \div 3,00$  kN/m applicato alle pareti alla quota di 1.2 m dal piano di calpestio. La norma citata consente di mettere in conto i vincoli del manufatto e tutte le risorse che il tipo costruttivo consente per dimostrare che la verifica risulti soddisfatta.

Astraendo dalla resistenza a trazione della muratura, di fatto limitata dalla resistenza a trazione della malta, il momento ultimo della sezione risulta (Magenes et al.):

$$M_u = N \cdot (t - a) / 2$$

dove  $t$  è lo spessore della muratura e  $a$  l’affondamento della zona compressa. Se  $N = 0$  ne consegue anche  $M_u = 0$  e l’impossibilità della muratura a sopportare carichi orizzontali, dato che questi generano nella stessa un momento flettente.

Tuttavia, un certo valore di  $N$  nasce considerando che la muratura presenta un comportamento “a corpo rigido” (ad es. Derakhshan et al., Doherty et al.) e dal contrasto offerto dai solai, vedi Figura 1a. Le reazioni  $R$  esercitate dai solai che si oppongono all’allungamento della parete forniscono un momento stabilizzante che tende a richiudere le fessure.

Certamente è necessario mettere in conto il comportamento in grandi spostamenti della parete e la creazione di parzializzazioni per giustificare come una parete di tamponamento (soggetta a trascurabile azione assiale), possa resistere ai carichi orizzontali indicati.

Un comportamento come quello descritto si instaura più difficilmente, o affatto, quando le azioni orizzontali agiscono in direzione opposta alla concavità, come mostrato schematicamente in Figura 1b, dato che in questo caso il momento dovuto alle reazioni dei solai non è più stabilizzante.

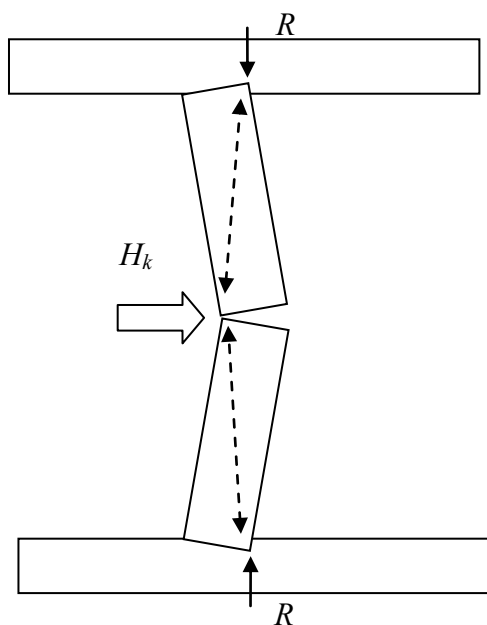


Figura 1a

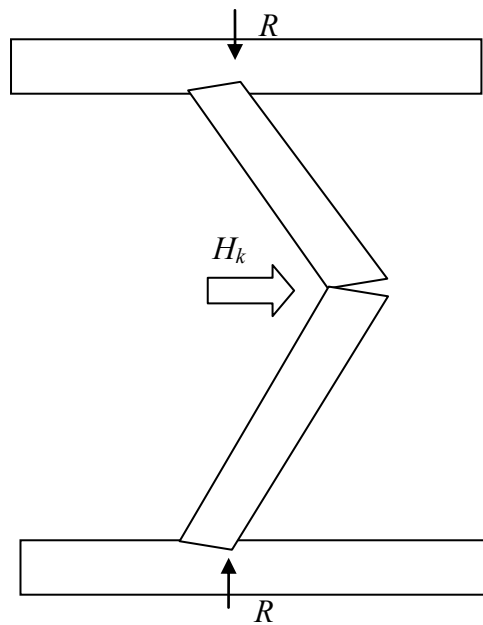


Figura 1b

La nostra proposta sulle murature sagomabili “Modellable Wall”, oggetto di brevetto, consente di esprimere le potenzialità figurative, luministiche e tattili del materiale laterizio superando i limiti appena visti, anche per forze dirette come in Figura 1b. “Modellable wall” è una muratura sagomabile in due dimensioni che consente, con estrema semplicità, in tempi rapidi e a costi contenuti, la creazione di piani verticali e/o orizzontali, a sviluppo curvo complesso. Il risultato di elevato pregio estetico e originalità permette di ottenere chiusure verticali dalle forme inconsuete e sagomabili.

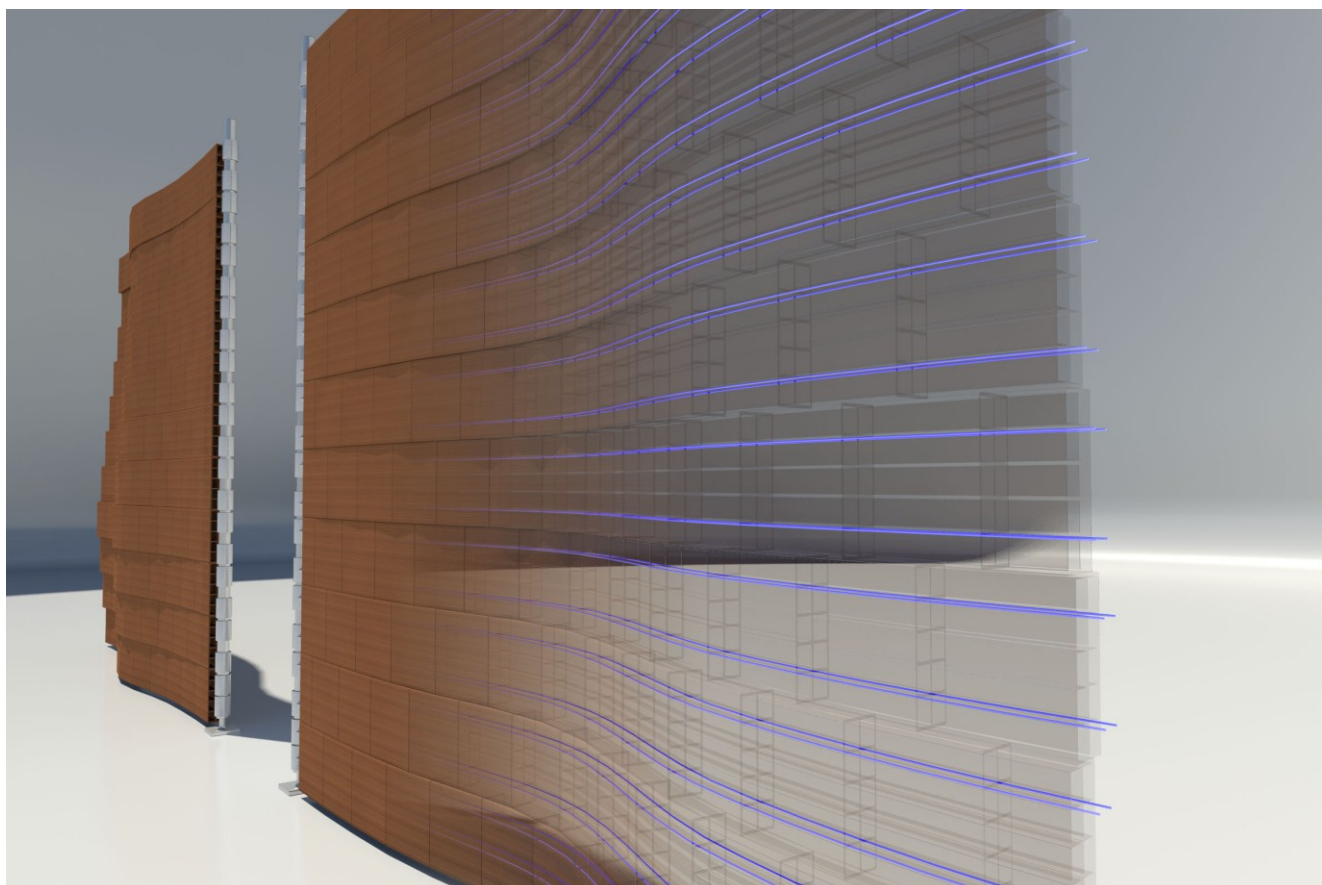


Figura 2

Uno “scheletro” (Figura 2) formato da una nervatura di barre (ad esempio tondini da C.A.) guida e sostiene i classici mattoni forati in laterizio, che vengono posati secondo lo sviluppo desiderato e solidarizzati semplicemente con malta. Questa nuova tecnica consente la creazione di piani orizzontali e verticali che si fondono in forme complesse per assecondare la sensibilità architettonica dei progettisti, permettendo così una nuova libertà espressiva.

I requisiti in termini resistenza meccanica per forze agenti nella direzione della concavità vengono soddisfatti dalla presenza dell’armatura interna vincolata a montanti verticali, a loro volta fissati ai solai di piano o altri elementi di contrasto. Le forze trasversali (ad esempio dovute all’impatto di un grave o quelle indotte da un sisma), quando agenti nella direzione della concavità, possono essere sopportate dalla muratura attraverso la formazione di archi di scarico (meccanismo di Figura 1a). Se, invece, sono agenti in direzione della convessità della superficie, vengono raccolte dalle barre di guida trasversale e da queste trasferite ai montanti laterali e ai solai di piano.

I vincoli derivano dalle dimensioni del mattone utilizzato. Il modulo base è costituito da due montanti, i contrasti superiori ed inferiori e le barre-guida. Lo standard è rappresentato da una parete alta 3 metri e lunga circa 2,5 metri e permette una eccentricità tra colmo e base di circa 80 cm.

Si possono concatenare moduli base attraverso manicotti sui terminali delle barre-guida, oppure innestare le barre guida in un muro perpendicolare. Ai lati delle aperture (porte e finestre), vanno disposti dei montanti.

Sagomando i montanti lungo il loro sviluppo verticale, e concatenando più moduli in orizzontale, si ottengono murature che approssimano curvature doppie. I montanti possono anche essere disposti in obliquo.

A prescindere dall’aspetto estetico, il muro in mattoni con armatura interna del tipo proposto si presta a realizzazioni anche “non sagomate” in zona sismica, in quanto permette di ovviare in modo semplice ed efficace ai problemi di vincolo delle pareti divisorie interne dei classici tramezzi in muratura, senza rinunciare alle prestazioni acustiche e meccaniche che fanno sempre preferire l’utilizzo del laterizio rispetto al cartongesso.

## **Bibliografia**

NTC 2008: 'Nuove norme tecniche per le costruzioni', Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Magenes et al.: G. Magenes, D. Bolognini, C. Braggio (A cura di), Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 2000, 99 pp.

Derakhshan et al.: H. Derakhshan, M.C. Griffith, J.M. Ingham, “Out-of-Plane Behavior of One-Way Spanning Unreinforced Masonry Walls”, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 139, No. 4, April 1, 2013. ASCE, ISSN 0733-9399/2013/4-409 – 417.

Doherty et al.: K. Doherty, M.C. Griffith; N. Lam, J. Wilson, “Displacement-based seismic analysis for out-of-plane bending of unreinforced masonry walls”, Earthquake Engng Struct. Dyn. 2002; 31:833–850 (DOI: 10.1002/eqe.126).