

AEDES PCM 2019.

RIDUZIONE DELLA VULNERABILITA': MODELLAZIONE, CALCOLO, ESEMPI APPLICATIVI

- La modellazione ed il calcolo degli interventi alla luce dei recenti sviluppi normativi
- . La rappresentazione nel software degli effetti negativi della componente sismica verticale
- Esempi applicativi di riduzione della vulnerabilità con l'utilizzo del software PCM

Ing. Francesco Pugi*

* Ricerca e Sviluppo di AEDES Software, www.aedes.it

PREMESSA

AEDES Software partecipa alle date di: Firenze, La Spezia, Roma, Viterbo, Pavia del tour 2019 di Ingenio con Massimo Mariani: *Studio e progettazione del miglioramento delle strutture esistenti in fase di quiete sismica e in fase sismica.*

Nella tappa di La Spezia del 12 aprile l'Ing. Francesco Pugi della AEDES ha tenuto una relazione distinta in due parti:

- i) la modellazione ed il calcolo degli interventi
 - ii) esempi concreti di interventi di riduzione della vulnerabilità sismica,
- relazione di cui è disponibile la videoregistrazione al link:

<https://www.youtube.com/watch?v=K20jurMm1VA&feature=youtu.be>

In questo articolo si riporta, con minime modifiche, la trascrizione letterale dell'intervento, corredato dalle corrispondenti immagini.

Ciò consente di cogliere in modo naturale il percorso di studio che ha caratterizzato la recente attività del settore Ricerca e Sviluppo della Aedes, percorso che gli ingegneri Francesco Pugi e Alessio Francioso hanno avuto l'onore di svolgere in collaborazione con Massimo Mariani, uno dei maggiori esperti del consolidamento strutturale e protagonista del tour di Ingenio.

Confidiamo che il lettore, perdonando ripetizioni o digressioni tipiche del tono discorsivo, possa trarre dai contenuti proposti elementi di riflessione utili per la propria attività professionale.

LA MODELLAZIONE ED IL CALCOLO DEGLI INTERVENTI

Buonasera a tutti. Io sono qui sia in veste di rappresentante della AEDES Software che è uno dei sostenitori di questo tour di Ingenio, sia come professionista: in particolare per questa prima parte che andrò a esporre mi interessa molto questo ruolo perché per me il software è comunque uno strumento per alcune indagini che partono dalla realtà applicativa.

Quindi aldilà di tutto **la finalità del software è soprattutto darci la possibilità di sperimentare e di comprendere in via analitica ciò che osserviamo nella realtà.**

Vado subito a fare un'osservazione relativa all'evoluzione normativa.

DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

D.M. 14.1.2008

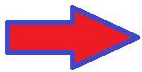
8.5 PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E LA REDAZIONE DEI PROGETTI

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal Progettista, caso per caso, in relazione al **comportamento strutturale attendibile** della costruzione, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.

D.M. 17.1.2018

8.5. DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al **comportamento strutturale atteso**, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.



IL MODELLO PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEVE CONSIDERARE TUTTI I TIPI DI COMPORTAMENTO GIÀ MANIFESTATI DA COSTRUZIONI IN CONDIZIONI ANALOGHE

E' vero che spesso possiamo qualificare come piccole modifiche di linguaggio alcune varianti che compaiono tra un'edizione normativa ed un'altra però a mio avviso in alcuni casi c'è un significato più profondo dietro ad alcuni termini: ad esempio per quanto riguarda le **procedure per la valutazione della sicurezza** e la redazione dei progetti parlare di **comportamento strutturale atteso** e non più **attendibile**, questa è una variazione specifica su questa parola nel passaggio dal DM 2008 al DM 2018, sicuramente ha delle conseguenze, perché un comportamento attendibile è un comportamento che merita di esser preso in considerazione ma in un certo senso lascia campo alla soggettività, cioè al fatto di decidere poi se considerarlo o meno, mentre il comportamento atteso è qualcosa che ha un tono più perentorio, cioè vuol dire **riconoscere nella realtà certe manifestazioni e quindi poi anche l'obbligo professionale di interpretarle perché non si può eludere, appunto, quello che per un edificio esistente è un comportamento atteso**, e questo va al di là del problema degli edifici in muratura, degli edifici che ora potranno magari essere valutati dal punto di vista della disgregazione per il pietrame di qualità minore: riguarda un po' tutti gli edifici esistenti, cioè il fatto di riconoscere che una situazione analoga sotto sollecitazioni analoghe debba richiamarci al rispetto del suo comportamento.

IL MODELLO STRUTTURALE DEVE RISPETTARE IL COMPORTAMENTO REALE DELL'EDIFICIO

GEOMETRIE, MATERIALI, VINCOLI, CARICHI: OK
MA CI SONO ANCHE **ALTRI PUNTI FONDAMENTALI**
SPESSO IGNORATI O CONSIDERATI TRASCURABILI,
EPPURE CHIARAMENTE INDICATI NELLE NORME:

- DISGREGAZIONE DI VECCHIE MURATURE
 - DEFINIZIONE DI CORRETTI MODELLI
- **STATICA: RISPETTO DELLE FASI COSTRUTTIVE**
- **SISMICA: SPAZIALITA' DELLE SOLLECITAZIONI**
- **SISMICA: MEMORIA DEL DANNO (FATICA)**

Fasi costruttive, Memoria del danno, Fatica:
concetti da tempo applicati in altri settori
dell'ingegneria strutturale, ma molto importanti
anche per gli edifici esistenti in muratura

Quando creiamo un modello strutturale normalmente ci basiamo su alcuni aspetti fondamentali che sono: geometria, materiali, vincoli, carichi, tutti aspetti che ovviamente vanno conosciuti in dettaglio e vanno anche saputi applicare perché quando abbiamo un rilievo non si tratta semplicemente di lucidare un disegno ma dobbiamo anche interpretare quali sono le murature veramente portanti, quali sono i tramezzi, quali sono i muri aggiunti oppure i tamponamenti che sono intervenuti nel corso del tempo.

Però **ci sono diversi altri punti che normalmente vengono trascurati.**

Il problema della **disgregazione**: non sta a me insistere ancora su questo, credo abbiate capito che è diventato un punto fondamentale valutare la qualità delle murature, perché quando siamo **di fronte a possibili fenomeni disgregativi tutti i modelli tradizionali vengono a cadere o diventano non realistici.**

In effetti noi possiamo fare delle bellissime mappe colorate con metodi agli elementi finiti, piuttosto che con i telai equivalenti, o con qualunque programma si utilizzi, ma **se non ci sono i presupposti alla base perché questo abbia un senso è chiaro che diventa una costruzione puramente teorica.** Quindi: aldilà di tutto, ogni progetto e ogni valutazione strutturale dovrà essere preceduta da indagini sulla reale natura e qualità della muratura.

DISGREGAZIONE DELLE MURATURE:

§C8.7.1.2.1: C8.7.1.2.1. Analisi dei meccanismi locali di corpo rigido (...). La rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile **solo se la parete non è vulnerabile nei riguardi di fenomeni di disgregazione (...)**

RISPETTO DELLE FASI COSTRUTTIVE

SISMICA: MEMORIA DEL DANNO (FATICA)

§8.5.1. Analisi storico-critica

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire **il processo di realizzazione** e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché **gli eventi che l'hanno interessata**

Poi c'è sicuramente il problema di individuare il comportamento delle strutture in relazione a quello che è anche la **fase costruttiva**, in questo senso: quando noi trattiamo un edificio esistente in muratura, ci possiamo chiedere qual è stata la modalità di realizzazione, quindi non soltanto da un punto di vista conoscitivo (quali parti magari sono state aggiunte o come è stata costruita la cellula originaria) ma proprio anche da un punto di vista analitico: questo può diventare una **linea guida per modellare opportunamente la struttura**, quindi per esempio per dare ai pesi propri una valutazione di modello diversa da quelle che sono le azioni che poi interverranno nel corso della vita della struttura, ad esempio gli eventi sismici.

Questo perché quando noi pensiamo a un telaio equivalente oppure a un sistema a elementi finiti siamo portati a pensare a questo modello matematico a cui andiamo ad applicare tutte le azioni agenti sulla struttura. In realtà **il peso proprio di una struttura in muratura è qualcosa che è cresciuto parallelamente alla costruzione** e ne ha determinato lo stato di sollecitazione su un modello a tutti gli effetti differente da quello che invece è il modello finale a cui verranno applicate le azioni sismiche.

Quindi, in qualche modo di questo aspetto bisogna tener conto se vogliamo ad esempio in un modello a telaio equivalente evitare tagli, flessioni di origine statica che non avrebbero nessuna giustificazione.

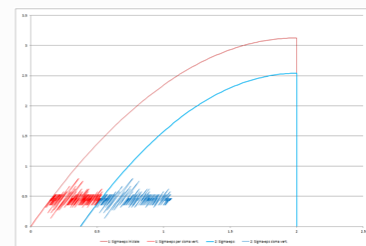
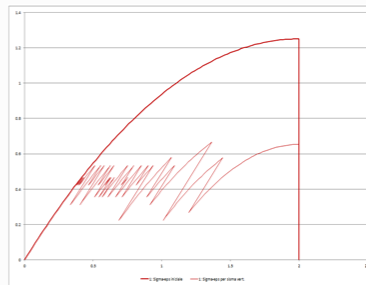
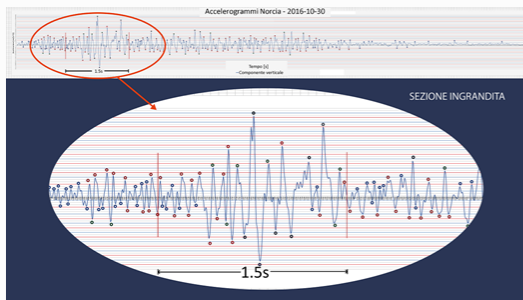
Il tutto fa capo al fatto che tutti i modelli possono essere usati bene o male, quindi cercare di guidare verso il corretto uso è altrettanto importante che la raffinatezza del modello perché, come abbiamo sentito anche dal Prof. Lagomarsino stamani, abbiamo la possibilità anche con i telai equivalenti di avere buoni risultati, perlomeno per le strutture che possono essere associate questi tipi di modellazioni, soltanto che bisogna guidarle nel modo corretto.

ANALISI STORICA (§8.5.1)

MEMORIA DEL DANNO SISMICO

Studio dei precedenti eventi sismici che si sono verificati durante la vita dell'edificio: questo consente la valutazione delle effettive attuali capacità del materiale murario

(studio in corso di: Massimo Mariani, Francesco Pugi, Alessio Francioso)



La **memoria del danno** è qualcosa di cui Massimo Mariani ha cominciato a parlare già da tempo, ed è la **fatica**, cioè quello che è l'**accumulo in una struttura della sua stessa storia di sollecitazione**. D'altra parte, l'analisi storico-critica è comunque il primo punto che deve essere affrontato quando dobbiamo analizzare un edificio esistente.

Il punto 8.5.1 ci dice che "ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione" (appunto: come la costruzione l'edificio è stata edificata, e poi eventualmente ampliata o modificata) "e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché gli eventi che l'hanno interessata".

Quindi l'idea che fatta una verifica sotto l'azione sismica attuale, che magari ci può dare anche un risultato abbastanza buono, la struttura poi ritorni, dopo aver subito questo ipotetico sisma, a una situazione iniziale come se questo non fosse esistito è sicuramente sbagliata.

Questo concetto ha una conseguenza importante di fronte all'analisi della vulnerabilità degli **edifici apparentemente integri dopo un evento sismico perché comunque il fatto di averlo subito non può passare inosservato: è impossibile far conto su un'elasticità che non esiste** per pensare che la struttura ritorni completamente ad uno stato pre-evento.

Sono tutti aspetti che magari sono ancora oggetto di studi per poter essere utilizzati in maniera più robusta all'interno dei modelli ma che in qualche modo possono essere descritti. Per esempio i possibili danni si possono identificare con una qualità muraria peggiorata oppure anche, e qui è uno studio che stiamo conducendo insieme a Massimo Mariani, con una variazione delle leggi costitutive interne che possiamo associare al degrado, dovuto anche a piccoli e ripetuti eventi, di una resistenza a compressione, ma più che della resistenza direi della duttilità, cioè della capacità di deformarsi che tende a diminuire e a ridursi dopo che ci sono stati, appunto, questi eventi.

Da qui inizia l'illustrazione di quello che è stato il **percorso compiuto con Massimo Mariani sulla componente sismica verticale**.

Il tutto è dovuto a un incontro che è stato molto interessante: si è verificato l'anno scorso, nel corso tra l'altro del tour di Ingenio, fra il sottoscritto e Massimo Mariani.

Io esprimevo dubbi su alcuni aspetti relativi alla valutazione della duttilità degli edifici esistenti e

quindi fu molto interessante cominciare a occuparsi di questo argomento.

L'idea è stata quella di cercare di trasferire nella realtà applicativa dei concetti che sono peraltro presenti nella Norma: quindi, anche se è vero, e questo va riconosciuto, che non si legge nella Normativa una frase diretta del tipo: "il sisma verticale è obbligatorio in tutti gli edifici", ciò che però non è espresso in maniera diretta è espresso forse in maniera ellittica, ma **c'è**: perché **quando si parla di "ove questo (il sisma verticale) sia necessario o significativo"** è evidente che si richiede una valutazione per vedere se è veramente significativo, quindi **non si può eludere questo aspetto**.

Va da sé che chiaramente tutti gli studi ci dicono che questi effetti sono maggiori nelle zone vicino alla sorgente ma le sorgenti ci sono eccome diffuse sul territorio; pensiamo a quello che è avvenuto nell'Italia Centrale.

Lo sviluppo di questi studi è stato anche legato al fatto che **bisogna dare delle risposte a chi deve occuparsi della Ricostruzione** o comunque ha a che fare con la riabilitazione di edifici danneggiati, ma anche in ottica preventiva il discorso è equivalente perché: aspettiamo sì i risultati della Ricerca Scientifica ma parallelamente vogliamo dare un contributo come ingegneri e come applicatori nella speranza che attraverso poi i contributi di tutti e gli studi che necessariamente proverranno dalla comunità scientifica si possa dare presto degli strumenti disponibili.

Abbiamo quindi individuato **un percorso usando dei componenti già presenti all'interno della Normativa** perché, ripeto, il nostro intento è stato comunque quello di muoversi all'interno della Normativa e non di introdurre in questa dei concetti che ne fossero estranei, per dare subito delle risposte.

Qui di seguito trovate il percorso di articoli che sono stati pubblicati sul sito di Ingenio.

LA COMPONENTE SISMICA VERTICALE

PERCORSO DI STUDIO SUL SISMA VERTICALE

condotto da Massimo Mariani, *in collaborazione con* Francesco Pugi e Alessio Francioso

1. 23.12.2017: Terremoto e caos: un nuovo percorso di analisi del comportamento dei sismi

<https://www.ingenio-web.it/18584-terremoto-e-caos-un-nuovo-percorso-di-analisi-del-comportamento-dei-sismi>

2. 25.07.2018: Effetti negativi del sisma verticale sul comportamento delle pareti esistenti in muratura

<https://www.ingenio-web.it/20721-effetti-negativi-del-sisma-verticale-sul-comportamento-delle-pareti-esistenti-in-muratura>

3. 01.10.2018: Sisma verticale: amplificazione della vulnerabilità degli edifici esistenti in muratura

<https://www.ingenio-web.it/21336-sisma-verticale-amplificazione-della-vulnerabilita-degli-edifici-esistenti-in-muratura>

4. 20.12.2018: Sisma verticale: modellazione e analisi in ambito professionale sugli edifici esistenti in muratura

<https://www.ingenio-web.it/22185-sisma-verticale-modellazione-e-analisi-in-ambito-professionale-sugli-edifici-esistenti-in-muratura>

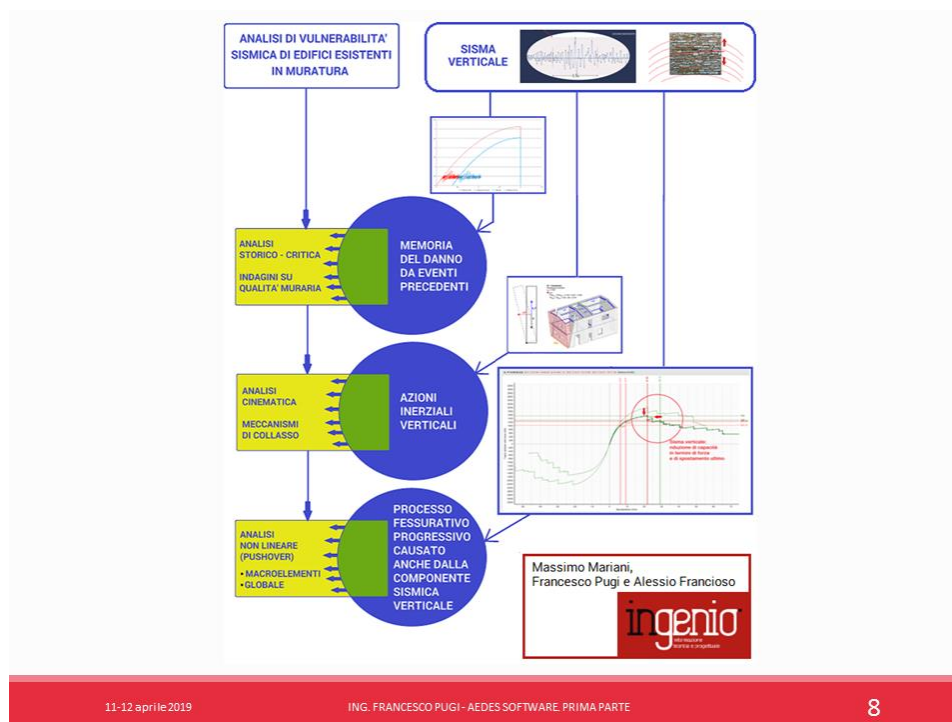
5. 18.02.2019: Circolare NTC2018: finalmente si dovrà progettare considerando il sisma verticale

6. Vertical component of the seismic action: amplified vulnerability of existing masonry buildings

Articolo in corso di pubblicazione. CompDyn 2019: 24-26 June 2019, Crete, Greece: 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Autori: 1-2-3-4-5-6: Massimo Mariani; 2-3-4-5-6: Francesco Pugi; 2-3-4-6: Alessio Francioso

Il sesto è un articolo che abbiamo inviato al prossimo convegno CompDyn 2019 dove viene ripercorso lo sviluppo delle varie analisi.



In pratica abbiamo individuato la necessità di considerare in qualche modo il possibile degrado e comunque di condurre un'analisi storico-critica che non prescindia dagli aspetti di cui dicevo prima, quindi per esempio: fasi costruttive, attenzione alla qualità muraria che può essersi ridotta nel corso degli eventi successivi.

Poi per quanto riguarda i meccanismi di collasso, che sappiamo essere il primo modo con cui si deve considerare il comportamento dell'edificio dopo che ci siano cautelati nei confronti della disgregazione, le azioni verticali inerziali possono essere anch'esse considerate perché a tutti gli effetti **il sisma verticale** (diciamo così) per brevità, in realtà dovremmo parlare di 'componente sismica verticale') **ha l'effetto di alleggerire e aggravare la situazione della parete** e non possiamo pensare che anche se questo avviene in maniera istantanea non abbia conseguenze sui possibili ribaltamenti o cedimenti dei corpi per meccanismi cinematici.

Infine c'è l'analisi globale che come sappiamo è l'ultimo passo, molto importante anche questo perché rappresenta il funzionamento d'insieme dell'edificio ma anche qui ci poniamo il problema di descrivere la riduzione di capacità dell'edificio dovuta a questi eventi.

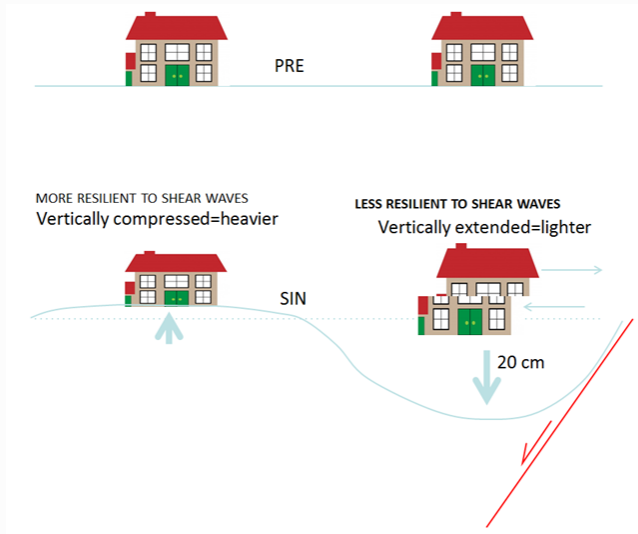
COMPONENTE SISMICA VERTICALE": CAUSE ED EFFETTI IDENTIFICABILI CON CERTEZZA



Fraz. San Pellegrino (Perugia) (per gentile concessione dell'Ing. Alessandro De Maria)



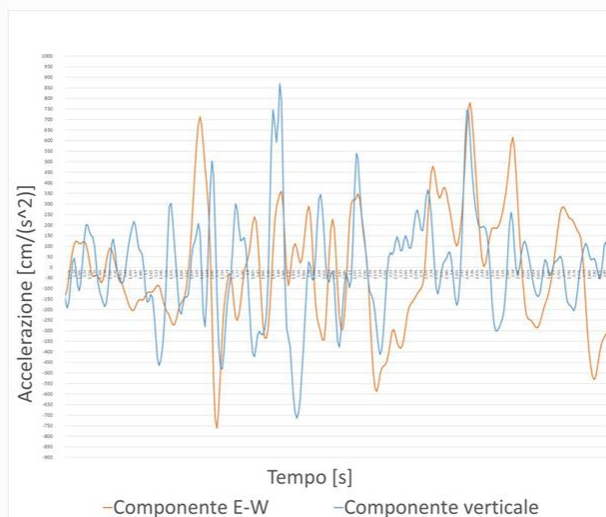
Ora queste foto, che avete già visto stamani con l'illustrazione di Massimo Mariani, le riprendo un attimo per capire che **quando parliamo di comportamento strutturale atteso vuol dire che dobbiamo attenerci a quello che è già stato riconosciuto**: certi tipi di lesionamento che sono tagli in corrispondenza delle variazioni delle sezioni, sono spiegabili soltanto con uno scorrimento dovuto al fatto che una parte si è sollevata e il taglio - avendola investita - l'ha fatta spostare a volte anche di diversi centimetri; quindi questi tagli hanno spiegazione direi chiaramente e naturalmente riconducibile agli effetti sismici verticali.



(per gentile concessione del Prof. Carlo Doglioni)

Di nuovo un'immagine che abbiamo per gentile concessione del Prof. Doglioni, che avete visto anche stamani, dove l'edificio si abbassa, riceve quest'azione tagliante contemporanea e quindi può trovarsi in una situazione di estrema debolezza.

E' pur vero che va riconosciuta la grande aleatorietà degli eventi sismici, il fatto che nessuno è uguale a un altro, così come nessun edificio è uguale a un altro, però non si può disconoscere che ci sia la possibilità che **durante questo alleggerimento dell'edificio**, on questa tendenza a licenziarsi fra le varie parti che corrispondono alle giaciture, **intervenga anche un'azione orizzontale che trova una resistenza molto ridotta se non annullata.**



Le strutture, durante lo scuotimento sismico, subiscono l'azione asincrona di sollecitazioni tra di loro totalmente differenti, quindi disgregative delle murature sottoposte ad una commozione che ne altera la parte costitutiva

Questi tipi di considerazioni sulle contemporaneità le avete già viste, per cui passo oltre.



Figure 11-12 - Effetti del sisma a Pescara del Tronto

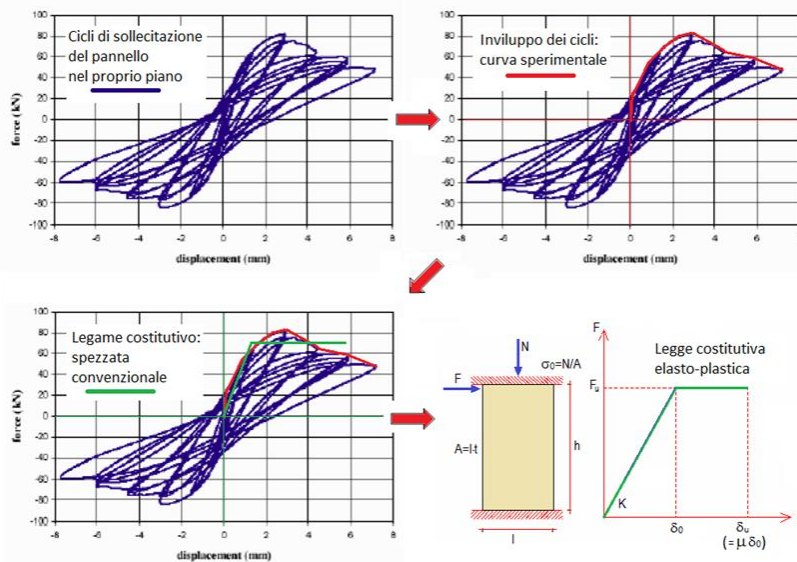


Figure 13-14 - Effetti del sisma ad Accumoli e Castelluccio di Norcia

Effetti degli scuotimenti delle strutture: disgregazione delle murature

Il percorso quindi è partito anzitutto dallo studio esclusivo condotto da Massimo Mariani su queste nuove interpretazioni, è **partito proprio dal rilevare un comportamento e quindi cercare di cominciarne l'interpretazione.**

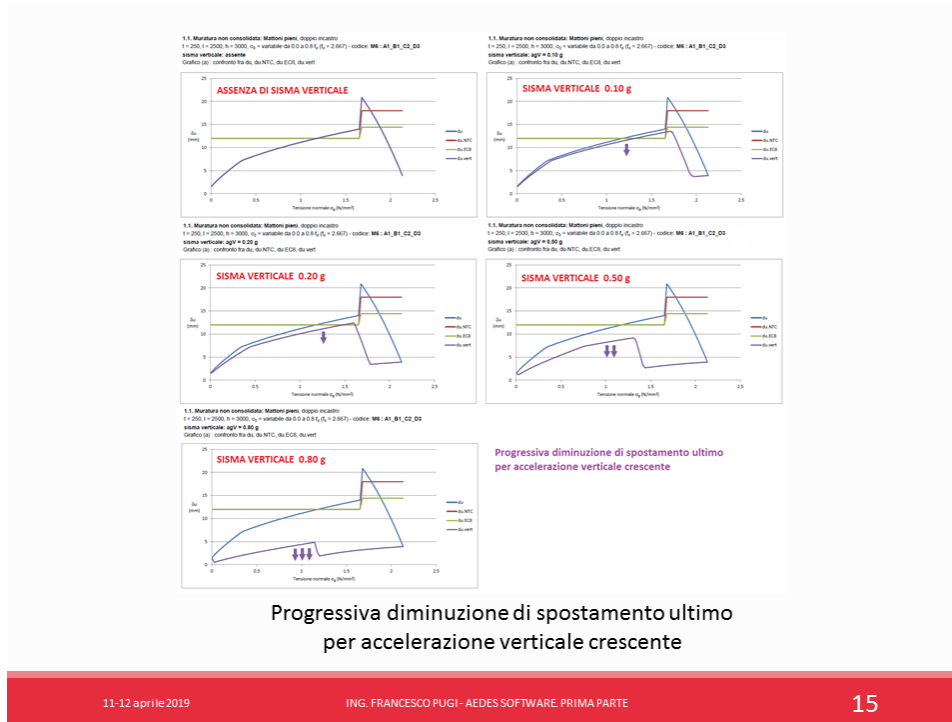
Poi siamo passati allo **studio del singolo pannello.**



Comportamento elastoplastico del pannello murario

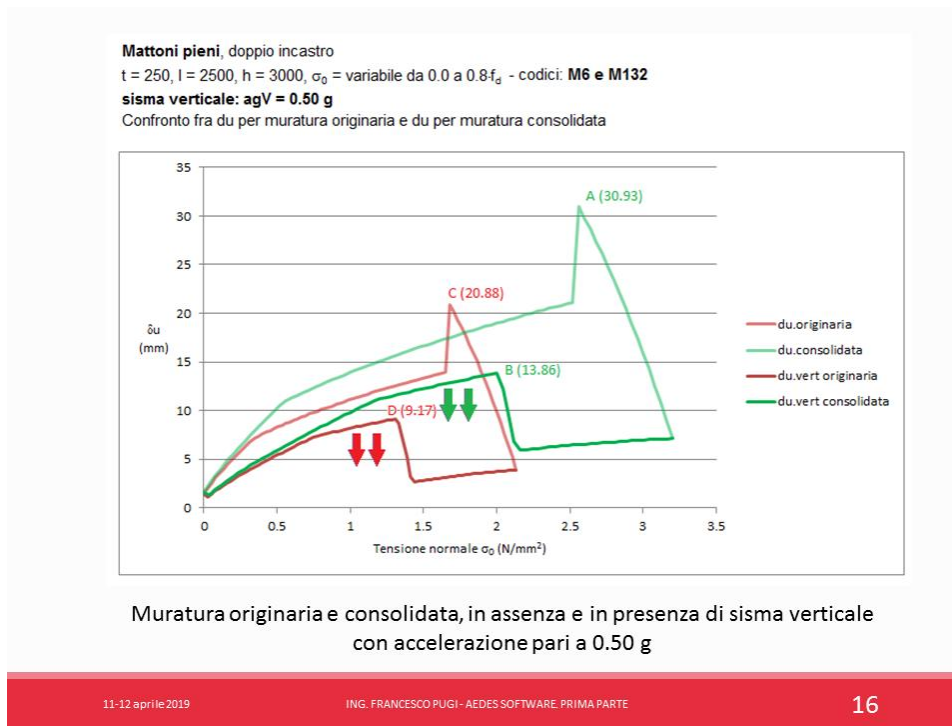
Per il singolo pannello abbiamo esaminato un gran numero di situazioni variabili, per materiale,

carichi, vincolamenti, cercando di capire come lo spostamento ultimo possa esser influenzato da questi eventi sismici verticali.

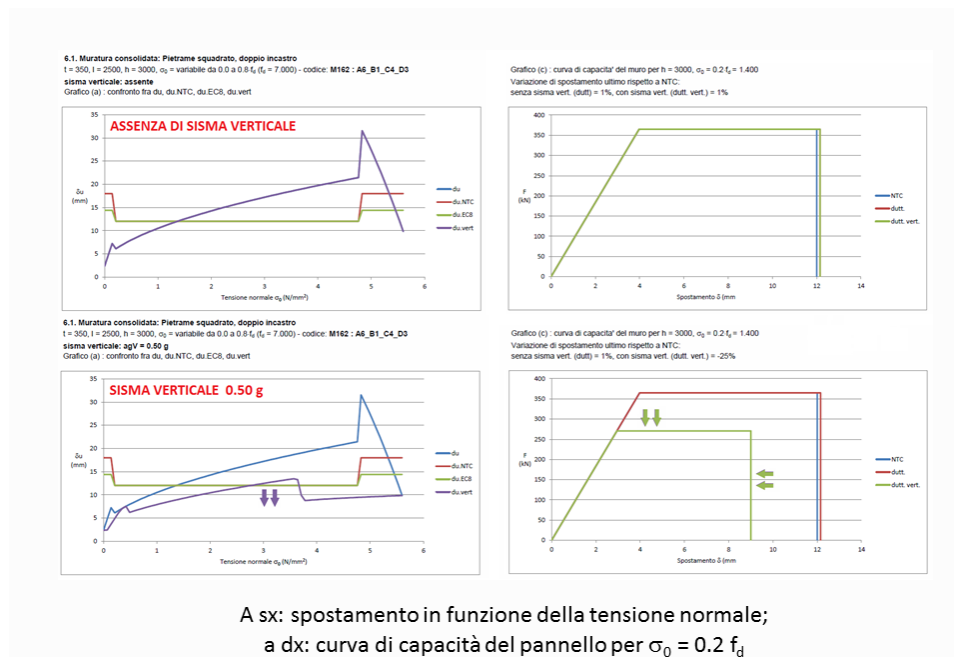


Diciamo che in generale **il problema dello spostamento ultimo è un problema molto forte che la Normativa affronta ancora in maniera un po' debole.**

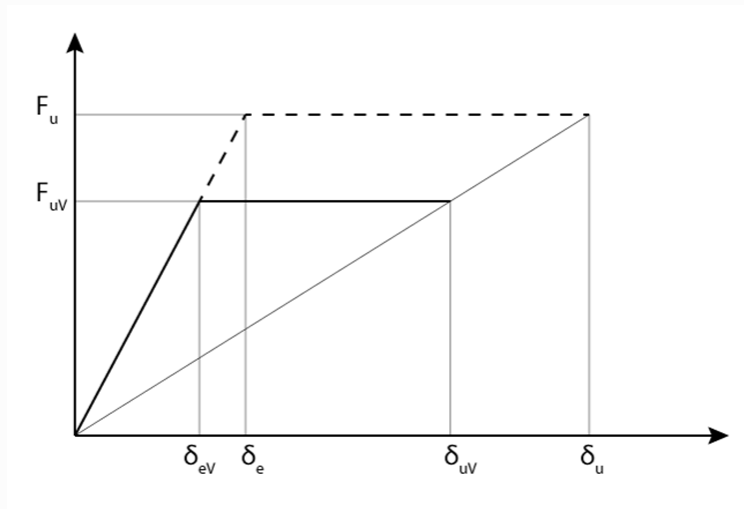
E' vero che per esempio negli edifici nuovi noi troviamo dei drift ultimi più alti per le pareti in muratura armata rispetto a quelle in muratura ordinaria, e questo già ci dice che intervenire sulla muratura affiancando un altro materiale che ha capacità di resistenza a trazione porta a un aumento del drift.



Però c'è in generale una problematica legata al fatto che lo spostamento ultimo di un pannello si pensa in modo naturale che dipenda dalla storia della parete e quindi non possa esser collegato soltanto a un fatto geometrico ma debba tener conto del carico, dei vincoli, del materiale stesso. Altrimenti pareti anche molto diverse tra loro ma in condizioni analoghe verrebbero ad avere lo stesso spostamento ultimo il che non convince fino in fondo. Questo è un aspetto che abbiamo dovuto ovviamente affrontare anche nell'ambito di questa Ricerca e vedremo fra breve come.



Nello studio dei singoli pannelli abbiamo visto una riduzione di capacità sia in termini di resistenza che di duttilità.

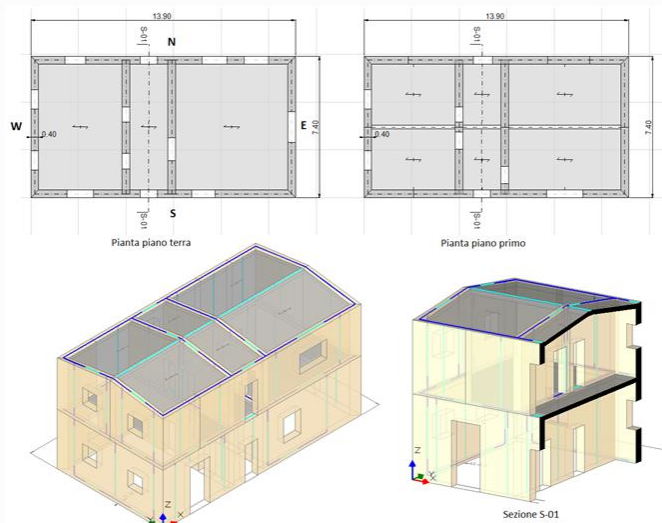


Legge di comportamento per l'analisi dell'insieme di pareti. Lo spostamento ultimo, calcolato come drift, si riduce a causa della sollecitazione sismica verticale

Questa è una **legge di comportamento** che abbiamo cercato di mettere a punto per descrivere **la riduzione dello spostamento ultimo dovuta all'effetto verticale**.

Non alterando affatto ciò che ci dice la Normativa, perché siamo partiti da un valore di drift che è quello previsto dalla Norma stessa, però abbiamo considerato che **la riduzione di capacità resistente dovuta all'effetto del sisma verticale determini comunque una riduzione dello spostamento, mantenendo inalterato però il fattore di duttilità**, cioè quello che è il rapporto tra lo spostamento ultimo e lo spostamento al limite elastico.

C'è da chiedersi poi se la situazione sia peggiore di questa perché ci potrebbe essere una riduzione di questo fattore di duttilità, ma per mantenersi appunto, come ripeto, nell'ambito della Normativa abbiamo supposto che restasse costante. L'importante comunque è descrivere il fatto che se per riduzione di duttilità si intende la riduzione dello spostamento ultimo, con questa metodologia è possibile tenerne conto.



Edificio modello:
muratura in pietrame disordinato (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)

Andiamo veloci al cuore delle applicazioni: abbiamo preso un **edificio modello**, considerando una muratura in pietrame disordinato, quindi una situazione abbastanza rappresentativa della scarsa qualità delle murature. Si tratta di un edificio rurale che in seguito è stato destinato a civile abitazione e **lo abbiamo analizzato variandone la qualità muraria e variandone anche l'accelerazione al suolo**.

Dunque: l'accelerazione al suolo, quando siamo davanti ad un progetto, è quella proposta dalla Normativa secondo l'approccio semplificato, oppure da un'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) se c'è un approccio più rigoroso, comunque è un valore ben preciso legato ad ogni valore di riferimento del periodo di ritorno, e quindi agli Stati Limite considerati. Però è stato interessante anche vedere che cosa accadeva supponendo che questa accelerazione aumentasse: questo perché per esempio in un caso di questo tipo, che è stato impostato col valore della Normativa, era interessante fare un'ipotesi nel caso in cui la RSL avesse dato valori maggiori. Questo è un fatto tutt'altro che infrequente perché **la microzonazione conduce molto spesso ad accelerazioni più elevate** rispetto a quelle che il reticolo in modo semplificato ci propone. Quindi abbiamo studiato anche la dipendenza dall'aumento dell'accelerazione.

Nel nostro percorso ci siamo chiesti come si poteva **rappresentare in un'analisi pushover l'effetto del sisma verticale**.

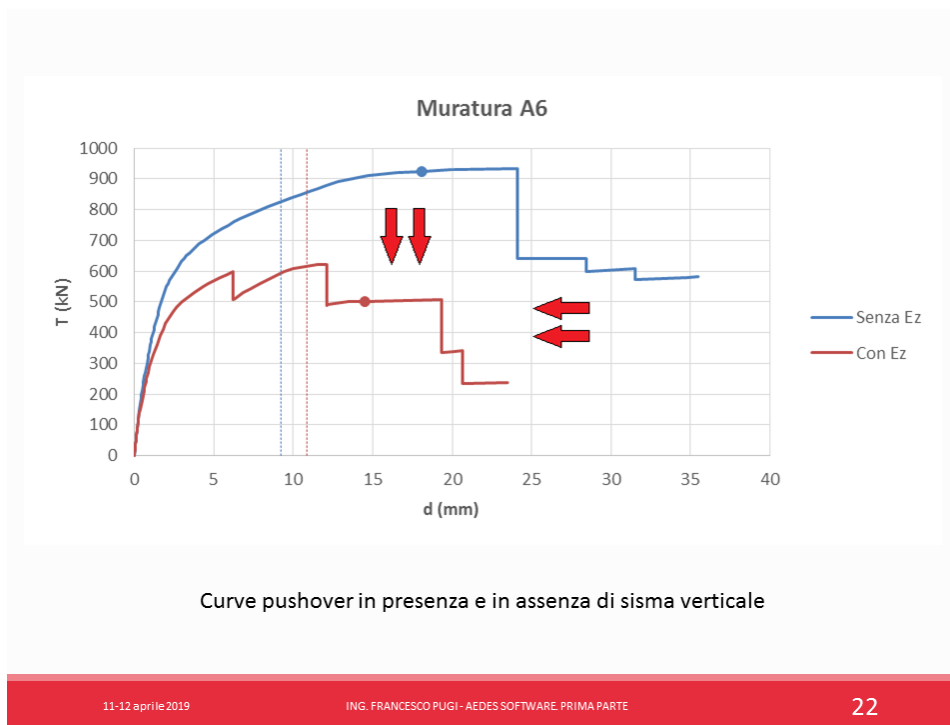
Ora, viene da fare una piccola digressione che è questa: potevamo considerare subito l'**analisi dinamica non lineare**: è uno strumento robusto, soggetto a normazione da tanto tempo ed è vero che si possono considerare accelerogrammi nelle tre direzioni, quindi nell'analisi dinamica non lineare si può rappresentare il fenomeno sismico spaziale in maniera direi del tutto condivisa,. Ci sono però diverse considerazioni da fare.

Primo: indagando soltanto sull'analisi dinamica non lineare non si raggiunge lo scopo, se non per confronto o per taratura dei modelli, di poter arrivare a uno strumento professionalmente spendibile. Non perché la dinamica non lineare non lo possa essere, magari lo potrà diventare maggiormente in futuro, però attualmente la situazione non è così: **i Progettisti nella realtà utilizzano le analisi pushover** e quindi bisogna in qualche modo anche porsi il problema di come si

rappresenta questa situazione nella statica non lineare.

L'analisi statica non lineare tutti voi sapete che consiste in un taglio progressivamente crescente che viene applicato in una direzione e in un verso, poi direzioni e versi vengono alternati con anche altre combinazioni come momenti torcenti aggiuntivi.

Quando c'è questo processo incrementale dell'azione orizzontale si hanno delle situazioni di crisi via via progressive o per taglio o per pressoflessione, determinate dai vari meccanismi di comportamento, che portano all'abbattimento della curva.



La curva blu in figura è una curva standard di un'analisi statica non lineare.

Questi scalini sono proprio le cadute di taglio che poi i vari software presentano variamente a seconda dell'algoritmo utilizzato, ma la sostanza è la stessa, cioè abbiamo un **degrado progressivo delle capacità della struttura**.

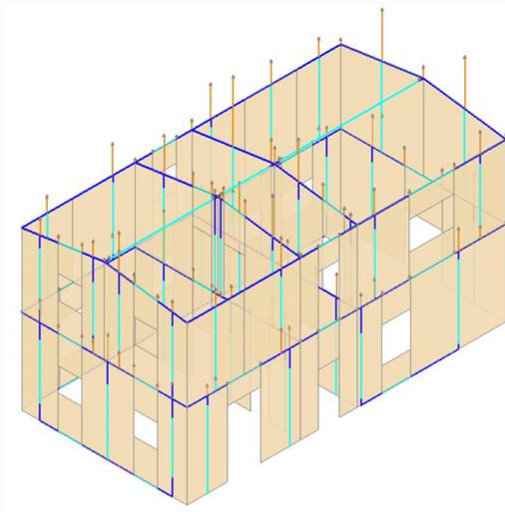
Questa muratura A6 rappresenta una muratura consolidata, perché avevamo appunto considerato 6 tipologie con caratteristiche di qualità crescenti, a partire dalla tipologia di muratura di scarsa qualità, poi era stata considerata l'applicazione di alcuni coefficienti correttivi per altri interventi, e così via fino all'intonaco armato.

Dunque: per quanto riguarda l'introduzione del **sisma verticale ci siamo chiesti come rappresentarlo in un'analisi pushover**.

Certamente le forze verticali non ha nessun senso considerarle incrementali insieme alle azioni orizzontali, perché seguono due percorsi indipendenti.

Non ha neppure senso in realtà andare a considerare, a nostro avviso, un campo di forze totalmente verso l'alto o totalmente verso il basso, perché queste condizionerebbero tutta l'evoluzione dell'analisi, mentre noi sappiamo che siccome la curva pushover è un involuppo di quello che sono i cicli di comportamento della struttura, dovrà contenere al suo interno l'informazione che queste forze subiscono dei cambiamenti di verso in maniera, appunto, quasi

istantanea e quindi lavorano un po' verso l'alto e un po' verso il basso.

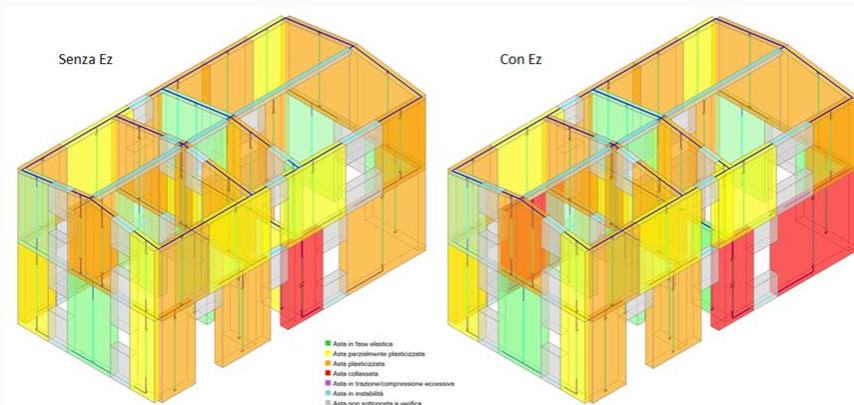


Forze dinamiche spettrali calcolate attraverso l'analisi modale

Quindi abbiamo pensato di calcolare le **forze spettrali con un'analisi modale condotta con la presenza di masse verticali** e risolvere la struttura sotto l'azione di queste forze spettrali trovando così un campo di sollecitazioni interne che vengono combinate ad ogni passo con quelle derivanti dall'analisi pushover.

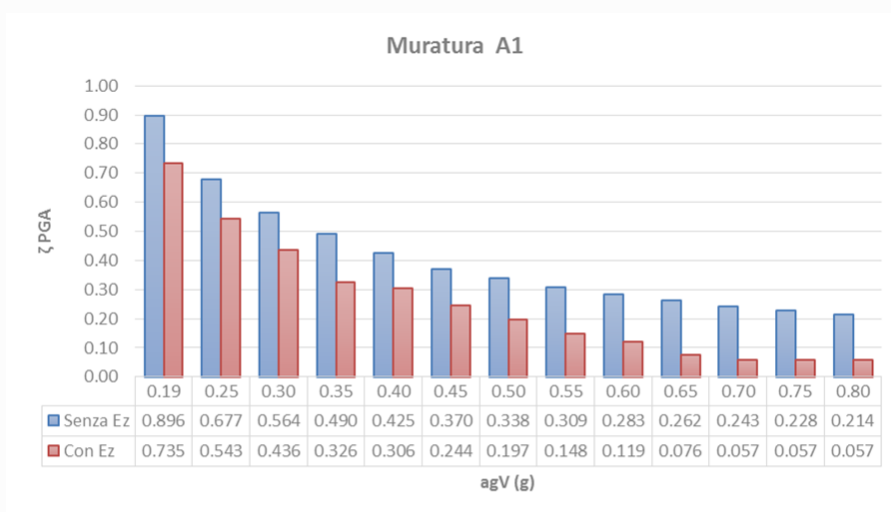
La metodologia proposta non contraddice in niente la Normativa vigente e ovviamente potrà essere poi calibrata e raffinata attraverso le considerazioni che speriamo appunto arrivino da più direzioni collaborative, però è già una procedura che rappresenta l'entità delle forze verticali previste e l'interferenza di queste con il processo di aumento progressivo del taglio.

Nel nostro caso per esempio per questa muratura abbiamo avuto una **caduta che rappresentiamo con queste frecce di spostamento ultimo e di capacità di resistenza**: la capacità di resistenza diminuisce per il fatto che gli alleggerimenti tendono a produrre problemi soprattutto sul taglio e in parte anche sulla pressoflessione, mentre gli appesantimenti possono indurre maggiori compressioni e quindi anche in questo caso problemi di pressoflessione.



Quadri fessurativi a confronto: assenza e presenza di sisma verticale

Qui vi sono delle rappresentazioni della situazione del quadro fessurativo, in assenza e in presenza di sisma verticale. Si tratta di figure che indicano semplicemente a livello qualitativo il fatto che se la risposta è peggiore ci sarà un maggior numero di elementi che possono avere problemi.



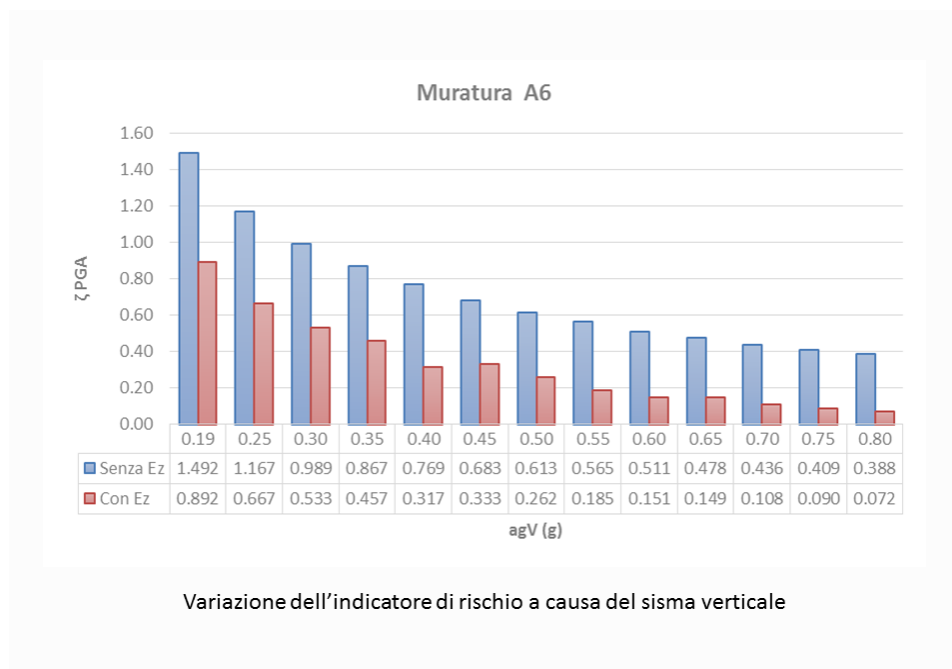
Variatione dell'indicatore di rischio a causa del sisma verticale

Abbiamo qui fatto poi un **diagramma che riporta la variazione dell'indicatore di rischio a causa del sisma verticale**. L'analisi statica non lineare permette, attraverso un confronto fra capacità e domanda, di giungere alla valutazione di un indicatore di rischio. Per questo aspetto c'è un problema, tra l'altro, per l'analisi dinamica non lineare, perché la

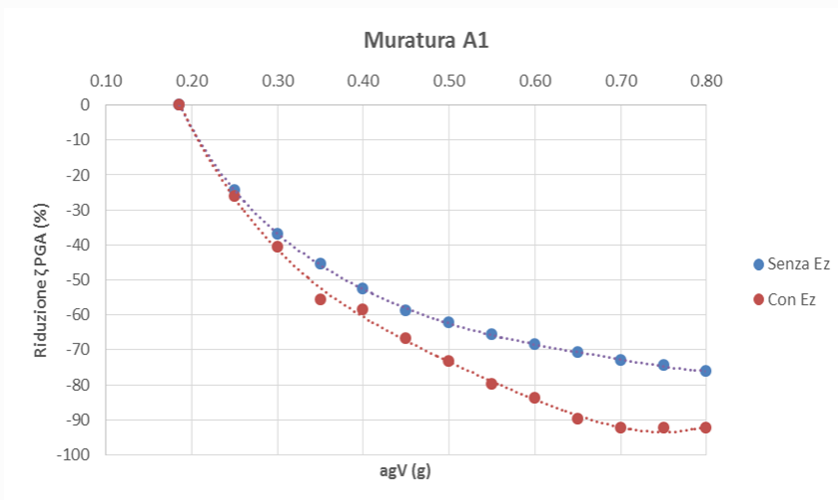
dinamica non lineare ci permette di calcolare la domanda ma per calcolare la capacità, perlomeno secondo quanto viene espresso dalla Normativa vigente, dobbiamo ricorrere ad un'analisi statica non lineare. Quindi, se l'analisi statica non lineare non riesce in alcun modo a considerare il sisma verticale ci troviamo in una situazione di impasse: diventa cioè impossibile considerarlo. Di conseguenza sarebbe impossibile rispettare il punto normativo che ci impone di **rispettare il comportamento atteso**, quindi **per evitare che la Normativa contraddica se stessa bisogna per forza trovare un percorso risolutivo nei confronti delle azioni sismiche verticali anche in pushover.**

Vediamo le barre celesti che rappresentano l'assenza di sisma verticale, le barre rosse invece ne rappresentano la presenza, per valori dell'accelerazione al suolo crescenti, dal valore di normativa NTC previsto di 0.19g fino addirittura a 0.80g che è un valore molto elevato, però questo serve a far veder che ovviamente in tutti i casi la risposta con l'effetto verticale diminuisce ma questa diminuzione fra l'altro è in incremento con i valori alti dell'accelerazione.

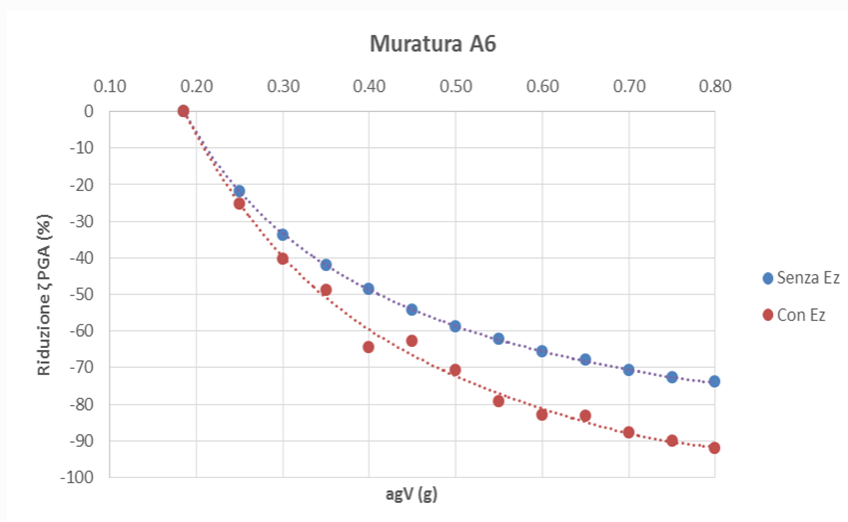
Quindi questo ci fa anche pensare che se attraverso un'analisi di RSL si può attingere per l'edificio in esame a dei valori più realistici di accelerazione, se dal punto di vista verticale questi sono elevati ci può essere un peggioramento tutt'altro che secondario, peggioramento che vedremo resta abbastanza confinato in una percentuale comunque significativa anche usando i valori di Normativa, e lo vedremo tra breve.



Questo diagramma è per un'altra muratura, la muratura consolidata con intonaco armato.

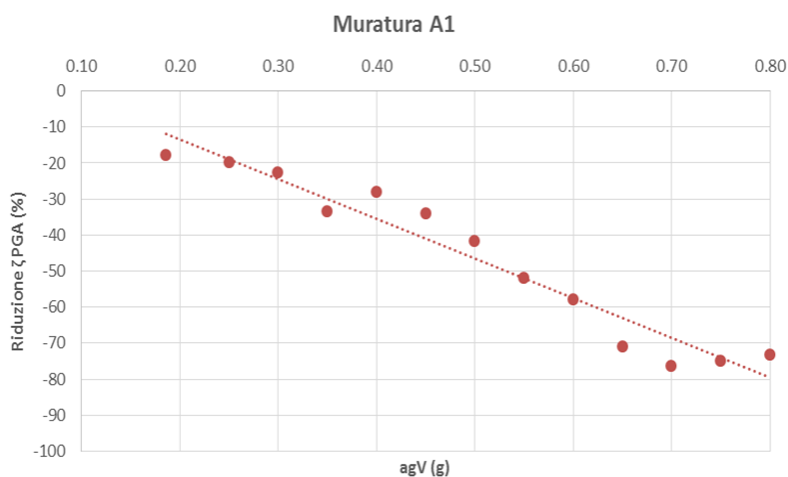


RIDUZIONE DI ζ_E IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE AL SUOLO

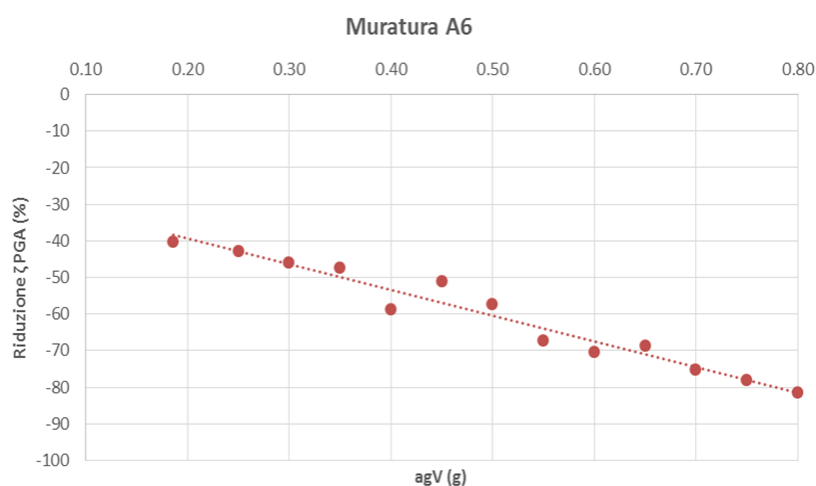


RIDUZIONE DI ζ_E IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE AL SUOLO

Questi diagrammi rappresentano sempre la riduzione dell'indicatore di rischio, dato dal rapporto tra capacità e domanda, in seguito all'analisi statica non lineare, riduzione con l'aumento dell'accelerazione.



RIDUZIONE DI ζ_E IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE AL SUOLO

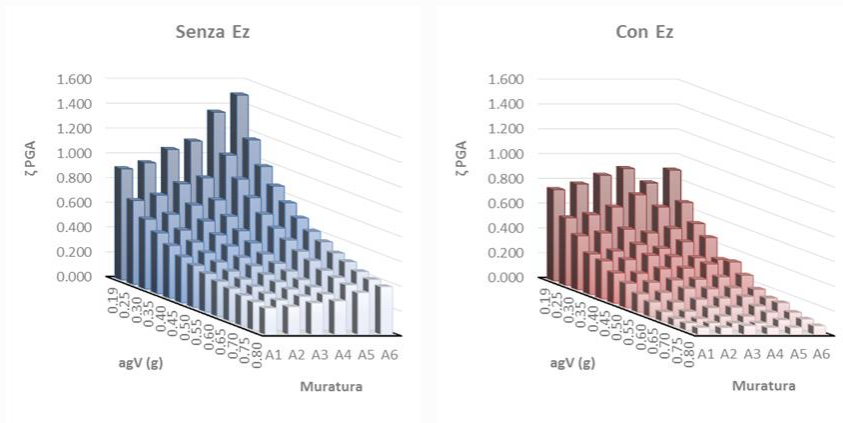


RIDUZIONE DI ζ_E IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE AL SUOLO

Questa curva è forse ancora più significativa perché rappresenta quanto è la riduzione in percentuale di ζ_E aumentando l'accelerazione, e quindi la riduzione di ζ_E in presenza di sisma verticale tende ad aumentare via via che si aumenta l'accelerazione.

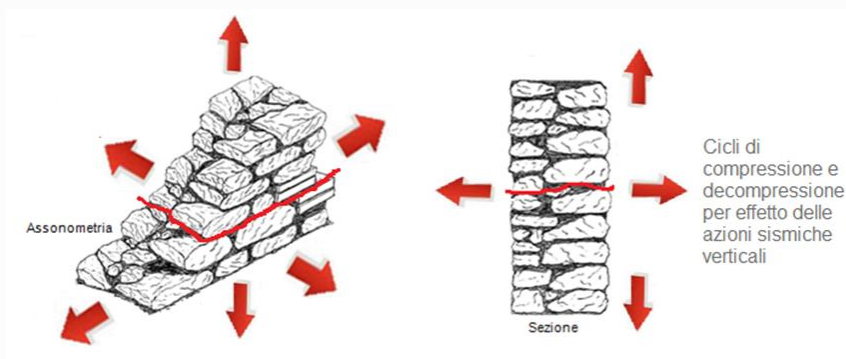
All'inizio (per la muratura A1) siamo intorno al 15-20% che tutto sommato (come percentuale di modifica dovuta agli effetti del sisma verticale) direi non si discosta nemmeno dalla variazione di spostamento che ci ha fatto vedere il Prof. Lagomarsino stamani con un'analisi dinamica non lineare, che era intorno al 10%, quindi non sono valori particolarmente elevati però possono assumere una significatività non trascurabile, valori destinati ad aumentare con l'aumento dell'accelerazione.

Anche qui ci sarà da dare poi più contributi e più prove analitiche provenienti da varie direzioni per confermarli, però a nostro avviso questo fotografa abbastanza bene quello che è accaduto nella realtà perché gli edifici di cui è stata mostrata la totale disgregazione sono stati sottoposti in certi casi a un vero e proprio shaker, a un frullatore che ha proposto accelerazioni molto elevate sia orizzontalmente che verticalmente e ciò, combinato con gli effetti disgregativi dovuti in certi casi alla cattiva qualità muraria, ha prodotto i risultati noti.



(zeta)E in funzione dell'accelerazione al suolo e della qualità muraria

Questi diagrammi tridimensionali rappresentano negli assi di riferimento la variazione in aumento della qualità muraria, da A1 a A6, e la variazione in aumento dell'accelerazione. Quindi, per esempio, unendo fra loro due barre che hanno la stessa altezza si vede chiaramente che per una qualità superiore si ha una situazione di danno che viene raggiunta per accelerazioni superiori rispetto a quelle di qualità inferiore. E' un'ovvietà, però ci serve anche a studiare gli effetti del consolidamento soprattutto se questi effetti possono essere significativi nel senso che il consolidamento sia sufficiente anche tenendo conto del sisma verticale.



Esempio di muratura di blocchi di pietra sbazzata, talvolta con presenza di laterizi e ciottoli.
 Cicli di compressione e decompressione dovuti alle azioni sismiche verticali,
 contemporanei agli effetti ciclici taglianti per azioni sismiche orizzontali
 complanari e ortogonali al piano medio della parete

Brevemente, vi voglio far vedere quest'immagine che rappresenta ciò che abbiamo interpretato fisicamente cioè il fatto che questi cicli di compressione e decompressione per effetto delle azioni sismiche verticali indeboliscono sicuramente la sezione che non va pensata come un solido pseudoelastico che una volta che si è decompresso ritorna alla situazione precedente: **quando la malta viene disgregata a causa di un allontanamento fra le parti non si può pensare che ritorni allo stato precedente, è un fenomeno che tende ad incrementarsi progressivamente e che va saputo interpretare**, però esiste, e quindi essendo un comportamento atteso non può essere ignorato.

ALGORITMO DI ANALISI PUSHOVER IMPLEMENTABILE IN QUALSIASI SOFTWARE

0. Modellazione della struttura in muratura

- 1. Analisi modale**, con masse partecipanti nelle 3 direzioni di riferimento orizzontali e verticale X, Y, Z, eseguita con rigidezze elastiche
- 2. Analisi statica non sismica**, con carichi statici corrispondenti alla combinazione sismica
- 3. Analisi lineare sotto le forze sismiche spettrali verticali** determinate dall'azione di Normativa per SLV, ottenute dall'analisi modale combinando le azioni corrispondenti ai modi verticali significativi con il metodo CQC

(segue...)

ALGORITMO DI ANALISI PUSHOVER IMPLEMENTABILE IN QUALSIASI SOFTWARE

4. Analisi pushover. Curve secondo scelte su: direzione, verso, legge di distribuzione del taglio, contributo di effetti torcenti, combinazione direzionale nel piano orizzontale, punti di controllo, presenza o meno di azioni sismiche verticali. Per ogni curva:

4.1. Combinazione delle sollecitazioni al passo (statiche + sismiche da taglio orizzontale incrementale) con le sollecitazioni da sisma verticale (cfr. punto 3.).

- **Verifiche di resistenza:** pressoflessione e taglio; e per murature irregolari: scorrimento per tener conto del fenomeno che può coinvolgere superfici sub-orizzontali a causa dei cicli di compressione e decompressione

- **Capacità di spostamento:** calcolata come da Normativa (drift), con una correzione in base alla riduzione di capacità di resistenza tale da mantenere inalterato il fattore di duttilità (rapporto tra spostamento ultimo e spostamento al raggiungimento della massima resistenza)

4.2. Elaborazione dell'oscillatore monodimensionale elastoplastico equivalente.

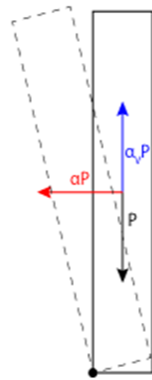
A questo punto Sono note le capacità di spostamento per tutti gli stati limite. Si calcola la domanda di spostamento per SLV e si ottiene l'indicatore di rischio sismico in termini di P_{GA} : $Z_{E,PGA}$

Questo è l'algoritmo che abbiamo implementato che non è stato destinato assolutamente in maniera esclusiva a PCM ma noi lavoriamo nella più totale trasparenza, ed è così che ci piace del resto da sempre operare con il nostro software: creare delle procedure che siano sempre ripetibili e ripercorribili anche in altre sedi e da altri. C'è sempre di fronte ai software il pensiero che siano uno alternativo all'altro, in realtà tutti dovremmo lavorare nella stessa direzione, che è quella di dare una maggiore chiarezza e completezza a quello che facciamo, correggendosi anche a vicenda, perché non è detto che talvolta certe scelte siano migliori di altre, però è evidente che se la base

comune è quella da tutti riconosciuta ed interpreta i fenomeni reali, andiamo verso una situazione che è quella di cui i Professionisti non possono che beneficiare, sia che scelgano il prodotto A o il prodotto B. In ultima analisi, non si deve puntare ad una progettazione che sia migliore scegliendo un prodotto invece che un altro, si deve puntare a una capacità di usare gli strumenti nel modo giusto qualunque essi siano. Però, per far questo, bisogna procedere tutti in maniera molto trasparente.

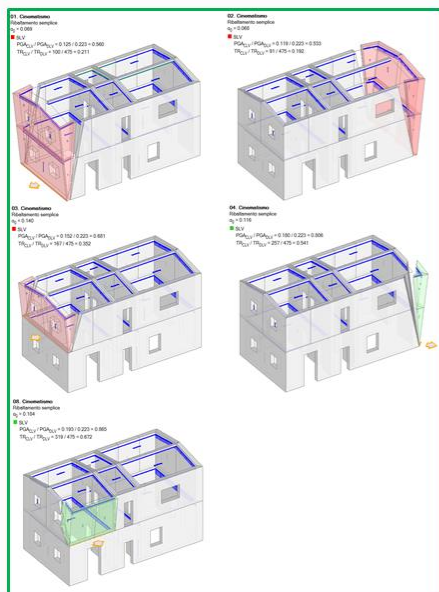
Ad una modellazione iniziale della struttura segue un'analisi modale condotta anche nella direzione verticale e un'analisi statica non sismica con i carichi statici corrispondenti alla combinazione sismica: questa è la fase 0 dell'analisi pushover, cioè quando ancora non abbiamo azioni orizzontali. Viene poi eseguita un'analisi lineare sotto l'azione delle forze sismiche spettrali verticali determinate dall'azione di Normativa per SLV e siccome l'analisi modale in direzione verticale ci mostra molti modi di vibrare dovuti a tanti valori di massa partecipante bassi bisogna in qualche modo combinarli per avere una loro rappresentatività e abbiamo scelto il metodo CQC che è quello normalmente seguito.

Si potrebbe anche qui tentare un ulteriore affinamento pensando che questi modi di vibrare si modificano nel corso del processo di fessurazione però dal punto di vista verticale non sembra che questo poi abbia un grande influsso, per cui abbiamo convenuto di procedere con questo campo di forze. Dopodiché l'analisi pushover viene eseguita normalmente componendo le sollecitazioni che ad ogni passo troviamo per ogni elemento a causa delle azioni orizzontali con quelle derivanti dal campo di forze verticali che quindi sono considerate in sollevamento o in aggravamento ad ogni passo dell'analisi: non c'è cioè una scelta predefinita su un campo tutto di sollevamento o un campo tutto di aggravamento. Alla fine l'analisi si conduce in modo del tutto naturale con l'elaborazione di un oscillatore equivalente e i risultati successivi.

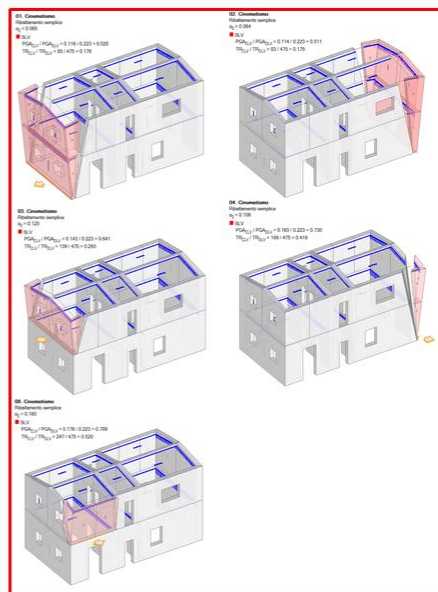


Analisi cinematica: meccanismo di ribaltamento
con forze inerziali orizzontale e verticale

Sull'analisi cinematica, e qui facciamo riferimento alla lineare, per il momento è questa che abbiamo esplorato, anche qui può esserci la considerazione di un alleggerimento mantenendo fra i moltiplicatori di collasso il rapporto che c'è fra lo spettro orizzontale e quello verticale, comunque poi negli articoli si trovano tutti gli approfondimenti del caso.

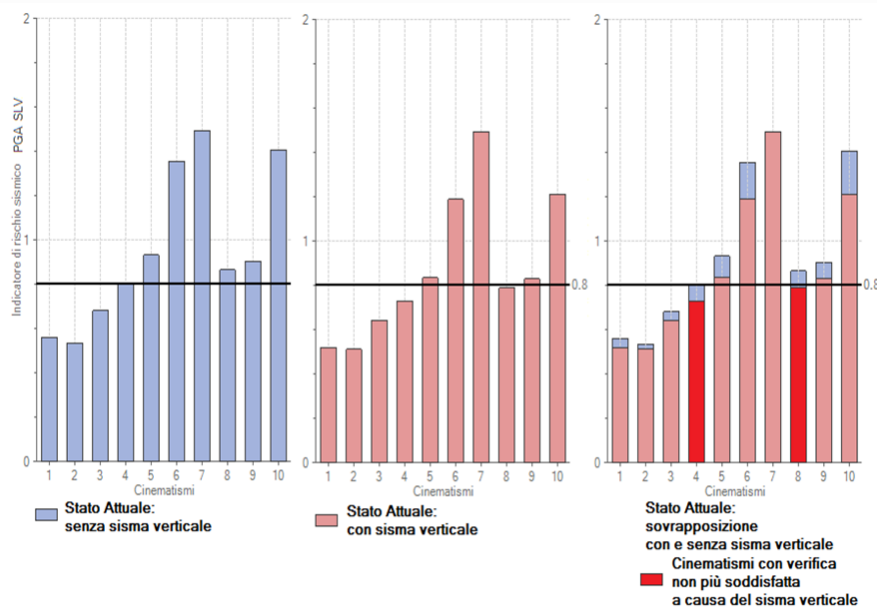


Senza sisma verticale...



...e con sisma verticale

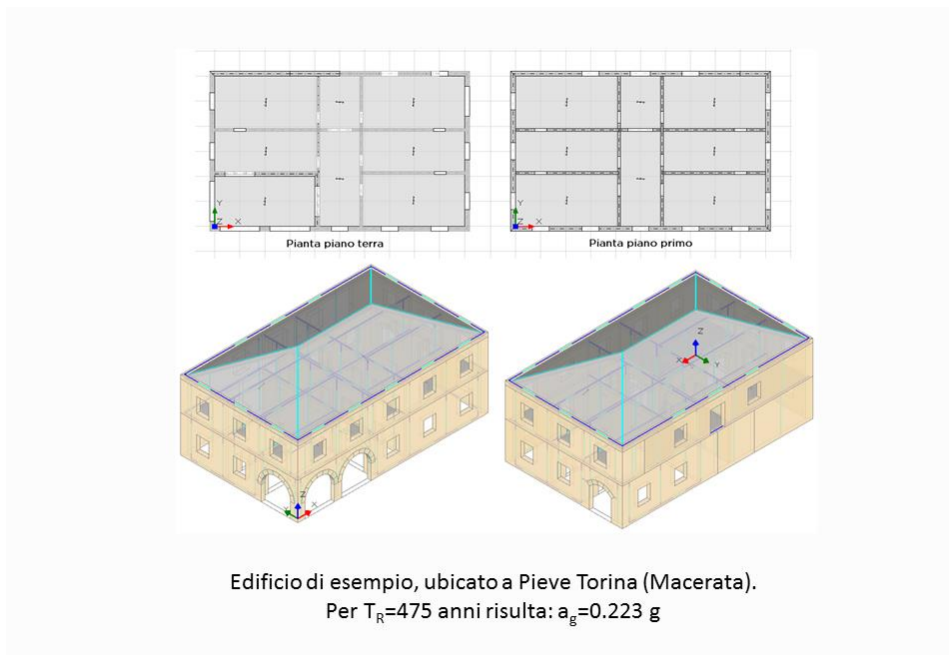
I vari cinematismi esaminati per questo edificio hanno mostrato anch'essi una serie di modifiche, e quindi da una situazione iniziale dove senza sisma verticale ve n'erano diversi verificati e altri no, c'è un peggioramento con questo minore effetto stabilizzante del peso, e il peggioramento talvolta porta al passaggio da una soglia a un'altra.



Qui posso fare un inciso sul significato di questi numeri che otteniamo dall'analisi: un indicatore di rischio 1.01 dà la sicurezza assoluta contro uno 0.99 che non la dà: purtroppo la situazione è questa. Noi ci troviamo a dover valutare dei numeri che partono da delle ipotesi sempre molto

sfocate e parzialmente rappresentative della realtà e i numeri invece diventano una realtà assoluta a cui bisogna attenersi. E' un problema serio, cioè bisognerebbe ragionare con un +/- Δ , cioè cercare di avere degli intervalli di variazione sui risultati, però è anche vero che questo non può essere poi un alibi per giustificare che una verifica non soddisfatta debba essere accettata. Quindi: la grande attenzione deve essere posta nel fare il modello più corretto possibile e nel condurre un'analisi più attendibile possibile perché poi comunque dobbiamo impiccarci a un valore numerico e quindi questo diventa poi il prodotto del nostro lavoro.

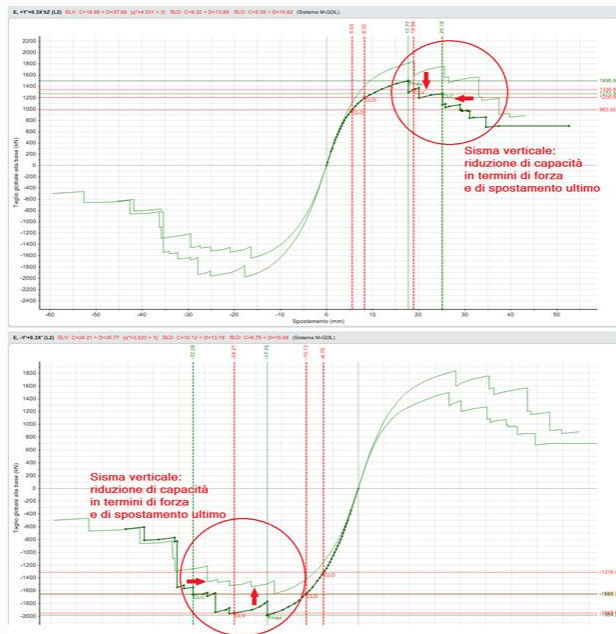
Sta di fatto che questo valore numerico c'è, quindi quando noi siamo a una soglia che è più o meno superiore a 0.8, inferiore o superiore a 0.6, oppure a 1.0, qualunque sia il parametro di riferimento, oppure manifesti più o meno un incremento di 0.1, siamo davanti alla qualifica di un tipo di intervento che deve essere un miglioramento o un adeguamento, ciò che deve essere in base alla situazione dell'edificio, quindi **occorre grande attenzione alla gestione di questi numeri e se la parte di sisma verticale competente alle azioni secondo Normativa ci porta a differenze che vanno dal 10 al 20%, queste differenze possono segnare il passaggio da una soglia soddisfatta a non.**



Questo è un altro caso, un esempio che abbiamo considerato, ubicato a Pieve Torina in provincia di Macerata, che ha un'accelerazione per TR 475 un po' più elevata, siamo a 0.223g, di conseguenza abbiamo fatti anche qui delle valutazioni ed un'analisi statica non lineare che qui vediamo una volta in un verso e una volta nell'altro, questa è un'analisi in una direzione ed una delle tante curve utilizzate, e l'analisi mostra anche in questo caso una **riduzione di capacità in termini di spostamenti e di resistenza.**

Capacità	E+Y+0.3X			E-Y+0.3X		
	Senza sisma verticale	Con sisma verticale	Variazione	Senza sisma verticale	Con sisma verticale	Variazione (%)
Taglio max (kN)	1837	1496	-19%	1984	1650	-17%
Spostamento SLV (mm)	24.80	18.88	-24%	24.21	22.09	-9%
$\zeta_{E,PGA}$	0.708	0.609	-14%	0.700	0.651	-7%
			-13%			

Tab. VII. Esempio 2, Stato Attuale (SA): riduzioni di capacità per effetto del sisma verticale



Stato dell'edificio	Senza sisma verticale		Con sisma verticale		Variazione per sisma verticale	
	ζ_E	$\Delta\zeta_E$ rispetto a SA	ζ_E	$\Delta\zeta_E$ rispetto a SA	ζ_E	$\Delta\zeta_E$
SA	0.700		0.609		-13%	-0.091
SP1	0.882	0.182	0.689	0.080	-21%	-0.193
SP2	0.791	0.091	0.655	0.046	-17%	-0.136
SP1D	0.916	0.216	0.711	0.102	-22%	-0.205
SP2D	0.859	0.159	0.730	0.121	-15%	-0.129

Tab. XII. Esempio 2, quadro riepilogativo degli indicatori di rischio sismico

SA = Stato Attuale, SP1 = Intonaco armato su due facce, SP2 = Intonaco armato su una faccia; SP1D e SP2D = con incremento di drift per rappresentare la maggiore capacità di spostamento

- gli interventi con intonaco armato, anche su una sola faccia, possono essere tali da soddisfare le richieste relative al miglioramento sismico, ma appare preferibile (e nel caso in esame: indispensabile) considerare gli effetti del consolidamento non solo in termini di incremento di rigidità e di resistenza ma anche di duttilità, in modo da non sottovalutare le capacità della tecnica applicata;
- in ogni caso il sisma verticale ridimensiona tutti i valori degli indicatori di rischio sismico, sia allo Stato Attuale sia agli Stati di Progetto, e in generale evidenzia una maggiore difficoltà per conseguire l'obiettivo di miglioramento: in altre parole, pianificare un progetto di miglioramento sismico prescindendo dal sisma verticale può non garantire la sicurezza dell'edificio.

In questa tabella finale ci sono alcuni risultati sull'indicatore di rischio ζ_E e la sua variazione passando a stati di progetto: SP1 prevede l'intonaco armato su due facce, SP2 su una sola faccia: un intervento da prendere un po' con le molle quindi da fare con attenzione perché va associato comunque a dei diafani efficacemente in grado di collegare i paramenti all'interno, e inoltre al momento è parzialmente presente in Normativa.

La Normativa ci dice che l'intonaco armato non ha lo stesso effetto se è su una sola faccia però non lo esclude totalmente: questo è un modo comunque di darci questa possibilità, **possibilità che è molto funzionale all'applicazione del Sismabonus**.

Anche qui è un discorso realistico: sarebbe bello comunque poter intervenire nel modo ideale su tutti gli edifici ma siccome questo non lo si potrà fare per molte ragioni, anche quelle soprattutto della inerzia che gli abitanti ovviamente hanno nel lasciare le proprie case, bisognerà in qualche modo irrobustire il nostro edificio dall'esterno e quindi sono tutte tecniche che vanno prese in considerazione e in qualche modo bisogna poterle quantificare. Noi abbiamo fatto riferimento in questo caso a un coefficiente ridotto, che è quello della ristilatura armata, ma è un'ipotesi, chiaramente potremmo anche adottare altri fattori correttivi.

Poi su SP1D e SP2D abbiamo fatto dei **correttivi di duttilità** pensando di **incrementare lo spostamento ultimo nel caso di presenza di intonaci armati**.

E' vero che lo spostamento ultimo ancora non ha dei risultati ufficialmente diffusi da parte della Ricerca per l'incremento di quando si applicano le armature, però è anche vero che se ci poniamo il problema della correttezza di quello che si fa, **sembra del tutto inadeguato assegnare uno spostamento ultimo identico a una parete consolidata con una rete e ad una che non lo è**: vi sono diversi pareri in questo senso e anche alcuni studi, per esempio in uno studio del Prof. Camata di qualche tempo fa, anche questo lo trovate su Ingenio, si evidenziava l'opportunità di un incremento di almeno il 30% del drift. Non so dirvi se il 30% sia più giusto del 20%, però certamente qualcosa in più va considerato e potrebbe essere un riferimento preso dalla Normativa attuale la differenza che c'è, presa ovviamente con le giuste considerazioni, tra una muratura armata e una muratura non armata; comunque un effetto deve esistere anche da questo punto di vista. Noi abbiamo fatto appunto un incremento di questo tipo sul drift e abbiamo ottenuto dei

risultati differenti.

Quindi **tutti i nostri risultati sono fortemente condizionati da questa duttilità, dalla capacità di spostamento**. E, contemporaneamente alle ricerche sul modo più opportuno con cui rappresentare il sisma verticale, dovremmo ricercare la corretta rappresentazione della duttilità, che diventa fondamentale.

Qui si sta parlando proprio di edifici esistenti dove fra altro si rilevano alcune differenze che non vengono tanto ben comprese, io vi porto l'esperienza mia di analista, di programmatore sul nostro software, ma in realtà vi porto anche l'eco di tutti i professionisti che lo utilizzano: questo fatto di essere di fronte a uno spostamento ultimo non rappresentativo di quando si effettua il consolidamento crea un certo disagio e quindi in effetti può portare a dei risultati che non sono del tutto veritieri.

Speriamo che questo aspetto possa essere maggiormente considerato, perché in effetti **i coefficienti moltiplicativi che attualmente ci sono nella Circolare fanno riferimento alla rigidità e alla resistenza, non si dice nulla invece su quali siano i valori da applicare allo spostamento massimo**. Questo anche in peggioramento, nel senso che **qualora la qualità fosse peggiore bisognerebbe anche ridurlo**, quindi c'è un campo di variabilità dello spostamento che va considerato.

Oltretutto noi non facciamo oggi più le verifiche come ai tempi del POR con un confronto fra resistenze: allora si controllava se la forza sismica era in grado di distribuirsi fra le pareti e quindi si trattava di un confronto limitato ad un coefficiente di sicurezza di questo tipo. Oggi facciamo delle analisi pushover che alla fine sono analisi sugli spostamenti perché ci richiedono un confronto fra capacità e domanda in termini di spostamento.

Se questo spostamento non si valuta nella maniera più appropriata, cade un po' tutta la sicurezza relativa sul risultato raggiunto: questo è un punto a nostro avviso fondamentale.

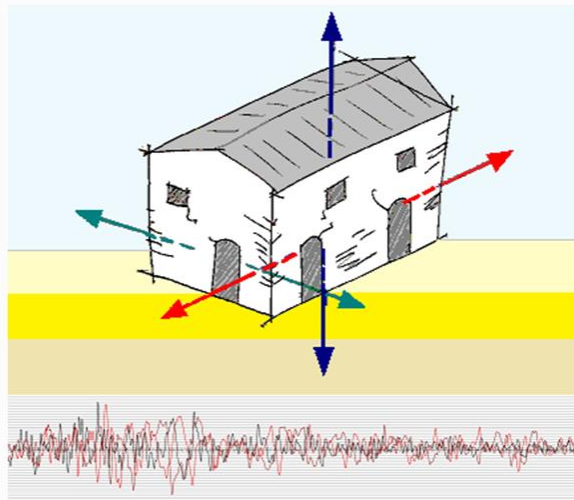


Quando si parla di approccio tipo Sismabonus dobbiamo considerare anche altri stati limite. Per questo abbiamo fatto anche queste elaborazioni, perché ci pareva ancora più rappresentativo di quella che può essere l'influenza dell'effetto sismico verticale, cioè vedere attraverso il **diagramma**

della PAM, cioè la perdita annuale media, che coinvolge tutti gli stati limite e non solo SLV, quella che è appunto la variazione. Abbiamo trovato perdite in percentuali che sono piuttosto significative, oscillano da 14 a 36% mentre gli indicatori di rischio si muovono dal 13 al 20%. Questi sono quindi gli ordini di grandezza che abbiamo potuto trovare in questi modelli.



- Alcuni esempi applicativi, elaborati con l'ausilio di un software professionale aggiornato secondo le procedure illustrate, hanno mostrato la **possibile rilevante influenza del sisma verticale sulle verifiche di sicurezza** in relazione non solo allo stato di fatto di un edificio ma anche dello stato di progetto corrispondente ad un intervento di consolidamento.
- La **Perdita Annuale Media (PAM)**, parametro in grado di identificare il comportamento sismico dell'edificio nella globalità degli stati limite che possono interessarlo, **ha mostrato variazioni significative in presenza di sisma verticale**: è stata così confermata l'importanza di considerare la totalità delle componenti sismiche.
- Pertanto, **alla luce dello studio condotto, si ribadisce l'opportunità di valutare la sicurezza e progettare gli interventi interpretando il fenomeno fisico nella sua realtà**. Il processo attivato con gli studi eseguiti ha dato riscontro anche alla validità dell'utilizzo dell'analisi pushover, condotta con gli opportuni accorgimenti in grado di rappresentare gli effetti di tutte le componenti sismiche, confermando essa il proprio ruolo quale strumento professionale robusto e di immediata applicabilità fisico-matematica.



Contemporaneità delle componenti sismiche orizzontali e verticali

- Alla luce della evoluzione normativa manifestatasi attraverso i nuovi contenuti della Circolare, le analisi degli edifici esistenti in muratura potranno essere condotte considerando anche gli **effetti negativi del sisma verticale, di tipo disgregativo e riduttivo nei confronti delle capacità** di resistenza e di deformazione.

Ciò è molto importante sia per i progetti relativi alla Ricostruzione nelle zone danneggiate dai recenti eventi sismici, sia per le analisi di vulnerabilità e la classificazione sismica del patrimonio edilizio esistente, nonché in generale per la corretta calibrazione degli interventi di consolidamento.

- Grazie ad una più completa analisi del comportamento sismico, **i nuovi contenuti della Circolare** svolgono pertanto un ruolo fondamentale per l'attività progettuale nelle zone interessate dalla Ricostruzione, connettendosi quindi ad uno dei più importanti settori operativi dell'ingegneria italiana per i prossimi anni.

Noi abbiamo concluso che alla luce dello studio condotto si ribadisce l'opportunità di valutare la sicurezza e di progettare gli interventi interpretando il fenomeno fisico nella sua realtà. Il sisma verticale esiste. Comprendiamo perfettamente che questo è l'inizio di un percorso che ci auguriamo abbia tanti contributi però non può essere ignorato e soprattutto **non lo possiamo ignorare alla vigilia della Ricostruzione pesante**, cioè di quando si interverrà sugli edifici danneggiati nelle zone dell'Italia Centrale – non siamo qui in questa zona, ma noi bisogna fare una considerazione relativa anche ai colleghi che operano in zone che purtroppo sono state soggette a danni così importanti, e bisogna dare delle risposte, e quindi non si può soltanto limitarsi ad

attendere dei risultati che magari arriveranno fra venti anni. **Il muoversi ora corrisponde al nostro impegno per sperare non che i danni non ci siano più ma che siano per lo meno limitati.**

Di conseguenza i vari criteri che dovremo studiare dal punto di vista del consolidamento dovranno cominciare anche a pensare di fare in modo che le pareti possano subire queste oscillazioni verticali senza che le parti si licenzino fra loro, senza che nascano delle discontinuità che poi di fatto portano a problemi di indebolimento o di tagli eccessivi.

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

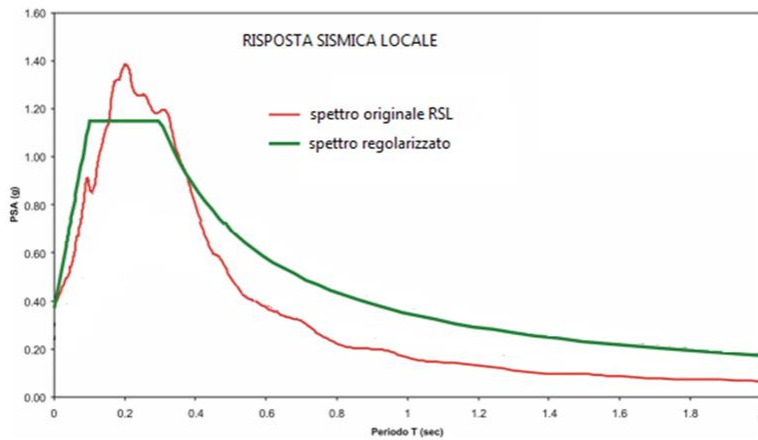


Terremoto Umbria-Marche, 1997. Differenza di danneggiamento in località vicine, dovute ad effetti locali. A sinistra Cesi Bassa (IX MCS), a destra Cesi Villa (VII MCS) (illustrazione tratta da: Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, Parti I e II, a cura di F. Bramerini, G. Di Pasquale, G. Naso, M. Severino, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Roma, 2008)

Avevo qui alcune considerazioni sull'analisi della RSL, sulle quali però farei soltanto due cenni. Abbiamo sostanzialmente due aspetti dal punto di vista sismico: uno è quello dell'**approccio semplificato tramite NTC**: il reticolo ha dato dei valori puntuali, una procedura molto dettagliata da alcuni un po' criticata, ci sono dei punti di vista molto diversi sulla origine probabilistica di questa impostazione, però tant'è, noi come analisti dobbiamo lavorare nel campo normativo e accogliere i risultati per traslarli poi nella realtà professionale. Bisogna però riconoscere che la Normativa stessa non esclude affatto l'uso degli **spettri di risposta sismica locale**, anzi se possibile dovrebbero essere utilizzati.

Quindi sarà possibile inserire in input i valori di accelerazione da risposta sismica locale, e probabilmente troveremo delle accelerazioni verticali anche più alte rispetto a quelle che ci attendiamo e ci auguriamo che siano studi sempre più diffusi e puntuali. Hanno dei costi, hanno degli impegni, ma tutto deve essere paragonabile anche all'obiettivo che ci poniamo: **se cioè vogliamo raggiungere un grado di sicurezza che abbia una maggiore attendibilità bisogna anche modellare in maniera attendibile altrimenti rimaniamo comunque nell'ambito di un esercizio che va poco al di là di una rappresentazione numerica.**

Nell'Appendice 1 dell'Ordinanza n.55 viene indicata una procedura di regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS3 che permette di risalire a tutti i parametri necessari per la definizione dello spettro di risposta elastico normalizzato: a_g , T_B , T_C , T_D , F_o , ξ , η , S_s , S_T



Regolarizzazione di uno spettro di risposta ottenuto dall'analisi della Risposta Sismica Locale secondo la procedura indicata nell'Ordinanza n.55 del 24.4.2018 per la Ricostruzione

Sugli spettri di RSL ci sono alcune parti interessanti che sono state riportate anche nell'Ordinanza 55 per la ricostruzione, dove viene descritto il metodo di regolarizzazione, perché dalle elaborazioni si ottengono spettri che non hanno ancora la forma tradizionale con plateau e zone che partono dall'accelerazione di ancoraggio fino al massimo e poi quella a velocità costante. Lo spettro regolarizzato ci permette di ricondursi a valori di a_g , F_o , T_C , e anche F_v se si lavora col verticale, che possono essere inseriti nel software di calcolo e ci permettono di condurre un'analisi appropriata.

ESEMPI CONCRETI DI INTERVENTI DI RIDUZIONE DELLA VULNERABILITA'

In questa seconda parte parlerò più in dettaglio di PCM ma comunque sempre nell'ottica di portare un'esperienza professionale applicativa.

Aedes.PCM 2019

- Aggiornamento alla Circolare 2019
- Analisi Pushover multidirezionale con componente sismica verticale
- Analisi con Risposta Sismica Locale

Testata 10/10/17
 $\phi = 0.5$

Testata 10/10/17
 $\phi = 1.0$

Taglio per scorrimento
Taglio per fessurazione diagonale, tessitura irregolare
Taglio per fessurazione diagonale, tessitura regolare

Aedes.PCM 2019

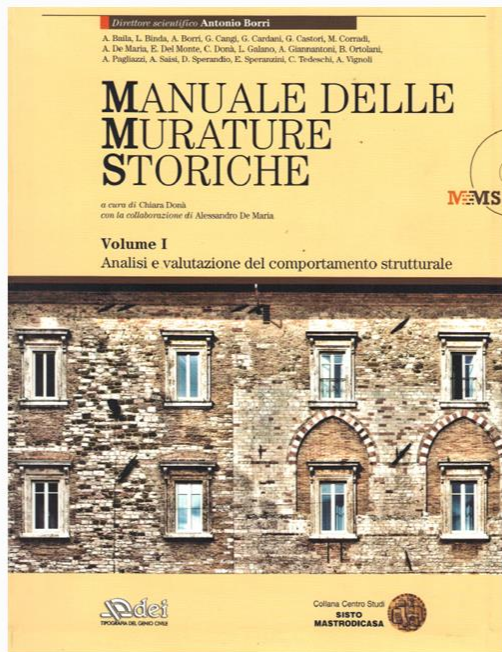
Analisi pushover multidirezionale con componente sismica verticale

Comportamento multilineare o bilineare

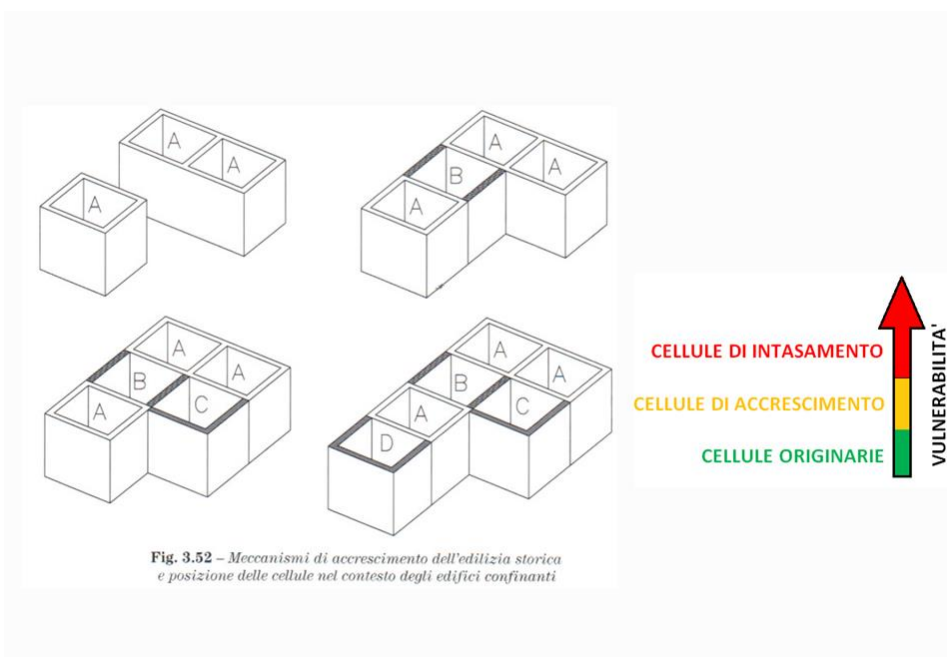
11-12 aprile 2019 ING. FRANCESCO PUGI - AEDES SOFTWARE. SECONDA PARTE 3

Questa immagine presenta la versione 2019 di PCM, che come altri software segue l'evoluzione delle Normative. Noi abbiamo preparato l'**aggiornamento alla nuova Circolare, l'analisi pushover multidirezionale con componente sismica verticale**, che è un'applicazione di quello che abbiamo presentato negli articoli, noi in Aedes l'abbiamo tradotto in procedura applicativa ma è comunque, ripeto, una procedura descritta in modo trasparente ed in generale applicabile anche in altri software, così come l'**analisi con risposta sismica locale** non ha nulla di tipico di PCM ma è semplicemente la possibilità di approfondire l'analisi della struttura inserendo questi dati locali.

Prima di parlare dell'esempio, un brevissimo cenno agli **aggregati edilizi**. Introduco gli aggregati perché l'esempio concreto che abbiamo fatto è tratto appunto dal caso di un aggregato, da un'unità di testata.



Segnalo questo volume che è molto ben fatto, molto bello per vari aspetti, ha il paragrafo 3.7 dedicato agli edifici a schiera: **"Manuale delle Murature Storiche"** a cura di Chiara Donà con la collaborazione di Alessandro De Maria.



Da questo abbiamo tratto alcune immagini, tanto per introdurre brevemente la questione degli aggregati che consiste essenzialmente nel saper valutare la natura delle varie unità strutturali, quindi dalle cellule originarie che sono quelle iniziali che hanno segnato l'inizio di formazione dell'aggregato a quelle poi di accrescimento fino a quelle di intasamento legate ai muri che finiscono per tamponare i vuoti rimasti tra le varie cellule.

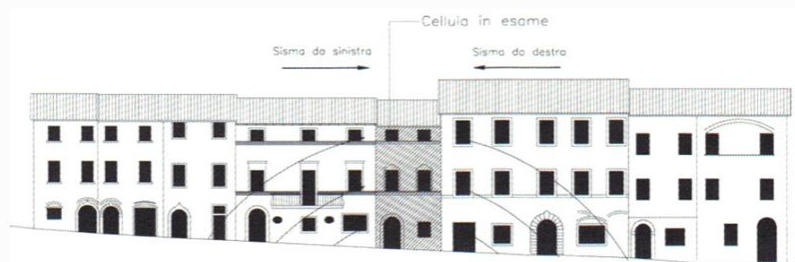


Fig. 3.60 – Cellule centrali di un isolato a schiera: azione di contrasto assicurata dagli edifici contigui

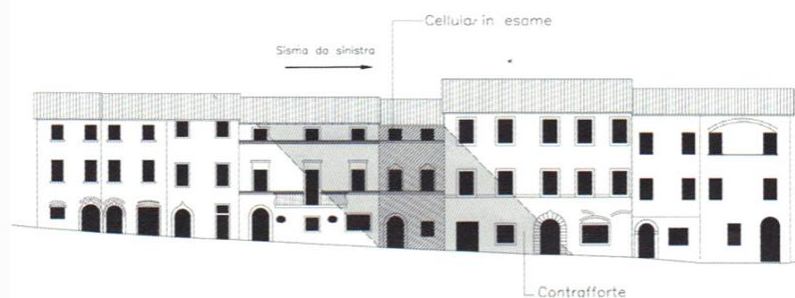
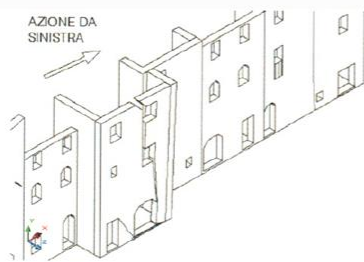


Fig. 3.61 – Cellule centrali di un isolato a schiera: schema di diffusione delle azioni sismiche

Il comportamento degli aggregati è noto, ma lo richiamo un attimo perché pur sempre utile: quando abbiamo **US intermedie** queste ricevono **l'aggravamento delle masse dalla unità adiacente**, in questo caso pensando a un'azione che va verso destra l'unità di sinistra tenderà con le proprie masse ad aggravare la situazione dell'unità considerata, ma abbiamo anche l'effetto benefico dell'unità dall'altra parte che invece fa da contrafforte, quindi l'US intermedia si trova in questa situazione.

Fra l'altro, la Normativa per le US degli aggregati permette ancora **metodi semplificati**.

A nostro avviso applicare oggi un metodo di calcolo per interpiani non è più tanto 'semplificato' perché quando si fa l'analisi di un terzo piano isolato bisogna andare ad applicare uno spettro di piano perché non si può pensare di applicare al terzo piano la stessa accelerazione che avremmo alla base del piano terra: per un Professionista la situazione si complica, probabilmente conviene invece tenere un modello unitario ed eventualmente fare alcune semplificazioni, se la situazione lo consente, sullo shear-type, sul fatto di una certa semplificazione del comportamento dei piani, però non ritornare al modello per interpiani perché questo porta con sé una serie di problematiche, poi ognuno fa quello che vuole ma **bisogna anche cercare, chiaramente, percorsi che non complicano inutilmente la situazione.**



Comportamento di edifici a schiera per sollecitazioni sismiche parallele al prospetto.

Fig. 3.66 – Caso di prospetto non allineato a quello delle celle contigue



Fig. 3.67 – Caso di cellula emergente in altezza rispetto alle celle contigue assimilabile alle celle di testata

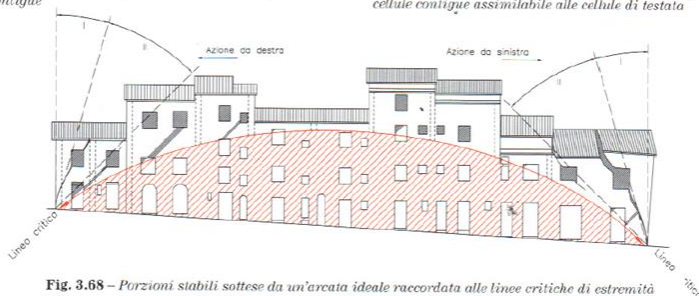
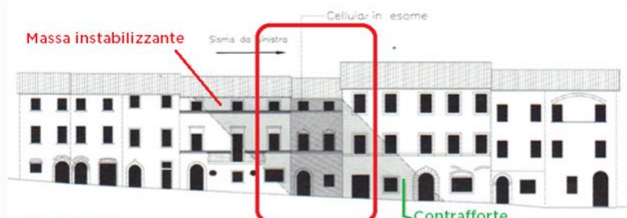


Fig. 3.68 – Porzioni stabili sottese da un'arcata ideale raccordata alle linee critiche di estremità

Gli aggregati sono caratterizzati da questa situazione di nucleo stabile che si può identificare fra l'inizio e la fine dell'aggregato e le parti in elevazione e i prospetti che si discostano dagli edifici adiacenti son quelli che anche subiscono i maggiori danni.

MODELLAZIONE DEGLI AGGREGATI EDILIZI CON PCM



US INTERMEDIA

- effetto instabilizzante dell'US precedente (es. direzione e verso: +X)
- effetto stabilizzante (contrafforte) dell'US successiva

Analisi cinematica (meccanismi di collasso)

- Ribaltamenti in direzione trasversale; Cinematismi per disallineamenti del prospetto o diversa elevazione; Flessione verticale per sfalsamento solai US adiacente

Analisi globale: (A) Modello rigoroso (più complesso)

- US + masse instabilizzanti + strutture resistenti del contrafforte
 - Richiede 2 modelli, in quanto si differenzia nei versi +X e -X
- (B) Modello semplificato (consentito dalle NTC):
- US con eventuale trascurabilità degli effetti flessionali (per contrasto dalle US adiacenti) ⇒ modello shear-type: **ATTENZIONE ALLA CURVA DI CAPACITÀ, CONDIZIONATA DAGLI SPOSTAMENTI ULTIMI CHE RISULTANO MINORI SE DIPENDENTI DAL TAGLIO. ATTENZIONE INOLTRE ALLA COMPLICAZIONE DEL CALCOLO PER INTERPIANI** ⇒ appare preferibile considerare l'US come un normale edificio singolo (ferme restando le interferenze dei carichi dalle US adiacenti)
 - Si evitano le azioni torcenti aggiuntive, e quindi: analisi +/-X, +/-Y

MODELLAZIONE DEGLI AGGREGATI EDILIZI CON PCM



US di TESTATA

- assenza di contrafforte
- l'US adiacente (penultima) agisce in senso instabilizzante con le proprie masse

Analisi cinematica (meccanismi di collasso)

Stato Attuale

- In direzione longitudinale: ribaltamento rispetto allo spigolo esterno dell'aggregato
- Altri cinematismi: ribaltamenti in direzione trasversale

Stato di Progetto

- Inserimento di catene o fasce stabilizzanti (connessione alle US retrostanti)

Analisi globale

Stato Attuale

- Analisi analoga ad un edificio isolato, +X o -X (X=direzione longitudinale), +/- Y (direzione trasversale)
- Masse retrostanti (US adiacente): da carichi agenti sul muro di confine e da altre masse
- Eventuale collaborazione di strutture US adiacente in caso di buon ammortamento

Stato di Progetto

- Possono essere considerate parti dell'US adiacente come collaboranti (influiscono quindi su masse, rigidzze e resistenze)

Senza stare ora ad approfondire la diversa casistica (tra US intermedia e US di testata) diciamo che per una **unità di testata** l'analisi cinematica è quella che ci permette di valutare il ribaltamento verso l'esterno e può essere facilmente stabilizzata attraverso il ricollegamento alle unità precedenti, e l'analisi globale è in genere condotta come quella di un edificio isolato di cui possiamo evitare lo studio verso il resto dell'aggregato perché il comportamento più pericoloso è sicuramente quello che non trova il contrasto dell'unità successiva. Sarà molto importante modellare la massa aggiuntiva con effetto instabilizzante.

ESEMPIO DI EDIFICIO ESISTENTE: VULNERABILITA' SISMICA E INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO

L'EDIFICIO CONSISTE IN UNA UNITA' STRUTTURALE DI TESTATA DI UN AGGREGATO



Esempio tratto dal volume ed.
Laterza curato da Antonino Giuffrè:

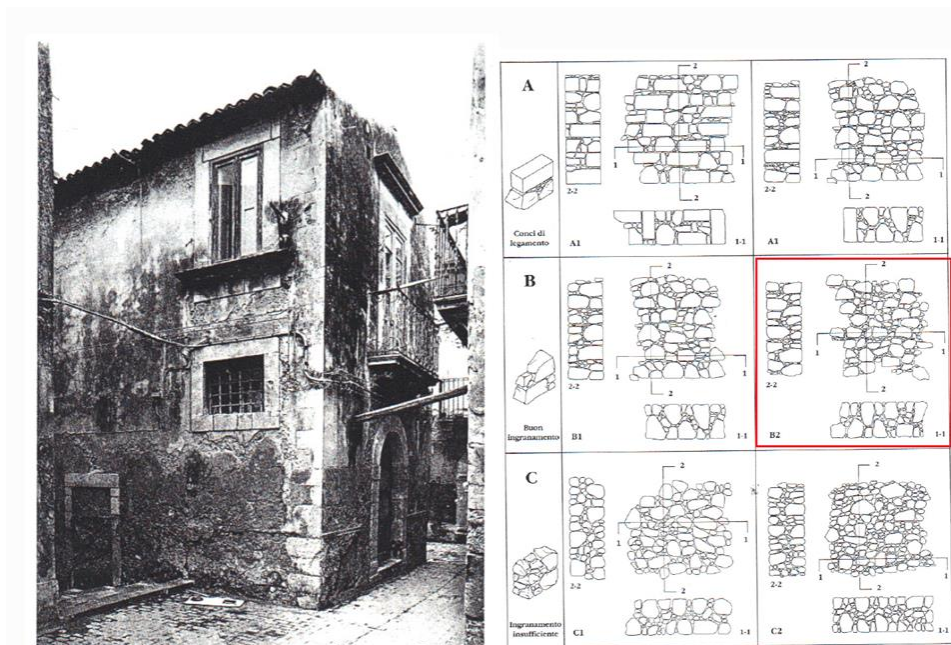
**SICUREZZA E CONSERVAZIONE
DEI CENTRI STORICI:
IL CASO ORTIGIA**

Abbiamo tratto l'esempio da un volume molto bello, che dovrebbe essere tenuto da tutti nel

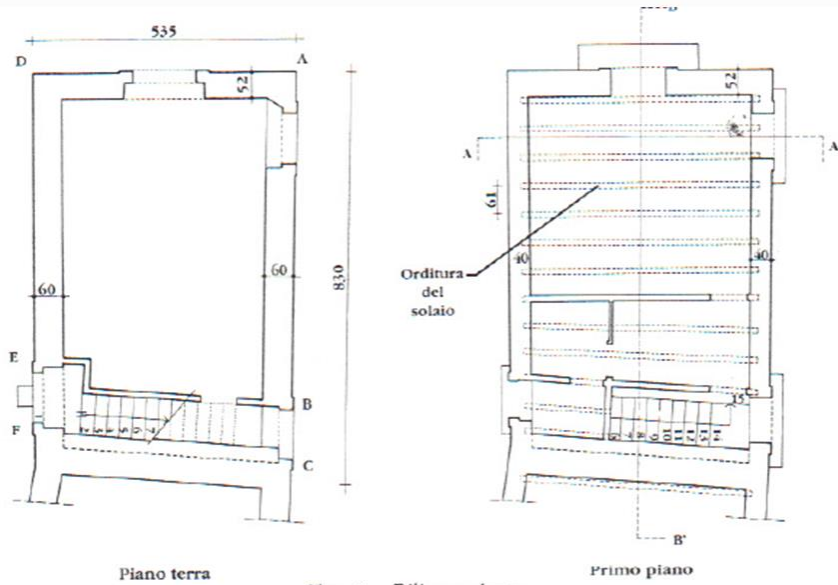
proprio Studio, ed è **"Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia"** delle edizioni Laterza, curato da Antonino Giuffré, purtroppo difficilmente rintracciabile, è fuori commercio - perlomeno così ci risulta - però si possono trovare delle copie nelle Biblioteche.

Il percorso di Giuffré era un percorso molto bello, che veramente scendeva al cuore del problema, in tempi in cui fra l'altro si andava poco aldilà dell'applicazione del metodo Por, cioè negli anni '80. E' stato sicuramente il precursore di un nuovo modo di rivedere queste strutture, che poi forse in parte non era neanche poi tanto nuovo ma **tendeva a recuperare l'esperienza e quella che era tutta una tradizione costruttiva che caratterizzava queste tipologie.**

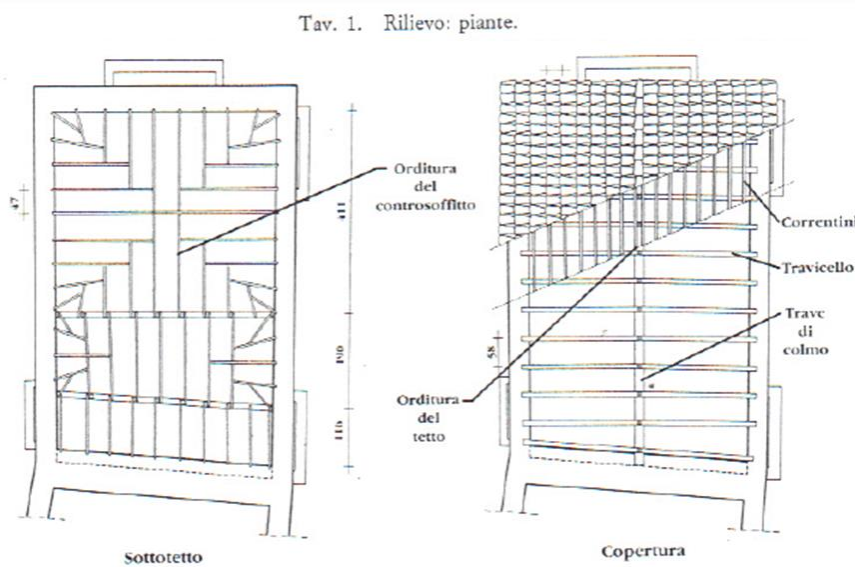
Si parlava già, pensate, di qualità muraria, di analisi cinematica, di comportamenti non lineari, tutti concetti che poi la Normativa ha dovuto attendere molti anni prima di accogliere, e si sa che i Professionisti finché in qualche modo non vengono stimolati dal dover applicare certe cose, per ragioni più che comprensibili il più delle volte le finiscono per trascurare. Oggi non è più così: le Norme, se non altro, pur nelle parti perfettibili che possono manifestare, propongono un quadro completo che soprattutto in virtù di alcune affermazioni come il fatto di mantenersi attinenti a quello che è il comportamento reale delle strutture, non ci possono più consentire di tralasciare questi aspetti fondamentali.



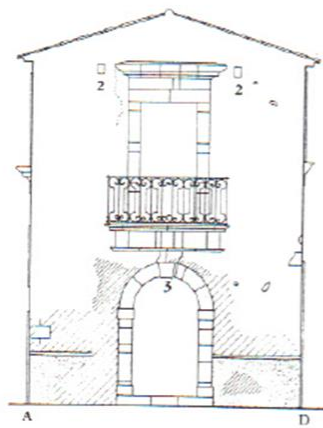
Qui già si parlava di qualità muraria, era stato fatto un abaco delle murature, questo caso è un caso di muratura con un buon ingranamento.



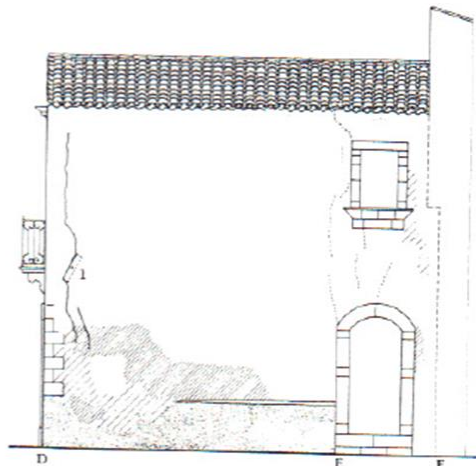
Tav. 1. Rilievo: piante.



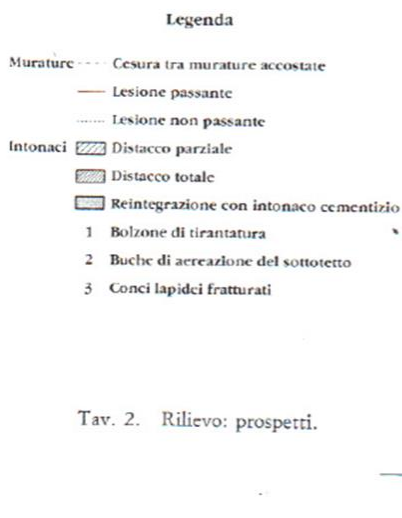
Tav. 1. Rilievo: piante.



Prospetto est



Prospetto nord



Prospetto sud

Legenda

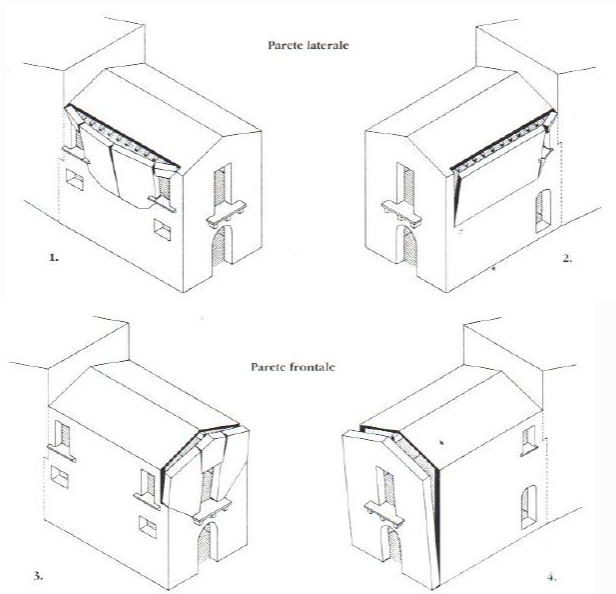
- Murature
- Cesura tra murature accostate
 - Lesione passante
 - Lesione non passante
- Intonaci
- ▨ Distacco parziale
 - ▩ Distacco totale
 - Reintegrazione con intonaco cementizio
- 1 Bolzone di tirantatura
2 Buche di aereazione del sottotetto
3 Conci lapidei fratturati

Tav. 2. Rilievo: prospetti.

Vi sono qui riportate piante, prospetti su cui ora non mi posso dilungare, ma comunque è un caso in cui ad esempio il piano terra presentava un'apertura che poi in epoche successive era stata richiusa: quindi **la lettura dell'edificio con le sue trasformazioni è molto importante**, perché, cosa accade? spesso in uno Studio professionale si prende una pianta che proviene da un rilievo, e quel muro viene modellato come un muro intero, magari con un unico maschio murario alla base, facendo un errore notevole.

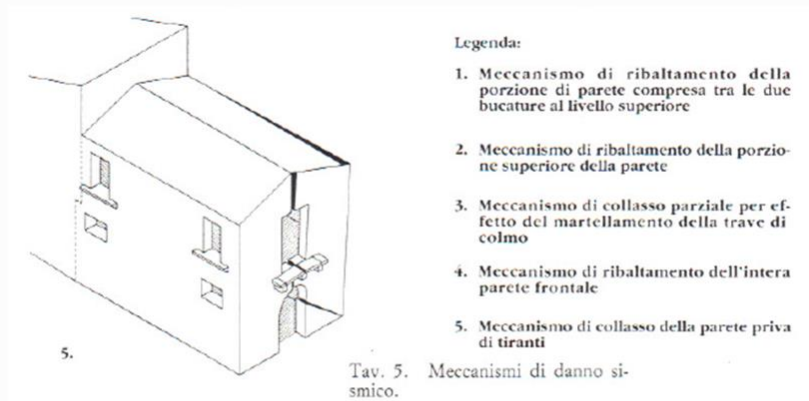
Quindi: **il problema non è tanto dell'uso del telaio equivalente ma di come si modella la struttura** perché se rispettiamo il più possibile quella che è l'organizzazione reale dell'edificio possiamo appunto ottenere dei modelli attendibili.

MECCANISMI DI COLLASSO

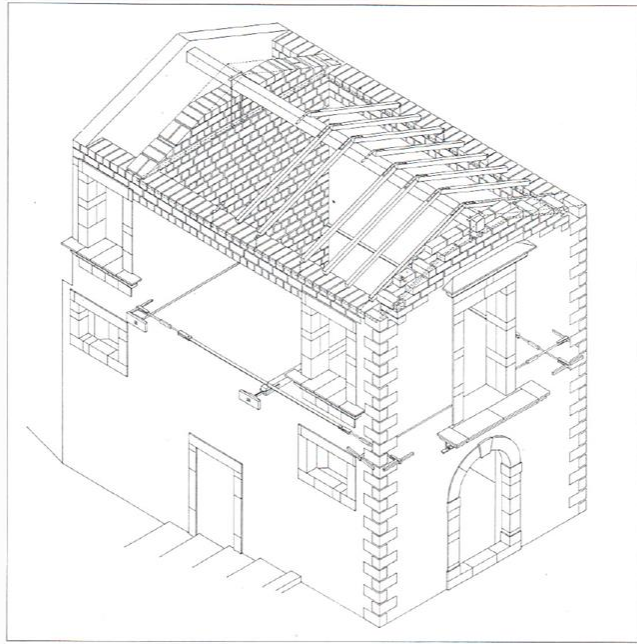


Questi sono i meccanismi di collasso che già Giuffré aveva considerato, e che vedremo ripetuti nel software.

MECCANISMI DI COLLASSO



Questo è interessante: è la **rotazione di metà della facciata su un asse obliquo**, quindi un meccanismo che non è del tutto banale, questo per dire che i meccanismi non sono solo facciate che ribaltano intorno allo spigolo della base ma possono essere anche sistemi articolati un po' più complessi.



C'era inoltre un'ipotesi di consolidamento; spero che chiunque possa accedere a questa documentazione per poterla consultare.

IQM: INDICE DI QUALITA' MURARIA

SCHEDE DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA

Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:
 $s = 8 - 15 \text{ cm}$
 $h = 8 - 25 \text{ cm}$
 $1.10 - 35 \text{ cm}$

Metodo punteggiato

P.D.	MA	F.	S.	R.	OR.	D.	EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano
NR	PR	NR	NR	R	NR	PR	PR	B	C	C	C
								LMT (vestitori)	118	118	118
								IQM	2,5	2	2,5

Parametri meccanici

	f	g	h	e	c
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Valore minimo	1,05	0,033	0,005	0,08	2,95
Valore medio	2,2	0,044	0,104	0,07	3,06
Valore massimo	2,81	0,054	0,130	0,08	4,18

IQM : INDICE DI QUALITA' MURARIA (A. Borri, A. De Maria)

- OBIETTIVI:**
- valutazione della qualità muraria espressa mediante un indice;
 - stima dei parametri meccanici della muratura necessari per effettuare le verifiche di sicurezza richieste dalle NTC 2018 per gli edifici esistenti.

Parametri della regola dell'arte

- MA. = qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe;
- P.D. = ingranamento trasversale / presenza dei diatoni;
- F.EL. = forma degli elementi resistenti;
- D.EL. = dimensione degli elementi resistenti;
- S.G. = sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano della parete;
- OR. = orizzontalità dei filari;
- RE.EL. = resistenza degli elementi.

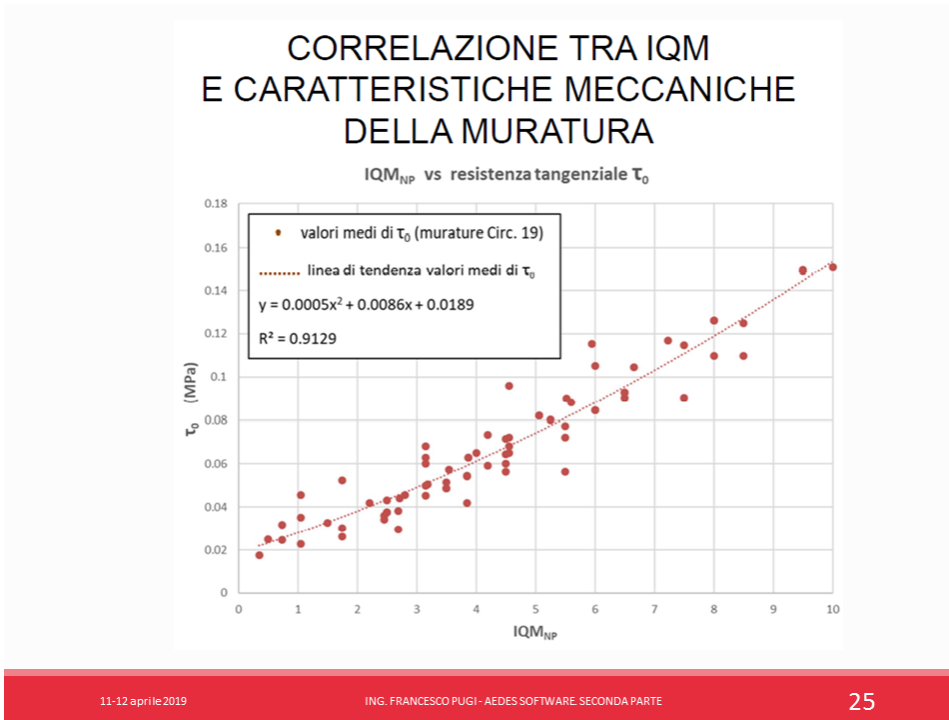
Giudizio sul rispetto dei parametri della regola dell'arte:

- R. = parametro rispettato;
- P.R. = parametro parzialmente rispettato;
- N.R. = parametro non rispettato.

Valutazione di IQM → tramite i giudizi sul grado di rispetto della regola dell'arte si valuta l'IQM per azioni verticali, orizzontali ortogonali al piano e orizzontali nel piano

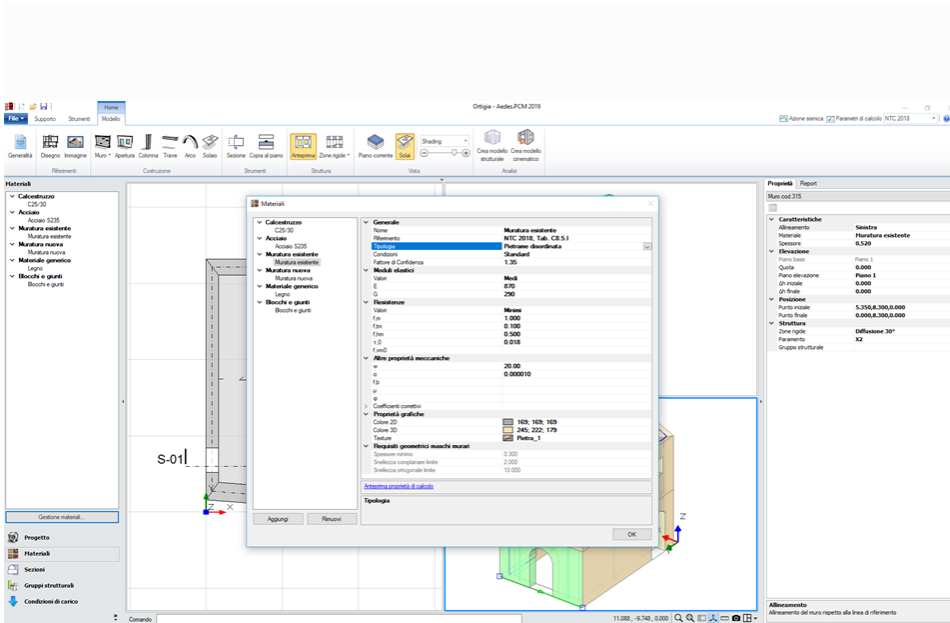
Un breve cenno all'**IQM**. Gli **indicatori di qualità muraria** sono presenti nella Circolare dove vengono citati; uno di questi, di comprovata validità, è quello studiato dal Antonio Borri e da Alessandro De Maria (che ringraziamo per questa immagine e per la successiva), che permette, attraverso un esame visivo attento della qualità muraria di poter giungere a dei parametri meccanici attendibili, non nel senso che quelli delle Norme non lo siano, anzi, viene proprio studiata la curva di correlazione con quelli delle Norme, però molto spesso ci troveremo di fronte

a casi particolari che non hanno una corrispondenza diretta oppure non sappiamo riconoscerli in quel numero necessariamente limitato di murature che troviamo nella Normativa.

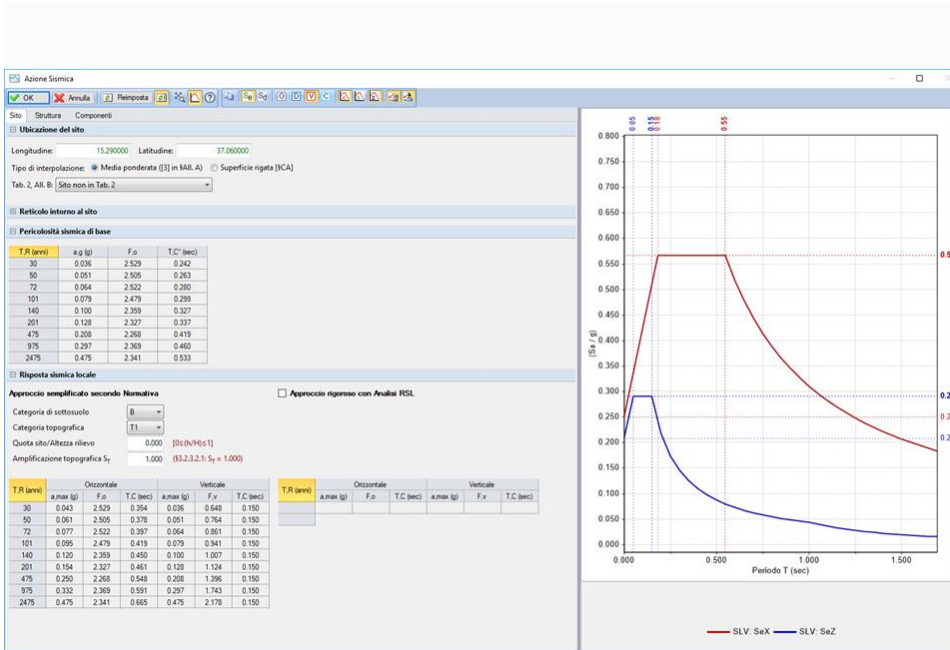


Quindi per poter aderire maggiormente alla realtà è stato studiato questo sistema, e, considerando la qualità della malta, l'ingranamento, la forma e la dimensione degli elementi e una serie di altri parametri, comprese perfino le linee di minimo tracciato, su cui potrete fare tutti gli approfondimenti consultando le documentazioni, si può arrivare a dei valori attendibili, capaci comunque di descrivere la situazione specifica.



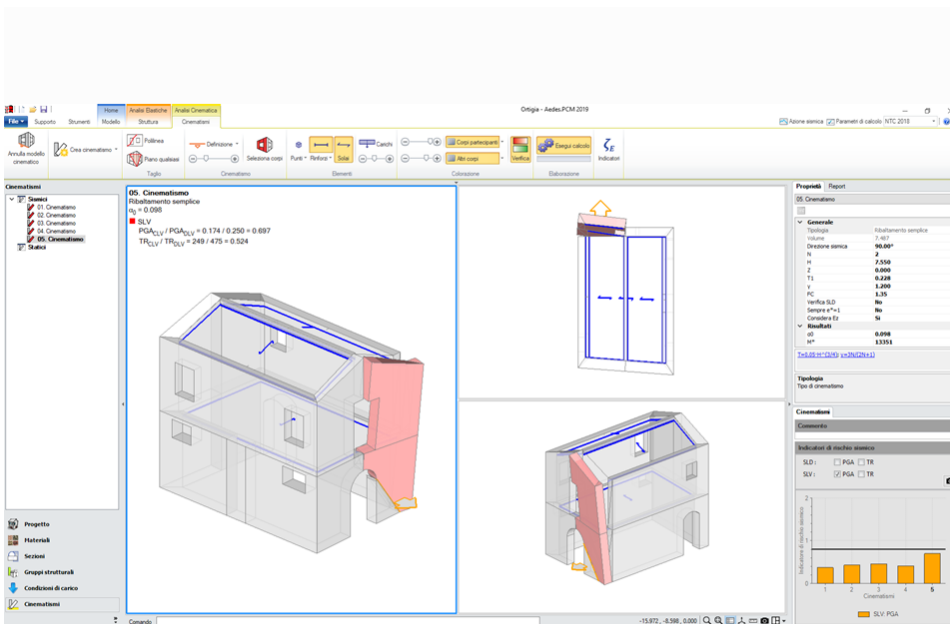
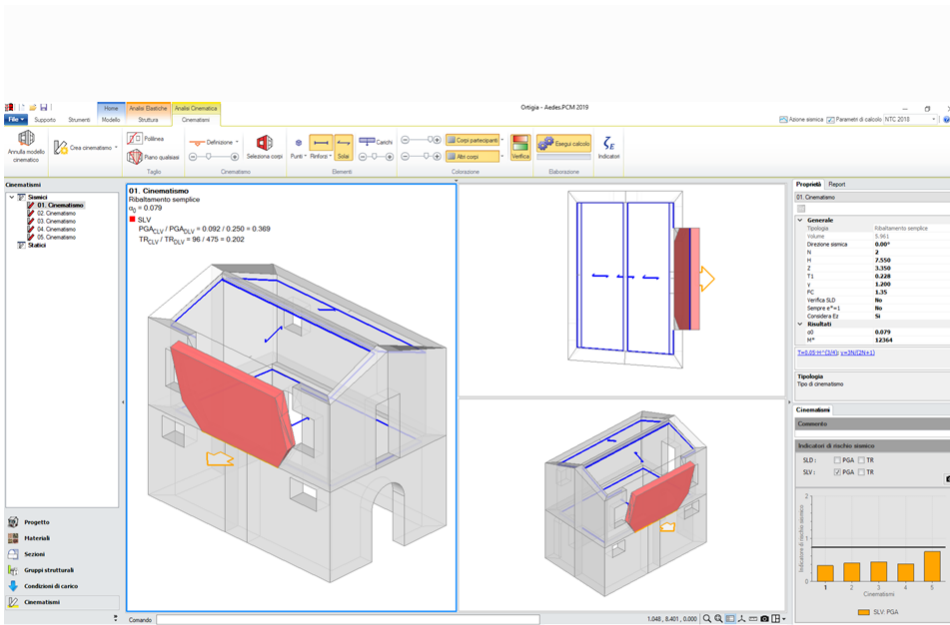


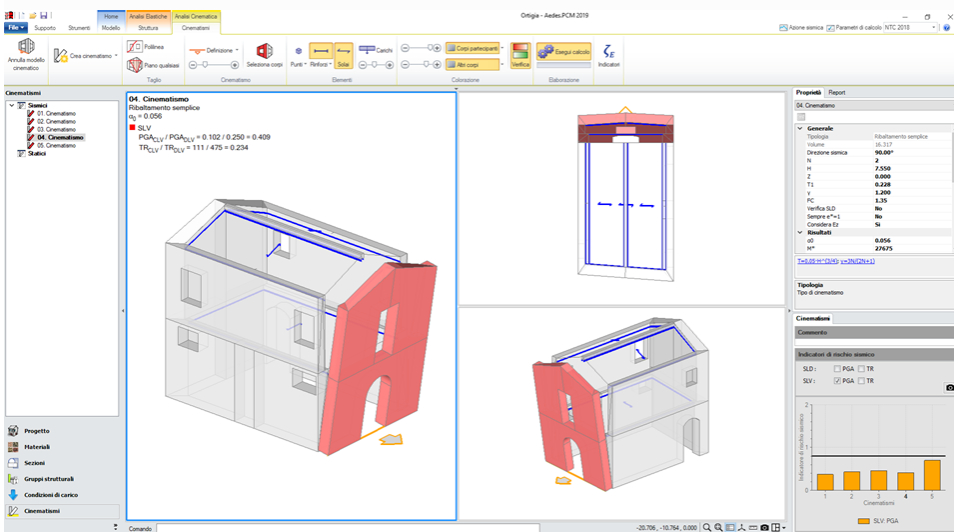
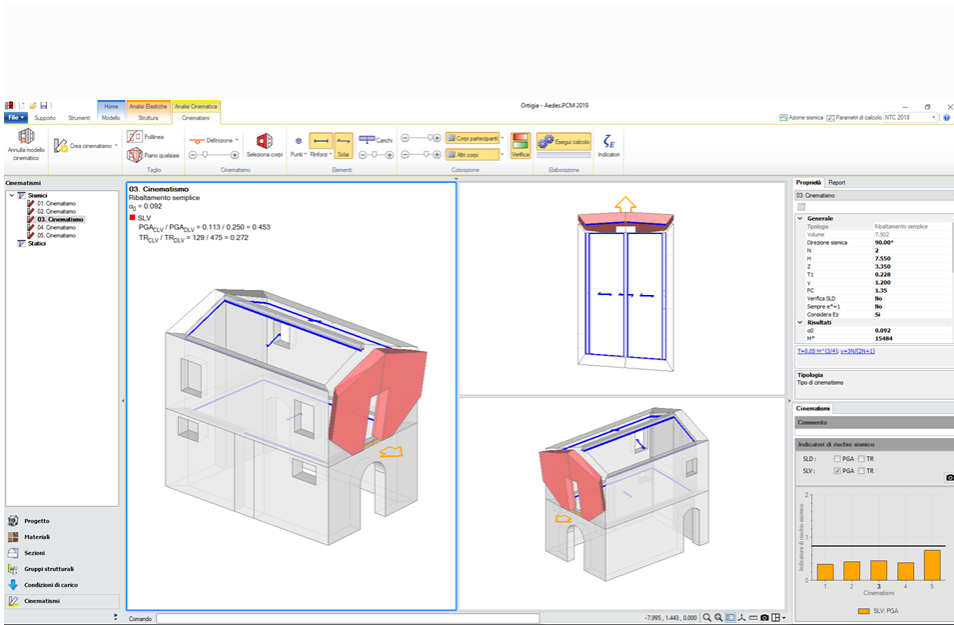
In questo caso, per vedere anche gli effetti del consolidamento abbiamo provato ad inserire direttamente i parametri della muratura in pietrame disordinato, che è sempre quella in condizioni peggiori ed è quella, come abbiamo visto, più in difficoltà.

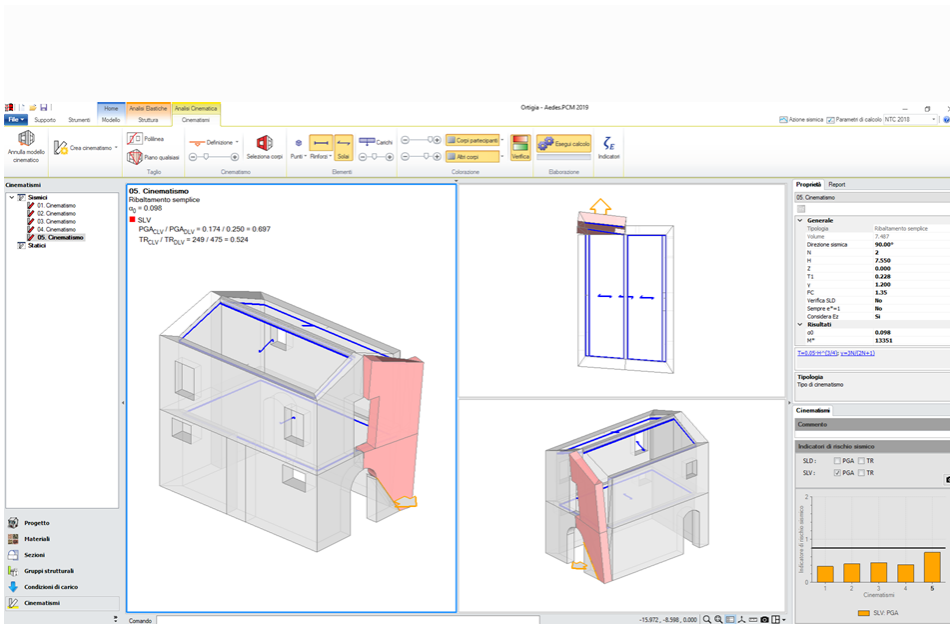


Qui c'è un **confronto fra gli spettri elastici per azioni orizzontali e per azioni verticali** per questo edificio, posto ad Ortigia, in provincia di Siracusa. Come vediamo, lo spettro verticale è nettamente più basso rispetto a quello orizzontale, anche qui c'è da chiedersi se la RSL

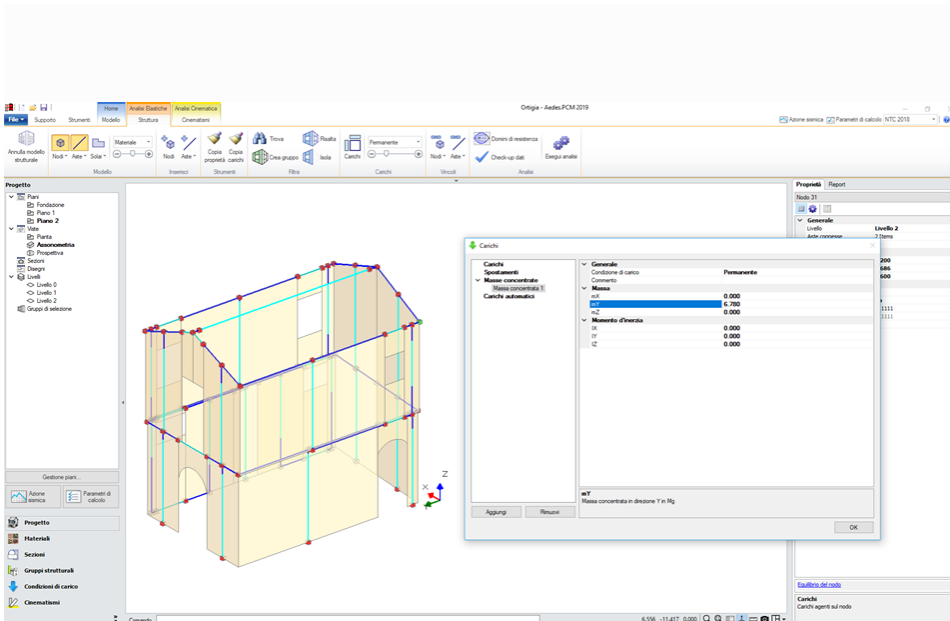
confermerebbe o meno questa situazione.

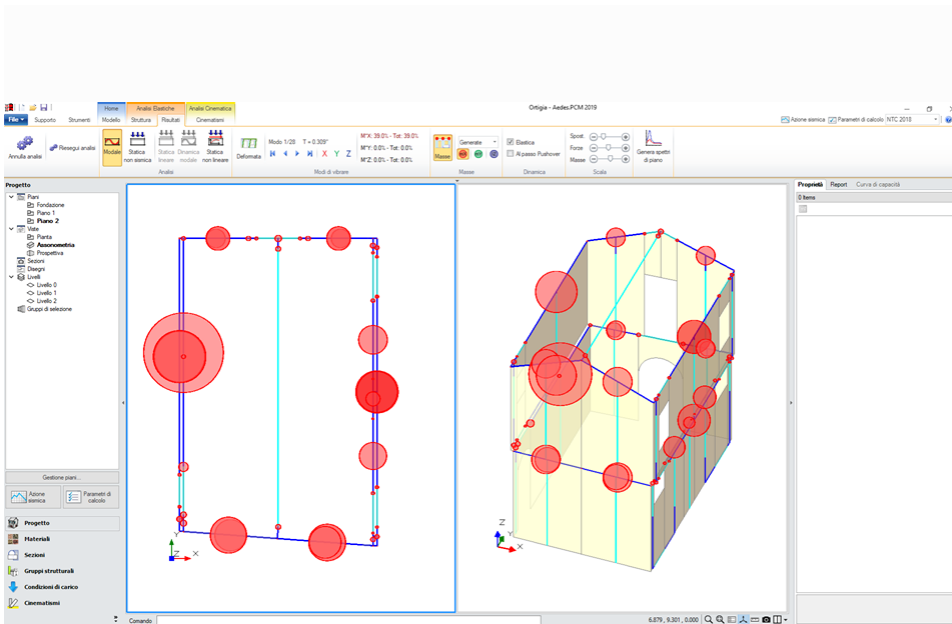






Questi sono alcuni dei meccanismi di collasso che vengono rappresentati con il software PCM, è stata considerata anche la componente verticale che porta appunto a un certo peggioramento del meccanismo stesso; i meccanismi sono esattamente quelli descritti da Giuffré, e tra l'altro è interessante proprio quello con la rotazione intorno all'asse obliquo, in PCM infatti è possibile tagliare variamente il modello architettonico e cercare quindi di ricostruire un corpo che sta ribaltando oppure sta muovendosi in maniera il più possibile aderente a quella che è la modellazione dell'edificio.

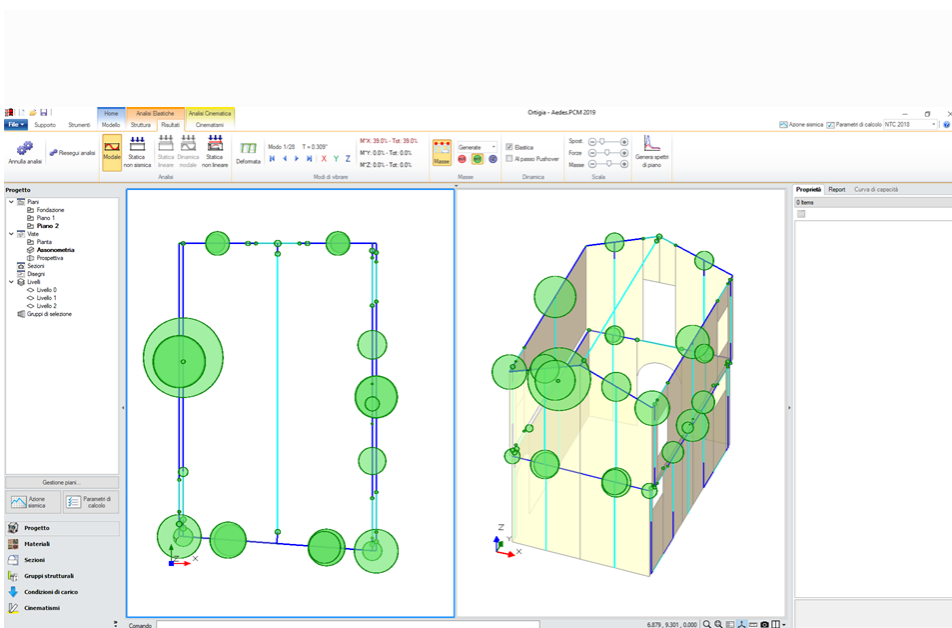




11-12 aprile 2019

ING. FRANCESCO PUGI - AEDES SOFTWARE. SECONDA PARTE

37

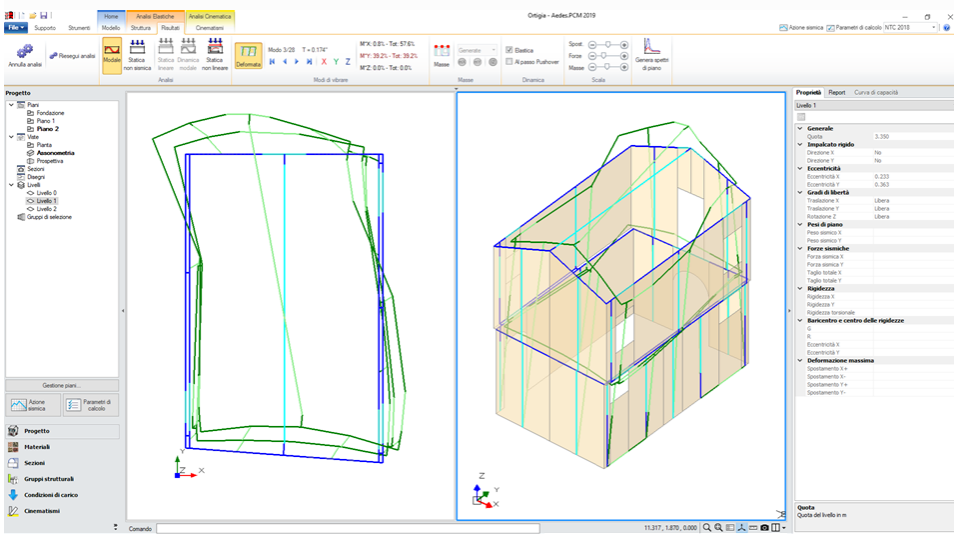
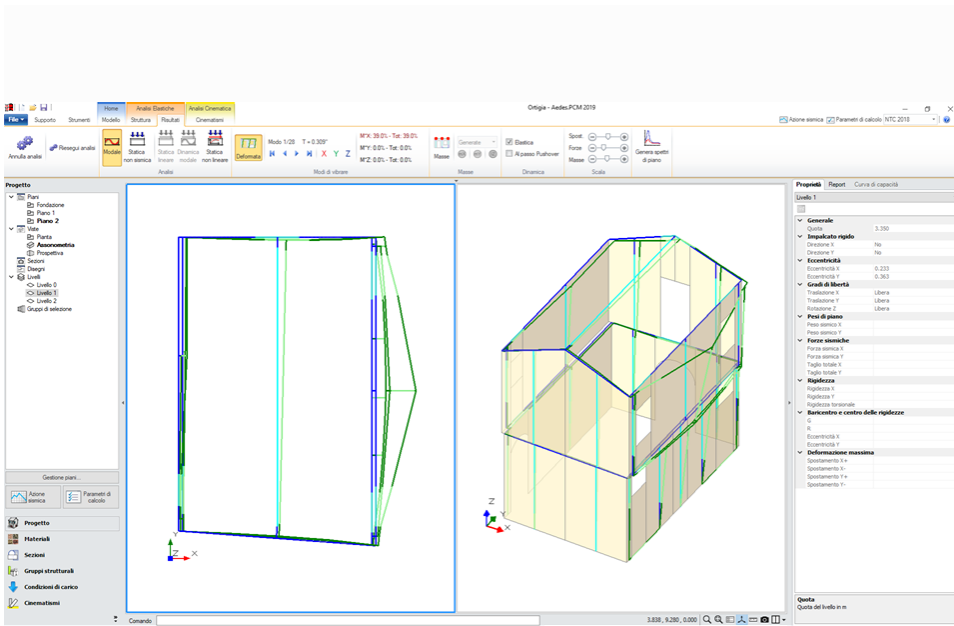


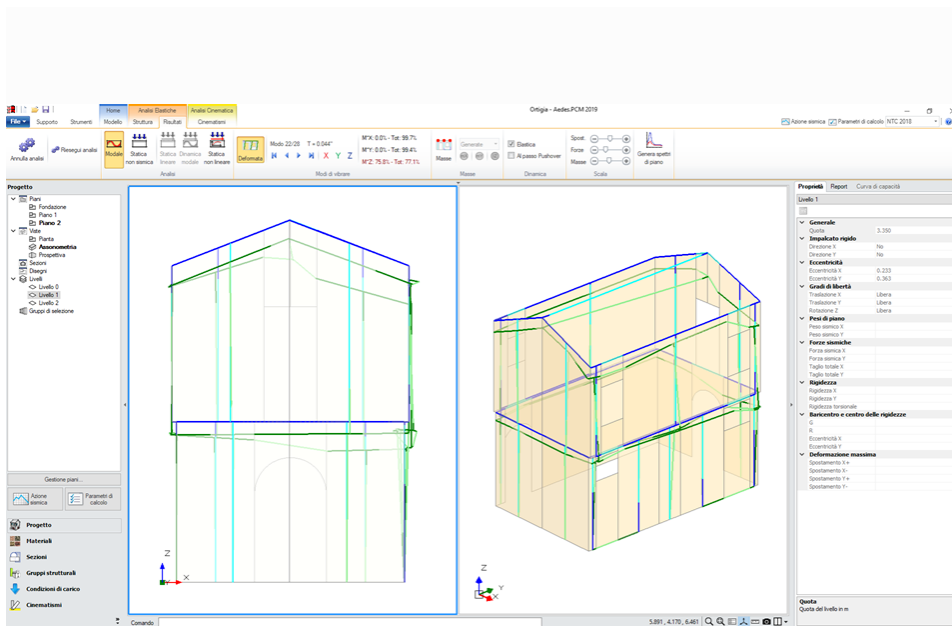
11-12 aprile 2019

ING. FRANCESCO PUGI - AEDES SOFTWARE. SECONDA PARTE

38

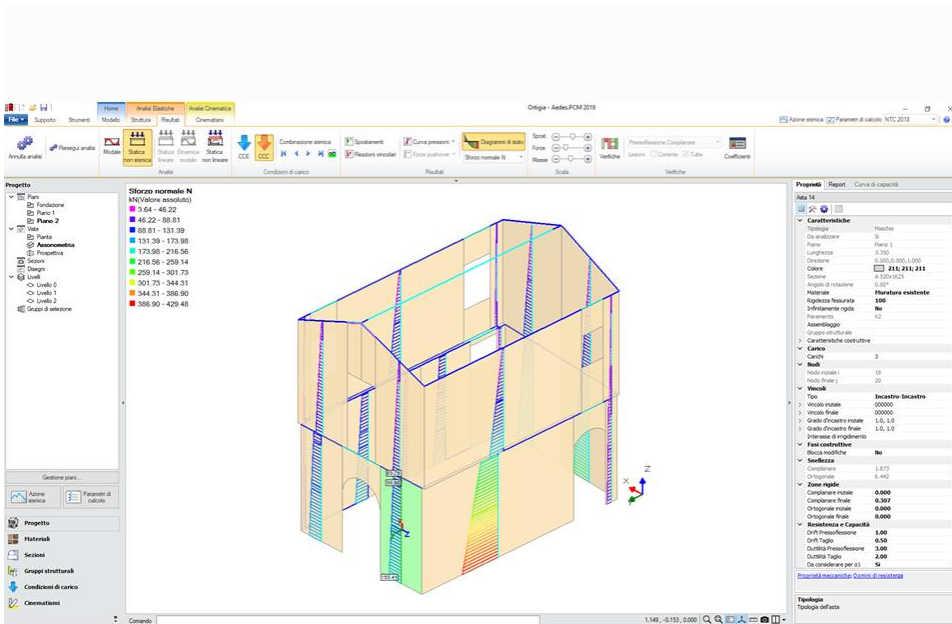
Queste sono due immagini interessanti, perché rappresentano le masse secondo X, che è la direzione trasversale dell'edificio, per le quali non vi sono particolari rilevi da fare, e **le masse secondo Y (direzione di sviluppo longitudinale dell'aggregato) che presentano i contributi agli spigoli di alcune masse aggiuntive che rappresentano proprio gli effetti dell'edificio adiacente** edificio che nel caso specifico non è stato considerato ai fini della resistenza ma solo di un aggravamento della massa, che determinerà, così come ci attendiamo, un peggioramento della risposta.



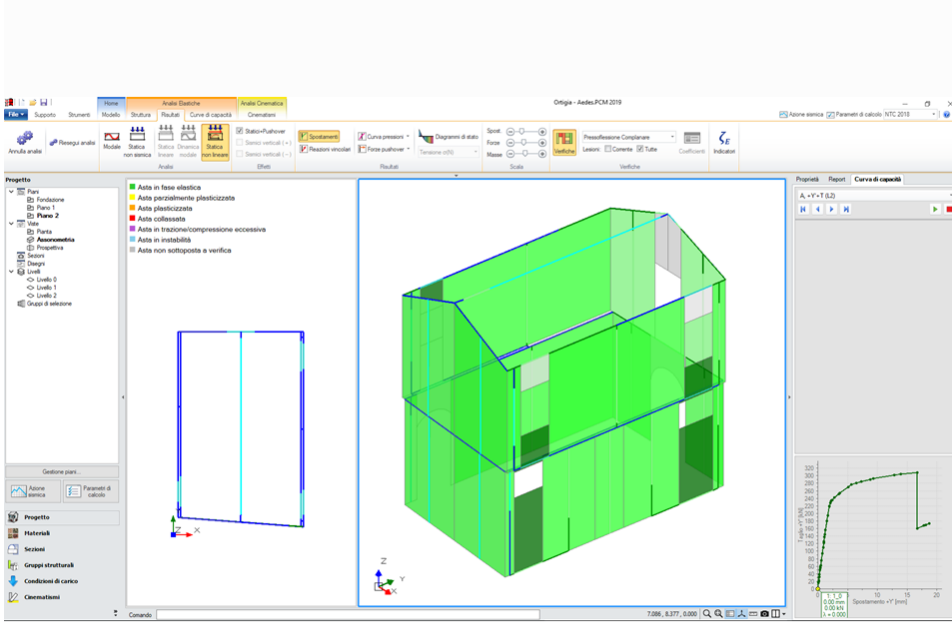


Qui alcune considerazioni sui modi di vibrare. Ora: **siamo in accordo col fatto che i piani deformabili portino all'opportunità di scomporre le strutture però è anche vero che se la struttura viene modellata spazialmente con opportuni accorgimenti è possibile comunque rappresentare questo comportamento anche in un modello tridimensionale.**

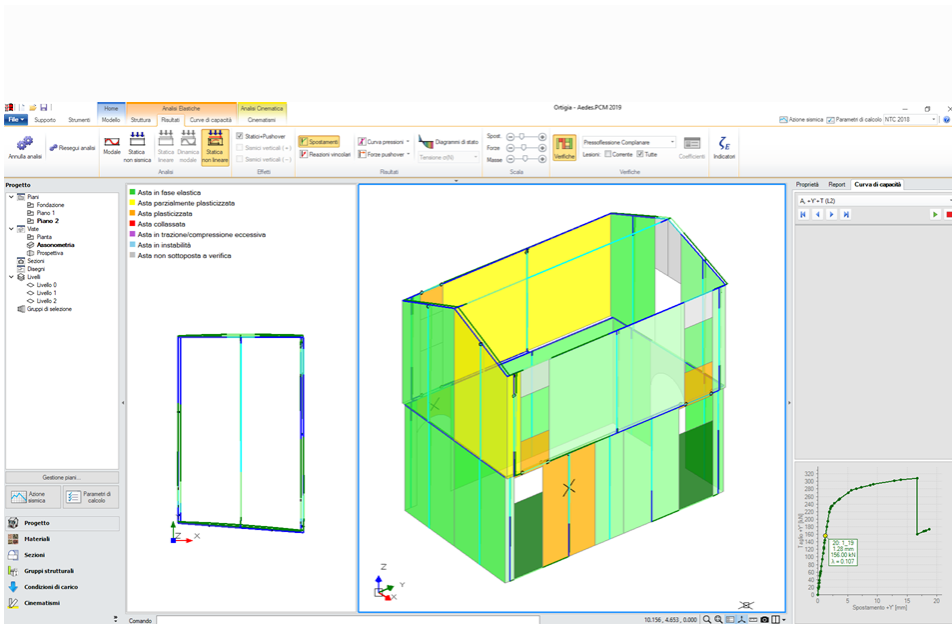
I modelli tridimensionali hanno sempre il vantaggio di poter descrivere meglio le situazioni miste perché frequentemente non siamo sempre di fronte a edifici che hanno tutti i piani deformabili oppure tutti i piani rigidi. Ci sono molte situazioni intermedie, a parte la stessa deformabilità dell'impalcato, ma sono intermedie proprio come natura dei tipi di solai: una copertura in legno e un solaio intermedio dove magari è stata gettata una soletta, quindi: casi davvero molto variabili. Comunque, anche in presenza di solai tutti deformabili è possibile nel nostro software assegnare una deformabilità fuori piano ai link cioè agli elementi di collegamento fra i vari maschi murari che quindi assegna loro la capacità di deformarsi in modo tale che la crisi possa poi essere interpretata anche come crisi di un paramento in sé, e in quel caso la Norma ci guida verso lo Stato Limite di Collasso della struttura se c'è una crisi di un allineamento di maschi murari ad un piano.



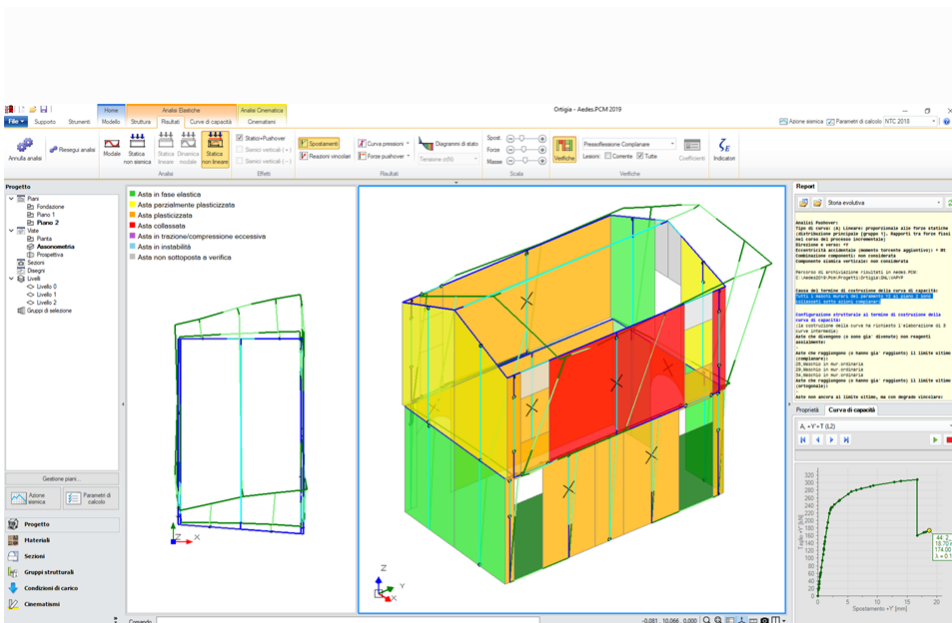
Questi sono **diagrammi di sollecitazione**, sempre molto importanti da consultare perché in uno schema a telaio il vantaggio è comunque quello di avere un elemento asta che è un elemento che tutti gli ingegneri sanno riconoscere e quindi l'**evoluzione dei momenti, degli sforzi normali e dei tagli** ci permette di leggere nella struttura, che è in grado di dare questa risposta d'insieme, lo stato di sollecitazione.

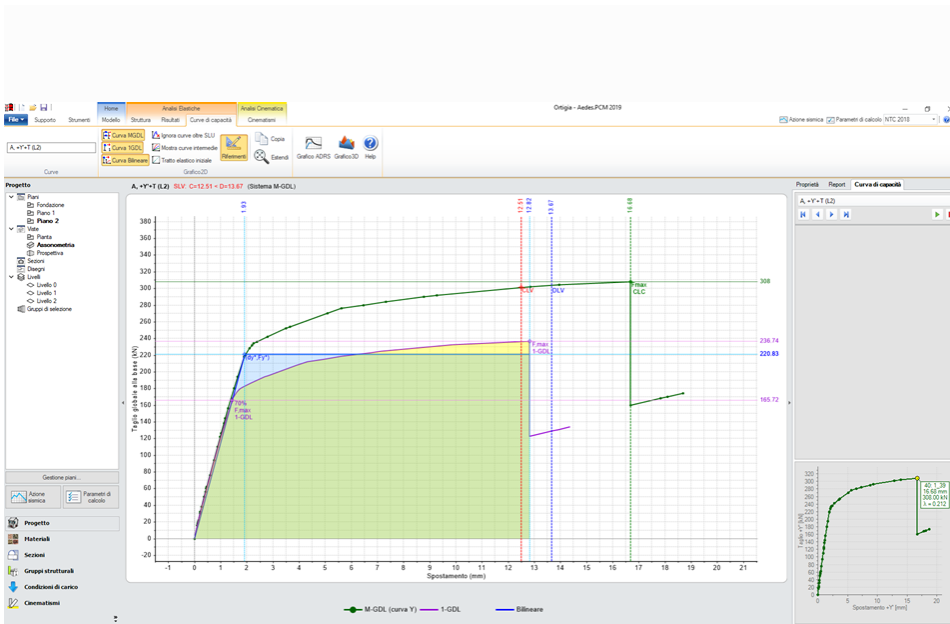


Questo è un passo iniziale di un'analisi statica non lineare.

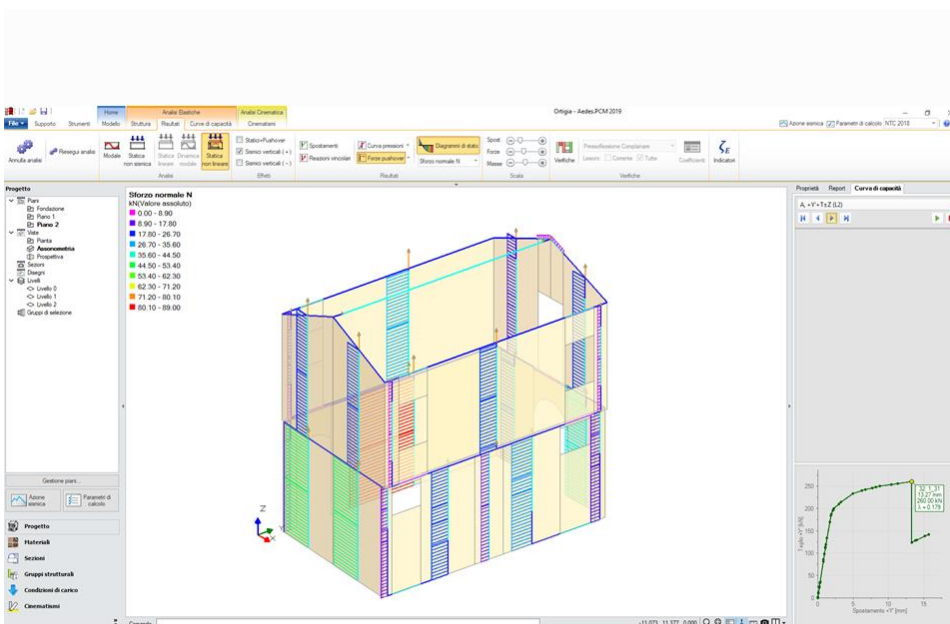


Questo è un passo successivo dove le pareti progressivamente si fessurano e quindi abbiamo poi una situazione finale in questo caso determinata dal collasso di questi due elementi del piano superiore. Chiaramente, tutte le procedure software hanno questi tipi di rappresentazione, perché sono molto importanti per **riconoscere visivamente quello che accade e non limitarsi a prendere un numero come risultato finale.**





Queste sono curve che peraltro voi già conoscete.



Questo è il **campo di sollecitazioni prodotto dalle forze sismiche verticali**.

Sono queste le sollecitazioni **che poi vengono composte al passo con quelle delle forze orizzontali**.

Fra l'altro, nella definizione degli indicatori di rischio sono nati molti sottogruppi di studi, per esempio per quanto riguarda il sisma verticale occorre attenzione al fatto che le forze verticali vengono calcolate per un certo valore dell'accelerazione, con riferimento a quella in input, però quando noi abbiamo ottenuto un risultato minore di 1 e dobbiamo poi studiare una capacità e una

domanda, cioè un rapporto, bisogna scalare anche le forze verticali in modo che tutto sia coerente, cioè si abbia un indicatore di rischio effettivamente rappresentativo.

C'è anche un altro aspetto sull'indicatore di rischio che riguarda il fatto che nel caso di RSL spesso ci troviamo soltanto un SLV o solo SLV e SLD e quindi anche in questi casi bisogna studiare dei metodi appositi per poter coprire tutto lo spettro dei periodi di ritorno, perché altrimenti ci troviamo poi a operare in modo incoerente

Questi sono comunque approfondimenti per i quali si rinvia agli articoli citati.

Diciamo che alla fine si trova un elenco di valori, e questo elenco di valori corrisponde - vediamo questa colonna accanto - a molti punti. La questione dei solai deformabili, soprattutto, apre ad una considerazione importante accolta dalla Normativa, che dice di **considerare (cioè di assumere come punto di controllo) non soltanto il centro di massa dell'edificio ma anche altri punti significativi**, per esempio questi possono essere i punti agli angoli della pianta stessa della copertura, perché lo spostamento che noi rileviamo in questi casi può essere più significativo di quello del centro di massa.

AMMORSATURE TRA PARTI ADIACENTI o TRA MURATURE CON FASCE DI ACCIAIO ANCORATE ALLE PARETI

Tiranti passivi, aderenti alle pareti, costituiti da fasce di acciaio (120x8)mm, ancorati alla muratura con perforazioni armate con barre filettate.

Il tensionamento delle barre filettate viene eseguito con il «dispositivo Mariani»



Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura, di Massimo Mariani, Ed. DEI, ROMA, 2012

Qui ci sono poi diverse tecniche di consolidamento: questo è un altro libro, scritto da Massimo Mariani: "**Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura**", dove vengono riportate molte soluzioni, applicabili proprio da un punto di vista professionale, che ci permettono ad esempio di valutare gli effetti di un incatenamento o una fasciatura, come si vede bene anche in questa foto (tratta dal volume citato), su tutto il contorno.

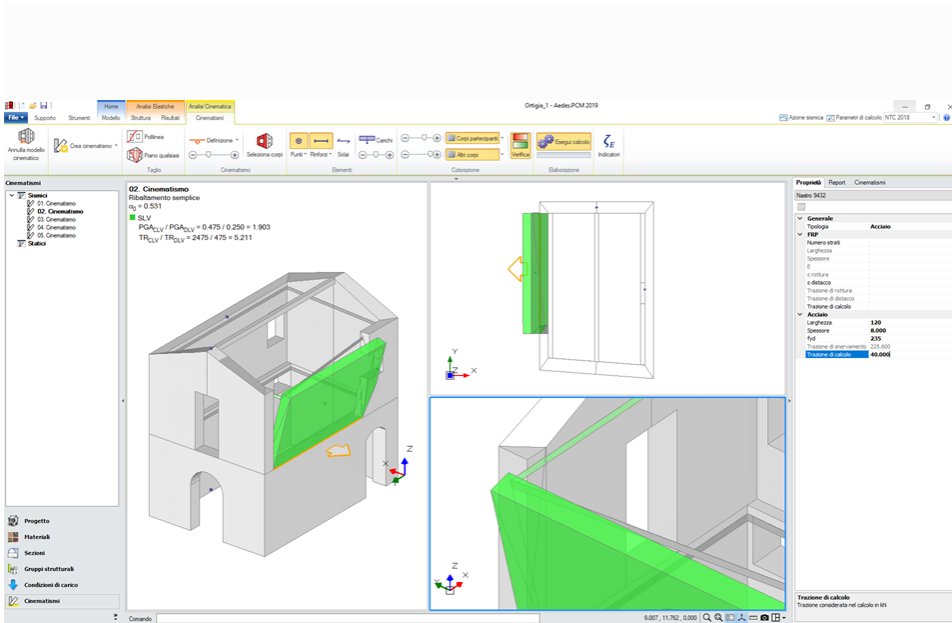


Ecco poi altri tipi di interventi che vengono variamente descritti nel software e quindi permettono di stabilizzare i risultati: ad esempio le catene stabilizzano i cinematismi, più che catene in questo caso sui parla proprio di fasce che sono messe all'interno e che impediscono il ribaltamento della parete. Ovviamente occorre attenzione anche qui a saper schematizzare correttamente le forze che trattengono la parete, perché non v'è soltanto la resistenza a trazione che la fascia può offrire ma vi sono gli sfilamenti nei vari ancoraggi posti lungo la parete; si vede però che sono comunque sufficienti nella maggior parte dei casi a stabilizzare questi elementi.

STATO di PROGETTO (1) – Fasce e diatoni

The screenshot displays the software interface for 'STATO di PROGETTO (1) – Fasce e diatoni'. The main window shows a 3D model of a building structure with a green highlighted wall section. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, etc.), a toolbar with various icons, and a properties panel on the right. The properties panel shows parameters for the selected element, including position, mass, and various load values.

Proprietà		Report		Cinematismi	
Punto 5477					
Generale					
Posizione	4.956,4.188,4.600				
Massa	0,000				
Carico permanente					
Effici	Statist e statico				
1	0,000				
2	0,000				
Carico variabile					
1	0,000				
2	0,000				
3	0,000				
4	0,300				

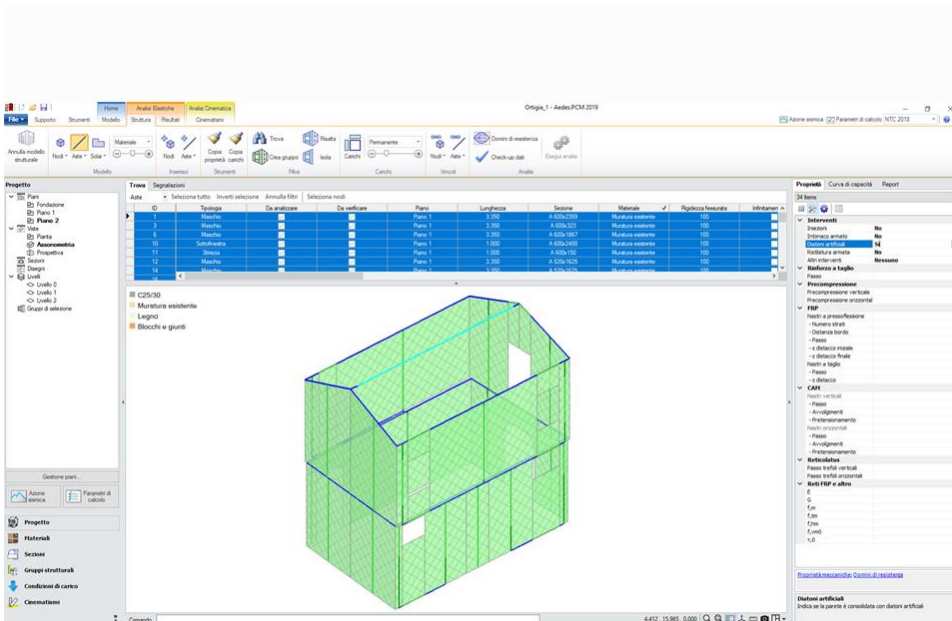


11-12 aprile 2019

ING. FRANCESCO PUGI - AEDS SOFTWARE. SECONDA PARTE

68

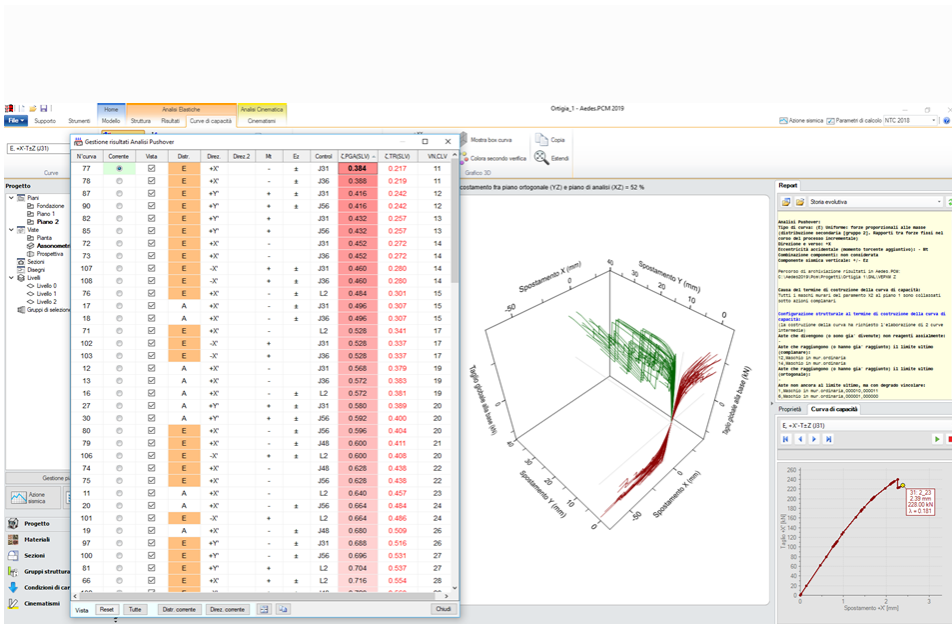
Ecco quindi i vari cinematismi riesaminati in questo modo; poi ci sono interventi in analisi globale.



11-12 aprile 2019

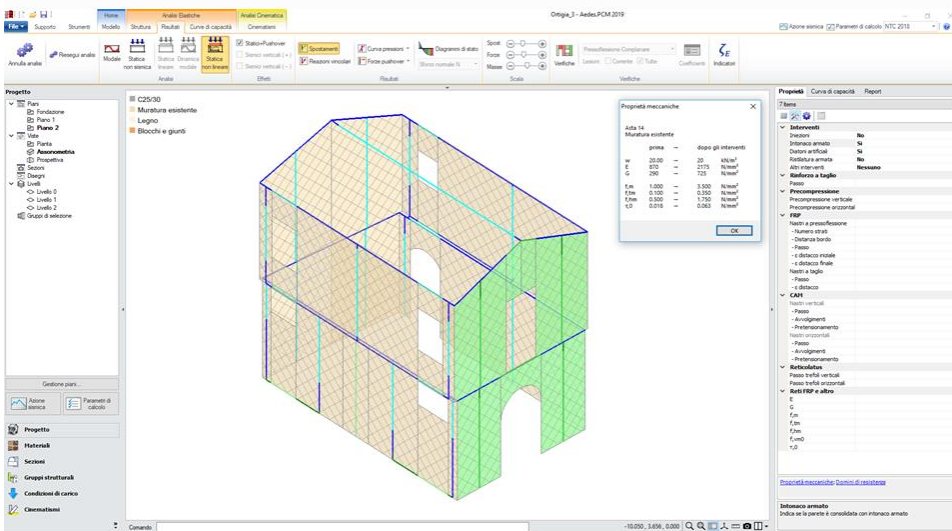
ING. FRANCESCO PUGI - AEDS SOFTWARE. SECONDA PARTE

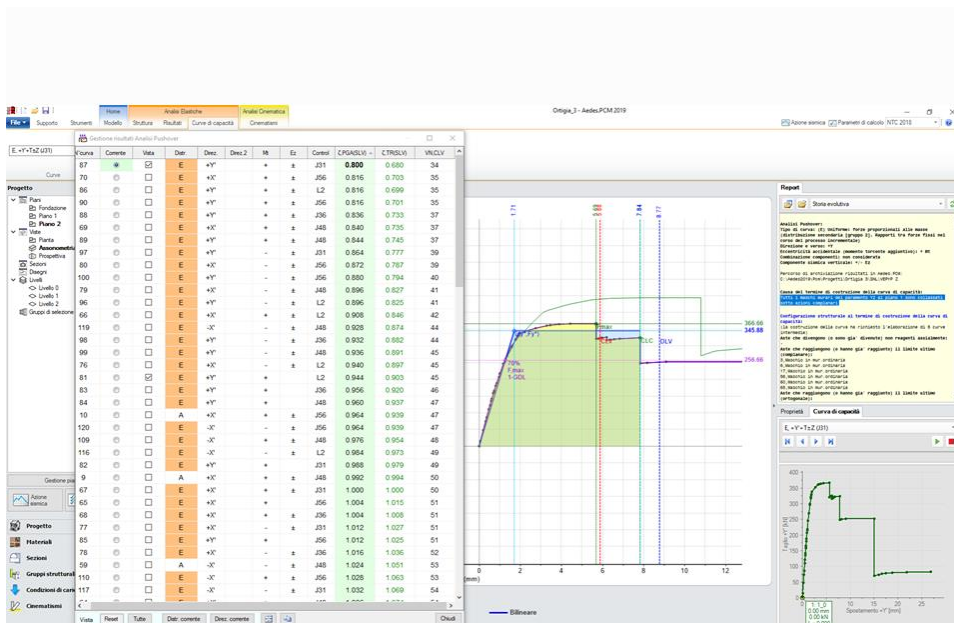
72



Tra l'altro faccio notare questo diagramma che è uno **schema tridimensionale dei risultati dell'analisi pushover**, cioè pone in 3D le varie curve, perché non bisogna scordare che l'analisi pushover ha appunto questo limite di rappresentare su un piano uno spostamento che ha anche invece delle componenti spaziali. Lo spostamento del punto di controllo non è mai uno spostamento solo nella direzione in cui stiamo spingendo ma è anche ortogonale. Il poter verificare nelle curve poste su un sistema spaziale la deflessione dal piano su cui normalmente le studiamo ci permette di capire anche l'importanza degli spostamenti ortogonali e quanto la spazialità del modello incide poi sulla bontà del risultato.

STATO di PROGETTO (3) – Intonaco armato





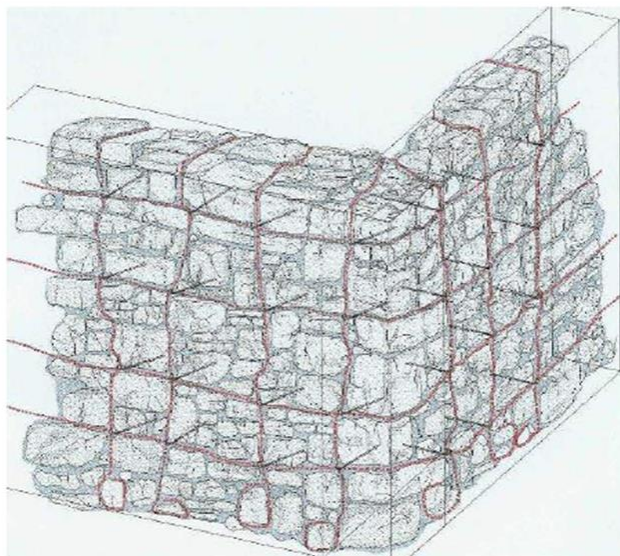
Ci sono poi diverse ipotesi su altri tipi di interventi, i classici intonaci armati oppure quelli di nuova generazione che hanno il grosso vantaggio di non modificare le rigidezze ma di lavorare sulle resistenze - e questo è un concetto generale, cioè di **rispettare il più possibile le rigidezze originarie**, laddove ovviamente non sia necessario intervenire con un ribilanciamento e questo sarà evidente caso per caso, però il rispetto della concezione originaria dell'edificio è anche quello che ci guida alla migliore 'cura' cioè al fatto di irrobustirlo laddove veramente serve.

L'irrobustimento, troppo spesso in passato interpretato come un aumento di rigidezza, è invece soprattutto un incremento di resistenza. Non vi sono solo intonaci armati di nuova generazione, anche le fasciature in acciaio sono delle alternative, in ogni caso tutti questi interventi sono orientati a un concetto moderno che è quello di rispettare la deformabilità della struttura per non toglierle quella capacità di spostamento che è importante per il suo buon funzionamento.

RISTILATURA DEI GIUNTI

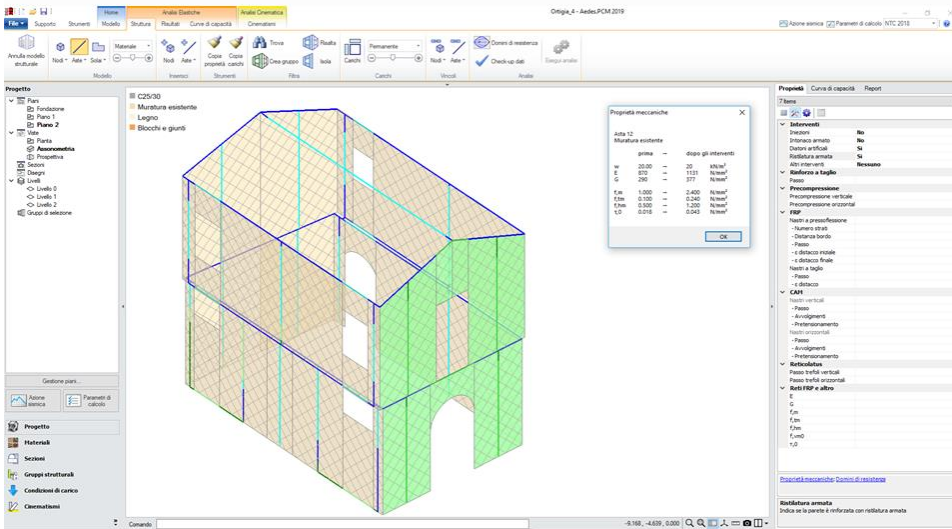


RISTILATURA ARMATA



(immagini tratte da slide di Giulio Castori e Alessandro De Maria, che ringraziamo).

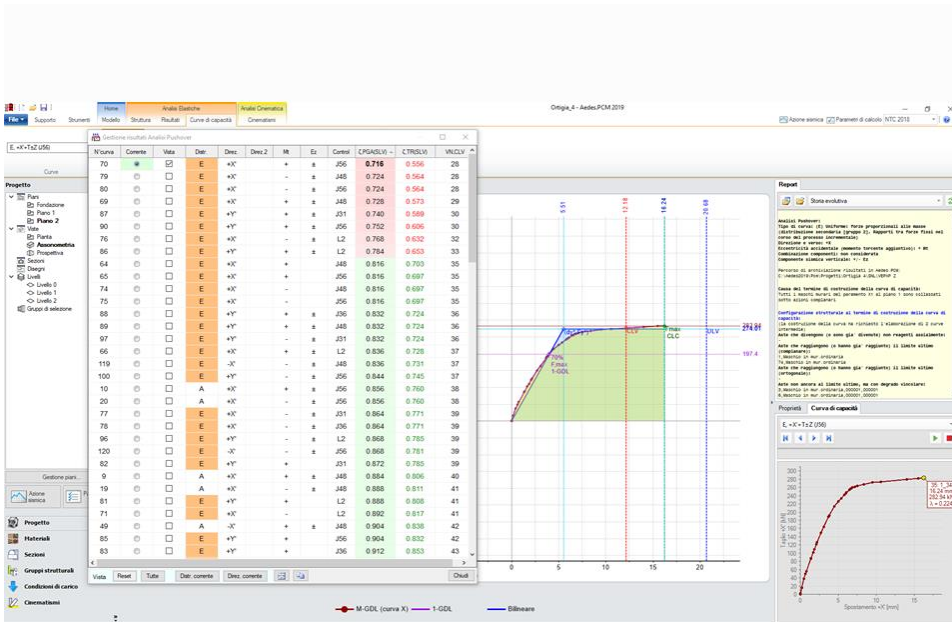
STATO di PROGETTO (4) – Ristilatura armata



11-12 aprile 2019

ING. FRANCESCO PUGI - AEDES SOFTWARE. SECONDA PARTE

85



11-12 aprile 2019

ING. FRANCESCO PUGI - AEDES SOFTWARE. SECONDA PARTE

86

Questo è il caso di ristilatura armata.

ζ_E	Stato Attuale	+ Fasce e Diatoni	+ Rinforzo Solai	+ Intonaco Armato	+ Ristilatura Armata
Senza Ez	0.412	0.432	0.720	0.944	0.816
Con Ez	0.356	0.384	0.652	0.800	0.716
	-14%	-11%	-10%	-15%	-13%

- Queste riduzioni sull'indicatore di rischio per effetto del sisma verticale, derivate dall'applicazione dell'approccio semplificato (NTC), possono essere già sufficienti per cambiare la classificazione di vulnerabilità di un edificio o il tipo di interventi necessari
- Sappiamo anche che le analisi della Risposta Sismica Locale possono amplificare in modo significativo le accelerazioni spettrali
- Le Ricerche condotte sugli effetti negativi del sisma verticale hanno mostrato un'incidenza in aumento con l'incremento dell'accelerazione
- Per questi motivi, la componente sismica verticale non deve più essere ignorata, come indicato anche dalla nuova Normativa (NTC18, Circ.2019)

Alla fine troviamo qui dei risultati con l'applicazione del sisma verticale che in un certo senso si allineano ancora su quelle cifre che abbiamo già trovato, che oscillano intorno al 15%, e sono i valori che si trovano applicando l'accelerazione verticale di Normativa. **Sono valori che hanno una loro rilevanza, perché possono segnare il passaggio o meno dalla verifica soddisfatta a non, e che comunque andrebbero ricalibrati:**

- a) intanto con un'applicazione molto più diffusa della RSL che ci darebbe una verità maggiore su questi valori delle accelerazioni in input,
- b) ma soprattutto - dal punto di vista di comportamento della struttura - di una migliore interpretazione della capacità di deformarsi, perché - ripeto ancora una volta - la carenza che c'è nella modellazione che facciamo è questa difficoltà a rappresentare questo spostamento ultimo, quanto esso cambia cambiando la qualità muraria e intervenendo con il consolidamento. Se si riesce a poter calibrare meglio questo spostamento, le analisi acquisiscono sicuramente maggiore attendibilità.

MIGLIORAMENTO STRUTTURALE IN ZONA SISMICA



Aedes
Software per Ingegneria Civile

FIRENZE
ROMA
VITERBO
PAVIA
LA SPEZIA

Ing. Francesco Pugi

**Esempi concreti di interventi
di riduzione della vulnerabilità sismica**

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

PER APPROFONDIMENTI E INFORMAZIONI:

www.aedes.it info@aedes.it

(Francesco Pugi, La Spezia, Tour Ingenio, 12 aprile 2019)