

Nel 2009, un team di ricercatori dell'Università di Catania fonda Gruppo Sismica s.r.l. con l'obiettivo di mettere a disposizione dei professionisti i principali risultati della loro ricerca nell'ambito dell'ingegneria sismica. Nel corso di questo decennio sono stati proposti tre software dedicati alla studio della risposta sismica di edifici in muratura: 3DMacro®, HiStrA® Archi e Volte e HiStrA® Bridge, corrispondenti a progressivi avanzamenti della ricerca.

La metodologia di calcolo proposta si può considerare un compromesso tra la strategia FEM, accurata ma di difficile applicazione pratica, e i modelli a telaio equivalente, snelli ma con grosse limitazioni di modellazione.

3DMacro® si basa su un **macro-elemento piano** sviluppato presso l'Università di Catania, appositamente concepito per simulare il comportamento sismico di pannelli murari soggetti ad azioni sismiche. Viene rappresentato mediante un semplice schema meccanico equivalente costituito da un quadrilatero articolato (deformabile a taglio), interagente con gli altri macro-elementi mediante interfacce nonlineari [1]. Riesce a cogliere tutti i principali meccanismi di collasso della muratura per pressoflessione e taglio o l'attivarsi di meccanismi di tipo misto. Il macro-elemento consente di modellare edifici complessi e di contenere i tempi di calcolo. Questa strategia di modellazione è stata inoltre estesa, in maniera originale, al fine di cogliere l'interazione con telai, consentendo la **modellazione di strutture miste** [2].

L'evoluzione spaziale di questo macro-elemento 2D è alla base del software HiStrA® Archi e Volte che consente la modellazione anche di geometrie curve [3]. Lo schema base è modificato considerando una geometria irregolare dell'elemento. Le interfacce discrete per strutture curve regolano il comportamento nonlineare, membranale, a scorrimento e a torsione. Ulteriori studi sono stati rivolti alla modellazione di **grandi strutture (chiese)** [4] e alla precisa modellazione di **rinforzi strutturali mediante elementi fibro-rinforzati** [5].

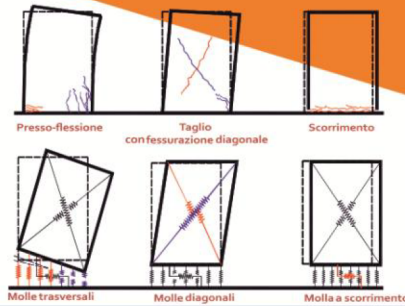
Più recentemente, è stato introdotto un **elemento solido nonlineare**, in cui l'interazione mediante interfacce può avvenire su tutte le facce dell'elemento [6], che è alla base della strategia di calcolo impiegata nel software HiStrA® Bridge.

Questi strumenti avanzati di analisi nonlineare, dietro l'apparente semplicità dei modelli, rappresentano l'avanguardia dell'innovazione della ricerca.

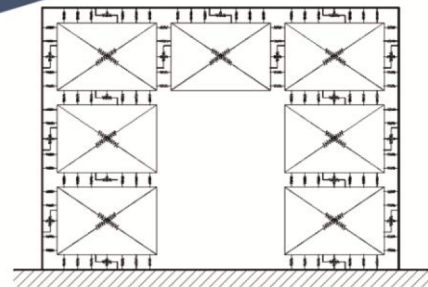
## Bibliografia

- [1] Calió, I., Marletta, M., and Pantò, B. (2012). A new discrete element model for the evaluation of the seismic behaviour of unreinforced masonry buildings. Eng. Struct. 40, 327–338. doi:10.1016/j.engstruct.2012.02.039
- [2] Calió, I., and Pantò, B. (2014). A macro-element modelling approach of infilled frame structures. Comput. Struct. 143, 91–107. doi:10.1016/j.compstruc.2014.07.008
- [3] Calió, I., Cannizzaro, F., and Marletta, M. (2010). A discrete element for modeling masonry vaults. Adv. Mater. Res. 133-134, 447–452. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.133-134.447
- [4] Pantò, B., Cannizzaro, F., Caddemi, S., and Calió, I. (2016). 3D macro-element modelling approach for seismic assessment of historical masonry churches. Adv. Eng. Softw. 97, 40–59. doi:10.1016/j.advengsoft.2016.02.009
- [5] Pantò, B., Cannizzaro, F., Caddemi, S., Calió, I., Chàcara, C., and Lourenço, P.B. (2017). Nonlinear Modelling of Curved Masonry Structures after Seismic Retrofit through FRP Reinforcing. Buildings 7(3), 79–95. doi:10.3390/buildings7030079
- [6] Caddemi, S., Calió, I., Cannizzaro, F., D'Urso, D., Occhipinti, G., Pantò, B., Rapicavoli, D., Spirolazzi, G., and Zurlo, R. (2018). A 'parsimonious' 3d discrete macro-element method for masonry arch bridges. 10th IMC - International Masonry Conference, Milan (Italy), 9-11 July 2018

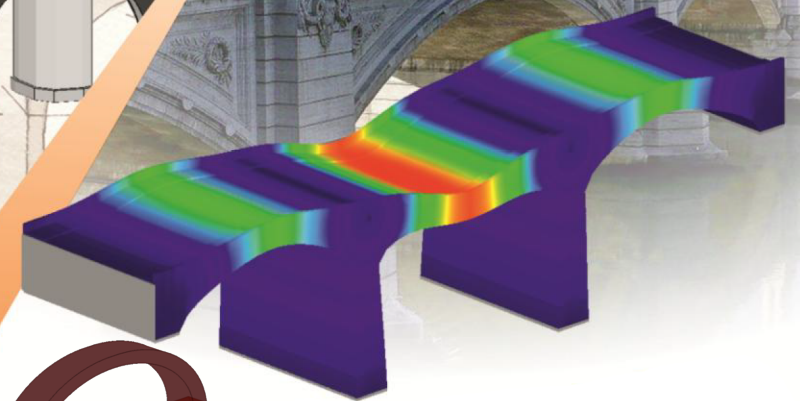
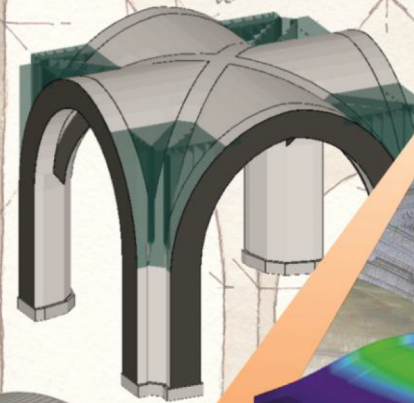
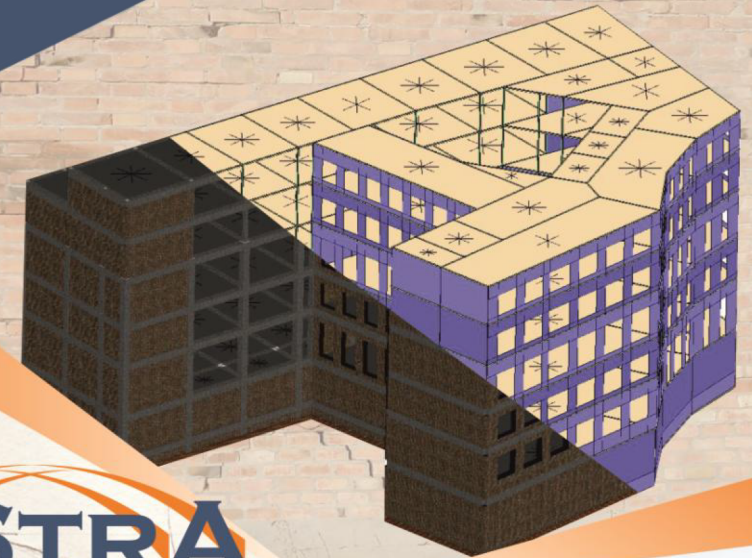
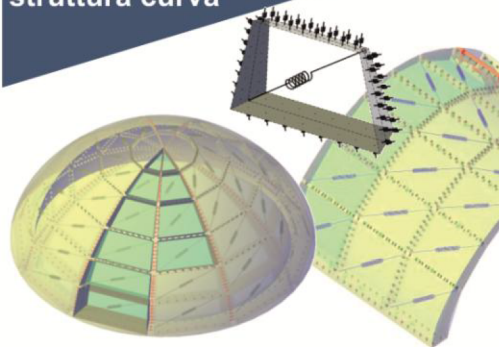
## Meccanismi di collasso



## Assemblaggio parete piana



## Assemblaggio struttura curva





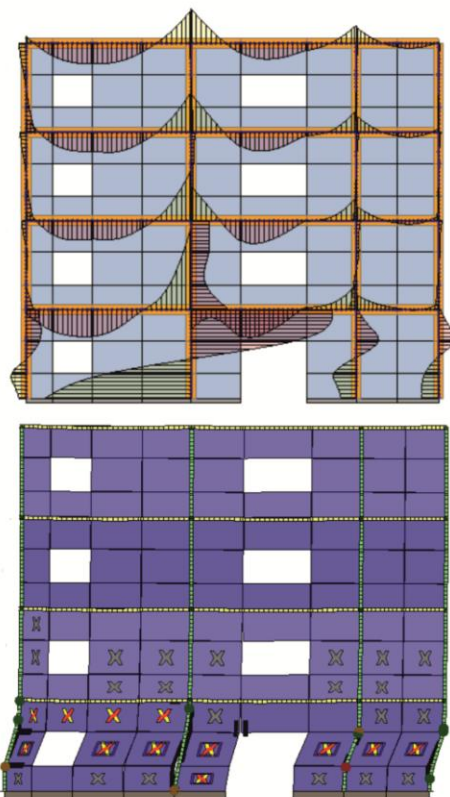
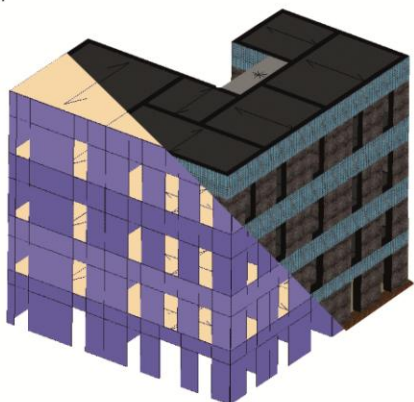
3DMacro® è uno **strumento avanzato** di analisi strutturale per la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura, a struttura mista muratura-calcestruzzo armato, muratura confinata e strutture intelaiate in calcestruzzo armato, con e senza tamponamenti.

3DMacro® ha una interfaccia semplice e intuitiva. Il suo motore di calcolo evoluto consente di gestire **geometrie complesse** con un **costo computazionale estremamente ridotto** rispetto ai modelli agli elementi finiti e garantendo al contempo una maggiore **congruenza geometrica** rispetto ai modelli basati sul concetto di telaio equivalente.

3DMacro® dispone di ampie librerie di tipologie murarie, di calcestruzzi e acciai da costruzione. Le analisi e le verifiche vengono effettuate in **conformità alle normative nazionali ed europee**, anche alla luce delle NTC2018 recentemente introdotte.

L'accoppiamento tra il macro-elemento 2D ed elementi trave o pilastro consente di cogliere in modo estremamente efficace i meccanismi di **interazione tra muratura e telai in calcestruzzo armato** presenti nelle strutture miste come le murature confinate o i telai tamponati. 3DMacro® è l'unico software a macro-elementi in grado di cogliere l'effetto di confinamento esercitato dai telai sulla muratura e la reale distribuzione delle azioni sui telai a seguito dell'interazione con i pannelli murari.

3DMacro® incorpora la modellazione di numerose tecnologie costruttive (muratura ordinaria o armata, telai in c.a. o acciaio, setti in c.a.) e strategie di rinforzo strutturale sia classiche (cerchiature di vani porta o finestre, intonaco armato, iniezioni di miscele leganti, calastrellature ,ecc..) che innovative come l'applicazione di **tessuti fibro-rinforzati** (implementando anche la gamma dei sistemi Fibre Net) o della metodologia CAM.



L'interpretazione dei risultati delle analisi numeriche è semplice ed intuitiva grazie alla visualizzazione tridimensionale delle configurazioni deformate che mostra gli **indicatori di danno su ciascun elemento** (cerniere plastiche, stato di danno nei pannelli murari); il registro degli eventi consente di avere una ulteriore panoramica dettagliata del comportamento globale della struttura.

Dal punto di vista delle verifiche coerenti con le norme vigenti sono implementate sia verifiche prestazionali globali sia una suite di verifiche locali.

La procedura di stima di vulnerabilità, completamente automatizzata permette di valutare i **coefficienti di sicurezza** della struttura in termini di spostamento e resistenza minima. Sono inoltre forniti analoghi **indicatori di rischio** per i principali eventi di danno della struttura in termini di PGA e di tempo di ritorno del sisma corrispondente.

In termini di verifiche locali sono implementate le verifiche a ribaltamento fuori piano, le verifiche di portanza del terreno, le verifiche a taglio degli elementi asta e le verifiche dei nodi.

Tra gli strumenti disponibili risultano di grande utilità **analisi multidirezionali e multimodali**, particolarmente indicate per edifici irregolari, e la possibilità di assegnare profili di cedimenti fondali.

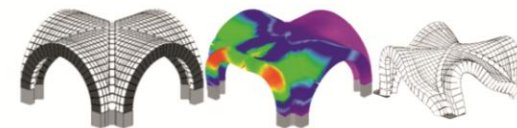
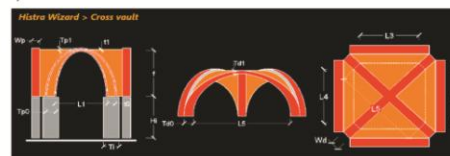
Tutte le informazioni vengono mostrate a video e riportate in maniera automatica nei tabulati e nella **relazione di calcolo**.



HiStrA® Archi e Volte è un software concepito per l'analisi statica e sismica di **elementi a geometria curva**. Un accurato algoritmo di meshing genera il modello computazionale automaticamente, avvalendosi di strumenti evoluti che consentono di definire in modo facile e veloce la geometria delle più comuni tipologie di archi, volte e cupole, in modo semplice e immediato.

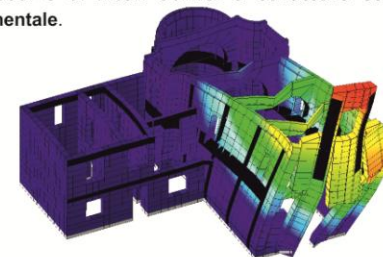
Specifiche procedure permettono di definire e applicare in modo automatico **carichi con distribuzioni spaziali non uniformi**, come ad esempio il peso del rinfiacco posto all'estradosso di una volta.

HiStrA® Archi e Volte permette la modellazione delle più comuni tecniche di intervento per il **rinforzo statico e sismico** di strutture voltate come ad esempio l'introduzione di tiranti o catene e l'applicazione di nastri o reti in materiale fibro-rinforzato (implementando anche la gamma dei sistemi Fibre Net).



HiStrA® Archi e Volte permette di eseguire analisi statiche non-lineari per la determinazione della capacità portante (**push-down**) e per la valutazione della resistenza sismica (**push-over**) secondo processi di carico monotonic o ciclici, e restituisce la risposta della struttura sia in termini di **curva di capacità** che di meccanismo di collasso. Le **mappe di colore** relative allo stato tensionale, deformativo e alla distribuzione delle zone danneggiate interpretano con accuratezza e facilità il quadro di danneggiamento.

**HiStrA® Monumental Buildings** (disponibile solo per servizi di outsourcing) rappresenta l'estensione di HiStrA® Archi e Volte e consente la modellazione di organismi strutturali più complessi e di interi **edifici a carattere storico-monumentale**.



HiStrA® Bridge è una piattaforma completa per la modellazione di ponti ad arco in muratura, che consente di determinarne la sicurezza statica e sismica mediante **analisi nonlineari**. L'immissione della geometria e la definizione di carichi avviene attraverso una procedura guidata che, con un **numero limitato di parametri geometrici**, conduce l'utente verso la definizione completa della struttura in modo semplice e interattivo: un'anteprima in tempo reale mostrerà l'avanzamento dell'input.

Sono implementate le principali librerie di **carichi sia stradali che ferroviari**, automaticamente combinati, che tengono conto in maniera automatica del numero di corsie presenti nella sezione del ponte, del loro verso di percorrenza, delle possibili posizioni che il carico può assumere. E' inoltre possibile definire veicoli personalizzati, customizzare la stratigrafia del riempimento, e tenere in conto le **spinte attive e passive** agenti sulle spalle.

La risposta del ponte viene restituita in modo chiaro attraverso curve di capacità sismica e linee di influenza dei carichi viaggianti. Opportune mappe di colore forniscono le distribuzioni di spostamenti, tensioni e danneggiamento.

