



Sistemi costruttivi antisismici del '700: La GAIOLA POMBALINA e la CASA BARACCATA

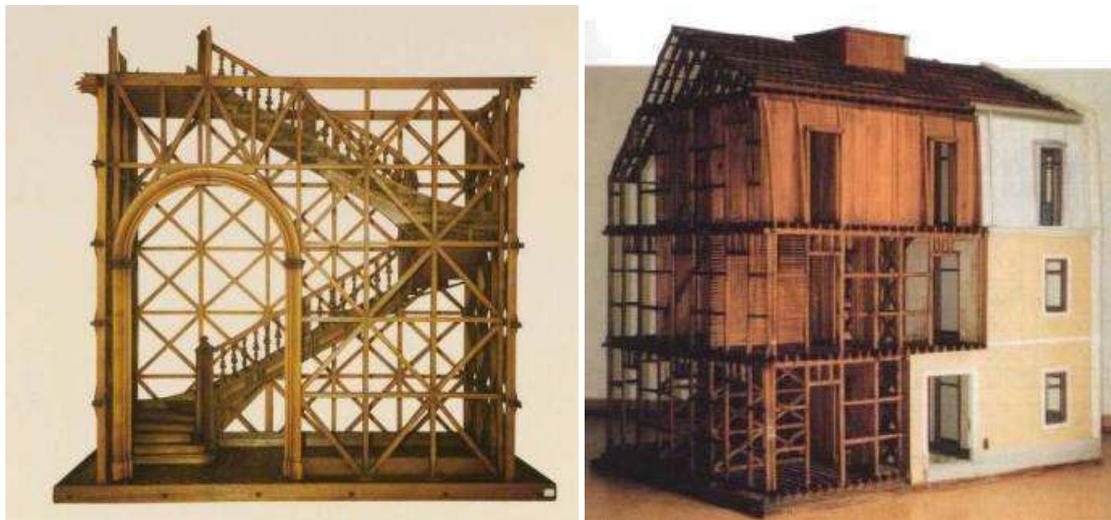
La **gabbia pombalina** (o *gaiola* in portoghese) e la **casa baraccata** sono due geniali **sistemi costruttivi antisismici settecenteschi**, i primi specificamente adottati con intenti di riduzione del rischio sismico di cui si abbia notizia.

La loro origine, storia ed evoluzione è molto simile e merita di essere approfondita non solo per ovvi motivi di **interesse storico e documentale**, ma soprattutto per la loro possibile **applicazione** nella costruzione di nuove abitazioni antisismiche.

Origine e caratteristiche della **GAIOLA POMBALINA**

Il **1 novembre 1755** alle ore 9:45 circa **Lisbona** venne completamente distrutta da un **terremoto** di magnitudo 8.5-8.7 Richter, uno dei più forti mai avvenuti in Europa. Si stima che circa il **25%** degli abitanti morì nei crolli, negli incendi dovuti alla caduta di candele e lucerne e nel successivo tsunami. Le ripercussioni sociali, politiche ed economiche furono enormi.

Tuttavia la ricostruzione avvenne in modo veloce ed efficiente grazie a Sebastião José de Carvalho **marchese di Pombal**, uno dei ministri del Re da cui prende nome anche il sistema costruttivo, e di **Manuel da Maia**, Ingegnere Maggiore del Regno. La zona centrale della città – la Baixa – venne infatti completamente ricostruita secondo le più moderne teorie architettoniche e urbanistiche del XVIII secolo: ampie strade rettilinee, larghe piazze e appunto edifici antisismici.



Modellino del sistema costruttivo antisismico della gabbia pombalina



Costruzione dimostrativa di una muratura con il sistema della gabbia pombalina



La gabbia pombalina di un edificio di Lisbona



Particolare della gabbia pombalina: si notano molto bene la struttura con i controventi diagonali (in grado di contrastare perfettamente le tipiche lesioni a taglio delle murature) e il tamponamento in muratura di pietrame



Nelle ristrutturazioni contemporanee spesso la gabbia pombalina viene trasformata in elemento ornamentale liberandola dalle murature.



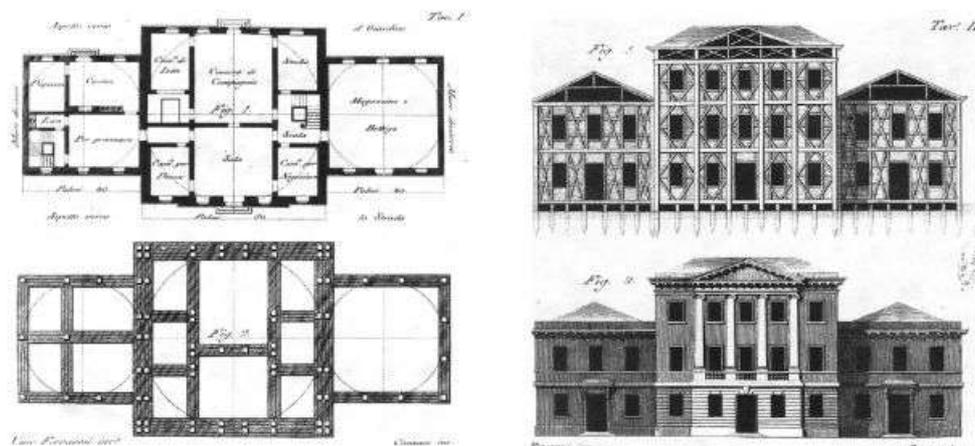
Il sistema costruttivo è una particolare **variante dell'opus craticium** (sistema costruttivo romano), conosciuto e **utilizzato da millenni** in tutto il bacino del Mediterraneo per la costruzione delle modeste case dei ceti inferiori o di edifici e abitazioni rurali: la sua ottima resistenza al terremoto era dunque ben nota da molto tempo.

Gli architetti dell'Ingegner Maggiore non fecero altro che migliorare il sistema, standardizzandolo e applicandolo alla costruzione di **edifici a molti piani**. La **gabbia pombalina** è formata da una serie di **montanti verticali e traversi orizzontali** disposti secondo una **maglia quadrata** irrigidita da **controventi diagonali**, secondo una caratteristica **configurazione a croce di Sant'Andrea**. Il tutto veniva quindi tamponato con murature di pietrame (in portoghese chiamate *alvenaria*) per la protezione dagli incendi e dalle intemperie: a differenza delle case a graticcio medievali del Nord Europa la struttura portante era quindi nascosta alla vista.

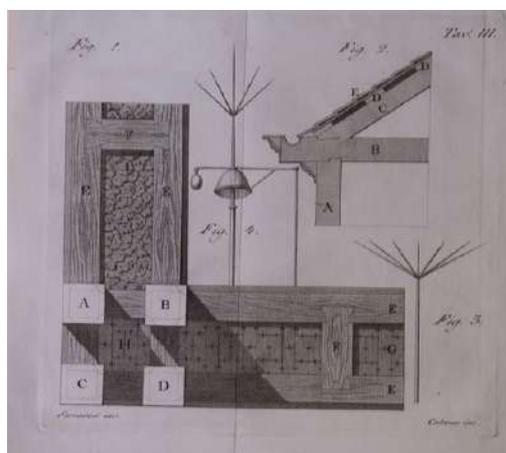
La **CASA BARACCATA** di epoca borbonica

Le origini della **casa baraccata** sono molto simili a quelle della gabbia pombalina, ma posteriori di esattamente un trentennio.

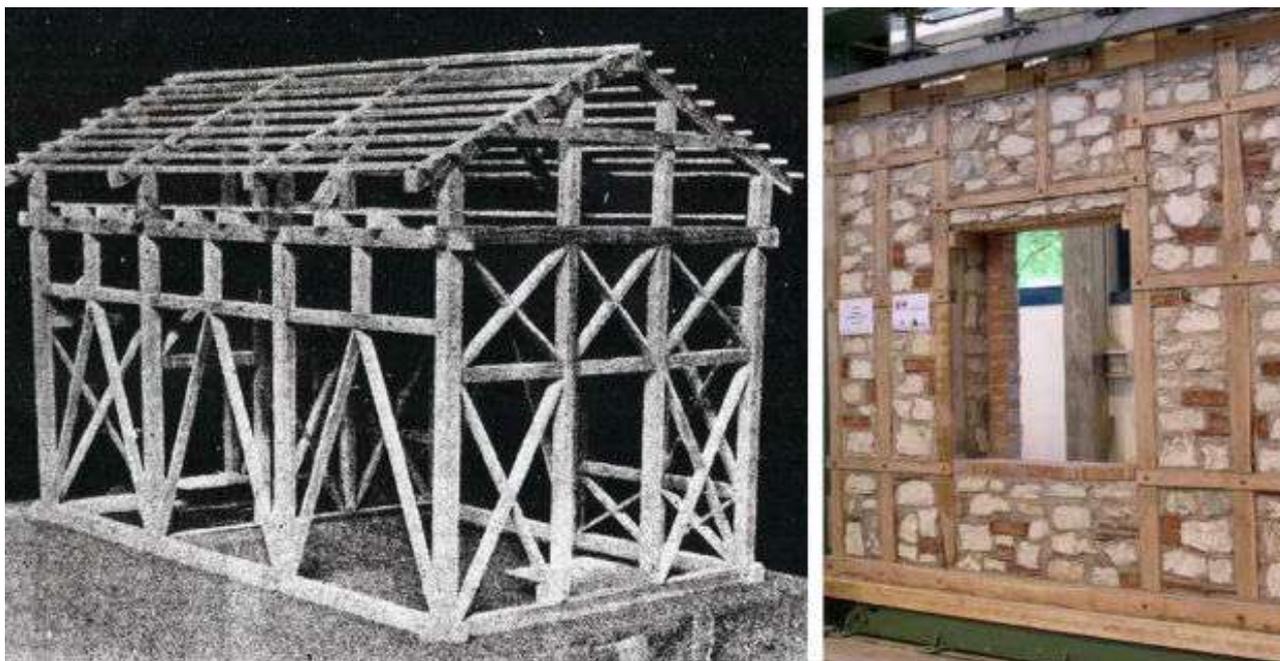
Nel **1783** la Sicilia e la Calabria meridionale, allora parte integrante del Regno delle Due Sicilie governato dalla dinastia dei Borboni, vennero infatti colpite da due fortissimi terremoti che provocarono circa cinquantamila morti e danni incalcolabili.



Progetto della Casa Baraccata dell'ingegner Francesco La Vega



Sezione orizzontale della Casa Baraccata, in cui si nota molto bene la struttura portante formata da due telai lignei connessi da traversi orizzontali



Modellino e ricostruzione moderna del sistema costruttivo della Casa Baraccata



Particolare del telaio ligneo della ricostruzione moderna della Casa Baraccata



Il Palazzo Vescovile di Mileto (Vibo Valentia), un esempio di edificio monumentale costruito con la tecnica dell'opus craticium



Particolare della struttura portante a traliccio del Palazzo Vescovile di Mileto (Vibo Valentia)

Anche in questo caso la ricostruzione avvenne in modo rapido e soprattutto rivoluzionario grazie all'emanazione di un vero e proprio **regolamento** per la **costruzione di edifici antisismici** con il sistema della casa baraccata, le *Istruzioni per la ricostruzione di Reggio [Calabria]*. Il suo inventore è l'ingegner **Francesco La Vega**, grande conoscitore dei sistemi costruttivi romani grazie alla sua esperienza come direttore dei primissimi scavi archeologici di Ercolano e molto probabilmente a conoscenza delle tecniche costruttive utilizzate nella ricostruzione di Lisbona.



Edificio di Casamicciola Terme (Napoli) costruito con il sistema della Casa Baraccata, gravemente danneggiato dal terremoto del 21 agosto 2017

La casa baraccata possedeva le seguenti **caratteristiche tecniche**:

- **altezza fuori terra** di due, massimo tre piani;
- **pianta rigorosamente simmetrica** basata su un corpo centrale di forma quadrata e due ali laterali più basse, anch'esse quadrate;
- solide **fondazioni su palificate lignee** per scongiurare il fenomeno della liquefazione del terreno;
- totale **assenza di volte** e strutture spingenti;
- **pareti verticali** formate da un **doppio telaio ligneo**, uno a filo interno e uno a filo esterno del muro, **collegati da traversi orizzontali** disposti a intervalli regolari; il telaio può essere o meno dotato anche di controventi diagonali ed è tamponato con murature in mattoni o pietrame.

Come si vede – a parte la struttura a traliccio – si tratta degli stessi principi previsti dalle NTC 2008 per gli edifici di nuova costruzione.

Con questo sistema costruttivo vennero realizzate moltissime case tuttora esistenti e persino importanti **edifici monumentali** come il Palazzo Vescovile di Mileto (Vibo Valentia), ora purtroppo completamente abbandonato e bisognoso di urgenti restauri.

Efficienza dell'OPUS CRATICIUM come sistema costruttivo antisismico



Eloquente confronto tra i danni subiti dopo il terremoto del 1999 da una casa tradizionale turca in opus craticium e un edificio moderno di cemento armato



Ma perché l'opus craticium e le sue varianti sono così efficienti in caso di terremoto?

I **motivi** sono essenzialmente tre:

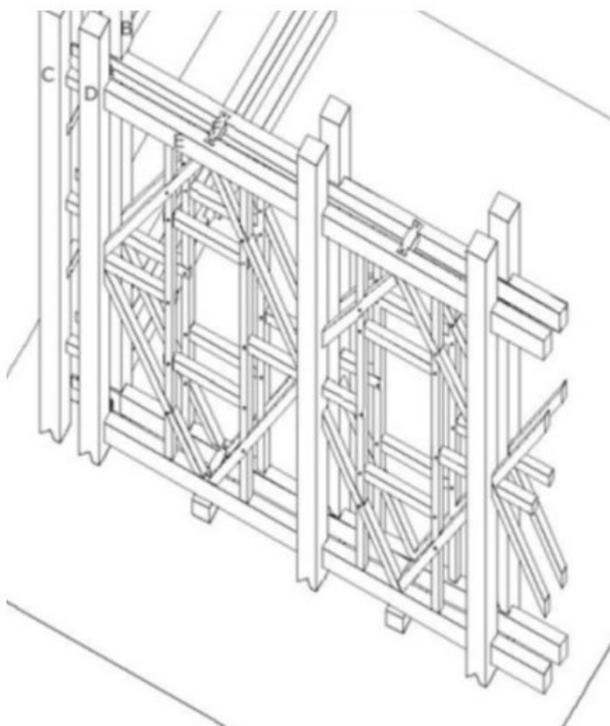
- 1) **efficace collegamento** tra le pareti dell'edificio che consente una **ripartizione ottimale** delle sollecitazioni sismiche;
- 2) grande **elasticità della struttura** portante in legno, in grado di assecondare l'accelerazione sismica senza spezzarsi;
- 3) presenza dei **controventi diagonali in legno**, resistenti sia a trazione che a compressione, che assorbono gli sforzi a taglio diagonale responsabili dei meccanismi di danno nel piano (II modo) e della formazione delle tipiche fessurazioni a forma di X.

Di fatto, l'efficacia dell'opus craticium è stata provata sul campo non solo dalle numerose abitazioni settecentesche che hanno resistito al catastrofico terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908, ma anche da alcuni **test** eseguiti nel 2013 dal CNR-Ivalsa, che hanno sottoposto la fedele ricostruzione di una muratura antisismica settecentesca ad alcune prove su tavola vibrante con risultati decisamente incoraggianti.

Prove di laboratorio CNR-Ivalsa sulla casa Baraccata dei Borbone

Ferdinando IV di Borbone, in seguito al terremoto del 1783, inviò nella Regione della Calabria i migliori ingegneri del Regno delle Due Sicilie. Fra questi ci fu **Giovanni Vivenzio**, ingegnere della famiglia reale e professore universitario di Sismologia e Vulcanologia.

Vivenzio si concentrò sul sistema costruttivo della **casa baraccata** e ne parlò nel suo trattato *“Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina”* riportando tavole e particolari costruttivi. Tale sistema prevedeva la realizzazione di una **doppia intelaiatura in legno** con un riempimento delle maglie realizzato con muratura di malta e conci di pietra.



Doppio telaio in legno di una casa baraccata

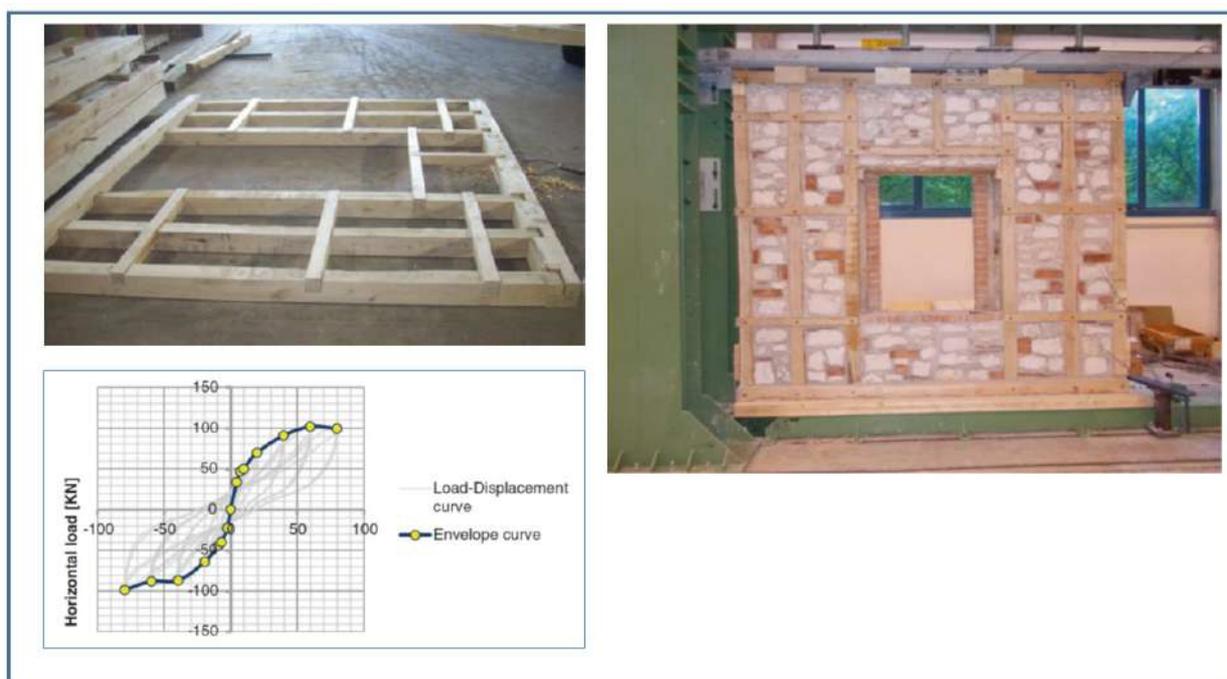


In seguito allo studio di Giovanni Vivencio, Ferdinando IV di Borbone fece emanare un regolamento che proponeva la ricostruzione di Reggio utilizzando il sistema della *casa baraccata*. Le costruzioni realizzate secondo questa tecnologia avevano riportato pochissimi danni durante eventi sismici molto intensi.

A quasi duecento anni di distanza, nei laboratori sperimentali di tutto il mondo sono stati eseguiti dei test di laboratorio per appurare quanto in realtà fosse efficace questo sistema costruttivo in presenza dell'azione sismica. Sono state svolte **prove di laboratorio** su provini che riproducono fedelmente il pannello in muratura con intelaiatura in legno, **prove dinamiche** su tavola vibrante di modelli in scala reale e **analisi numeriche** per simulare il comportamento meccanico della casa baraccata. Tutti gli articoli scientifici pubblicati in occasione di questi test sono raccolti in un documento denominato **H.Ea.R.T.** (*Historical Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area*).

Azioni nel piano: prove cicliche sulla parete baraccata

Presso il **CNR Ivalsa** (*Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree*) sono stati eseguiti test sperimentali su provini di parete realizzati mediante il sistema della casa baraccata. Sono stati analizzati due provini: uno completo del telaio in legno e del riempimento in muratura ed un altro provino composto dal solo telaio in legno. La prova è del tipo pseudo-statica con applicazione di un carico orizzontale ciclico.



Provino sottoposto a prova pseudo-statica ciclica – Inviluppo della curva forza-spostamento

Il test è finalizzato ad indagare la resistenza a taglio della parete e il suo comportamento globale sotto azioni sismiche. Dal diagramma forza-spostamento ottenuto è possibile ottenere informazioni sulla duttilità della parete e sulla



dissipazione di energia. Dai risultati ottenuti, il provino composto dal telaio in legno e dal riempimento in muratura ha dimostrato di avere un ottimo comportamento sotto azioni sismiche esibendo **elevata duttilità** e basse cadute di resistenza per ogni ciclo di carico.

Il provino composto da solo legno invece ha bassa resistenza, scarse proprietà meccaniche ed elevate deformazioni orizzontali.

Da quanto emerso dai test sperimentali, la presenza della muratura conferisce al pannello **resistenza e rigidità**, il telaio in legno invece assicura la **duttilità** del pannello.



Confronto fra provino della parete e modello ad elementi finiti

Azioni fuori piano: i test su tavola vibrante

La prova pseudo-statica serve per analizzare il comportamento del pannello nel suo piano. Per azioni **fuori dal piano** sono stati eseguiti dei test dinamici su tavola vibrante in cui la direzione dell'accelerazione imposta alla base del pannello aveva direzione ortogonale al piano del pannello. Lo scopo è quello di studiare il comportamento del pannello per azioni fuori dal piano.

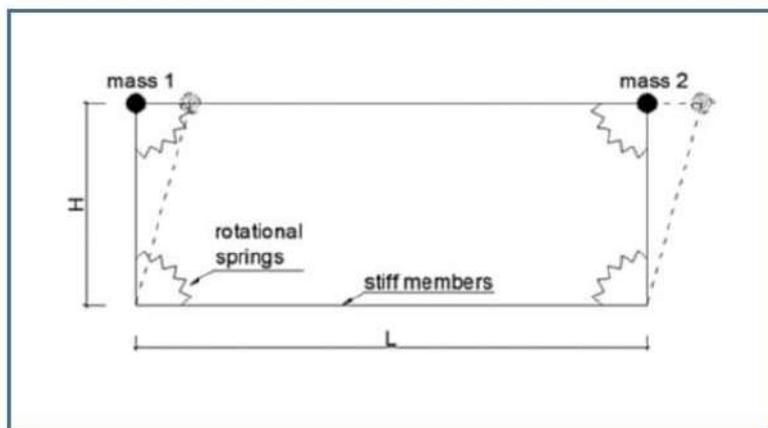


Modello in scala reale sottoposto a test su tavola vibrante



Analisi di vulnerabilità: come analizzare la casa baraccata in un software di calcolo

Lo studio condotto su queste strutture ha lo scopo di stabilire una **metodologia** per eseguire l'analisi di vulnerabilità sismica delle strutture in **muratura con intelaiature in legno**. Il modello proposto per riprodurre il comportamento della parete composta dalla muratura e dal telaio in legno è quello riportato nell'immagine di seguito:



Modello della parete con molle rotazionali concentrate ai nodi

Si tratta di un semplice modello composto da **aste e molle rotazionali** concentrate ai nodi del telaio. La rigidezza rotazionale e le capacità dissipative delle molle concentrate nei nodi dovranno essere **calibrate** con i risultati delle prove sperimentali condotte su un provino che riproduca la **stessa tipologia di parete**.

Una volta noti i parametri della singola parete, le pareti potranno essere assemblate per modellare l'intera struttura. Se il modello che si analizza è **bidimensionale**, non sarà necessario fare nessuna ipotesi sulla rigidezza dei solai. Se invece il modello è tridimensionale si dovrà ipotizzare la rigidezza del solaio nel suo piano.